

Der Karlsruher Physikkurs



Guida per l'insegnante

Traduzione italiana - settembre 2006

Repubblica e Cantone Ticino
Dipartimento dell'educazione, della cultura e dello sport
Divisione della scuola / Centro didattico cantonale

Eduard-Job-Stiftung
für Thermo- und Stoffdynamik
D - Ahrensburg

Titolo originale dell'opera:

F. Herrmann

Der Karlsruher Physikkurs

Guida per l'insegnante

Edizione italiana: settembre 2006

Redazione: Karen Haas, Prof. Friedrich Herrmann, Dr. Matthias Laukenmann,
Dr. Lorenzo Mingirulli, Dr. Petra Morawietz, Dr. Peter Schmälzle

Traduzione: Paolo Pianezzi

Disegni : F. Herrmann

www.physikdidaktik.uni-karlsruhe.de

www.scuoladecs.ti.ch

PREFAZIONE

Tra i matematici c'è la buona abitudine di occuparsi della struttura concettuale della propria materia e, di tanto in tanto, di mettervi mano. Non così tra i fisici: i fisici universitari hanno sempre avuto una più spiccata tendenza a lavorare alle frontiere della propria area, là dove c'è del "nuovo" da trovare, come nella fisica delle particelle elementari, l'astrofisica o la fisica dei sistemi complessi. Così facendo hanno però tralasciato di far ordine in casa propria. I nuovi risultati vengono inseriti, spesso alla bell'e meglio, nell'edificio dei vecchi concetti per volgersi rapidamente alla ricerca di qualcosa di ancora più nuovo.

Tutto ciò si riflette anche nell'insegnamento. Confrontiamo un testo di fisica appena scritto, cioè "moderno", con uno di inizio secolo. Le somiglianze sono molte, - troppe, se pensiamo che la maggior parte di tutti i fisici della storia sono vissuti in questo secolo o sono tuttora in vita. Nei nostri nuovi libri, spesso incontriamo le scoperte della fisica del nostro secolo come fossero un'appendice. I libri contengono il vecchio e il nuovo e non, come sarebbe auspicabile, una sintesi di vecchio e nuovo. Questo è uno dei motivi che rende difficile all'insegnamento della fisica padroneggiare la materia.

All'istituto di didattica per la fisica dell'Università di Karlsruhe è stato intrapreso un tentativo di riordinare i contenuti della fisica. Il risultato del nostro lavoro è sicuramente una soluzione del problema. Non vogliamo però affermare che sia l'unica soluzione.

I fondamenti di questo riordinamento sono stati posti dal Prof. G. Falk. All'istituto furono sviluppati numerosi corsi per l'università, il livello di orientamento¹, il primo livello secondario e il secondo livello secondario². Molte colleghe e molti colleghi sono stati coinvolti nell'elaborazione e diffusione di questi corsi, così che appare appropriato parlare di una "scuola di Falk".

¹ NdT: biennio che segue la scuola elementare.

² NdT: corrispondono al periodo fine scuola media e scuole superiori.

Proponiamo qui il corso di Karlsruhe per il primo livello secondario. Si è sviluppato in otto anni di collaudo al ginnasio statale di Wörth am Rhein.

Sono grato a molti collaboratori e sostenitori.

In primo luogo al mio docente Prof. Falk. A lui risale la base teorica di tutti i nostri corsi e senza di lui nessuno dei nostri corsi sarebbe nato.

Per molte delle idee contenute nel presente libro devo ringraziare un'altra persona: il sig. Dr. G. Job dell'Università di Amburgo. Molta terminologia e la fisica chimica si basano sul suo lavoro.

Un grazie particolare va ai miei dottorandi sig. Dr. Schmälzle, sig. Dr. Mingirulli e sig.ra Dr. Morawietz, che hanno fatto la maggior parte del lavoro di dettaglio e con i quali ho condotto il collaudo a Wörth.

Sono molto grato anche alle colleghe e ai colleghi che prendono parte al collaudo su larga scala, tuttora in corso, nel Baden-Württemberg e in Renania-Palatinato. Non traggono nessun beneficio personale dal loro lavoro. Hanno partecipato e sacrificato molto del loro tempo per puro piacere. Le loro idee critiche e costruttive affluiscono in permanenza nelle edizioni aggiornate.

Una premessa indispensabile per la riuscita del progetto è il sostegno da parte amministrativa.

Voglio qui ringraziare il preside del ginnasio di Wörth, sig. OStD Röbber, per non essersi limitato a sopportare il nostro lavoro nel suo ginnasio, ma per averlo sostenuto attivamente.

Ringrazio il ministero della cultura e dell'istruzione pubblica della Renania-Palatinato e il governo regionale dell'Assia-Palatinato per aver approvato la nostra sperimentazione.

L'esperimento in corso nel Baden-Württemberg deve la sua nascita al sig. RSDG. Offermann, quello in Renania-Palatinato al sig. StR M. Strauch. Ringrazio di cuore entrambi.

Karlsruhe, agosto 1989

F. Herrmann

PREFAZIONE ALLA 2a EDIZIONE

Nel frattempo, un esperimento di insegnamento con più di 1000 scolari nel Baden-Württemberg e circa 500 scolari nella Renania-Palatinato, si è concluso. Voglio ringraziare tutte le colleghe e i colleghi che vi hanno partecipato. Ringrazio in particolare il sig. StR N. Krank dell'ufficio scuole superiori di Stoccarda e il sig. OStDDr. M. Kobelt dell'ufficio scuole superiori di Karlsruhe, che hanno partecipato attivamente all'esperimento nel Baden-Württemberg e a molte sedute con gli insegnanti coinvolti nel collaudo.

Molte proposte scaturite dalla seconda fase di collaudo sono state inserite nella seconda edizione. Nel frattempo, nel Baden-Württemberg si è costituito un nuovo gruppo che applica il corso di Karlsruhe nell'insegnamento.

A parte le esperienze delle fasi di collaudo concluse, questa seconda edizione contiene alcuni capitoli ultimati solo negli ultimi anni. Ne fanno parte: *la quantità di moto come vettore, momento meccanico e baricentro, quantità di moto angolare e correnti di quantità di moto angolare, pressione e trazione*. Inoltre, sono finalmente ultimati anche i capitoli del volume per docenti relativi ai primi due volumi del corso.

Malgrado tutte le premesse, i due presenti tomi sono diventati troppo voluminosi. Avremmo preferito abbreviare decisamente alcuni capitoli. Tenendo conto dei piani di studio, una presentazione ridotta non sarebbe però stata possibile. Avremmo accorciato volentieri i capitoli su momento meccanico e baricentro, di idrostatica e soprattutto di ottica.

Ho avuto la possibilità di insegnare una versione ridotta della fisica in alcune classi del primo livello secondario. Il corso di Karlsruhe si è dimostrato particolarmente adatto allo scopo. Sono state tenute 8 ore lezione di meccanica e 8 ore di termologia. In entrambe le aree è stato possibile raggiungere degli obiettivi didattici fondamentali e ricchi di possibilità applicative.

Al momento è in lavorazione un terzo volume. Conterrà i capitoli di *fisica chimica, onde, atomi, fisica atomica e nucleare, fisica dei corpi solidi, elettronica e astrofisica*. Da due anni è in corso il relativo collaudo condotto dal mio dottorando, sig. M. Laukenmann e da me, allo *Europa-Gymnasium* di Wörth.

Karlsruhe, aprile 1993

F. Herrmann

PREFAZIONE ALLA 3a EDIZIONE

Finalmente la terza parte, la "fisica moderna", è ultimata. Il sig. Dr. Laukenmann e la sig.ra Haas hanno partecipato allo sviluppo e al collaudo. Li ringrazio entrambi per la loro collaborazione.

Ai volumi 1 e 2 sono state apportate alcune correzioni.

Karlsruhe, settembre 1995

F. Herrmann

Indice

A. Parte generale

1.	Introduzione	9
2.	Fondamenti fisici	10
2.1	Grandezze estensive	10
2.2	Forme di energia e portatori di energia	12
2.3	Strutture nella fisica	13
2.4	I concetti di corrente, spinta e resistenza	14
2.5	Relazioni e grandezze più importanti	15
2.6	Scala delle grandezze più importanti	16
3.	Bibliografia	17

B. Osservazioni

1.	Energia e portatori di energia	19
2.	Correnti di liquidi e gas	20
3.	Quantità di moto e correnti di quantità di moto	21
4.	Il campo gravitazionale	27
5.	Quantità di moto e energia	28
6.	La quantità di moto come vettore	29
7.	Momento meccanico e baricentro	31
8.	Quantità di moto angolare e correnti di quantità di moto angolare	32
9.	Compressione e trazione	32
10.	Entropia e correnti di entropia	33
11.	Entropia e energia	35
12.	Transizioni di fase	36
13.	I gas	37
14.	La luce	37
15.	Dati e portatori di dati	38
16.	Elettricità e correnti elettriche	41
18.	Il campo magnetico	43
19.	Elettrostatica	45
20.	La tecnica dei dati	46
21.	La luce	46
22.	La formazione di immagini	48
23.	I colori	48
24.	Trasformazioni di sostanze e potenziale chimico	49
25.	Quantità di sostanza ed energia	51
26.	Bilancio termico delle reazioni	51

27.	Fisica relativistica	52
28.	Onde	53
29.	Fotoni	54
30.	Atomi	56
31.	I solidi	59
32.	Nuclei atomici	61

C. Esperimenti

1.	Energia e portatori di energia	67
2.	Correnti di liquidi e gas	67
3.	Quantità di moto e correnti di quantità di moto	68
4.	Il campo gravitazionale	71
5.	Quantità di moto e energia	72
6.	La quantità di moto come vettore	73
7.	Momento meccanico e baricentro	74
8.	Quantità di moto angolare e correnti di quantità di moto angolare	75
9.	Compressione e trazione	75
10.	Entropia e correnti di entropia	76
11.	Entropia e energia	77
12.	Transizioni di fase	79
13.	I gas	79
14.	La luce	80
16.	Elettricità e correnti elettriche	81
17.	Elettricità ed energia	82
18.	Il campo magnetico	83
19.	Elettrostatica	85
20.	La tecnica dei dati	86
21.	La luce	86
22.	La formazione di immagini	87
23.	I colori	88
24.	Trasformazioni di sostanze e potenziale chimico	89
25.	Quantità di sostanza ed energia	91
26.	Bilancio termico delle reazioni	91
28.	Onde	92
29.	Fotoni	93
30.	Atomi	94
31.	I solidi	95
32.	Nuclei atomici	96

D. Soluzioni degli esercizi

1.	Energia e portatori di energia	97
2.	Correnti di liquidi e gas	98
3.	Quantità di moto e correnti di quantità di moto	98
4.	Il campo gravitazionale	101
5.	Quantità di moto e energia	102
6.	La quantità di moto come vettore	103

7.	Momento meccanico e baricentro	104
8.	Quantità di moto angolare e correnti di quantità di moto angolare	106
9.	Compressione e trazione	107
10.	Entropia e correnti di entropia	109
11.	Entropia e energia	110
12.	Transizioni di fase	112
13.	I gas	113
14.	La luce	114
15.	Dati e portatori di dati	114
16.	Elettricità e correnti elettriche	115
17.	Elettricità ed energia	117
18.	Il campo magnetico	118
19.	Elettrostatica	120
20.	La tecnica dei dati	120
21.	La luce	121
22.	La formazione di immagini	123
23.	I colori	124
24.	Trasformazioni di sostanze e potenziale chimico	125
25.	Quantità di sostanza ed energia	127
26.	Bilancio termico delle reazioni	127
27.	Fisica relativistica	128
28.	Onde	129
29.	Fotoni	130
30.	Atomi	130
31.	I solidi	131
32.	Nuclei atomici	131

A. Parte generale

1. Introduzione

Lo scopo per lo sviluppo di questo corso era una modernizzazione e una razionalizzazione dell'insegnamento della fisica. Per raggiungere questo scopo le varie aree della fisica sono state rappresentate da un punto di vista unitario. Da un lato questo procedimento presenta dei vantaggi nell'economia dell'insegnamento. Nelle principali aree della fisica appaiono le stesse regole e le stesse strutture: nella meccanica, nell'elettrologia e nella termologia, ma in misura minore anche nell'ottica, nell'acustica e nell'elettronica. Di conseguenza queste relazioni dalla validità generale devono essere imparate una volta sola. D'altro canto, già il fatto di percepire che queste strutture esistono, è un obiettivo didattico appagante per un insegnamento che abbia l'ambizione di trasmettere cultura generale.

Un ruolo particolarmente importante in questo lavoro di uniformazione è quello ricoperto da una classe particolare di grandezze fisiche: le grandezze estensive.

Una razionalizzazione e semplificazione dell'insegnamento si ottiene anche prestando maggiore attenzione agli sviluppi della fisica moderna. Il XX° secolo non ha solamente arricchito la fisica con teorie nuove e sempre più complesse, ci ha anche mostrato che gli ambiti classici della fisica, cioè la fisica non relativistica e non quantomeccanica, sono più semplici di quello che sembrava. Facciamo alcuni esempi per spiegarlo meglio.

In generale, oggi la meccanica si insegna sostanzialmente nella forma che le diede Newton, cioè come una teoria di azione a distanza. Si dice, per esempio, che un corpo A esercita una forza su un corpo B senza menzionare il ruolo del mezzo che si trova tra A e B (ad esempio una molla o un campo) nella trasmissione di questa forza. Anche nell'elettromagnetismo parliamo ancora come se le interazioni elettriche e magnetiche fossero delle interazioni a distanza. Invece, almeno da Maxwell in poi, si è dell'opinione che le forze siano meglio descritte come fenomeni locali, o di interazione a contatto. Questa concezione non semplifica solo la teoria, è anche concettualmente più facile.

Un altro esempio del fatto che una maggiore considerazione degli sviluppi recenti porta a una semplificazione dell'insegnamento, riguarda il concetto di campo. Ai tempi di Faraday e Maxwell, quando la fisica conosceva ancora l'etere, il campo era un concetto facile da capire: era un particolare stato dell'etere. Dopo l'eliminazione dell'etere il campo divenne un concetto astratto e di difficile comprensione ed è ancora così che viene insegnato al giorno d'oggi. In realtà la moderna teoria dei campi è quasi sul punto di farsi dei campi un'idea ancora più chiara di quella dei tempi di Maxwell: i campi sono strutture, sistemi fisici, che rivendicano un grado di realtà equivalente a quello di altri sistemi, anche materiali. La fisica moderna è quindi vicina all'aver dei campi una rappresentazione concettuale molto concreta.

Come terzo esempio del fatto che la fisica moderna conduce a una rappresentazione semplificata della fisica classica, si noti che esiste tutta una serie di concetti difficili, la cui esistenza era a quel tempo in una certa misura giustificabile, che nel frattempo sono diventati superflui. Tra questi il concetto di forme di energia e in particolare quelli di calore e lavoro.

Un'altra caratteristica del presente metodo d'insegnamento è quella di creare dei punti di collegamento con altre materie. Un esempio lampante è dato dalla termodinamica, dove la coppia di grandezze quantità di sostanza/potenziale chimico è introdotta in connessione con l'altra coppia entropia/temperatura. Si riesce così a mostrare che le reazioni chimiche possono essere trattate con gli stessi mezzi concettuali dei processi meccanici, elettrici e termici.

Negli ultimi anni l'insegnamento della fisica si è arricchito di tutta una serie di nuovi termini, legati soprattutto ai rapidi sviluppi nelle tecniche di informazione e comunicazione. Nel farlo si è spesso misconosciuto che questi argomenti riguardano molto di più che una nuova classe di apparecchi elettronici. La fisica del trasporto e dell'elaborazione dei dati merita un approccio da un punto di vista più vasto di quello strettamente tecnico. Il suo inserimento in modo naturale nel qui presente corso, è reso possibile dall'introduzione di una grandezza che nell'insegnamento tradizionale non appare: la misura di Shannon per la quantità di dati.

2. Fondamenti fisici

2.1 Grandezze estensive

Esiste una classe di grandezze fisiche delle quali è particolarmente facile farsi una rappresentazione concettuale. Le chiamiamo *grandezze estensive* (Falk, 1977, Falk 1979, Schmid 1984). Ne fanno parte la massa, l'energia, la carica elettrica, la quantità di sostanza, la quantità di moto, la quantità di moto angolare, l'entropia e altre ancora. Ognuna di queste grandezze può essere immaginata come una specie di sostanza, o un fluido. Con "immaginata" si intende che, dal punto di vista fisico, è corretto parlarne come si parla di una sostanza. Si può usare lo stesso vocabolario che si usa nel linguaggio comune per esprimere il bilancio delle sostanze.

Una caratteristica che permette di dire se una grandezza X è estensiva, è il suo comparire in un'equazione di bilancio:

$$dX/dt = I_X + \Sigma_X$$

Questa equazione fa un'asserzione relativa a una particolare regione dello spazio. In Fig. 2.1 dX/dt descrive la variazione nel tempo del valore di X all'interno della regione considerata. Anche Σ_X si riferisce all'interno della regione. Questo termine indica quanto della grandezza X viene prodotto rispettivamente annientato, per unità di tempo. I_X per contro, è una grandezza il cui valore si riferisce alla *superficie* della regione dello spazio.

Possiamo dare un'interpretazione più chiara dell'equazione di bilancio, interpretando I_X come l'intensità di una corrente attraverso la superficie della regione in questione (Herrmann 1986). Le variazioni del valore di X hanno quindi due cause: da un lato la produzione rispettivamente annientamento di X all'interno dell'area e dall'altro una corrente attraverso la superficie.

Per alcune grandezze estensive, il termine Σ_X è sempre nullo. Queste grandezze possono variare il loro valore all'interno di una regione dello spazio solo se una corrente fluisce attraverso la superficie. Sono dette *grandezze conservate*. La carica elettrica

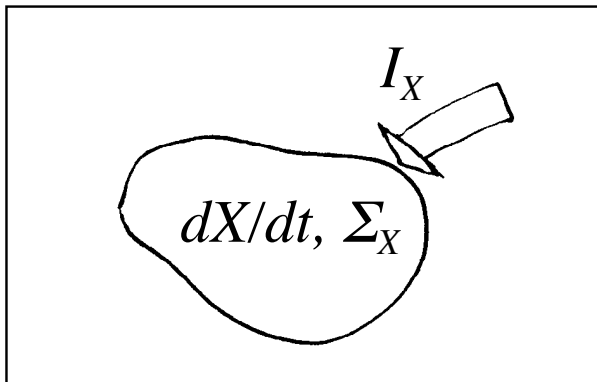


Fig. 2.1 Il valore della grandezza X all'interno del volume delimitato può cambiare grazie a correnti di afflusso rispettivamente deflusso o con produzione rispettivamente annientamento

e l'energia sono grandezze conservate. L'equazione di bilancio per la carica elettrica ha la seguente forma

$$dQ/dt = I$$

dove I è l'intensità di corrente elettrica. Analogamente, per l'energia vale

$$dE/dt = P$$

dove P è l'intensità di corrente d'energia o potenza.

Quindi una grandezza estensiva non deve per forza essere conservata. L'idea di grandezza estensiva è più vasta dell'idea di grandezza conservata. È comunque importante rendersi conto che solo per le grandezze estensive ha senso porre la questione della conservazione. Solo di una grandezza estensiva possiamo dire che è conservata o che non lo è. Per grandezze di altro tipo, come l'intensità del campo elettrico o la temperatura, l'idea di conservazione non ha senso.

Una grandezza estensiva non deve neanche essere necessariamente scalare. Quantità di moto e quantità di moto angolare sono esempi di grandezze estensive vettoriali. Possiamo pensare a una grandezza estensiva vettoriale come a tre grandezze estensive scalari, una per ogni componente del vettore e ognuna con la relativa equazione di bilancio.

L'esigenza per ogni grandezza estensiva di soddisfare un'equazione di bilancio, implica alcune semplici proprietà di queste grandezze:

- Il valore di una grandezza estensiva è riferito a una regione dello spazio.
- A ogni grandezza estensiva è associata un'altra grandezza che possiamo interpretare come intensità di corrente.
- Le grandezze estensive sono additive: se in un sistema A il valore della grandezza X è X_A e nel sistema B X_B , nel sistema composto da A e B la grandezza X avrà valore $X_A + X_B$, Fig. 2.2.
- Le intensità di corrente sono additive: se in una regione fluiscono due correnti dalle intensità rispettive I_{X1} e I_{X2} , allora nella regione fluirà in totale una corrente di intensità $I_{X1} + I_{X2}$.

Queste quattro proprietà descrivono quelle caratteristiche delle grandezze estensive che ne rendono così facile l'uso. Sono la giustificazione del fatto che le grandezze estensive possono essere immaginate come una sostanza. La decisione di pensare a una grandezza X come a una sostanza viene peraltro presa implicitamente, appena il termine I_X nell'equazione di bilancio viene denominato intensità di corrente.

Il fatto di poter parlare di determinate grandezze come si parla di sostanze come l'acqua o l'aria, assume un particolare valore nell'insegnamento.

Quando si conosce una nuova grandezza fisica, solitamente ci si deve adattare al suo contesto verbale: verbi, aggettivi e preposizioni specifiche.

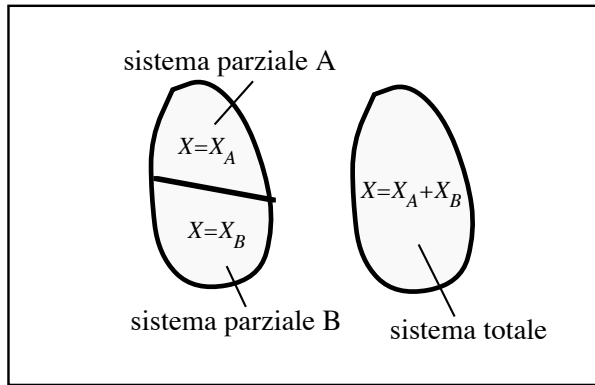


Fig. 2.2. Sull'additività delle grandezze estensive.

Ad esempio nella formulazione di frasi che contengono le grandezze forza, lavoro e tensione, lo spazio di manovra è abbastanza ridotto. Una forza *agisce* o viene *esercitata* su un corpo, il lavoro viene *compiuto*, una tensione *c'è* o *è applicata*.

Per contro, trattando le grandezze estensive ci si può servire di tutti i modi di dire comunemente usati nel riferirsi a sostanze. Così si potrà dire: "un corpo contiene una certa quantità di moto", ma anche "il corpo ha quantità di moto" oppure "c'è una certa quantità di moto nel corpo". Si possono pure utilizzare gli aggettivi *molto* e *poco*: un sistema può avere molta o poca energia (ma non molta o poca temperatura). Si può anche dire che un sistema *non* ha carica o *non* ha quantità di moto per dire che il valore della carica rispettivamente della quantità di moto è uguale a zero. (Per contro non si dovrebbe dire che un sistema non ha potenziale o non ha temperatura). Anche il fluire di una corrente di una grandezza estensiva si può descrivere con termini del linguaggio comune. Si potrà quindi dire che una corrente *fluisce* o *scorre* da A verso B, ma anche che *va* da A a B oppure che *parte* da A e *arriva* in B.

Ogni studente ha dimestichezza con questo linguaggio prima ancora di affrontare per la prima volta un corso di fisica. Mettere in evidenza le caratteristiche di sostanza di queste grandezze è dunque di grande aiuto anche nell'insegnamento.

Nell'insegnamento tradizionale questi vantaggi non sono sempre sfruttati. Solo la massa e la carica elettrica vengono presentate in modo da venire percepite come grandezze estensive. Al contrario energia e quantità di moto vengono solitamente derivate da altre grandezze così che le loro proprietà di grandezza estensiva non appaiono più come evidenti.

Che l'energia di solito non sia immaginata come una sostanza, appare chiaramente dalle seguenti frasi che si usano per descrivere la situazione rappresentata in Fig. 2.3: "Alla piastra destra del condensatore viene fornito lavoro. Così facendo aumenta l'energia potenziale della piastra destra nel campo della piastra sinistra". Lo stesso processo può essere de-

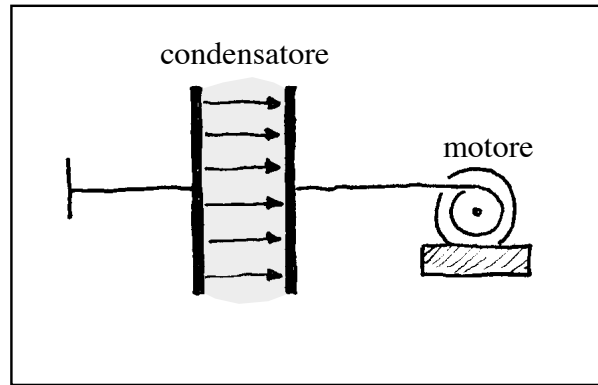


Fig. 2.3. Attraverso la corda e la piastra destra del condensatore, fluisce energia nel campo del condensatore

scritto anche tenendo conto delle caratteristiche di sostanza dell'energia: "nel condensatore fluisce energia attraverso la corda e la piastra destra."

Lo stesso discorso vale anche per la quantità di moto (la *quantitas motus*) come mostra l'esempio raffigurato in Fig. 2.4: "attraverso la corda, sul vagone viene esercitata una forza; in questo modo la quantità di moto del vagone cambia." Riconoscendo le proprietà di grandezza estensiva della quantità di moto, lo stesso processo può essere descritto così: "attraverso la corda, della quantità di moto fluisce nel carrello."

Questi esempi mostrano come la possibilità di crearsi un'immagine semplice di certe grandezze non venga sfruttata. In questo senso l'insegnamento tradizionale ha anche un altro difetto. Ci sono aree della fisica dove le grandezze estensive non vengono nemmeno introdotte: l'ottica e l'acustica o, per dirla in termini moderni, le aree della fisica relative alla tecnica dei dati. La grandezza estensiva adatta alla formulazione di equazioni di bilancio in queste discipline è la misura di Shannon per la quantità di dati. Nell'insegnamento dell'ottica e dell'acustica questa grandezza non ha ancora trovato molto spazio, anche perché i cambiamenti di fondo, in discipline con una così lunga tradizione, sono molto difficili.

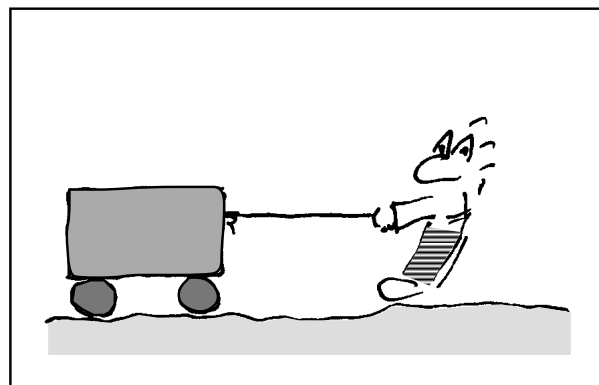


Fig. 2.4. Attraverso la corda fluisce quantità di moto nel carrello.

2.2 Forme di energia e portatori di energia

Il nome della grandezza fisica energia è spesso corredato di aggettivi. Si parla di energia cinetica, potenziale, elettrica, chimica, libera, nucleare, termica e radiante. Questa suddivisione in varie *forme di energia* non si fonda su un vero principio ma è la conseguenza di diversi punti di vista. Alcuni degli attributi definiscono il sistema o l'oggetto che contiene l'energia. Così l'energia radiante non è altro che l'energia (totale) della radiazione raccolta da un occhio, proprio come la carica elettronica è la carica dell'elettrone e con massa solare si intende la massa del Sole. Nella maggior parte dei casi però la suddivisione dell'energia in varie forme ha un proposito di maggiore portata.

La necessità di suddividere l'energia in forme si manifestò già nella metà del XIX° secolo, immediatamente dopo l'enunciazione del concetto di energia. Si giunse alla conclusione che doveva esistere una nuova grandezza fisica, anche se non se ne conoscevano le caratteristiche principali e nemmeno un metodo per misurarne il valore. L'energia si manifestava in vari sistemi e processi ma in modi molto diversi. Che in tutti questi casi si avesse a che fare con la stessa grandezza venne dedotto dall'osservazione che, nei processi, certe combinazioni di altre grandezze fisiche variavano secondo particolari proporzioni. C'erano per così dire tassi di cambio fissi tra queste combinazioni, i cosiddetti equivalenti. Il più conosciuto di questi tassi di cambio era l'*equivalente meccanico del calore*.

Fu una grande realizzazione scientifica riconoscere in queste combinazioni di grandezze fisiche le manifestazioni di un'unica, nuova grandezza. Fu chiamata energia. Da una parte la nuova grandezza aveva la bella proprietà di essere di natura universale. Giocava un ruolo nei più svariati ambiti della fisica creando delle connessioni tra questi ambiti. D'altra parte aveva un difetto: non si manifestava sempre allo stesso modo, come ci si attende da una grandezza fisica normale. Per questo motivo alcuni fisici la consideravano un'utile grandezza matematica e nulla più. In ogni caso sembrò sensato denominare le varie combinazioni di grandezze, che rappresentavano le varie spoglie sotto le quali l'energia si manifestava, forme di energia. L'energia non si presentava in un unico modo ma sempre in una delle sue *forme*. Non possedeva una caratteristica sempre identificabile, il cui valore si potesse determinare in ogni situazione.

Questa interpretazione sopravvisse grosso modo fino alla fine del secolo e, con le conoscenze del tempo, era sicuramente ragionevole. Mostreremo più avanti che, alla luce della fisica del XX° secolo, il concetto di forma di energia diventa superfluo, esattamente come lo sarebbero quelli di forma di entropia o forma di quantità di moto. Ma visto che questo concetto di forma di energia è sopravvissuto fino ai nostri giorni e negli ultimi anni l'insegnamento scolastico lo ha rivalutato, vogliamo ancora

aggiungere alcune osservazioni sulle basi fisiche della suddivisione dell'energia in forme.

Nella suddivisione dell'energia in forme si devono distinguere due procedimenti: l'uno permette di associare una forma all'energia immagazzinata, cioè contenuta in un sistema; l'altro classifica variazioni e flussi di energia. Il primo procedimento conduce a classi come l'energia cinetica, l'energia potenziale, l'energia interna, l'energia elastica (di una molla) ecc. Il secondo porta alle categorie energia elettrica, energia chimica, calore, lavoro, ecc.

Per distinguere le forme di energia a seconda del procedimento usato per definirle, le prime sono dette forme di esistenza o di immagazzinamento, le seconde forme di scambio. Vogliamo illustrare i due procedimenti, cominciando dalle forme di esistenza.

L'energia E di un sistema può sempre essere espressa in funzioni di altre variabili x_1, x_2, x_3 , ecc. Scegliendo in modo appropriato le variabili (Falk 1968, pag. 54), il sistema viene descritto interamente dalla funzione

$$E = E(x_1, x_2, \dots).$$

Questa funzione è detta funzione di Hamilton (nei sistemi meccanici) o potenziale termodinamico (nei sistemi termodinamici). In tutta una serie di sistemi a noi familiari, la funzione si scompone in una somma di termini, ognuno dei quali dipende da variabili che negli altri termini della somma non compaiono (Falk, Ruppel 1976). Ad esempio potrebbe succedere che

$$E(x_1, x_2, x_3) = E'(x_1, x_2) + E''(x_3).$$

Si dice in questo caso che il sistema si scompone in sottosistemi non interagenti.

Ogni qualvolta una scomposizione del genere è possibile, ai vari sommandi possono essere dati dei nomi. In questo modo si ottengono le forme di esistenza di energia. Un esempio concreto è un condensatore in movimento la cui energia totale è data da:

$$E(Q, p) = E_0 + Q^2/2C + p^2/2m.$$

Q è la carica elettrica, C la capacità, p la quantità di moto e m la massa del condensatore. Il primo sommando viene chiamato energia di riposo, il secondo energia del campo elettrico e il terzo energia cinetica.

Constatiamo dunque che le forme di esistenza definiscono semplicemente l'energia contenuta in un sottosistema. Quando è possibile ciò dovrebbe essere sottolineato. La denominazione risulta particolarmente facile se il sottosistema ha già un nome, come per l'energia del campo elettrico nel caso del condensatore. Si parla quindi di *energia del campo elettrico* o dell'*energia nel campo elettrico*.

Veniamo alla definizione delle forme di scambio. L'esperienza ci insegna che in ogni trasformazione

di un sistema da uno stato ad un altro, almeno due grandezze cambiano il loro valore. Ciò è conseguenza della validità della cosiddetta forma fondamentale dell'energia secondo Gibbs (Falk, Ruppel 1976):

$$dE = TdS + \varphi dQ + \mathbf{v}d\mathbf{p} + \mu dn + \dots \quad (2.1)$$

dove T è la temperatura, S l'entropia, φ il potenziale elettrico, Q la carica elettrica, \mathbf{v} la velocità, \mathbf{p} la quantità di moto, μ il potenziale chimico e n la quantità di materia.

La relazione dice tra le altre cose, che ogni variazione d'energia comporta la variazione di almeno un'altra grandezza *estensiva* ($S, Q, \mathbf{p}, n, \dots$). La maggior parte delle grandezze estensive soddisfa i criteri precedenti. In che misura la variazione di una grandezza estensiva influenza la variazione d'energia dipende dalla grandezza *intensiva* corrispondente ($T, \varphi, \mathbf{v}, \mu, \dots$). La grandezza estensiva e quella intensiva che appaiono nello stesso termine della forma fondamentale di Gibbs sono dette *coniugate* o più precisamente: coniugate per l'energia. Ad esempio T e S sono grandezze coniugate così come μ e n , ecc.

Per ogni processo si può scrivere una forma fondamentale. Nei casi più semplici è formata da pochi termini. Quelli diversi da zero al variare dell'energia, permetteranno di parlare di variazione d'energia dell'una o dell'altra forma. Se il termine TdS è diverso da zero diciamo che l'energia varia sotto forma di calore. Il termine φdQ corrisponde all'energia elettrica, il termine $\mathbf{v}d\mathbf{p}$ al lavoro e il termine μdn all'energia chimica.

Adesso possiamo immaginarci ogni variazione di energia della forma $y dX$ come una corrente della grandezza X dal sistema verso l'esterno o viceversa. Ne consegue che anche ogni *corrente* di energia può essere scritta come somma:

$$P = TI_S + \varphi \mathbf{I} + \mathbf{v} \mathbf{F} + \mu I_n + \dots \quad (2.2)$$

L'equazione ci dice che le correnti di energia possono essere suddivise in forme come le variazioni di energia. L'energia fluirà dunque come calore o lavoro, in forma chimica o elettrica, ecc.

L'equazione (2.2) evidenzia un fatto importante ma purtroppo spesso trascurato: quando fluisce energia fluisce sempre almeno un'altra grandezza (estensiva). In parole povere si può dire: "l'energia non fluisce mai sola".

Per quanto sia comprensibile che con le conoscenze del XIX° secolo i singoli termini delle equazioni (2.1) e (2.2) fossero considerati forme di energia e gli apparecchi, che assorbono energia in una forma e la restituiscono in un'altra, dei trasformatori di energia e per quanto infelice possa apparire da un punto di vista moderno, questa concezione non fa che evidenziare il fatto che le varie forme di energia sono grandezze fisiche diverse con la singolare proprietà di poter essere trasformate l'una nell'altra.

Da quando conosciamo la teoria della relatività ristretta, sappiamo che l'energia è una grandezza fisica indipendente e non una grandezza di calcolo "derivata". Parlare di forme di energia appare di conseguenza, da un punto di vista moderno, altrettanto ingiustificato del parlare di varie forme di carica elettrica a seconda che la carica sia portata da elettroni, protoni o muoni (Falk, Herrmann, Schmid 1984). La teoria della relatività ci dice che caratteristiche ha l'energia. Dall'equivalenza massa-energia segue che l'energia ha le stesse proprietà della massa: peso e inerzia. (La teoria della relatività generale ci dice addirittura che peso e inerzia sono la stessa proprietà).

Per distinguere le diverse modalità di trasporto dell'energia descritti dai vari termini dell'equazione (2.2), non è necessario parlare di forme di energia: è sufficiente indicare qual è la grandezza estensiva che fluisce assieme all'energia. Invece di energia sotto forma di calore diciamo che accanto alla corrente di energia c'è anche una corrente di entropia.

L'equazione (2.2) permette di dare una descrizione semplice dei trasporti di energia: chiamiamo la grandezza estensiva che fluisce con l'energia il *portatore di energia*. L'energia è dunque letteralmente portata da entropia, carica elettrica, quantità di moto, quantità di sostanza, ecc. Un flusso del portatore può essere collegato a un flusso di energia più o meno intenso, a seconda del valore della corrispondente grandezza intensiva. Diciamo: il portatore può essere caricato con molta o poca energia.

La grandezza intensiva corrisponde quindi a una *misura di quanto il portatore sia carico di energia*. Negli apparecchi, che nel linguaggio tradizionale si chiamano trasformatori di energia, l'energia cambia semplicemente portatore. Entra nell'apparecchio con un portatore, viene trasferita ad un altro e lascia l'apparecchio con il secondo portatore.

In un corso per principianti non si hanno ancora a disposizione le grandezze estensive. Invece che da grandezze fisiche, il ruolo di portatore d'energia è ricoperto da correnti di sostanze. Così, come portatore d'energia in un tubo di un impianto di riscaldamento centrale, non viene indicata l'entropia ma l'acqua calda. Nel caso di trasporto di energia in un gasdotto, non diciamo che l'energia è portata dalla quantità di sostanza ma dal gas (Falk, Herrmann 1981a, Falk, Herrmann 1981b).

2.3 Strutture nella fisica

Le equazioni (2.1) e (2.2) permettono di riconoscere una struttura sistematica nella costruzione della fisica. I termini di destra in entrambe le equazioni hanno tutti la stessa struttura $y dX$ rispettivamente $y I_X$, dove y è una grandezza intensiva, X una grandezza estensiva e I_X l'intensità della corrente di X . Notiamo così che a ogni termine $y dX$ o $y I_X$ possiamo associare una delle aree classiche della fisica, visto che contiene solo grandezze caratteristiche di

	grandezza estensiva	intensità della corrente	grandezza intensiva
meccanica	quantità di moto p	forza F	velocità v
elettrologia	carica elettrica Q	intensità della corrente elettrica I	potenziale elettrico φ
termologia	entropia S	intensità della corrente di entropia I_S	temperatura T
chimica	quantità di sostanza n	intensità della corrente di materia I_n	potenziale chimico μ

Tabella 2.1. Classificazione delle grandezze fisiche per area della fisica e della chimica

quell'area. Queste correlazioni sono elencate nella tabella 2.1.

Se uno solo dei termini di destra nell'equazione (2.2) è diverso da zero, l'equazione stessa si riduce a:

$$P = yI_X \quad (2.3)$$

Questa relazione descrive un trasporto di energia nell'area corrispondente.

La tabella 2.1 contiene le basi per costruire un'analogia tra le diverse aree della fisica dalla portata molto più vasta di quanto possa sembrare a prima vista. Fornisce una rappresentazione di grandezze fisiche, relazioni, processi, fenomeni e apparecchi. Questa rappresentazione, in un primo tempo riferita unicamente alle strutture matematiche, consiglia di operare nelle varie aree della fisica secondo la stessa concezione. Nel presente corso facciamo ampio uso di questa possibilità. L'aspirazione a una razionalizzazione dell'insegnamento si fonda soprattutto sullo sfruttamento di questa analogia.

Abbiamo visto che in ogni area della fisica citata nella Tab. 2.1, due grandezze estensive ricoprono un ruolo importante: da un lato l'energia e dall'altro la grandezza estensiva caratteristica di quell'area, indicata nella seconda colonna della tabella. Così le due grandezze estensive della meccanica sono energia e quantità di moto, quelle dell'elettrologia energia e carica elettrica. In termologia sono energia e entropia e in chimica energia e quantità di sostanza.

La rappresentazione di queste aree diventa problematica ogni qualvolta si tenti di cavarsela con una sola grandezza estensiva. Ci volle molto tempo perché questo punto di vista si affermasse. Così nella famosa controversia tra cartesiani e leibniziani su quale fosse la vera misura delle forze in meccanica, per dirla in termini moderni, si trattava di stabilire se la grandezza "giusta" fosse la quantità di moto o l'energia cinetica. Si partiva dal presupposto che potesse essere una sola delle due.

Nonostante le due grandezze estensive della termodinamica, cioè energia e entropia, siano conosciute da più di 100 anni, nell'insegnamento si cerca ancora di presentare la maggior parte possibile della termodinamica senza l'entropia. Questa circostanza scoraggiante è il risultato dell'approccio tradizionale alla termologia. Dalla Tab. 2.1 si capisce che questo approccio corrisponde a un'elettrologia che operi senza carica elettrica e senza corrente elettrica

(Fuchs 1986) o a una meccanica dove non esistano né quantità di moto né forza.

Le osservazioni fatte finora mostrano che l'energia in fisica occupa un ruolo centrale. L'energia è altrettanto importante nella meccanica, nella termologia e nell'elettrologia. Esiste però un'altra grandezza che, con l'energia, soddisfa i medesimi requisiti: la quantità di dati - quella grandezza la cui unità di misura è il bit.

Esattamente come distinguiamo i vari tipi di trasporto d'energia a seconda dei *portatori di energia*, possiamo distinguere i trasporti di dati a seconda dei *portatori di dati*. E, così come ogni portatore di energia è caratteristico di un'area della fisica, ogni portatore di dati appartiene a una sola di queste stesse aree. Così un trasporto di dati dove la *luce* funge da portatore sarà caratteristico dell'ottica. Il portatore di dati *suono* corrisponde all'acustica e in elettronica si ha a che fare con l'elettricità come portatore, vedi la Tabella 2.2. Maggiori dettagli sull'analogia tra energia e dati in *Daten und Energie* (Herrmann, Schmäzle 1987).

2.4 I concetti di corrente, spinta e resistenza

Nel paragrafo 2.2 abbiamo visto come possiamo immaginare le grandezze estensive: interpretiamo la grandezza I_X come intensità della corrente del portatore d'energia e la grandezza intensiva y come misura di quanto il portatore è carico di energia.

Consideriamo ora una seconda immagine che possiamo farci delle grandezze intensive. Un'immagine che a dire il vero è molto diffusa e conosciuta, anche se di solito viene utilizzata solo nell'elettrologia. La sua forza però sta nel fatto che può essere applicata con gli stessi vantaggi anche in meccanica, termologia e chimica. La spieghiamo con un esempio familiare preso dall'elettrologia.

Tabella 2.2. Le aree della fisica relative alla tecnica dei dati

	portatore di dati
ottica	luce
acustica	suono
elettronica	elettricità

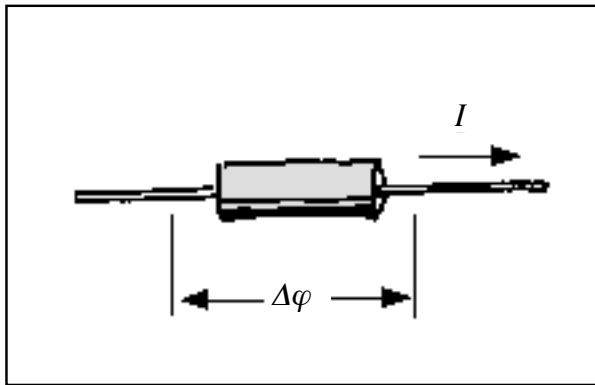


Fig. 2.5. La differenza di potenziale tra le estremità della resistenza viene interpretata come spinta della corrente elettrica.

Una corrente elettrica fluisce attraverso una resistenza, che non deve necessariamente essere ohmica, Fig. 2.5. Già le parole utilizzate per descrivere la situazione si basano sull'immagine che abbiamo di quanto succede: parliamo di una "corrente" quando la grandezza I ha un valore non nullo e chiamiamo "resistenza" una struttura dove viene prodotta entropia. È esattamente questa immagine, usata inconsciamente da ogni fisico, che vogliamo sviluppare trasferendola anche a correnti non elettriche e che vogliamo usare in modo sistematico nel presente corso.

Chiamiamo dunque la grandezza I intensità di corrente della grandezza Q . Il fatto che la corrente che fluisce attraverso la struttura in Fig. 2.5 è tanto più intensa quanto maggiore è la differenza di potenziale $\Delta\varphi$, viene interpretato dicendo che la differenza di potenziale è la "spinta" che genera la corrente. In questo modello la corrente non fluisce spontaneamente perché ostacolata dalla resistenza dell'oggetto che attraversa.

Con l'esempio della resistenza ohmica vogliamo mostrare quanto sia arbitrario questo modello. Per una resistenza ohmica vale:

$$U = R \cdot I.$$

L'equazione dice che U e I sono direttamente proporzionali: una U maggiore corrisponde a una I maggiore oppure una I maggiore corrisponde a una U maggiore. In nessun caso ci dice però quale è causa dell'altra. Non dice che la tensione genera la corrente ma nemmeno che la corrente genera la tensione. Di conseguenza decidere che è la tensione a causare la corrente è puro arbitrio. Il motivo per cui ci sembra più naturale considerare la tensione, e non la corrente, come la causa, dipende dal fatto che è più facile regolare una tensione che non una corrente. Nel caso in cui sia il valore di corrente a essere prestabilito, per esempio utilizzando un generatore stabilizzato, si parla effettivamente di una caduta di tensione "causata" da una corrente.

Malgrado la sua arbitrarietà questo modello ha dei grossi vantaggi per lo studente perché, per capire fenomeni elettrici o per risolvere problemi di elet-

rotecnica, ci si può riferire ai fenomeni dai quali questa immagine è mediata: correnti di liquidi e gas o, più concretamente, di acqua e aria.

Noi ci serviamo di questo modello anche perché, oltre che nell'elettrologia, è utilizzabile anche in meccanica, termologia e chimica.

Il modello di spinta e resistenza è utile per capire sia le grandezze intensive che quelle estensive. In elettrologia è utile soprattutto per una descrizione della grandezza intensiva "potenziale elettrico"; in chimica è usato per introdurre la grandezza intensiva "potenziale chimico". Invece della grandezza intensiva termodinamica, la temperatura, gli studenti hanno già una buona rappresentazione concettuale. In questo caso il modello di spinta e resistenza serve per l'introduzione della grandezza estensiva entropia.

Per permettere agli studenti di acquisire dimestichezza con questo modello, il corso è preceduto da un'unità didattica sulle correnti di liquidi e gas. La maggior parte dei concetti più importanti del corso vengono trattati a fondo già in questo capitolo.

Si noti anche che il modello di spinta e resistenza ben si adatta alla struttura unitaria della fisica citata nel capitolo precedente e contribuisce di conseguenza alla semplificazione del suo insegnamento.

2.5 Relazioni e grandezze più importanti

Per cominciare elenchiamo le grandezze più importanti utilizzate in questo corso.

Grandezze estensive

- energia E
- quantità di moto p
- quantità di moto angolare L
- carica elettrica Q
- entropia S
- quantità di sostanza n
- quantità di dati H

Grandezze intensive

- velocità v
- potenziale elettrico φ
- temperatura T
- pressione p
- potenziale chimico μ

Intensità di corrente

- di corrente d'energia (= potenza) P
- di corrente di quantità di moto (= forza) F
- di corrente elettrica I
- di corrente d'entropia I_S
- di corrente di sostanza I_n
- di corrente di dati I_H

Oltre a queste, vengono introdotte altre grandezze che non rientrano in nessuna delle tre categorie: innanzitutto spazio e tempo; poi alcune costanti del materiale così come grandezze che caratterizzano

Tabella 2.3. Le relazioni più importanti

relazione tra quantità e intensità della corrente	relazione tra corrente di energia e corrente del portatore di energia	capacità	resistenza
$F = p/t$	$P = vF$	$m = p/v$	solo qualitativamente
$I = Q/t$	$P = UI$	$C = Q/U$	$R = U/I$
$I_S = S/t$	$P = TI_S$	$\Delta S/\Delta T$ (senza simbolo)	solo qualitativamente
$I_n = n/t$	$P = (\mu_2 - \mu_1)I_n$	non viene trattata	solo qualitativamente

delle apparecchiature tecniche come la costante della molla k , la resistenza elettrica R e la capacità C .

Le relazioni matematiche in cui appaiono queste grandezze possono essere suddivise in classi sulla base della struttura discussa nei paragrafi precedenti. Ogni relazione all'interno di una classe si ottiene mediante una trasposizione formale di un'altra relazione della stessa classe. La trasposizione consiste nella sostituzione delle grandezze di una riga della Tab. 2.1 con le grandezze di un'altra riga. Solo l'energia e l'intensità della sua corrente non vengono sostituite.

Le relazioni più importanti trattate nel corso sono riassunte in tabella 2.3. In ogni colonna sono raggruppate le relazioni appartenenti alla stessa classe. Ogni riga corrisponde a una delle quattro discipline: meccanica, elettrologia, termologia e chimica, già usate per classificare le grandezze in Tab. 2.1.

Le equazioni della prima colonna descrivono la relazione tra le grandezze estensive e le relative intensità di corrente. In effetti al posto del quoziente tra una grandezza estensiva e il tempo, dovrebbe esserci un quoziente differenziale. Di conseguenza queste equazioni sono valide solo nel caso in cui l'intensità di corrente corrispondente è costante. Nella stessa classe di relazioni rientrano anche le equazioni

$$P = E/t$$

e

$$I_H = H/t$$

che però non appartengono a nessuna delle righe in Tab. 2.3.

Le equazioni della seconda colonna descrivono la relazione tra le intensità del flusso di energia e la corrente della grandezza estensiva che accompagna il flusso di energia. Sono equazioni della stessa forma dell'equazione (2.3), che fissano la scala della grandezza intensiva, che ne spiegano cioè la costruzione dei multipli.

I quozienti in colonna 3 potrebbero genericamente essere definiti delle capacità in quanto hanno tutti la stessa struttura della capacità elettrica. Così la massa si può interpretare come la capacità di quantità di

moto di un corpo. A una velocità data, un corpo contiene tanta più quantità di moto quanto maggiore è la sua massa. Per la *capacità di entropia* $\Delta S/\Delta T$ non viene utilizzato nessun simbolo specifico anche se la grandezza è tecnicamente importante: è la misura della capacità di un corpo di immagazzinare calore.

La relazione tra corrente e spinta in processi dissipativi, colonna 4, viene trattata solo in modo qualitativo, con l'eccezione della legge di Ohm: più grande è la spinta, maggiore sarà l'intensità della corrente.

2.6 La scala delle grandezze più importanti

Quando si introduce una nuova grandezza fisica devono esserne fissati i multipli dell'unità. Il procedimento di definizione di una scala, cioè dei multipli, è sostanzialmente lo stesso per tutta una serie di grandezze. In particolare, ognuna delle tre classi di grandezze discusse nel paragrafo precedente ha il proprio procedimento per la definizione di una scala. Ci limiteremo qui alla discussione di queste tre classi.

Generare dei multipli di una grandezza estensiva è, perlomeno concettualmente, banale. Per produrre il doppio, triplo, ecc. del valore di una grandezza estensiva dobbiamo solo realizzare due, tre, ecc. versioni di tutto il sistema. Se vogliamo aumentare il valore di una grandezza estensiva in un sistema di 1, 2, ... n unità, allora dobbiamo trasferire al sistema 1, 2, ... n unità della grandezza in questione. Questo trasferimento in molti casi è molto semplice - come nel caso della carica elettrica, ad esempio utilizzando un cucchiaino di Faraday, Fig. 2.6 - in altri tecnicamente complesso, come nel caso dell'energia.

Per definire i multipli delle intensità di corrente, consideriamo una corrente che attraversi un conduttore dall'estensione laterale ben delimitata. Inoltre nel conduttore non devono esserci sorgenti o scariche della corrente. Per ottenere nel conduttore considerato dei multipli di una certa intensità, sfruttiamo la regola dei nodi: facciamo confluire in un nodo 1, 2, ... n correnti, ognuna di intensità unitaria. In Fig. 2.7 è raffigurato l'esempio di una corrente elettrica, in Fig. 2.8 quello di una forza, cioè di una corrente di quantità di moto.

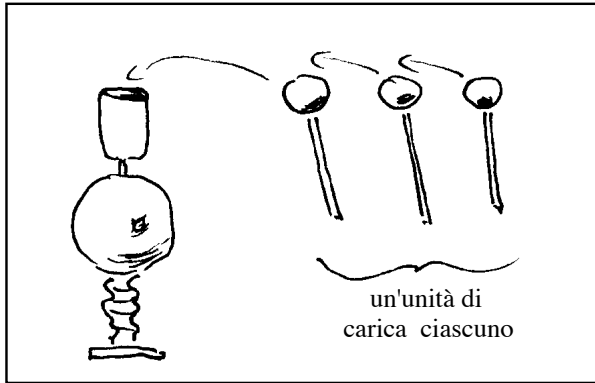


Fig. 2.6. La carica elettrica della sfera viene aumentata di tre unità.

La definizione di una scala per le grandezze intensive è più complicata e passa, come già accennato, per le equazioni in colonna 2 della tabella 2.3. Ci riferiamo nuovamente all'esempio dell'elettricità. Confrontiamo due circuiti elettrici A e B, Fig. 2.9. L'intensità di corrente elettrica sia la stessa in entrambi. Ora, se nel circuito A la corrente d'energia è due volte più intensa che nel circuito B, allora anche la tensione A è doppia della tensione B.

Anche se la determinazione della scala per una grandezza rappresenta un passo importante nella definizione della grandezza stessa, consigliamo di non dedicare troppo spazio alla questione in un corso per scuole secondarie, in quanto la costruzione di multipli è quasi sempre o banale o difficile.

3. Bibliografia

FALK, G.: Theoretische Physik, Band II. Springer Verlag, Berlin (1968).

FALK, G.: Was an der Physik geht jeden an? Phys. Blätter 33, 616 (1977).

FALK, G.: Die begriffliche Struktur der Physik. Konzepte eines zeitgemäßen Physikunterrichts, Heft 3, Pag. 7. Hermann Schroedel Verlag KG, Hannover (1979).

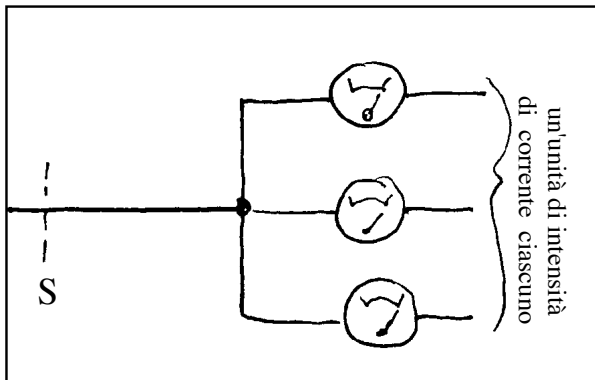


Fig. 2.7. Attraverso la sezione S fluiscono tre unità di intensità di corrente elettrica.

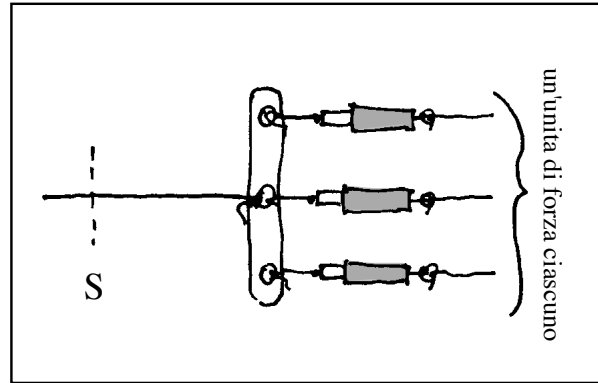


Fig. 2.8. Attraverso la sezione S fluiscono tre unità di intensità di corrente di quantità di moto.

FALK, G., HERRMANN, F.: Neue Physik - das Energiebuch. Hermann Schroedel Verlag KG, Hannover (1981a).

FALK, G., HERRMANN, F.: Neue Physik - das Energiebuch, Lehrenheft. Hermann Schroedel Verlag KG, Hannover (1981b).

FALK, G., HERRMANN, F., SCHMID, G.B.: Energy forms or energy carriers? Am. J. Phys. 52, 794 (1984).

FALK, G., RUPPEL, W.: Energie und Entropie. Springer Verlag, Berlin (1976).

FUCHS, H.: A surrealistic tale of electricity. Am. J. Phys. 54, 907 (1986).

HERRMANN, F., SCHMÄLZLE, P.: Daten und Energie. J.B. Metzler und B.G. Teubner, Stuttgart (1987).

HERRMANN, F.: Is an energy current energy in motion? Eur. J. Phys. 7, 198 (1986).

SCHMID, G. B.: An up-to-date approach to physics. Am. J. Phys. 52, 794 (1984).

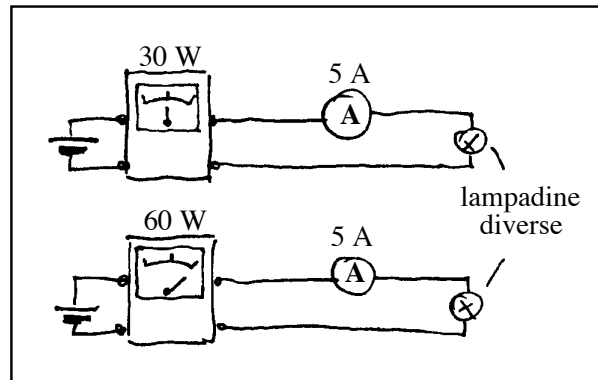


Fig. 2.9. L'intensità P della corrente di energia è doppia nel dispositivo inferiore che in quello superiore, l'intensità I della corrente elettrica è uguale. La scala della tensione U è fissata in modo che in entrambi i casi valga $P = UI$.

B. Osservazioni

1. Energia e portatori di energia

1. L'energia come grandezza estensiva

L'energia viene introdotta come una grandezza dalle caratteristiche estensive. Parliamo dell'energia come parliamo di una sostanza. L'uso dell'energia risulta facilitato rispetto alla normale derivazione attraverso il concetto di lavoro.

2. Grandezze fisiche o sostanze come portatori di energia?

L'introduzione dei portatori di energia è una conseguenza della legge secondo la quale in ogni trasporto di energia è coinvolta almeno un'altra grandezza estensiva. Quando si tratta di trasporto di energia meccanica è la quantità di moto, per l'energia elettrica la carica elettrica, per quella termica l'entropia e per quella chimica la quantità di sostanza. Abbiamo proposto di chiamare portatori di energia queste grandezze che accompagnano la corrente di energia.

Per non appesantire un corso per principianti con l'introduzione di un gran numero di nuove grandezze fisiche, non designiamo queste grandezze come portatori di energia ma le sostituiamo con sostanze che le contengano. Così invece di entropia si parla in un primo momento dei portatori di energia "acqua calda" o "aria calda" o dei portatori di energia "benzina" o "gasolio" invece di quantità di sostanza.

3. La quantità di moto angolare come portatore di energia

Così come la forza può essere interpretata come intensità della corrente di quantità di moto, possiamo interpretare il momento meccanico come intensità della corrente di quantità di moto angolare. Quindi l'equazione

$$M = dL/dt$$

(M = momento meccanico, L = quantità di moto angolare) afferma quanto segue: la variazione nel tempo del momento meccanico di un corpo equivale all'intensità della corrente di quantità di moto che fluisce nel corpo stesso.

4. Portatori di energia del tipo "vuoto a rendere" e del tipo "vuoto a perdere"

La distinzione tra portatori di energia del tipo "vuoto a rendere" o "vuoto a perdere" non ha nessun profondo significato fisico. La facciamo solamente perché rappresenta un buon esercizio nella distinzione del percorso dell'energia dal percorso del portatore di energia. Si nota facilmente come ogni trasporto del tipo "vuoto a rendere" può essere trasformato in un trasporto del tipo "vuoto a perdere" e viceversa. Si potrebbe per esempio far rifluire nel compressore l'aria che fuoriesce da un martello pneumatico. In questo modo diventerebbe un portatore di energia del tipo "vuoto a rendere".

Introduciamo la quantità di moto angolare come portatore del tipo "vuoto a rendere". Nella maggioranza dei casi ciò è giustificato, ad esempio considerando un motore che aziona una pompa, entrambi montati sullo stesso basamento o supporto. La quantità di moto angolare fluisce dal motore alla pompa attraverso l'albero motore e, attraverso il basamento o il supporto, torna dalla pompa al motore.

Nel caso di un ventilatore azionato da un motore, non è così. La quantità di moto angolare viene trasmessa dal motore alle pale del ventilatore attraverso l'albero motore, da lì viene dispersa nell'aria, va a terra in modo difficilmente controllabile e infine torna al motore. In questo caso propenderemmo per definire la quantità di moto angolare come portatore del tipo "vuoto a perdere". Abbiamo però tralasciato queste sottili differenze.

2. Correnti di liquidi e gas

1. Correnti di aria e acqua come modelli di correnti di grandezze fisiche.

In questo capitolo vengono introdotti concetti e strutture che nel seguito del corso sono usati di continuo.

L'oggetto della riflessione - correnti di aria e acqua - è molto familiare agli studenti. Non solo l'acqua si può vedere, ma spesso si può addirittura riconoscere a occhio nudo se sta scorrendo. Anche delle correnti d'aria gli studenti hanno un'idea ben chiara.

Mentre qui consideriamo correnti di sostanze, le correnti di cui si parlerà nel prosieguo del corso saranno concetti molto più astratti, si tratta delle correnti di grandezze fisiche. Più tardi i concetti e le relazioni introdotti in questo capitolo si potranno applicare facilmente alle correnti di grandezze fisiche. In particolare, anche le rappresentazioni che gli studenti si faranno dei processi qui discussi dovranno essere applicate alle correnti di grandezze fisiche.

2. Concetti di base per le lezioni future

I concetti e le relazioni seguenti compariranno molte volte nel corso:

- *Intensità di corrente.* La quantità di una sostanza o di una grandezza fisica estensiva che fluisce in un punto determinato in un certo intervallo di tempo, divisa per quell'intervallo di tempo.
- *Spinta.* Differenza dei valori di una grandezza intensiva. Maggiore è la spinta, più grande sarà l'intensità di corrente.
- *Resistenza.* Una proprietà del conduttore. Dipende da lunghezza e sezione.
- *Equilibrio.* Stato nel quale non fluisce nessuna corrente anche in presenza di un collegamento; non c'è spinta.
- *Regola dei nodi.* Forma dell'equazione di bilancio nel caso in cui non ci siano né sorgenti né scarichi.
- *Regola delle maglie.* A ogni punto di un conduttore può essere associato un valore della grandezza intensiva.
- *Portatore di energia.* La corrente di una sostanza o di una grandezza estensiva è associata a una corrente di energia.

3. La misura quantitativa di correnti d'aria e acqua

La grandezza usata come misura della quantità dei liquidi e dei gas considerati, è il volume. Parliamo comunque di correnti di acqua o aria e non di correnti di volume in quanto la grandezza corrente di volume non esiste.

4. Le correnti di materia hanno più di una spinta.

Visto che con una corrente di materia fluisce anche tutta una serie di grandezze fisiche, c'è anche tutta una serie di spinte all'origine di una corrente di materia. Per ogni grandezza estensiva che fluisce con la materia c'è una corrispondente grandezza intensiva, e un gradiente di quest'ultima può avere come conseguenza un flusso della materia. Così, un liquido non scorre solamente a causa di una differenza di pressione ma anche, per esempio, a causa di una differenza di potenziale gravitazionale, in altre parole: scorre spontaneamente dall'alto verso il basso. Per motivi di chiarezza in questo capitolo verranno considerate solo situazioni dove le spinte diverse dalla differenza di pressione non hanno nessuna influenza.

5. La pressione come grandezza indipendente

La pressione non è ricondotta alla forza come viene fatto comunemente ("pressione uguale forza fratto superficie") anche perché delle due grandezze, forza e pressione, la forza è sicuramente quella che crea maggiori difficoltà. A rendere difficile il concetto di forza sono le questioni di segno e direzione e, strettamente connessi, i concetti di forza contraria ed equilibrio di forze. Sotto questo aspetto la pressione è più semplice. È, quantomeno nei nostri esempi, uno scalare il cui valore si riferisce a un punto dello spazio. Non c'è bisogno di specificare chi esercita una pressione su chi (come invece si fa con le forze). Nei nostri casi di correnti di gas e liquidi, i valori della pressione sono addirittura sempre positivi.

3. Quantità di moto e correnti di quantità di moto

1. Quantità di moto sin dall'inizio

Nella struttura della fisica che sta alla base del presente corso, la meccanica viene caratterizzata come quell'area della fisica che tratta della grandezza estensiva quantità di moto e delle sue correnti. Da questo punto di vista appare logico cominciare il corso trattando le grandezze p e F .

Questo modo di procedere è molto diverso da quello della didattica tradizionale dove la forza viene sì introdotta molto presto, ma dove di quantità di moto si parla, se lo si fa, molto più tardi. Dal nostro punto di vista questo procedimento appare incomprensibile: si opera con la corrente di qualcosa senza fare la minima affermazione su ciò che fluisce.

Il nostro procedimento non ha come unica conseguenza il fatto che alcuni fenomeni della meccanica vengano interpretati diversamente, che altre immagini vengano utilizzate per spiegarli; ha pure come conseguenza il fatto che altri fenomeni diventino oggetto di osservazione. I fenomeni normalmente attribuiti alla dinamica hanno un ruolo più importante nel nostro corso rispetto all'insegnamento tradizionale.

2. La forza come intensità della corrente di quantità di moto

L'interpretazione della grandezza F come intensità della corrente di quantità di moto ha le sue basi storiche nel periodo in cui si cominciò a considerare la quantità di moto come una grandezza indipendente: attorno all'inizio del XX° secolo. A nostra conoscenza è di Planck (1908). La si ritrova poi in numerose pubblicazioni negli anni successivi (ad esempio Weyl 1924). Il definitivo riconoscimento della quantità di moto come grandezza indipendente si può far risalire alla pubblicazione della teoria della relatività generale. Nel tensore energia-impulso la quantità di moto compare come sorgente del campo gravitazionale, assieme all'energia e alle densità di corrente di energia e di corrente di quantità di moto.

Che p sia più di una semplice abbreviazione del prodotto mv si deduce anche dall'esistenza di sistemi nei quali la quantità di moto non è calcolata secondo questa formula. Un esempio è il campo elettromagnetico. La densità di quantità di moto è data dalla seguente formula

$$\rho_p = \mathbf{E} \times \mathbf{H} / c^2,$$

dove \mathbf{E} e \mathbf{H} rappresentano rispettivamente l'intensità del campo elettrico e magnetico.

Seppure l'idea che F sia l'intensità della corrente di quantità di moto abbia ormai quasi 100 anni, non si è ancora affermata del tutto. Si può trovare in molti testi scolastici moderni di fisica (Landau, Lifschitz 1959; Gerthsen, Kneser, Vogel 1977) ma unicamente come osservazione per un livello avanzato. Che questa interpretazione possa essere capita anche da un principiante e che la fisica, grazie a lei, diventa addirittura più facile sembra, non essere mai stato preso in considerazione.

Naturalmente una reinterpretazione della meccanica in questo senso si trova confrontata all'inerzia di una delle tradizioni più consolidate della fisica.

3. Correnti di quantità di moto conduttive e convettive

L'equazione di bilancio per la quantità di moto

$$\frac{dp}{dt} = I_p$$

dice che la variazione nel tempo dp/dt della quantità di moto all'interno di una regione dello spazio è uguale all'intensità I_p della corrente di quantità di moto attraverso la superficie della regione stessa.

L'intensità della corrente di quantità di moto I_p si può suddividere in due componenti: la componente F , tradizionalmente chiamata forza, e una componente $\mathbf{v} \cdot \mathbf{I}_m$ che appare solo se nella regione dello spazio fluisce una corrente di massa. \mathbf{I}_m è l'intensità della corrente di massa. È quest'ultimo termine ad essere responsabile dell'accelerazione di un razzo. Visto che è associato a una corrente di massa, lo possiamo considerare una corrente di quantità di

Tabella 3.1. Traduzione degli assiomi di Newton nel linguaggio della corrente di quantità di moto

	formulazione tradizionale	formulazione nel modello di corrente di quantità di moto
1° assioma di Newton	Un corpo sul quale non agisce nessuna forza, resta fermo oppure si muove di moto rettilineo uniforme.	La quantità di moto di un corpo al quale non affluisce e dal quale non defluisce nessuna corrente di quantità di moto, non cambia.
2° assioma di Newton	La variazione nel tempo dp/dt della quantità di moto di un corpo è uguale alla forza F che agisce sul corpo: $F = dp/dt$	La variazione nel tempo dp/dt della quantità di moto di un corpo è uguale all'intensità F della corrente di quantità di moto che fluisce nel corpo: $F = dp/dt$
3° assioma di Newton	Se un corpo A esercita un forza F su un corpo B, allora il corpo B esercita su A la forza $-F$ di uguale valore ma di direzione opposta.	Se da un corpo A fluisce una corrente di quantità di moto in un corpo B, allora l'intensità della corrente all'uscita da A è la stessa che all'entrata in B.

moto "convettiva" e, analogamente, la componente F una corrente di quantità di moto "conduttiva".

Le due componenti si distinguono nel loro comportamento in caso di cambiamento del sistema di riferimento. La componente convettiva cambia il suo valore, quella conduttiva no. Nel sistema di riferimento dove la velocità v del termine $v \cdot I_m$ è uguale a zero, è nulla pure la corrente di quantità di moto convettiva. Per un osservatore che si muove in un getto d'acqua alla stessa velocità dell'acqua, il getto non trasporta quantità di moto. Ovviamente anche la corrente di massa è nulla.

4. Le leggi di Newton nel modello di corrente di quantità di moto

La tabella 3.1 contiene la traduzione delle leggi fondamentali di Newton nel linguaggio della corrente di quantità di moto. Constatiamo che tutte e tre le leggi, parte destra della tabella, sono formulazioni diverse della conservazione della quantità di moto.

Visto che nel nostro corso la conservazione della quantità di moto è presupposta sin dall'inizio, trattare gli assiomi di Newton non è neppure necessario.

Procediamo esattamente così come si fa in elettrologia con la carica elettrica, la cui conservazione è presupposta sin dall'inizio.

5. La relazione $p = mv$

A lezione, la relazione $p = mv$ viene trattata abbastanza tardi. Gli studenti devono prima farsi un'idea della quantità di moto. Si vuole così evitare che pensino che p sia solo un'abbreviazione del prodotto mv o che il valore di p si possa determinare solo attraverso i valori di m e v .

La relazione corrispondente a $p = mv$ in elettricità è $Q = CU$. È ovvio che questa equazione non può essere usata per definire la carica elettrica. Ci dice semplicemente che la tensione tra le placche di un condensatore è proporzionale alla carica presente sulle placche. Inoltre definisce la capacità come coefficiente di proporzionalità tra Q e U . Analogamente l'equazione $p = mv$ ci dice che la velocità di un corpo è proporzionale alla sua quantità di moto e che la massa è il coefficiente di proporzionalità tra p e v .

6. I nomi delle grandezze p e F

Per la grandezza p vengono comunemente usati due nomi: "impulso" e "quantità di moto".

Il nome "impulso" ha il vantaggio di essere breve. La brevità è importante in locuzioni del tipo "corrente d'impulso" o "intensità della corrente d'impulso". Questo nome ha però uno svantaggio: suggerisce che la grandezza abbia a che fare con un fenomeno repentino, improvviso. Nel linguaggio comune è usato con il significato di "dare una spinta" ("...diede nuovo impulso alla discussione.") Una conseguenza è che lo studente associa fin troppo facilmente l'impulso agli urti: fenomeni nei quali le

variazioni di impulso avvengono in tempi così brevi che è meglio non porsi domande sul decorso esatto del processo.

Il nome "quantità di moto" deriva dal nome che Descartes diede alla grandezza p : "quantitas motus". Descartes considerava la grandezza da lui introdotta come misura del moto. Il termine "quantità di moto" coincide con la definizione di Descartes e con la concezione moderna di p .*

Il termine "forza" ovviamente non può essere mantenuto. È troppo in contrasto con la nostra intenzione di descrivere la grandezza F come intensità di corrente della grandezza p .

Se avessimo libera scelta nei nomi delle grandezze p e F , chiameremmo p "quantità di moto" e F "intensità di corrente meccanica" (in analogia all'intensità di corrente elettrica I).

7. L'unità di misura della quantità di moto

Nella presente esposizione della fisica lo studente deve farsi una propria rappresentazione concettuale delle grandezze estensive. Non deve pensarle come grandezze dipendenti da altre. Non sarebbe nel rispetto di questo principio usare un'unità di misura composta, cioè il prodotto o il quoziente di altre unità di misura. Visto che secondo il *Système International* la quantità di moto e l'entropia non hanno una loro unità di misura, per queste due grandezze ne introduciamo di nostre, compatibilmente con il sistema SI: per la quantità di moto l'huygens (Hy), dove $1 \text{ huygens} = 1 \text{ newton} \cdot \text{secondo}$ e per l'entropia il carnot (Ct), con $1 \text{ carnot} = 1 \text{ joule/kelvin}$.

Nel corso sottolineiamo per contro volentieri che le correnti delle grandezze estensive sono della grandezza composte: la quantità che fluisce in un determinato punto per unità di tempo. Nei casi in cui queste intensità di corrente hanno una propria unità di misura, in particolare $J/s = W$, $C/s = A$ e $Hy/s = N$, occasionalmente usiamo di proposito l'unità di misura composta. Diremo ad esempio: "attraverso la corda fluisce una corrente di quantità di moto di 15 huygens al secondo, cioè di 15 newton", oppure: "ogni secondo attraverso il filo fluiscono 2 coulomb, l'intensità della corrente è quindi di 2 coulomb al secondo o di 2 ampère."

Si tenga presente che la distinzione tra grandezze fondamentali e grandezze composte non ha motivazioni fisiche. È esclusivamente la conseguenza di considerazioni didattiche.

* NdT: nell'originale tedesco si è optato per il termine "Impuls" pur sottolineando come "Bewegungsmenge", che in tedesco non esiste ed è la traduzione letterale di "quantitas motus", sarebbe stato più adatto. Per questo motivo abbiamo optato per l'uso di "quantità di moto", malgrado lo svantaggio di non essere composto da una sola parola.

8. Il carattere estensivo della quantità di moto

Un obiettivo didattico importante del paragrafo 3.2 è la comprensione del fatto che la quantità di moto ha carattere estensivo, che i corpi in movimento contengono per l'appunto una certa quantità di moto. Quasi tutti i ragionamenti e gli esperimenti del paragrafo 3.2 servono a questo scopo. In tutti gli esperimenti è richiesto il bilancio della quantità di moto.

Ovviamente già dalla domanda "dove è andata la quantità di moto?" consegue che la quantità di moto ha carattere estensivo. E il docente potrebbe chiedersi: non sarebbe più bello lasciare che gli studenti scoprano da soli il carattere estensivo della nuova grandezza? Questo obiettivo sarebbe però molto più difficile da raggiungere. Storicamente ci sono voluti un paio di secoli prima che si arrivasse a questa consapevolezza. Normalmente nemmeno per le altre grandezze, ad esempio per la massa o la carica elettrica, si procede in questo modo. Il docente parla sin dall'inizio di queste due grandezze come si parla di grandezze estensive. È molto improbabile che gli studenti scoprirebbero da soli il carattere estensivo della carica elettrica.

9. Sul metodo didattico

Un'osservazione sul metodo didattico. Per alcuni esperimenti consigliamo di procedere nel modo seguente: innanzitutto l'esperimento viene eseguito. Poi gli studenti vengono invitati a descrivere quello che si *osserva*. Devono farlo parlando delle velocità dei corpi coinvolti, ad esempio: "Un corpo si muove verso destra, l'altro è fermo; poi si scontrano; poi si muovono entrambi ecc." Quindi gli studenti vengono pregati di *spiegare* l'esperimento. Con questo si intende che devono raccontare cos'è successo alla quantità di moto. Dunque, si osserva il moto e lo si spiega con la quantità di moto.

Molto più tardi nel corso procederemo allo stesso modo: in terminologia. La descrizione delle osservazioni consisterà in affermazioni sulla temperatura, la spiegazione nella stesura del bilancio dell'entropia.

10. Termini del linguaggio comune relativi alla quantità di moto

Nell'introduzione della quantità di moto si può procedere in questo modo: si chiedi agli studenti di elencare delle parole o delle definizioni che descri-

vano ciò che è *contenuto* in un corpo massiccio che si muove a velocità elevata, ad esempio un autotreno che viaggia in autostrada a 100 km/h. Si dirà poi agli studenti che quella grandezza è ciò che in fisica viene chiamato quantità di moto. Per esperienza sappiamo che oltre a parole come "spinta", "slancio" o "potenza", gli studenti diranno anche "forza".

In nessun caso si dovrebbe rifiutare questa risposta definendola sbagliata o non appropriata. Si dovrebbe piuttosto sottolineare che la parola "forza" nel linguaggio comune non è usata in modo uniforme. In realtà il suo significato comune corrisponde solo a volte con la grandezza F della fisica. A volte coincide anche con l'energia cinetica, a volte con la corrente di energia meccanica e spesso si può effettivamente applicare molto bene alla quantità di moto.

Lo si capisce anche dall'uso di questa parola nella storia della fisica. Nella famosa discussione tra cartesiani e leibniziani sulla scelta di mv o di mv^2 come "giusta" grandezza, si era alla ricerca della "misura della forza", come si diceva all'epoca.

11. La misurazione della quantità di moto

In Fig. 3.1 è rappresentato un esperimento per la misurazione della quantità di moto. Il corpo C, di cui vogliamo misurare la quantità di moto, si muove verso destra. Dalla destra si avvicinano i corpi E_1, E_2, \dots , ognuno dei quali porta un'unità di quantità di moto negativa. I corpi E_i compiono un urto anelastico con C, cioè ogni corpo E_i urta C e vi resta agganciato. Il procedimento di misurazione è il seguente: si fanno urtare il corpo C e i corpi unitari finché C si ferma. Il numero di corpi unitari che in quel momento sono agganciati a C, equivale al numero di unità di quantità di moto che il corpo C aveva prima del primo urto.

L'esperimento si può realizzare in questo modo (Herrmann, Schubart 1989): il corpo C è una slitta che scivola su una rotaia a cuscinio d'aria. I corpi unitari sono proiettili di fucile ad aria compressa che vengono sparati in modo pneumatico contro C. Su C si trova un raccoglitore di proiettili. A causa della sua pericolosità, l'esperimento è però poco adatto a una lezione scolastica. Si può comunque semplicemente discuterne il procedimento.

Crediamo comunque che la descrizione di questo procedimento sia superflua in quanto gli esperimenti-

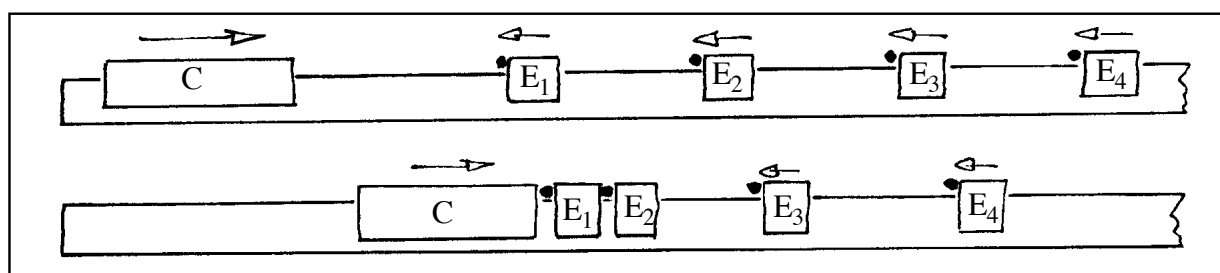


Fig. 3.1. Esperimento per la misurazione della quantità di moto

ti sugli urti del paragrafo 3.2 in sostanza contengono in modo implicito un metodo di misurazione della quantità di moto. In particolare permettono di stabilire l'uguaglianza e i multipli dei valori di quantità di moto.

12. Il ruolo dell'attrito

Nella meccanica classica l'attrito è un fenomeno indesiderato. Non si adatta alla meccanica classica perché connesso a produzione di entropia e conduce quindi a forze non conservative.

Senza attrito la forza è proporzionale all'accelerazione. I fisici sono così abituati alla meccanica senza attrito, che alcuni di loro tendono a credere che la frase "la forza è proporzionale alla velocità" sia sbagliata e che solo la frase "la forza è proporzionale all'accelerazione" sia corretta.

In realtà ovviamente l'una e l'altra possono essere vere. La diffamazione della relazione $F \sim v$ da parte della meccanica del secolo scorso, che non è mai venuta a capo della produzione di entropia, è deplorabile soprattutto perché si ripercuote ancora al giorno d'oggi sull'insegnamento della fisica. Al massimo la relazione $F \sim v$ è meno fondamentale di $F \sim a$ nella misura in cui la sua validità dipende da caratteristiche materiali. All'analogia relazione elettrica $I \sim U$ non è per questo attribuito un ruolo di secondo piano rispetto a $I = dQ/dt = CdU/dt$ (la relazione tra I e U in un condensatore).

Trattiamo dunque l'attrito come un normale e non necessariamente indesiderato fenomeno meccanico. Può succedere che lo si voglia escludere. In quel caso useremo una rotaia a cuscinio d'aria o macchine ben lubrificate esattamente come usiamo fili di rame per eliminare "l'attrito elettrico".

13. Il concetto di attrito di stacco

Nella meccanica usiamo la parola attrito per descrivere un processo dissipativo, un processo durante il quale una corrente di quantità di moto porta alla produzione di entropia. Consideriamo tipica dell'attrito la produzione di entropia e usiamo volentieri la parola "attrito" anche in senso figurato, come quando una corrente elettrica attraversa un resistore.

Naturalmente in questa rappresentazione non si può parlare di attrito di stacco. Al contrario del comune attrito, l'attrito di stacco non è neppure un processo, di certo non un processo con produzione di entropia.

Dal punto di vista fisico la situazione in cui due corpi sono agganciati non è diversa da quella di due corpi incollati o saldati. Il punto dove i corpi si toccano è fisicamente equivalente a un punto di rottura teorico: il punto di collegamento attraversato da una corrente di quantità di moto, che si rompe se la corrente diventa troppo forte.

14. Correnti di quantità di moto senza resistenza

Paragoniamo gli oggetti solidi a dei superconduttori elettrici in quanto conducono la quantità di moto senza resistenza: non diciamo però che *sono* dei superconduttori di quantità di moto. In elettrodinamica peraltro il termine superconduttore non significa unicamente un conduttore di resistenza zero (prima equazione di London). Vale anche che in un superconduttore il campo magnetico si annulla (effetto Meißner-Ochsenfeld, seconda equazione di London).

15. Sull'introduzione della velocità

La velocità non viene introdotta con una definizione che la riconduca a spazio e tempo. Ci sono due motivi per non farlo. Primo perché sembrerebbe innaturale dare una definizione abbastanza complessa di una grandezza di cui tutti hanno un'idea ben chiara. Secondo perché, non essendo ancora conosciuto il quoziente differenziale, la velocità potrebbe essere definita solo nel caso particolare in cui è costante nel tempo. Il nostro procedimento si può riassumere così: la velocità è quella grandezza che ci dice quanto in fretta si sta muovendo un oggetto. È quella grandezza che si misura con il tachimetro. Nel caso particolare in cui v è costante, c'è una relazione semplice tra la velocità v , lo spazio percorso s e il tempo t impiegato per percorrere questo spazio, e cioè $v = s/t$.

16. La velocità media

Al concetto di velocità media non viene attribuita importanza maggiore che ad altre medie come la posizione media, la corrente elettrica media, l'energia media...

17. L'analogia tra correnti di quantità di moto e correnti d'acqua

Per illustrare i bilanci di quantità di moto ci serviamo occasionalmente di un paragone. La quantità di moto di un corpo corrisponde alla quantità d'acqua in un contenitore e la velocità corrisponde al livello dell'acqua, alla sua profondità nel contenitore. Questa analogia è altrettanto valida di altre analogie usate durante il corso.

Definiamo l'analogia mediante la tabella 3.2. Dietro l'altezza h del livello dell'acqua si cela a dire il vero il potenziale gravitazionale, cioè gh .

Dalla relazione $p = mv$ valida per la colonna di sinistra otteniamo, mediante una trasposizione formale nel sistema della colonna di destra, l'equazione $V = A \cdot h$.

Questo "modello del contenitore d'acqua" è probabilmente la realizzazione più semplice della struttura che compare continuamente nelle varie aree della

Tabella 3.2. Sull'analogia tra correnti di quantità di moto e correnti d'acqua

corpo		Recipiente d'acqua con le pareti verticali
massa	m	Superficie A del fondo del recipiente
quantità di moto	p	Quantità d'acqua V nel recipiente (p. es. in litri)
velocità	v	Altezza h della superficie dell'acqua rispetto al fondo del recipiente

fisica. È così perfetta e comprensibile che si sarebbero tentati dall'utilizzarla il più spesso possibile nelle lezioni.

Un esempio: una slitta che urta in modo anelastico contro due altre slitte, corrisponde a un contenitore pieno d'acqua che viene collegato a due contenitori vuoti, in modo tale che alla fine i livelli d'acqua si uguagliano.

In ogni caso non si dovrebbe esagerare nell'uso di analogie come questa. La struttura della fisica è sicuramente un obiettivo didattico importante. Altrettanto importanti sono però i fenomeni, e il loro studio potrebbe essere svantaggiato se durante le lezioni si dedicasse troppo tempo alla struttura.

I seguenti confronti non sono pensati per le lezioni. Servono piuttosto a permettere al docente di familiarizzarsi con l'immagine della quantità di moto come grandezza estensiva.

A un corpo in caduta libera affluisce una corrente di quantità di moto costante. Di conseguenza la sua quantità di moto aumenta proporzionalmente al tempo trascorso. Ciò corrisponde a un contenitore nel quale si riversa un flusso d'acqua costante, il cui effetto è un aumento proporzionale al tempo del livello dell'acqua. Sulla Luna la corrente di quantità di moto è più piccola. Nel modello ciò corrisponde a una corrente d'acqua meno intensa.

Consideriamo due corpi A e B in caduta libera. La massa di A sia il doppio di quella di B. L'analogia è

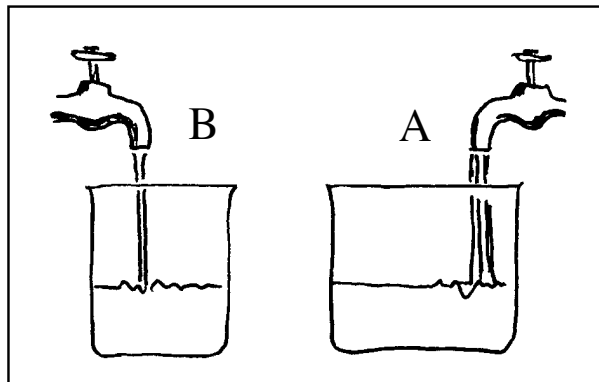


Fig. 3.2. Il fondo del recipiente a destra ha un'area doppia di quello a sinistra. Inoltre la corrente che fluisce nel recipiente a destra è forte il doppio di quella che fluisce in quello a sinistra. I livelli dell'acqua salgono alla stessa velocità.

con due contenitori A e B, con A che ha sezione doppia rispetto a B. Se i corpi A e B sono in caduta libera, la corrente di quantità di moto che fluisce in A è doppia di quella di B a causa di $F = m \cdot g$. Nel modello quindi, la corrente d'acqua che fluisce in A deve essere doppia di quella di B. I livelli dell'acqua (che corrispondono alle velocità) salgono con la stessa rapidità, Fig. 3.2.

Consideriamo ora nuovamente due corpi A e B che cadono in un mezzo che genera attrito, e i due contenitori che li rappresentano, Fig. 3.3. Anche in questo caso A abbia massa doppia di B ed entrambi abbiano la stessa forma. Di conseguenza la perdita di quantità di moto dovuta all'attrito sarà la stessa a velocità uguali. Nel modello, l'attrito dipendente dalla velocità è rappresentato da un foro sul fondo del contenitore. La perdita d'acqua dipende dal livello h dell'acqua. I fori dei due contenitori siano uguali, in modo tale che, quando il livello d'acqua è lo stesso, la corrente in uscita dai fori abbia la stessa intensità. Lasciar cadere i corpi equivale ad aprire i rubinetti. Esattamente come ognuno dei corpi in caduta si avvicina asintoticamente ad una diversa velocità limite, anche i livelli dell'acqua tendono asintoticamente a valori diversi. Il livello limite nel contenitore dalla sezione più piccola sarà più basso - in accordo con l'analogia.

Se il modello del contenitore d'acqua è così semplice, perché non lo si è utilizzato anche nel capitolo 2 quando si dovevano introdurre concetti fondamentali come corrente, spinta, resistenza, ecc. e si è invece fatto ricorso a una struttura dove la grandezza intensiva è la pressione? Questo modello diventa assai poco maneggevole quando si parla di resistenza alle correnti. Sarebbe molto difficile realizzare un congegno corrispondente a una resistenza ohmica.

18. Urti

Durante un urto, in particolare un urto a due, un corpo perde quantità di moto e un altro ne riceve. Per definire urto un processo di cessione di quantità di

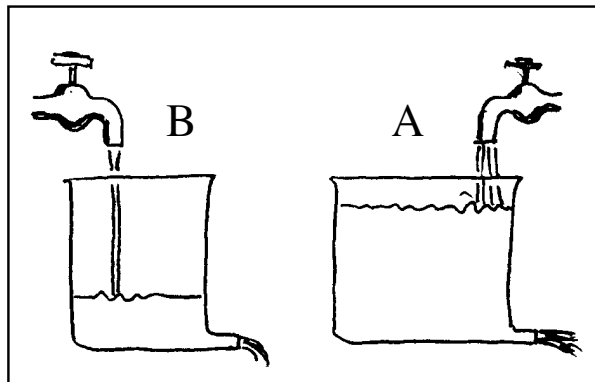


Fig. 3.3. Gli stessi recipienti di Fig. 3.2. ma con un foro. I due fori sono identici. I livelli dell'acqua si assestano asintoticamente ad altezze diverse.

moto, esigiamo però dell'altro. Dapprima i corpi coinvolti devono muoversi senza che venga trasmessa quantità di moto. Segue una cessione di quantità di moto in un tempo molto breve e poi un'altra fase senza scambi di quantità di moto. Quando diciamo che la cessione di quantità di moto deve avvenire in tempi brevi intendiamo così brevi che il fenomeno sfugga all'attenzione dell'osservatore.

In realtà di solito gli urti vengono trattati unicamente mediante dei bilanci. Ci si chiede cosa succede alla quantità di moto e all'energia cinetica ma non ci si chiede nulla sul decorso temporale del processo di cessione.

La popolarità degli urti nell'insegnamento della fisica ha varie origini.

Storicamente gli urti ebbero un ruolo importante. In un tempo in cui la tecnica era ancora poco sviluppata rispetto agli standard moderni, c'erano pochi fenomeni accessibili ad una trattazione puramente matematica. Alla caduta libera e al moto dei corpi celesti si aggiungevano appunto gli urti. Questi ultimi avevano la piacevole caratteristica di permettere delle affermazioni sull'esito di un esperimento, senza conoscerne il decorso esatto, senza una legge della forza. In realtà, quando le leggi degli urti vennero enunciate, il concetto newtoniano di forza non esisteva ancora.

L'importanza degli urti nella meccanica del XVII° secolo si deduce dal numero di lavori sull'argomento: di Descartes, Marci, Galileo, Roberval e altri. Nell'anno 1668 la Royal Society of London propose di formulare una trattazione completa degli urti. Huygens, Wren e Wallis inoltrarono dei lavori al riguardo. La trattazione nata in questo periodo venne poi trasmessa di generazione in generazione.

Che gli urti siano a tutt'oggi uno degli argomenti preferiti ha anche altre cause. Sono uno dei temi dove trovare degli esercizi di calcolo semplici e sono facilmente riproducibili con delle rotaie.

I motivi qui esposti spiegano perché gli urti abbiano un ruolo così importante nella fisica, ma non lo giustificano.

Il rilievo dato nell'insegnamento a questi processi dovrebbe dipendere dalla loro importanza nella vita di tutti i giorni e nella ricerca. Urti fra veicoli o fra palle da biliardo non sono sicuramente sufficienti per giustificare la trattazione dell'argomento. È vero peraltro che in fisica delle particelle gli urti hanno riacquisito importanza, ma questo non è argomento per un corso di questo livello.

Consigliamo quindi di porre l'accento su processi di cessione di quantità di moto molto più comuni. Tra questi citiamo:

- un'automobile che accelera o frena;
- un'automobile che percorre una curva;
- lanci e cadute;
- il moto della Luna, dei pianeti e dei satelliti.

In tutti questi processi il tempo durante il quale la quantità di moto fluisce da un corpo all'altro non appare più così breve da essere trascurabile. Il processo stesso viene posto in primo piano e diviene oggetto d'esame.

19. La meccanica con la quantità di moto in una sola direzione

Da un lato la meccanica è uno degli argomenti più facili della fisica. I nostri sensi sono fatti per percepire al meglio i processi meccanici e il nostro cervello è in grado di simularli con sorprendente precisione. D'altro canto c'è un motivo che rende l'apprendimento della meccanica particolarmente arduo: la descrizione matematica è più impegnativa che in altri campi della fisica, in quanto alcune delle più importanti grandezze della meccanica, e cioè la quantità di moto, la forza e la velocità, sono vettori. La tensione meccanica, in realtà facilmente immaginabile, è descritta matematicamente da un tensore di secondo ordine e per descrivere l'elasticità di un materiale, altra caratteristica facilmente comprensibile, si usa addirittura un tensore di quarto ordine.

Trattandosi di un corso per principianti, per aggirare questi ostacoli matematici faremo inizialmente meccanica a una dimensione. Ci limiteremo a quei fenomeni dove una sola componente di quantità di moto, forza e velocità svolge un ruolo. Matematicamente tratteremo questa componente come uno scalare. Vale la pena sottolineare che in questo modo si possono descrivere senza troppa fatica i più importanti aspetti della meccanica.

20. Bibliografia

GERTHSEN, C., KNESER, H. O., VOGEL, H.: Physik. Pag. 175, Springer-Verlag, Berlin (1977).

HERRMANN, F., SCHUBART, M.: Measuring momentum without the use of $p = mv$ in a demonstration experiment. Am. J. Phys. 57, 858 (1989).

LANDAU, L. D., LIFSHITZ, E. M.: Theory of elasticity. Chap. I, Sec 2, Pergamon Press, Oxford (1959).

PLANCK, M.: Phys. Z. 9, 828 (1908).

WEYL, H.: Die Naturwissenschaften 12, III (1924).

4. Il campo gravitazionale

1. Sull'introduzione della massa

Vogliamo fare alcune annotazioni riguardo all'introduzione della massa. Nel nostro corso gli studenti incontrano per la prima volta nel paragrafo 3.15 la massa in una relazione matematica, in particolare nell'equazione $p = m \cdot v$.

Per introdurre i concetti di massa gravitazionale m_{grav} e massa inerziale m_{in} si potrebbe procedere in questo modo:

Si definisce la scala per la massa gravitazionale con

$$F = m_{\text{grav}} \cdot g,$$

in altre parole si stabilisce che la massa gravitazionale è proporzionale alla forza peso (di vari corpi in un determinato luogo).

Si definisce la scala della massa inerziale con

$$p = m_{\text{in}} \cdot v,$$

in altre parole si stabilisce che la massa inerziale è proporzionale al quoziente p/v (di vari corpi).

In seguito si mostra sperimentalmente che

$$m_{\text{grav}} \sim m_{\text{in}}.$$

Abbreviamo il procedimento evitando del tutto di introdurre in modo esplicito la massa inerziale. Inoltre mostriamo sin dall'inizio che il fattore di proporzionalità dipendente dal corpo in $p \sim v$, è a sua volta proporzionale alla massa gravitazionale definita in altra sede.

Riteniamo ragionevole non introdurre in nessun caso la massa gravitazionale prima di avere trattato $p = m \cdot v$, in quanto l'esperienza extrascolastica di ogni studente gli permette di avere una rappresentazione concettuale della massa gravitazionale sufficientemente chiara anche per un corso di fisica. Abbiamo preferito questa sequenza per il seguente motivo: non volevamo introdurre la relazione $p = m \cdot v$ solo dopo aver trattato il particolare sistema "campo gravitazionale".

La relazione $p = m \cdot v$ è causa di un'ulteriore incoerenza. L' "esperimento" descritto nel testo e che dovrebbe dimostrare che $p \sim m$ (una slitta sola e una coppia di slitte identiche alla prima che si muovono alla stessa velocità) in effetti non dimostra affatto in modo inequivocabile che $p \sim m$. Dimostra piuttosto che p deve essere proporzionale a una qualche misura di quantità estensiva, visto che le slitte non hanno solo la stessa massa m ma, per esempio, anche la stessa quantità di sostanza n . Con un esperimento supplementare si potrebbe escludere che $p \sim n$. Non crediamo però che le esigenze logiche degli studenti di questo livello siano sufficientemente spiccate da spingerli a essercene grati.

2. La distribuzione della corrente di quantità di moto nei campi

Matematicamente il percorso della corrente di quantità di moto in un campo è descritto dalla distribuzione di densità della corrente di quantità di moto (Herrmann, Schmid 1985; Heiduck, Herrmann, Schmid 1987). Vista la complessità di questa distribuzione, nel corso verrà discussa poco così come poco ci si preoccupa del percorso seguito dalla quantità di moto una volta giunta a terra. È importante che gli studenti si convincano che la quantità di moto da qualche parte fluisce, il percorso esatto non è però molto interessante. D'altra parte sappiamo che l'acqua in un qualche modo è salita da terra alla nuvole ma non ne conosciamo il percorso esatto.

3. La parola "peso"

Nel testo per studenti a volte utilizziamo la parola "peso" come termine comune per ciò che in fisica si chiama massa, cioè per quella grandezza che si misura in kg. Lo facciamo per restare il più vicini possibile al linguaggio usato comunemente in ambiente non scientifico. Non pensiamo che gli studenti finiscano per identificarla unicamente con ciò che in fisica è chiamato forza peso.

4. Bibliografia

HEIDUCK, G., HERRMANN, F., SCHMID, G. B.: Momentum flow in the gravitational field. Eur. J. Phys. 8, 41 (1987)

HERRMANN, F., SCHMID, G. B.: Momentum flow in the electromagnetic field. Am J. Phys. 53, 415 (1985).

5. Quantità di moto e energia

1. Confusione tra quantità di moto e energia cinetica

Si potrebbe temere che trattare l'energia cinetica dopo la quantità di moto possa creare problemi allo studente, visto che sia l'energia cinetica che la quantità di moto dipendono dalle stesse variabili m e v . Entrambe le grandezze, energia cinetica e quantità di moto, crescono in modo monotono al crescere di massa e velocità.

Il problema non sorge se si dà il giusto significato alle due relazioni. Sorgerebbe sicuramente se si procedesse nel modo seguente: "introduciamo due grandezze ausiliarie p e E_{cin} definite da: $p = mv$ e $E_{cin} = (m/2)v^2$ ecc."

Confrontando questa situazione con l'elettrologia ci si rende conto che il problema non è inevitabile. Le relazioni analoghe a $p = mv$ e $E_{cin} = (m/2)v^2$ sono $Q = CU$ e $E_{el} = (C/2)U^2$. Sicuramente nessuno che abbia imparato l'elettrologia nel modo usuale confonderebbe le grandezze Q e E_{el} per il solo fatto che entrambe crescono al crescere di capacità e tensione. Non si confondono perché di ognuna di loro si ha già una rappresentazione concettuale e perché né la carica elettrica né l'energia del campo elettrico sono definite da $Q = CU$ e $E_{el} = (C/2)U^2$.

Procediamo allo stesso modo con la meccanica. Prima ci si familiarizza con energia e quantità di moto, poi si trattano le relazioni $p = mv$ e $E_{cin} = (m/2)v^2$.

2. La catena di bicicletta

Il trasporto di energia mediante la catena di una bicicletta o di una motocicletta, è un'interessante applicazione della relazione

$$P = v \cdot F$$

Sconsigliamo di utilizzarla nelle lezioni perché crea un problema che inizialmente preferiremmo evitare: l'intensità della corrente di energia dipende dal sistema di riferimento.

Se consideriamo la trasmissione di energia di una catena di bicicletta nel sistema di riferimento della bicicletta, energia e quantità di moto fluiscono alla ruota dentata posteriore attraverso la parte in tensione della catena: quella superiore (supponiamo che la bicicletta si muova verso destra). Se v_C è la velocità della catena rispetto alla bicicletta e F l'intensità della corrente di quantità di moto nella parte in tensione, allora

$$P = v_C \cdot F.$$

Attraverso il telaio (fermo) della bicicletta, la quantità di moto rifluisce alla ruota dentata anteriore.

Nel sistema di riferimento della Terra, la parte tesa della catena si muove alla velocità $v_B + v_C$, dove v_B è la velocità della bicicletta rispetto alla Terra. L'intensità della corrente di energia che attraverso la catena fluisce dalla ruota dentata anteriore a quella posteriore è quindi data da

$$P_{catena} = (v_B + v_C) \cdot F.$$

Visto che nel telaio della bicicletta fluisce una corrente di quantità di moto verso la ruota dentata anteriore e che la bicicletta si muove alla velocità v_B , il telaio stesso è attraversato anche da una corrente di energia:

$$P_{telaio} = v_B \cdot F.$$

Nel nostro esempio $v_B > 0$. Visto che il telaio è sottoposto a trazione, la corrente di quantità di moto fluisce verso destra. Quindi anche la corrente di energia fluisce verso destra. L'intensità totale della corrente di energia che fluisce verso sinistra è data dalla differenza

$$P = P_{catena} - P_{telaio} = (v_B + v_C) \cdot F - v_B \cdot F = v_C \cdot F,$$

lo stesso risultato ottenuto nel sistema di riferimento della bicicletta.

3. Il segno dell'energia

Nel paragrafo 5.2 b viene constatato che l'energia di un corpo in movimento, cioè quella parte dell'energia totale che i fisici chiamano energia cinetica, è sempre positiva indipendentemente dalla direzione del moto. Potrebbe sembrare naturale a questo punto, dire che l'energia assume fondamentalmente dei valori positivi. Non abbiamo formulato un teorema del genere perché in alcune aree della fisica è pratica comune e utile fissare lo zero dell'energia in modo tale che appaiano anche valori di energia negativa.

4. Il contenuto di energia

Il paragrafo 5.2 tratta ciò che il linguaggio tecnico della fisica chiama energia di tensione della molla E_{molla} , energia cinetica di un corpo E_{cin} e energia potenziale di un corpo E_{pot} . Ognuna di queste componenti dell'energia ha una dipendenza semplice da altre grandezze appartenenti allo stesso sistema:

$$E_{molla} = (k/2)s^2$$

$$E_{cin} = (m/2)v^2$$

$$E_{pot} = m \cdot g \cdot h.$$

Per trattare il contenuto di queste tre espressioni abbiamo optato per una versione minima. Nei primi due casi si presuppone che i sistemi contenitori di energia siano noti, cioè che i valori delle grandezze che li caratterizzano, k e m , siano dati. Come va-

riabili si sono scelte l'allungamento s della molla e la velocità v del corpo. Di conseguenza solo le relazioni tra E_{molla} e s e tra E_{cin} e v sono formulate in un teorema. Ma queste relazioni dicono solo che una grandezza cresce in modo monotono al crescere dell'altra. Nella terza relazione, sia l'altezza h che la massa m sono considerate variabili, mentre la costante locale g assume il ruolo di parametro costante che caratterizza il contenitore di energia. Il teorema verte quindi sul rapporto tra E_{pot} e h e tra E_{pot} e m .

6. La quantità di moto come vettore

1. Composizione e scomposizione di correnti di quantità di moto

Per discutere la somma vettoriale delle intensità delle correnti di quantità di moto, è consigliabile cominciare dalla composizione di correnti piuttosto che dalla loro scomposizione: due correnti di quantità di moto confluiscono e ci si interroga sull'intensità della corrente risultante. Posta in questi termini la questione è semplice.

Per contro scomporre una corrente di quantità di moto è sempre ambiguo. Necessita una scelta arbitraria delle direzioni.

2. La direzione della corrente e la direzione di ciò che scorre

Una grossa parte dei problemi peculiari alla meccanica è conseguenza della necessità di distinguere tra due direzioni. Nel "modello di forza" sono

- direzione della forza;
- direzione della superficie relativa alla forza (una forza è sempre definita rispetto a una superficie).

Nel modello di corrente di quantità di moto sono

- direzione in cui fluisce la quantità di moto;
- direzione della quantità di moto che fluisce.

Questa difficoltà è intrinseca alla meccanica e non si può aggirare ma al massimo attenuare.

Nell'insegnamento tradizionale della meccanica si fa spesso e volentieri ricorso alle corde per trasmettere le forze. Le corde sono il caso particolare dove la direzione della corrente e la direzione della grandezza che fluisce coincidono. Ciò può risultare fuorviante, soprattutto se lo studente non si rende conto che si tratta di un caso particolare.

Cominciamo di proposito la discussione di correnti di quantità di moto nelle tre dimensioni con il caso in cui la direzione della quantità di moto è perpendicolare alla direzione della conduttura. Così ci si rende conto che le due direzioni vanno distinte.

La direzione della corrente coincide sempre con la direzione del conduttore - esattamente come in elettrologia. La direzione della quantità di moto che fluisce si riconosce dal tipo di variazione di quantità di moto del corpo in cui fluisce.

3. Correnti di quantità di moto se la quantità di moto che fluisce è perpendicolare al conduttore

Se trasmettiamo una forza servendoci di una sbarra perpendicolare alla direzione della forza, la distribuzione della tensione nella sbarra sarà comples-

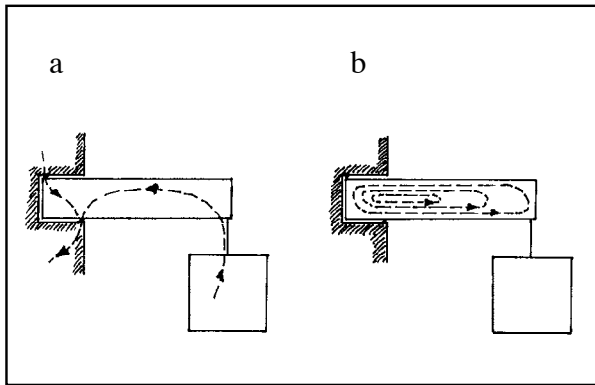


Fig. 6.1. (a) Nella sbarra fluisce corrente di quantità di moto y da destra verso sinistra. (b) Nella sbarra la quantità di moto x fluisce verso destra nella parte inferiore e verso sinistra nella parte superiore.

sa: su un lato compressione, sull'altro trazione. Nel modello di corrente di quantità di moto questo significa che nella sbarra non fluisce solamente quella quantità di moto che entra a un'estremità ed esce dall'altra, la quantità di moto y in Fig. 6.1. Ci sono anche correnti circolari di quantità di moto x .

Attraverso una sezione qualsiasi della sbarra, il bilancio delle correnti si riduce comunque a quella corrente che entra da una parte ed esce dall'altra. Nel testo per studenti tralasciamo le correnti circolari visto che non influiscono sulla corrente totale risultante.

Procediamo così come faremmo parlando di un fiume, del quale prenderemmo in considerazione solo il flusso netto. In realtà anche in questo caso le correnti che fluiscono attraverso una sezione hanno in parte direzione opposta a causa dei vortici.

4. L'addizione dei vettori intensità delle correnti di quantità di moto

L'addizione vettoriale delle forze è spesso mostrata con l'esempio delle tre corde collegate a dinamometri. Chiaramente questo procedimento ha il vantaggio di semplificare la misurazione delle forze. Ha però lo svantaggio di essere un raro caso particolare: il caso in cui le forze sono parallele al dispositivo che le trasmette. I lati del triangolo di forze sono paralleli ai collegamenti che conducono la quantità di moto, le corde. Di conseguenza si è portati a credere che sia sempre così.

Si capisce che sia un caso particolare dal fatto che conoscendo *una* forza si possono calcolare le altre *due* - conoscere la somma permette di determinare i sommandi in modo univoco. Ciò è possibile solamente a condizione di ammettere che i vettori siano paralleli alle corde.

Se le forze sono trasmesse da un conduttore rigido, ad esempio delle sbarre, questa premessa non è più valida. La scomposizione di una forza nelle sue componenti non è più univoca.

5. La conducibilità di quantità di moto nelle tre dimensioni

In elettrologia, dopo avere introdotto la corrente elettrica è conseguente chiedersi quali oggetti o materiali conducono elettricità e quali no. Quando la meccanica è trattata nel modello di corrente di quantità di moto è altrettanto conseguente, dopo avere introdotto le correnti, chiedersi quali oggetti o materiali conducono la quantità di moto. A causa del carattere vettoriale della quantità di moto, la questione della conducibilità è più complicata e più interessante che in elettrologia.

Tutta una serie di semplici osservazioni di fenomeni meccanici si può spiegare in termini di conducibilità di quantità di moto. Ad esempio, la ruota di un veicolo non serve solamente come isolamento per la quantità di moto, così com'è in una trattazione unidimensionale. La ruota deve impedire il passaggio di quantità di moto in una direzione, quella del moto del veicolo, e deviare a terra quella di direzione perpendicolare.

Se si includono le rotazioni, il tutto diventa ancora più interessante. Si possono facilmente costruire dei congegni permeabili alla quantità di moto angolare e impermeabili a quella lineare o, viceversa, congegni permeabili alla quantità di moto lineare e impermeabili a quella angolare. Un argomento che varrebbe la pena discutere sono le varie parti di un albero motore.

6. I simboli \vec{p} e p

Non usiamo la lettera p come simbolo per il modulo del vettore \vec{p} ma come simbolo per la quantità di moto nel caso in cui si abbia a che fare con una sola direzione. p può essere considerata l'unica componente di \vec{p} diversa da zero e di conseguenza assumere sia valori positivi che negativi.

7. Trattare la quantità di moto attraverso le sue componenti

Per la trattazione del carattere vettoriale della quantità di moto proponiamo due alternative.

(1) Si definisce sin dall'inizio un sistema di coordinate x - y - z e si considerano sempre le componenti della quantità di moto: si fanno separatamente i bilanci per le componenti x , y e z . Il vantaggio di questo procedimento: si ha a che fare con tre leggi di conservazione indipendenti. Ogni componente della quantità di moto può essere manipolata come uno scalare. Gli svantaggi: se il conduttore di quantità di moto, per esempio una corda, è obliquo rispetto agli assi di riferimento, la trattazione del problema diventa abbastanza contorta. In una corda che giace nel piano x - y senza essere né parallela all'asse x né all'asse y , fluiscono contemporaneamente due correnti di quantità di moto x e y . Queste correnti

possono addirittura avere direzioni opposte. A causa di queste complicazioni abbiamo optato per la seconda possibilità.

(2) La quantità di moto viene rappresentata da una freccia. Ogni direzione caratterizza un tipo di quantità di moto. Ci sono quindi infiniti tipi di quantità di moto. Nel testo vengono contraddistinti dall'angolo tra la freccia del vettore quantità di moto e la direzione positiva dell'asse x e diciamo per esempio che in una corda fluisce quantità di moto a 45° .

7. Momento meccanico e baricentro

1. Corde e carrucole

Una corda che passa su una carrucola, viene deviata. È ragionevole supporre che venga deviata anche la corrente di quantità di moto che fluisce nella corda. Tra l'altro anche nella "meccanica della forze" si potrebbe fare l'ipotesi corrispondente e pensare che una carrucola possa deviare una forza. Che in effetti non sia così si deve spiegare a fondo a lezione. Una corrente di quantità di moto si lascia deviare facilmente - non solo con una carrucola - mentre la direzione del vettore intensità di corrente è mantenuta.

2. La legge della leva

Abbiamo introdotto la legge della leva in modo empirico. Sarebbe stato più appropriato introdurre prima la quantità di moto angolare e poi derivare la legge della leva come caso particolare della conservazione di quantità di moto angolare. Partiamo però dal presupposto che in molti casi si voglia trattare la leva senza introdurre la quantità di moto angolare.

8. Quantità di moto angolare e correnti di quantità di moto angolare

1. Momento meccanico e corrente di quantità di moto angolare

Esattamente come interpretiamo la grandezza F , tradizionalmente chiamata forza, come intensità della corrente di quantità di moto, così possiamo interpretare il momento meccanico M come intensità della corrente di quantità di moto angolare. Per la derivata rispetto al tempo della quantità di moto angolare L , vale notoriamente:

$$\frac{dL}{dt} = M$$

cioè un'equazione di bilancio analoga a

$$\frac{dp}{dt} = F$$

o ancora a

$$\frac{dQ}{dt} = I$$

La trattazione di M come intensità della corrente di quantità di moto angolare è però abbastanza laboriosa. Inoltre crea delle difficoltà di comprensione superabili unicamente dedicando loro molto tempo. Ad esempio, non è difficile capire che un albero motore sia attraversato da una corrente di quantità di moto angolare. Molto più difficile è vedere dove fluisce la corrente di quantità di moto angolare in una ruota azionata da una cinghia di trasmissione. In questo e in molti altri casi non è possibile localizzare la corrente di quantità di moto angolare: non si può definire un campo della densità di corrente.

Per evitare questi problemi abbiamo introdotto il momento meccanico come grandezza a sè stante.

2. Trasmissione di energia con la quantità di moto angolare

Analogamente alla relazione

$$P = v F,$$

con la quale si può calcolare la corrente di energia, p. es. attraverso una cinghia di trasmissione, per la trasmissione di energia mediante un albero motore vale

$$P = \omega M.$$

Anche se questa relazione è molto utile, ad esempio per la discussione degli ingranaggi, non la introduciamo in quanto si dovrebbe parlare di velocità angolare e di radianti ma manca sicuramente il tempo per farlo. Inoltre sarebbe auspicabile avere a disposizione un apparecchio maneggevole per la misurazione della quantità di moto angolare, ma non è così.

9. Compressione e trazione

1. Le tre tensioni principali

La grandezza scalare "pressione" deriva in condizioni particolari dalla grandezza tensoriale "tensione meccanica". La tensione meccanica è un tensore di secondo ordine. Nei gas e nei liquidi senza attrito, gli elementi diagonali della matrice sono uguali tra loro, gli altri elementi del tensore sono nulli. Il tensore può essere descritto con un solo numero: il valore degli elementi della diagonale. Questa è la grandezza che chiamiamo pressione.

Non è difficile rappresentare concettualmente il tensore di tensione meccanica. Una piccola porzione di materiale all'interno di un corpo può essere sottoposta a tre compressioni o trazioni indipendenti, in tre direzioni perpendicolari tra loro. Per descrivere lo stato di tensione nel punto dove si trova la porzione di materiale abbiamo quindi bisogno di sei valori:

- tre valori per caratterizzare le tre direzioni scelte (per fissare le direzioni di una base ortonormata ci vogliono tre numeri);
- tre valori di tensione corrispondenti alle direzioni date.

Le tre direzioni scelte vengono dette direzioni principali.

Nel caso particolare di liquidi e gas, i tre valori di tensione sono uguali. Non è più necessario specificare le direzioni: tutte le direzioni sono equivalenti.

Un altro caso particolare è quello dove la tensione è diversa da zero in una sola direzione, come succede nella maggior parte delle applicazioni della meccanica trattate prima dell'idromeccanica. È così quando una forza è trasmessa da una corda oppure da una sbarra, a condizione che la forza sia parallela alla sbarra. Per descrivere uno stato di tensione di questo tipo è sufficiente indicare una sola direzione e un solo valore di compressione o di trazione.

Nella maggior parte delle situazioni reali il tensore della tensione assume la sua forma più generale: per descriverlo ci vogliono tre numeri per le direzioni principali e tre numeri per le tensioni corrispondenti. Lo stato di tensione del legno di una tavola caricata ne è un esempio.

2. La "onnidirezionalità" della pressione nei liquidi e nei gas

Mostrare che la pressione nei liquidi senza attrito e nei gas è "onnidirezionale", è uno degli obiettivi delle lezioni. Se gli studenti devono capire che si tratta di una particolarità, o se più semplicemente devono capire il senso dell'affermazione, allora devono prima conoscere il caso normale. Devono rendersi conto che di solito la pressione non è "onnidirezionale", devono cioè capire che un oggetto può subire tensioni diverse in direzioni diverse.

Che un oggetto solido possa essere sottoposto a tensioni diverse in direzioni diverse è facile da immaginare. Che le direzioni indipendenti siano esattamente tre è invece più difficile da capire e anche da dimostrare con gli strumenti a disposizione nelle lezioni. Per questo motivo il fatto viene semplicemente spiegato dal docente.

3. Trasmissione idraulica di energia

A nostro modo di vedere c'è un aspetto dell'idraulica che viene spesso trascurato. Il motivo principale che spiega la grande diffusione degli impianti idraulici sta nel fatto che permettono di trasmettere comodamente energia. Per questo motivo nel nostro corso il trasporto idraulico di energia avrà un'importanza maggiore di quella solitamente attribuitagli.

10 Entropia e correnti di entropia

1. Entropia sin dall'inizio

Entropia e temperatura hanno nei processi termici lo stesso ruolo di carica elettrica e potenziale elettrico nei processi elettrici e di quantità di moto e velocità in quelli meccanici. Entropia, carica elettrica e quantità di moto sono grandezze estensive; temperatura, potenziale elettrico e velocità, le rispettive grandezze intensive "coniugate all'energia". Da questa contrapposizione capiamo che l'entropia ha per la termologia la stessa importanza della carica elettrica per l'elettrologia e della quantità di moto per la meccanica. E le correnti di entropia hanno in termologia un ruolo importante come le correnti elettriche in elettrologia e le forze (correnti di quantità di moto) in meccanica. È quindi coerente cominciare la termologia con l'entropia. Termologia senza entropia è solo una soluzione di ripiego.

2. La grandezza di stato entropia come misura del calore

È molto diffusa l'opinione che l'entropia sia una grandezza difficile, di cui sia molto arduo farsi un'idea. È sicuramente così se l'entropia viene introdotta alla maniera di Clausius. Se invece la si introduce statisticamente è facile immaginarla come la misura del disordine microscopico di un sistema. Questa rappresentazione concettuale è però di scarsa utilità per la soluzione di problemi.

Di conseguenza abbiamo scelto una terza via per l'introduzione dell'entropia, una via che si rifà a Callendar (1911) e che è stata minuziosamente descritta e motivata da Job (1972) e Falk (1985). Si basa sulla comprensione del fatto che l'entropia concorda molto bene con le caratteristiche del concetto comunemente chiamato "calore" o "quantità di calore". Questa concordanza è così buona da poter affermare che non ci sono altre grandezze fisiche delle quali l'esperienza comune ci dia una rappresentazione concettuale migliore.

Naturalmente per la grandezza S non possiamo utilizzare il nome "calore" in quanto in fisica questa parola è usata diversamente: si usa per definire, anche se non del tutto unanimemente, la forma differenziale $\delta Q = TdS$. Farsi un'idea precisa di questa forma è però molto difficile, se non impossibile. La Q dopo il segno differenziale δ non è nemmeno una grandezza fisica. A volte ciò viene espresso dicendo che Q è una grandezza di processo mentre entropia e energia sono grandezze di stato. Detto così sembrerebbe che le grandezze di stato siano delle rarità. Invece tutte le grandezze conosciute della fisica sono grandezze di stato, con due sole eccezioni: il calore e il lavoro. È così normale per chiunque considerare una grandezza come una grandezza di stato, che di solito non viene neanche in mente di sottolinearlo. La costruzione poco felice, e da un punto di vista odierno anche

superflua, dei concetti di calore e lavoro, crea spesso confusione tra gli studenti e persino tra i fisici esperti.

Nel testo per studenti non usiamo la "grandezza di processo" Q in termologia, così come in meccanica abbiamo operato senza il lavoro.

3. Effetti termici grandi e piccoli

La decisione di introdurre l'entropia all'inizio della termologia ci dà anche la possibilità di ribilanciare i temi trattati nelle lezioni di termologia. Fenomeni, apparecchi e impianti il cui funzionamento viene determinato grazie a correnti di entropia, p. es. motori termici, impianti di riscaldamento, pompe di calore e il bilancio termico della Terra, sono messi in primo piano. Altri fenomeni tradizionalmente trattati in un corso di termologia, sono messi in disparte: come la dilatazione termica dei corpi solidi, un effetto dell'ordine di grandezza 10^{-4} .

4. La scala di temperatura

Spesso a scuola, ma anche all'università, ci si creano inutili problemi nella definizione della scala di temperatura. Si comincia con la definizione di una scala basata sulla dilatazione del mercurio, poi se ne introduce una migliore basata sulla dilatazione dei gas per giungere infine a una terza scala, l'odierna e vincolante scala termodinamica. Da questa rievocazione dell'evoluzione storica si potrebbe ricavare l'impressione che la determinazione di una scala di temperatura sia un compito particolarmente difficile. In effetti per qualsiasi altra grandezza potremmo cominciare introducendo una scala peggiore per introdurre man mano di sempre migliori.

Il fatto che di solito non si cominci con la più comoda scala termodinamica è conseguenza del tentativo di trattare più termodinamica possibile senza usare l'entropia.

5. Illusioni sensoriali

Ci sono argomenti trattati a lezione che si sono quasi trasformati in rituali. Così la necessità di una misurazione della temperatura viene spesso giustificata dall'estrema facilità con cui i nostri sensi possono essere ingannati nella percezione della temperatura. Illusioni sensoriali come questa sono un argomento interessante. Si tenga però presente che accadono con tutte le percezioni sensoriali: di luminosità e colore, di altezza, distanza e velocità, di tempo, di forza e massa, di intensità sonora e altezza del suono. Naturalmente per gli esseri viventi queste "illusioni" hanno una funzione importante e positiva, non rappresentano solamente un'inadeguatezza dei nostri organi sensoriali. Senza dubbio le illusioni sensoriali sono un argomento da corso di fisica, non dovrebbero però essere discusse solo sull'esempio della temperatura.

6. Osservazione e spiegazione nell'esperimento

Nella discussione di molti esperimenti procediamo nel modo seguente: innanzitutto descriviamo l'*osservazione*. Questa descrizione consiste in un'affermazione sulla *temperatura*, p. es.: "la temperatura dell'acqua nel recipiente A diminuisce, quella dell'acqua nel recipiente B aumenta." Poi chiediamo una *spiegazione*. Con ciò intendiamo che viene detto cosa succede all'*entropia* nel processo, quindi nel nostro esempio: "dell'entropia va da A a B". Confronta con l'osservazione 9 al capitolo 3.

7. Quali sono i processi con la maggiore produzione di entropia?

C'è spesso confusione su quali siano i processi con produzione di molta e quali di poca entropia. Sulla Terra il processo che produce di gran lunga più entropia di qualsiasi altro, è l'assorbimento della luce solare.

8. Bibliografia

CALLENDAR, H.L.: Proc. Phys. Soc. London 23, 153, (1911).

FALK, G.: Entropy, a resurrection of caloric - a look at the history of thermodynamics. Eur. J. Phys. 6, 108 (1989).

JOB, G.: Neudarstellung der Wärmelehre - die Entropie als Wärme. Akademische Verlagsgesellschaft, Frankfurt am Main (1972).

11. Entropia e energia

1. Sul significato della costante del materiale "capacità termica specifica"

La capacità entropica e la capacità entropica specifica, che noi usiamo al posto della capacità termica specifica, non hanno un ruolo molto importante in questo corso. La dipendenza dal materiale della capacità entropica specifica (così come quella della capacità termica specifica) è molto piccola se confrontata con quella di altre costanti del materiale (come la conducibilità elettrica, la conducibilità termica, la densità o varie costanti ottiche). La dipendenza dal materiale della capacità entropica diventa ancora più piccola se viene riferita alla quantità di sostanza invece che alla massa. Per di più non c'è praticamente nessun fenomeno basato sulla differenza della capacità termica specifica di diverse sostanze. Giustificare in questo modo la differenza tra il clima continentale e quello marittimo, come a volte si fa, è sbagliato. (Il fatto che nell'acqua di mare si possa immagazzinare più entropia che nella roccia della terraferma, dipende dal fatto che il movimento dell'acqua permette un migliore trasporto di entropia dalla superficie agli strati più profondi che non sulla terraferma.)

2. Pompe di calore ideali

A lezione facciamo come se le pompe di calore di cui parliamo funzionassero senza perdite, cioè come se non vi venisse prodotta entropia. Lo facciamo con lo stesso diritto per cui nella trattazione dei motori elettrici, dei trasformatori o di macchine puramente meccaniche, inizialmente tralasciamo le perdite.

3. Esperimenti sull' "attrito termico"

Con un calcolo semplice e convincente si dimostra che nell'esperimento descritto nel paragrafo 11.3, Fig. 11.7, viene prodotta entropia. Non vale però la pena effettuare veramente l'esperimento. Per misurare l'intensità delle correnti di entropia non c'è un procedimento facile come per esempio quello per misurare l'intensità di una corrente elettrica. Già la misurazione delle correnti di energia sarebbe difficile e per di più non vedremmo nemmeno ciò che rende interessante l'effetto discusso, cioè l'aumento di entropia.

Se volessimo mostrare in modo convincente che l'entropia aumenta, dovremmo presentare un esperimento nel quale qualcosa si *riscalda*. Nell' "esperimento" del paragrafo 11.3 però, la corrente di entropia ha la massima intensità proprio là dove la temperatura è più bassa: all'estremità fredda della sbarra. Questa non è assolutamente una contraddizione. Dobbiamo solo immaginare che la velocità della corrente d'entropia sia più grande che all'estremità calda.

L'unico esperimento noto che permette di dimostrare direttamente l'entropia prodotta per "attrito termico", è l'oscillatore a gas descritto nel corso PSSC (1974). In questo esperimento l'attrito termico provoca lo smorzamento di un'oscillazione meccanica. Purtroppo è quasi impossibile costruire l'esperimento senza l'aiuto di una buona officina.

Possiamo ideare facilmente una variante dell'esperimento PSSC dove l'attrito termico causa veramente un aumento di temperatura. Il trucco sta nel forzare più volte l'entropia di un gas attraverso una resistenza termica. Il gradiente di temperatura necessario si ottiene con ripetute compressioni ed espansioni isoentropiche del gas.

4. Contenuto di entropia e contenuto di calore

Per la trattazione di temi tradizionalmente associati ai concetti di calore specifico, calore di evaporazione e calore di fusione, l'entropia presenta parecchi vantaggi visto che, al contrario della "quantità di calore", è una grandezza di stato. Quindi può assumere il ruolo di un vero contenuto di calore. Di conseguenza, nelle nostre lezioni è sempre di primaria importanza il *contenuto* di entropia; le *variazioni* di entropia sono interpretate come differenze dei contenuti di entropia. Questo vale sia per i processi legati a un aumento della temperatura che per le transizioni di fase.

Con la forma di energia "quantità di calore" non si può procedere allo stesso modo in quanto non esiste un contenuto di calore fondato su questa grandezza. Si può parlare solamente di calore fornito o ceduto calore fornito per intervallo di temperatura o calore fornito in una transizione di fase. L'esperienza insegna che non si riesce a far capire agli studenti come mai questo concetto di "contenuto di calore" non abbia significato fisico alcuno, soprattutto perché gli esperimenti di mescolamento che tanto volentieri si fanno a lezione contribuiscono a sostenere questa concezione errata.

5. Valori d'entropia

Il motivo per cui a molti fisici e insegnanti di fisica l'entropia appare sospetta, è che non abbiamo il senso per i valori di questa grandezza. I chimici non hanno questo problema. Nelle loro tabelle per molte sostanze, oltre alla capacità termica, all'entalpia di formazione e a valori di altre grandezze, potete trovare anche il contenuto di entropia (di solito per mole) della sostanza a condizioni normali. Per alcune sostanze importanti si possono addirittura trovare i valori di queste grandezze in funzione della temperatura da $T = 0$ K su su fino a qualche centinaio di Kelvin, superando le transizioni di fase più disparate. Consigliamo anche agli insegnanti di fisica di convincersi di quanto sia comodo l'uso di queste tabelle.

6. Vantaggi e svantaggi della tradizionale quantità di calore

A favore della tradizionale "quantità di calore" si possono esprimere i seguenti argomenti:

1. Gli esperimenti di mescolamento si interpretano facilmente facendo dei bilanci energetici, visto che l'energia rimane costante. Per contro, mescolando si produce entropia. Dopo il processo di mescolamento la quantità di entropia è quindi maggiore di prima.

2. In un ampio intervallo di temperatura la capacità termica specifica è costante, cioè indipendente dalla temperatura. La capacità entropica specifica invece, ottenuta dalla capacità termica specifica dividendo per la temperatura, dipende dalla temperatura.

Crediamo che questi svantaggi dell'entropia non siano gravosi se paragonati agli svantaggi connessi all'uso della "quantità di calore", che non è una grandezza di stato.

Aggiriamo il primo dei due problemi svolgendo degli esperimenti di mescolamento dove le differenze di temperatura non sono troppo elevate. In quel caso la quantità di entropia prodotta è piccola in rapporto all'entropia trasportata.

Riguardo al secondo punto: questo vantaggio dell'energia sull'entropia non è di fondamentale importanza. Dopotutto anche la tradizionale capacità termica specifica è indipendente dalla temperatura solo in un'intervallo di temperatura limitato. Il calcolo con la capacità entropica specifica è sì un po' più faticoso di quello con la capacità termica specifica, ma per molti problemi è sufficiente prendere il valore medio della capacità entropica.

7. Bibliografia

PSSC: Physik. S. 380. Friedrich Vieweg & Sohn, Braunschweig (1974).

12. Transizioni di fase

1. Transizioni di fase come reazione chimica

Una transizione di fase è un caso speciale di reazione chimica: il caso in cui un'unica sostanza iniziale si trasforma in un'unica sostanza finale. Si potrebbe essere indotti a credere che il potenziale chimico sia particolarmente adatto per trattare le transizioni di fase. In generale è anche così. Le transizioni tra le fasi solida, liquida e gassosa sono però un'eccezione, in quanto di solito si svolgono senza nessun ostacolo. Nei casi più importanti le fasi sono sempre in equilibrio chimico. Ciò significa che la differenza di potenziale chimico tra le fasi è nulla e quindi il potenziale chimico non appare nemmeno come una variabile.

2. Entropia e entalpia

Quando in termodinamica si pone in primo piano l'energia invece dell'entropia, sorgono dei problemi che appaiono particolarmente evidenti nella trattazione del processo di evaporazione. Se facciamo evaporare acqua con un riscaldatore a immersione, l'energia che il riscaldatore cede durante l'evaporazione non si ritrova interamente nel vapore acqueo, come gli studenti potrebbero supporre. Una parte di questa energia è necessaria per "spingere via l'atmosfera". Per l'entropia invece le aspettative sono rispettate: l'entropia proveniente dal riscaldatore finisce semplicemente nel vapore. Tradizionalmente un processo del genere è descritto anche dicendo che l'energia ceduta dal riscaldatore a immersione provoca una variazione equivalente dell'entalpia dell'acqua. L'entalpia è sì una grandezza di stato, ma è comunque assolutamente inadatta per la scuola e in particolare in un corso per principianti: non è una grandezza estensiva. Non c'è nessuna corrente di entalpia e non ha nessun senso parlare di conservazione o di non conservazione dell'entalpia.

13. I gas

La relazione tra S , V , T e p nei gas

I gas sono molto interessanti per la termodinamica perché le variabili termiche S e T sono accoppiate alle variabili meccaniche p e V . Questo accoppiamento si manifesta ad esempio nel fatto che il coefficiente di dilatazione volumica

$$\alpha = \frac{1}{V} \frac{\partial V(T, p)}{\partial T}$$

è molto grande. Questo accoppiamento è il motivo per cui con i gas si possono costruire motori termici ed è responsabile di molti fenomeni atmosferici.

La relazione quantitativa tra le quattro variabili citate è comunque troppo complicata per essere trattata a questo livello. Innanzitutto nella relazione appaiono il logaritmo o la funzione esponenziale. Ma una difficoltà ancora maggiore è data dal fatto che il numero di variabili in gioco sia così elevato.

Naturalmente ci si potrebbe limitare alla trattazione di relazioni parziali, come la legge di Boyle-Mariotte. Però proprio questa legge è la meno interessante nelle sue applicazioni perché descrive processi isotermi. I processi isoentropici sono molto più importanti.

Quindi suggeriamo una versione dove si considera l'interazione tra tutte e quattro le variabili ma solo da un punto di vista qualitativo. Sperimentalmente è possibile evidenziare molto bene questa interazione e gli studenti sviluppano piuttosto in fretta una certa sicurezza nel dire in che modo le quattro grandezze cambiano il loro valore nei processi più disparati. Non devono quindi imparare a memoria le relazioni riassunte in Fig. 13.9. Dovrebbero piuttosto essere in grado di ricostruire queste regole basandosi sulla concezione che hanno dei gas.

14. La luce

La termodinamica della luce

Nel capitolo 14 vengono trattati alcuni argomenti che appartengono alla "termodinamica della luce". La luce è un sistema di decisiva importanza per il bilancio termico della Terra. Purtroppo le sue caratteristiche termiche sono così peculiari da imporre severi limiti alla sua trattazione a questo livello.

Finché la luce si trova in una cavità radiante, cioè finché è rinchiusa in un recipiente, si comporta ancora abbastanza bene. I problemi nascono quando esce dalla cavità e forma dei raggi. Per questa luce non c'è un sistema di riferimento a riposo, e questa è la causa delle sue insolite caratteristiche termiche.

Una delle particolarità è il fatto che la relazione tra le intensità delle correnti di energia e entropia non è più

$$P = TI_S,$$

ma

$$P = (3/4)TI_S,$$

dove P e I_S sono le intensità della corrente di energia rispettivamente di entropia e T la temperatura del corpo radiante.

Un'altra particolarità: la luce termica che proviene da una sorgente, come il Sole, occupa uno spazio sempre più grande. In questo processo di espansione però, né l'entropia né la temperatura della luce cambiano. Quindi questo non è un processo di espansione nel senso termodinamico. (Un bell'esempio di vero processo di espansione della luce è la dilatazione della radiazione di fondo dovuta all'espansione dell'universo. È un'espansione isoentropica in cui la temperatura diminuisce, esattamente come farebbe per un gas materiale.)

I temi del capitolo 14 sono stati scelti in modo da evitare questi problemi. Affrontarli richiederebbe troppo tempo.

15. Dati e portatori di dati

1. Contenuti di un'unità didattica sulla tecnica dei dati

Al giorno d'oggi la tecnica dei dati, o tecnica dell'informazione, ha un ruolo importante in quasi tutti gli aspetti della nostra vita. Molte delle apparecchiature presenti in casa servono a trasmettere o a immagazzinare dati: la radio, il televisore, il videoregistratore, la macchina fotografica, la videocamera e i rispettivi proiettori. Ci sono installazioni pubbliche che servono a trasmettere dati: il telefono, il fax, ma anche la posta. Libri e giornali servono a trasmettere e immagazzinare notizie. I dati sono trasportati in cavi di rame o fibre ottiche, con le onde dirette o attraverso i satelliti. Alla tecnica dei dati appartengono anche procedure di rilevazione come il radar o l'ecoscandaglio. In linea di principio, ogni procedura di misura fa parte della tecnica dei dati. La diagnostica medica ne è un esempio. Ciò appare particolarmente evidente in procedimenti moderni come per esempio la tomografia.

Ovviamente il rappresentante più attuale tra le apparecchiature relative alla tecnica dei dati è il computer.

La trasmissione, l'immagazzinamento e l'elaborazione dei dati sono molto importanti anche nei sistemi biologici. I nostri organi sensoriali servono a registrare dati, i nervi servono a trasmetterli e il cervello a elaborarli e immagazzinarli. Attraverso la parola e la gestualità, i dati vengono emessi. Sul piano molecolare la "tecnica" dei dati nei sistemi biologici ha un'influenza ancora più estesa.

Tutti questi fenomeni, dispositivi tecnici e procedimenti hanno qualcosa in comune: hanno a che fare con la trasmissione, l'immagazzinamento e l'elaborazione dei dati. Questi elementi comuni sono evidenti, non c'è bisogno di essere uno specialista per riconoscerli.

Ci si dovrebbe quindi aspettare che questi elementi comuni abbiano portato a una descrizione scientifica omogenea, a una descrizione che permetta di riconoscere una struttura unitaria. Purtroppo non è il caso. Si sono sviluppate diverse singole discipline, come ottica, acustica, elettronica, metrologia, tecnica delle telecomunicazioni, informatica e altre ancora. Due di queste discipline sono entrate a far parte della fisica: l'ottica e l'acustica. Da altre, alcuni procedimenti particolari hanno trovato spazio nell'insegnamento della fisica, per esempio l'elettronica o la tecnica delle telecomunicazioni. Un'ulteriore parte della tecnica dei dati viene trattata dalla biologia.

La separazione di varie branche della tecnica dei dati in sottodiscipline distinte, spesso fondata su considerazioni di carattere tecnico abbastanza superficiali, ha uno svantaggio: nella fisica dei dati non si riesce a riconoscere una struttura unitaria.

A lungo termine un corso non può permettersi di procedere in questo modo, cioè aggiungendo o infi-

lando da qualche parte una rilettura. La lista degli argomenti da aggiornare è troppo lunga per permettere di procedere così. Durante lo sviluppo del curriculum ci si deve chiedere in permanenza se il nuovo non offra qualche punto di vista che permetta di semplificare il vecchio, se non sia possibile trattare vecchio e nuovo contemporaneamente. Ci si deve chiedere se aspetti del corso apparentemente diversi non siano casi particolari della stessa cosa.

La ricerca di punti di vista di ordine superiore non ha solo motivazioni di economia didattica. Un corso che pone in primo piano gli aspetti tecnici è destinato a invecchiare. Un esempio: se nel corso si parla di computer, lo si fa sulla base di come i computer sono fatti ora. In quanto apparecchiatura elettronica verrà assegnata all'elettrologia. Ma ci si deve chiedere se non ci siano cose da dire sul computer che non dipendono dalla sua particolare realizzazione tecnica. Un computer non deve per forza lavorare elettronicamente. In linea di massima potrebbe anche funzionare meccanicamente. Un giorno ci saranno i computer ottici, e il cervello è una specie di computer elettrochimico.

Per lo stesso motivo ci si deve chiedere se sia possibile fare delle affermazioni sul computer senza presupporre la sua architettura attuale. Il cervello ad esempio, è fatto in modo completamente diverso, e i calcolatori con un'architettura a multiprocessore, così come i calcolatori basati sulle reti neurali, hanno un ruolo sempre più importante.

Infine, dovrebbe essere possibile fare delle affermazioni riguardanti le attività di un computer senza che dipendano dal tipo di problemi affrontato: risolvere un'equazione differenziale, riconoscere un modello o eseguire calcoli.

Di conseguenza, nel nostro corso i diversi fenomeni, procedimenti e dispositivi della tecnica dei dati vengono trattati a partire da punti di vista comuni.

Non perseguiamo questo obiettivo solo per ragioni di economia didattica. Il semplice fatto che ci siano dei punti di vista comuni è già un aspetto didattico importante.

2. La misura di Shannon per la quantità di dati

Se vogliamo dare una descrizione fisica capace di includere tutti i fenomeni e i dispositivi tecnici che conta la tecnica dei dati, dobbiamo munirci dell'attrezzo adatto. Per un fisico gli attrezzi più importanti sono le grandezze fisiche. Quindi cerchiamo una grandezza che serva a descrivere i fenomeni discussi nel paragrafo precedente.

Attorno a metà del XIX° secolo la situazione era molto simile. Allora, le descrizioni scientifiche della meccanica, dell'elettrologia e della termologia erano ancora abbastanza indipendenti, anche se da tempo si sapeva che dovevano essere in relazione. Queste relazioni furono incluse nella teoria nel momento in cui si costruì una nuova grandezza fisica: l'energia.

Il fatto che l'energia abbia acquisito una tale importanza dipende, tra le altre cose, anche dal fatto che è una grandezza *estensiva*.

Considerati i vantaggi portati alla fisica dall'introduzione dell'energia, sarebbe auspicabile costruire una grandezza di carattere estensivo che riassume i vari ambiti della tecnica dei dati. Siamo nella fortunata condizione di non dover costruire una grandezza del genere, perché c'è già: è la misura della quantità di dati, o di informazione, introdotta da C. Shannon (Shannon, Weaver 1949).

Questa grandezza si è affermata da tempo nella tecnica dell'informazione ed è diventata la grandezza centrale di una teoria specifica: la teoria dell'informazione. Ma finora la possibilità di servirsene per ordinare in modo sistematico la tecnica dei dati non è quasi mai stata sfruttata.

La misura dell'informazione di Shannon, o quantità di dati, è definita come

$$H = - \sum_{i=1}^N p_i \text{ld } p_i \text{ bit}$$

La grandezza è una misura della quantità di dati (espressa in bit) portata da un segno. N è il numero totale di segni utilizzati. p_i è la probabilità che compaia l' i -esimo segno. "ld" è il logaritmo in base due. Con questa equazione si possono calcolare sia la quantità di dati immagazzinata in un contenitore, sia la quantità di dati trasmessa attraverso un conduttore in un determinato intervallo di tempo.

A prima vista questa equazione sembra troppo difficile e inadatta a un corso per principianti. Non presuppone forse la comprensione del logaritmo e del concetto di probabilità? Ma un'analisi più attenta rivela che H si può esprimere in una forma più elementare e che in questo modo la grandezza diventa addirittura semplice.

All'inizio ci limitiamo a quei processi dove tutti gli N simboli sono equiprobabili, cioè quando:

$$p_1 = p_2 = \dots = p_N = 1/N$$

Dall'equazione che definisce H otteniamo

$$H = \text{ld}N \text{ bit}$$

In questa forma le probabilità non appaiono più. Tuttavia c'è ancora il logaritmo. Ma visto che l'equazione è equivalente a

$$2^{H/\text{bit}} = N,$$

anche gli studenti che non conoscono il logaritmo possono calcolare facilmente il valore di H a meno di un intero: basta loro cercare la potenza di due più vicina a N .

Abbiamo così trovato la proprietà della quantità di dati che ne fa una grandezza particolarmente comoda da usare. Mentre i valori di altre grandezze sono spesso determinabili solo applicando complicati

procedimenti di misurazione, i valori di H in sostanza si ottengono contando.

L'uso della grandezza H è facilitato anche dal suo carattere estensivo.

3. "Informazione" o "quantità di dati"?

Shannon chiamò la grandezza H da lui definita "entropia della sorgente di informazione". Poco dopo l'introduzione di questa grandezza un altro nome cominciò ad affermarsi sempre più. Molti autori la chiamavano semplicemente "informazione". Una scelta infelice, e vogliamo spiegare perché.

Innanzitutto va notato che nella letteratura scientifica la parola informazione assume significati diversi. Il nome "informazione" per la grandezza H si trova prevalentemente nei libri sulla teoria dell'informazione. In informatica invece, con "informazione" si intende qualcos'altro, e il significato assume sfumature diverse da autore a autore. In ogni caso la parola è riferita a un singolo messaggio, non è il nome di una grandezza fisica.

Ma soprattutto riteniamo inadeguato il nome informazione per la grandezza H , in quanto inevitabilmente evoca negli studenti false associazioni di idee. "Informazione" è anche una parola comune il cui significato non è d'aiuto se vogliamo capire la grandezza fisica H ; è piuttosto un ostacolo.

Il fatto che il significato comune della parola "informazione" si differenzi sotto molti aspetti dalla grandezza H , può essere dedotto analizzando la seguente ragionevole affermazione: "mi ha dato un'informazione importante riguardo a certi eventi".

Prima di tutto in questo caso la parola informazione si riferisce a un unico messaggio. La frase non deve caratterizzare una quantità di messaggi.

In secondo luogo il messaggio viene qualificato dall'aggettivo "importante", non secondo criteri fisici, ma umani. In ogni caso nel linguaggio comune ha senso parlare di informazione solo se, nella trasmissione, l'ultimo anello della catena è una persona. Ma la grandezza H non consente valutazioni secondo parametri umani. Ed è pure del tutto irrilevante il coinvolgimento o meno di una persona in una qualunque fase della trasmissione.

Terzo: la frase citata dimostra che nel linguaggio comune l'informazione riguarda sempre qualcosa. In modo più formale possiamo dire: il sistema A riceve dal sistema B informazione sul sistema C. Quando la parola informazione viene usata per la grandezza H , questo fatto porta a delle concezioni curiose della grandezza stessa. Effettivamente H , come grandezza estensiva, è associata a una regione dello spazio, cioè a un unico sistema fisico. Se pensiamo a una corrente di H entra in gioco un secondo sistema. Ma l'identificazione di un terzo sistema, in questo ambito non ha nessun senso.

La denominazione proposta da noi, "quantità di dati", non ha questi svantaggi. È costruita analogamente a "quantità di sostanza", la denominazione ampiamente accettata per la grandezza n . La parola "quantità" suggerisce che non si tratti di una singola informazione, bensì di una misura per la quantità di informazione, di testo, di immagini, ecc. - in breve: di dati. La parola "dati" sottolinea che il significato contenuto nell'informazione non ha rilevanza. Tra l'altro, per lo stesso motivo Schopenhauer chiamava "dati" i segnali trasmessi dagli organi di senso al cervello.

Inoltre la parola dati riferita alla misura di Shannon ha l'indubbio vantaggio di essere già ampiamente utilizzata nella terminologia informatica e della tecnica dei dati. Così si parla di trasmissione di dati, elaborazione di dati, memorizzazione di dati, input e output di dati, banca dati, ecc. Suona più naturale dire: "la memoria contiene una grande quantità di dati" piuttosto che "la memoria contiene molta informazione".

4. Il significato di un messaggio

A volte si tenta di distinguere tra "messaggio, incluso il suo significato" e "messaggio, escluso il suo significato" servendosi di parole diverse. Weaver ad esempio (Shannon, Weaver 1949) parla di "messaggio" nel primo caso e di "segno" nel secondo.

Ma la necessità di una tale distinzione si sente solo nel caso in cui il ricevitore del messaggio è un essere umano. In realtà la presenza o meno di una persona in un qualsiasi momento della trasmissione è irrilevante. E la distinzione tra dati con e senza significato crea probabilmente più confusione che chiarezza.

5. La precisione del numero di bit

La formula che permette di calcolare H ha una caratteristica molto comoda: il valore di H non è molto sensibile agli errori nella stima di N . Anche quando il numero di segni è molto incerto, il valore di H si ottiene con buona precisione. Non vale nemmeno la pena investire molto tempo nella determinazione dell'esatto numero di segni.

6. A cosa viene associata la grandezza "quantità di dati"?

Il modo con il quale solitamente la letteratura scientifica utilizza la misura dell'informazione di Shannon, causa spesso confusione. In particolare non si riesce a capire a cosa viene associato il valore della grandezza. Di solito la grandezza H è detta "informazione" e si trovano frasi del tipo: "l'informazione di questa situazione è...", oppure "l'informazione sul sistema conosciuta dall'osservatore ammonta a...".

H è una grandezza fisica e come tutte le grandezze fisiche è associata a un sistema fisico - non a una situazione o a un osservatore. Il *valore* di una grandezza può dipendere dall'osservatore, o più precisa-

mente dal sistema di riferimento scelto dall'osservatore. Ad esempio, il valore della quantità di moto di un'automobile dipende dal sistema di riferimento nel quale si descrive il moto. Questa considerazione non cambia il fatto che si tratta della quantità di moto dell'automobile, e non della quantità di moto del sistema di riferimento o dell'osservatore.

Di conseguenza, ogni volta che a lezione si parla di quantità di dati lo si deve fare identificando chiaramente il sistema nel quale sono contenuti i dati, rispettivamente i sistemi che se li scambiano.

I dati possono anche fluire a una persona ed essere immagazzinati nel suo cervello. Ma in una situazione del genere la persona non ha il ruolo di osservatore, bensì quello di un normale sistema fisico. Una persona può anche avere quantità di moto, senza avere il ruolo di osservatore, cioè di chi stabilisce il sistema di riferimento.

7. I vantaggi dell'additività

Nel calcolo della quantità di dati sfruttiamo spesso l'additività di H , senza però precisarlo esplicitamente. Immaginiamo di dover calcolare la quantità di dati di un'immagine composta da una griglia di $20 \cdot 20 = 400$ punti, ognuno dei quali può assumere uno tra i quattro colori nero, grigio scuro, grigio chiaro e bianco. Un metodo per calcolare la quantità di dati dell'immagine si serve del numero totale di segni, cioè il numero totale di immagini possibili. In questo caso ammonta a 4^{400} . Non è molto facile far capire agli studenti come si ottiene questa potenza. Inoltre il valore N è molto elevato, ben oltre i valori contenuti nella nostra tabella delle potenze di 2.

Quindi procediamo in altro modo: è facile rendersi conto che la quantità di dati di ogni singolo punto dell'immagine è 2 bit. A causa dell'additività di H , per tutta l'immagine otteniamo:

$$H = 400 \cdot 2 \text{ bit} = 800 \text{ bit.}$$

Se gli studenti conoscessero i logaritmi avrebbero potuto ottenere lo stesso risultato in un altro modo:

$$H = \text{ld}(4^{400}) \text{ bit} = 400 \cdot \text{ld} 4 \text{ bit} = 800 \text{ bit.}$$

8. La ridondanza

Un codice binario si dice *ridondante* se un segno porta meno di un bit, cioè se i due segni non sono equiprobabili. Visto che i trasporti di dati con segni di probabilità diversa verranno trattati più avanti, anche la ridondanza non viene affrontata fino a quel momento.

9. Bibliografia

HERRMANN, F., SCHMÄLZLE, P.: Daten und Energie. J. B. Metzler und B. G. Teubner, Stuttgart (1987).

SHANNON, C. E., WEAVER, W.: The mathematical Theory of communication, University Press, Urbana (1949).

16. Elettricità e correnti elettriche

1. Cominciare con l'elettricità ferma o con l'elettricità che scorre?

Prima di affrontare l'elettrologia ci si deve chiedere se iniziare trattando le correnti elettriche o l'elettrostatica. L'insegnamento sarebbe più comodo se non fosse necessario porci questa domanda.

Se dovessimo aiutare un'ipotetica persona che non abbia mai visto un liquido a familiarizzarsi con le proprietà dell'acqua, non ci verrebbe sicuramente in mente di cominciare limitandoci al caso dell'acqua che scorre oppure al caso dell'acqua accumulata e ferma. Mostreremmo subito che l'acqua può essere tenuta in un contenitore e che può scorrere da un punto a un altro.

Se facciamo terminologia consideriamo fin dall'inizio sia l'entropia immagazzinata in un corpo sia le correnti di entropia. E in meccanica è meglio introdurre parallelamente quantità di moto e correnti di quantità di moto, cioè forze.

Perché in elettrologia non è possibile fare la stessa cosa? Perché in natura le correnti di elettricità si manifestano chiaramente solo in quegli esperimenti dove l'elettricità non si accumula da nessuna parte. La quantità di elettricità accumulata negli esperimenti di elettrostatica è sempre così piccola che le correnti generate, scaricandosi a terra, sono difficilmente percepibili. I metodi che permettono di misurare queste correnti di brevissima durata (ad esempio con un LED) sono molto diversi da quelli con cui si misurano correnti "normali", cioè sfruttando la produzione di calore o i loro campi magnetici.

D'altro canto nemmeno correnti elettriche intense, dell'ordine di 1 A, che fluiscono anche per parecchio tempo, causano l'accumularsi di carica sui corpi o sugli apparecchi. La carica elettrica delle varie parti coinvolte è praticamente nulla.

I fenomeni elettrici si dividono quindi in due classi che hanno pochi aspetti comuni.

Abbiamo deciso di cominciare dai fenomeni dei quali ogni studente ha più esperienza diretta: dalle correnti elettriche. La conseguenza è che nelle lezioni parliamo della corrente di qualcosa che non è ancora possibile osservare quando non scorre. Parliamo di proprietà dell'elettricità che si manifestano solamente quando l'elettricità fluisce e non di proprietà dell'elettricità statica, che non fluisce.

Procedendo in questo modo sembrerebbe addirittura che l'elettricità statica non abbia alcuna proprietà in quanto lo studente non ha ancora imparato che noi non notiamo nessuna proprietà dell'elettricità, per esempio in un filo, solo perché il filo non è carico, perché gli effetti (i campi) dell'elettricità positiva e negativa si annullano.

Nelle lezioni però, per dare un'idea chiara della corrente elettrica, fin dall'inizio chiamiamo ciò che

fluisce con il suo nome, elettricità. E per sottolineare che con l'unità di misura ampere si misura l'intensità della corrente poniamo l'accento sul fatto che ampere è solo un'abbreviazione di coulomb al secondo.

Questo aspetto va affrontato con molta cura, altrimenti l'intensità di corrente rischia facilmente di essere confusa con la tensione o con il potenziale. Confusioni del genere sono favorite da espressioni come: "c'è corrente", sicuramente usata da ogni studente.

Quando diciamo che in un filo fluisce elettricità o più semplicemente parliamo dell'elettricità che si trova nel filo, ci riferiamo naturalmente solo alla parte in movimento della carica elettrica totale. All'inizio dell'elettrologia evitiamo di parlare del fatto che l'elettricità può avere due segni. In particolare evitiamo di parlare del moto del portatore della carica. Visto che il portatore della carica si muove spesso in direzione opposta alla corrente elettrica nasceranno discussioni improduttive su segni e direzioni.

2. La parola "corrente"

"Corrente" è una parola comune. Al di là del suo significato originale, come nel senso di corrente d'acqua, è ampiamente usata per indicare quello che per i fisici è "energia trasmessa elettricamente". Lo si deduce dalle seguenti frasi comunemente usate: "la corrente viene dalla presa", o "forniamo corrente a prezzi vantaggiosi". Si noti che qui dicendo corrente evidentemente si intende l'energia stessa e non la corrente di energia (nel senso fisico del termine).

Questa accezione della parola "corrente" è alquanto simile a ciò che un fisico intende con corrente, cioè la corrente elettrica. Possono facilmente nascere confusioni. Per questo motivo consigliamo di non omettere mai l'aggettivo "elettrica". Per sottolineare ancora di più cosa scorre effettivamente, ogni tanto si può anche parlare di "corrente di elettricità".

A questo proposito c'è un altro problema. Noi fisici usiamo spesso espressioni come: "la corrente è di 2 A". Non indichiamo il fenomeno dell'elettricità che fluisce come corrente ma la grandezza fisica I , ulteriore causa di confusione. Non si dimentichi quindi che la grandezza I è l'intensità della corrente. È meglio dire: "l'intensità della corrente è 2 A" oppure "la corrente ha un'intensità di 2 A", più o meno come si dice "20 kg di patate".

3. "Elettricità" o "carica elettrica"?

Usiamo le parole carica elettrica (in breve: carica) ed elettricità come sinonimi. All'inizio preferiamo comunque la parola elettricità. Usando il termine comune "carica" è spontaneo chiedersi cosa sia carico e all'inizio dell'elettrologia vorremmo evitare la questione del portatore della carica elettrica.

Inoltre nel corso si è già parlato di come un portatore di energia sia caricato di energia. In quel caso, anche se non espresso in questi termini, era l'energia ad esserne il carico.

Non useremo quindi la parola carica per la grandezza Q prima di iniziare a parlare del portatore della carica.

4. Potenziale elettrico e tensione

Introduciamo il potenziale elettrico prima della tensione; parliamo della differenza dei valori di una grandezza solo dopo che la grandezza stessa sia stata presentata (Herrmann, Schmälzle 1984).

Il problema che sorge cominciando dalla tensione o addirittura limitandosi alla tensione è noto alla maggior parte dei docenti: gli studenti tentano di assegnare una tensione a un solo punto di un circuito, come espresso nella tipica frase: "il filo è sotto tensione."

Durante la lezione è utile sottolineare che in una frase la parola "tensione" dovrebbe sempre essere seguita dalla preposizione "tra". Mentre si può dire: "il potenziale di questo filo è..." si *deve* dire: "la tensione *tra* questi due fili è..."

Operare con il potenziale permette inoltre l'applicazione del metodo della marcatura con i colori per i segmenti di conduttore.

5. Lo zero del potenziale

Un problema pratico che si presenta lavorando con il potenziale elettrico è che i valori del potenziale nei vari punti di un circuito senza messa a terra non sono noti e dipendono da influssi difficilmente controllabili. Affinché le condizioni siano sempre chiare, durante le lezioni i circuiti sono sempre messi a terra da qualche parte.

6. La regola dei nodi e la regola delle maglie

La regola dei nodi e la regola delle maglie sono molto utili per i calcoli relativi alle reti elettriche. Il loro campo d'applicazione è molto vasto: a differenza della legge di Ohm non dipendono dalle caratteristiche dei materiali. Di conseguenza nel nostro corso hanno un ruolo particolarmente importante.

Non è nemmeno necessario formulare esplicitamente la regola delle maglie. Viene applicata automaticamente dagli studenti appena lavorano con il potenziale elettrico. Se a ogni punto di un circuito è associato un valore del potenziale, allora vale che la somma delle differenze di potenziale tra le estremità dei lati che costituiscono una maglia è uguale a zero.

Sui limiti delle regole dei nodi e delle maglie:

La regola dei nodi è un caso particolare dell'equazione di bilancio per la carica elettrica:

$$\frac{dQ}{dt} + \sum_i I_i = 0$$

Se all'interno di una regione dello spazio la carica non cambia, allora:

$$\sum_i I_i = 0$$

cioè: l'intensità totale della corrente che attraversa la superficie è uguale a 0 A. Quindi, la regola dei nodi vale per una regione dello spazio (che contiene il nodo) fintanto che il valore della carica non cambia.

La regola delle maglie è un caso particolare della seconda equazione di Maxwell:

$$\oint \mathbf{E} d\mathbf{r} = - \iint \mathbf{B} d\mathbf{A}$$

Se il flusso magnetico in una curva chiusa resta invariato, allora

$$\oint \mathbf{E} d\mathbf{r} = 0$$

cioè: l'integrale lungo questa curva dell'intensità del campo elettrico è uguale a zero. La regola delle maglie vale quindi fintanto che il flusso magnetico attraverso la maglia del circuito considerato non cambia.

7. La legge di Ohm

Nell'ambito del nostro corso la legge di Ohm viene osservata in due strutture: prima in un pezzo di filo qualsiasi (la cui temperatura non deve variare troppo al fluire della corrente) e in seguito in un resistore.

Per la maggior parte delle domande che ci poniamo non è importante che un certo filo soddisfi la legge di Ohm. Dopotutto presupponiamo quasi sempre che la resistenza di un filo sia trascurabile.

Il fatto che un resistore soddisfi la legge di Ohm è sì importante, ma non aiuta certo molto a comprendere la natura, in quanto i resistori sono costruiti appositamente per soddisfare la "legge" di Ohm, cioè per avere una curva caratteristica ohmica.

8. Curve caratteristiche

Per sottolineare il fatto che nel tracciare una curva caratteristica la variabile indipendente, quella che si può variare a piacimento, è la tensione mentre l'intensità di corrente è la variabile che non si può regolare ma che osserviamo come risultato della

tensione scelta, ci piace procedere senza nemmeno usare un voltmetro, ma leggendo la tensione direttamente sulla manopola di regolazione dell'alimentatore.

Ovviamente si potrebbe anche dare l'impressione opposta: che noi impostiamo una corrente e che la tensione si regola di conseguenza. Basterebbe servirsi di un alimentatore stabilizzato di corrente invece che di un alimentatore stabilizzato di tensione. Non procediamo in questo modo perché abbiamo scelto di indicare la differenza di potenziale elettrico (in generale: la differenza dei valori della variabile intensiva) come "spinta" o "causa".

9. Resistenze in serie e resistenze in parallelo

Nel nostro corso le resistenze in serie e in parallelo vengono trattate solo nell'ambito degli esercizi. Inoltre negli esercizi si combinano unicamente resistenze uguali. Le regole corrispondenti non sono inserite nella lista delle leggi importanti. Il motivo per dare all'argomento meno importanza di quanto si faccia di solito è che gli apparecchi con una curva caratteristica ohmica sono dei casi particolari. Il campo di applicazione delle regole di combinazione risulta quindi molto limitato. Inoltre, per coerenza, si dovrebbero formulare le stesse regole anche per altre correnti: per correnti di quantità di moto, correnti di entropia e infine anche per correnti d'acqua. Non si fa perché l'argomento non è ritenuto sufficientemente importante.

10. Bibliografia

HERRMANN, F., SCHMÄLZLE, P.: Das elektrische Potential im Unterricht der Sekundarstufe I. MNU 37/8, 476 (1984).

18. Il campo magnetico

1. I campi come strutture concrete

Viene data importanza all'introduzione dei campi come dei sistemi fisici da prendere seriamente. In primo luogo ciò corrisponde all'interpretazione della moderna teoria dei campi, in secondo luogo è facile da capire (Herrmann 1989,1990).

Maxwell definì il campo elettrico come "... lo spazio che circonda un corpo elettrizzato, sempre che nello stesso si manifestino dei fenomeni elettrici." Le odierne formulazioni che tentano di definire il campo, ricordano molto la definizione di Maxwell. Molto spesso il campo viene descritto come "una regione dello spazio" dove succede qualcosa, o dove agiscono determinate forze.

Oggi giorno però una descrizione del genere è difficilmente comprensibile. Ai tempi di Maxwell non era così. Per Maxwell e i suoi contemporanei lo spazio era riempito di un mezzo, l'etere. Spazio ed etere coincidevano. Quindi il campo era semplicemente uno stato di questo mezzo. Ma visto che nel frattempo l'etere è stato bandito dalla fisica, la citata formulazione di Maxwell diventa estremamente poco intuitiva.

2. Interazioni magnetiche ed elettriche

Formulazioni come "i poli uguali si respingono, i poli opposti si attraggono", risalgono a prima di Faraday, ai tempi quando le interazioni erano descritte come interazioni a distanza. Malgrado da più di 100 anni più nessuno scienziato creda a interazioni del genere, usiamo ancora le vecchie formulazioni e, di conseguenza, promuoviamo la vecchia concezione.

Visto che questa descrizione delle interazioni magnetiche è già nota a ogni studente prima ancora di frequentare il corso, inizialmente la adottiamo, per sostituirla subito con una formulazione da interazione a contatto: "i poli uguali sono respinti dal loro campo magnetico, i poli opposti vengono attratti".

Lo stesso vale per le interazioni elettriche.

3. Due tipi di polo magnetico

La carica magnetica è una grandezza che può assumere sia valori positivi sia valori negativi. Normalmente lo si sottolinea dicendo che ci sono due tipi di polo magnetico: il polo nord e il polo sud. Questo modo di esprimersi è fuorviante. Suggestisce che la carica magnetica si presenta con due diverse qualità, altrettanto diverse di "maschile" e "femminile".

Anche definendo "omonimi" i poli che portano la stessa carica magnetica ed "eteronimi" quelli che portano carica di segno opposto, daremmo l'impressione che ci siano due tipi di carica magnetica. In un corso di matematica non formuleremmo il seguente teorema: "il prodotto di due numeri omonimi è positivo, il prodotto di due numeri eteronimi è negativo".

4. La rappresentazione grafica dei campi

Ci serviamo delle linee di campo per rappresentare graficamente una struttura invisibile, il campo. Rispetto ad altri tipi di rappresentazione, quella con le linee di campo ha il vantaggio di contenere molte informazioni quantitative riguardanti il campo. Ha lo svantaggio di dare l'impressione che il campo si sviluppi in una sola direzione, quella delle linee. (Potremmo descrivere altrettanto bene un campo statico con i piani equipotenziali perpendicolari alle linee di campo. In questo caso daremmo l'impressione che il campo si sviluppi solo in direzione perpendicolare all'intensità del campo.) Per evitare di dare questa impressione cominciamo con altre rappresentazioni: con tonalità di grigio, con punti e con frecce.

Tra l'altro, per un corso di questo livello non sussistono motivi sufficienti per ritenere la rappresentazione con linee di campo migliore di quella con le frecce, in quanto le informazioni quantitative contenute nelle linee di campo non sono oggetto del corso. Le linee di campo esprimono ciò che i fisici chiamano assenza di divergenza del campo. Ma in un corso di questo livello non viene trattata.

5. Intensità del campo magnetico o densità di flusso?

Anche se in un corso di questo livello il campo magnetico non è descritto quantitativamente, cioè mediante una delle grandezze vettoriali \mathbf{H} e \mathbf{B} , il docente deve essere cosciente di quale sia la grandezza a cui pensa quando parla di campo, visto che anche le affermazioni qualitative sul campo dipendono dalla scelta fatta.

Ognuna delle grandezze \mathbf{H} e \mathbf{B} ha i suoi vantaggi (Herrmann 1991).

Usando \mathbf{H} la trattazione della magnetostatica è sensibilmente facilitata. La costruzione della magnetostatica sarebbe del tutto analoga alla costruzione dell'elettrostatica.

Così come in elettrostatica possiamo dire che le linee del campo \mathbf{E} iniziano alla carica positiva e finiscono alla carica negativa, in magnetostatica vale che le linee del campo \mathbf{H} iniziano alla carica del polo nord e finiscono alla carica del polo sud. Ed esattamente come non c'è il campo \mathbf{E} all'interno dei metalli, all'interno dei materiali magnetici dolci non c'è il campo \mathbf{H} (ma lo stesso non vale per il campo \mathbf{B}).

Le affermazioni della magnetostatica sulla densità di flusso \mathbf{B} sono più complicate. In particolare è molto difficile capire dalle linee del campo \mathbf{B} dove si trovino i poli di un magnete.

Aggiungiamo un'osservazione sulla colorazione dei magneti permanenti. Secondo la prassi, metà del magnete è contrassegnata in rosso e l'altra metà in verde. Questo suggerisce che la metà rossa sia un polo e la metà verde l'altro polo, oppure anche che la

superficie della parte rossa sia un polo e la superficie della parte verde sia l'altro. In realtà però i poli sono unicamente sulle superfici alle estremità del magnete. Solo loro dovrebbero essere colorate.

Alla radice di questo modo errato di contrassegnare i magneti potrebbe esserci un equivoco. I poli di un magnete *non* sono i punti dove le linee dei campi \mathbf{H} e \mathbf{B} entrano nel magnete (all'esterno non è necessario distinguere tra le due grandezze), ma il punto dove il campo di magnetizzazione \mathbf{M} e, di conseguenza, anche l'intensità del campo magnetico \mathbf{H} hanno divergenza diversa da zero.

Mentre la magnetostatica viene facilitata descrivendo il campo magnetico servendosi dell'intensità di campo \mathbf{H} , la descrizione dell'induzione è più facile usando \mathbf{B} . Il valore di una tensione indotta dipende dalle variazioni del flusso del campo vettoriale \mathbf{B} . Visto che \mathbf{B} è la somma dell'intensità del campo e della magnetizzazione (per un fattore costante),

$$\mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{H} + \mathbf{M},$$

la tensione indotta, se non si usa \mathbf{B} , può avere due cause, cioè una variazione nel tempo dell'intensità di campo \mathbf{H} o una variazione nel tempo della magnetizzazione \mathbf{M} . In un corso avanzato vale sicuramente la pena lavorare con \mathbf{H} e \mathbf{B} : con \mathbf{H} per la magnetostatica e con \mathbf{B} per l'induzione. A questo livello invece non è proponibile, visto che la relazione tra \mathbf{H} e \mathbf{B} non può essere formulata. Quindi si deve decidere per \mathbf{H} o per \mathbf{B} .

Abbiamo deciso in favore dei vantaggi della magnetostatica, cioè per \mathbf{H} . L'induzione ne risulta solo leggermente più complicata.

6. La magnetizzazione

La magnetizzazione \mathbf{M} è un campo vettoriale che descrive lo stato di magnetizzazione della materia. Le sorgenti e gli scarichi di questo campo sono ciò che definiamo poli magnetici. Questo significa che le sorgenti e gli scarichi possono essere interpretati come "densità di carica magnetica" ρ_m :

$$\rho_m = -\operatorname{div} \mathbf{M}$$

Se conosciamo il campo di magnetizzazione di un corpo, sappiamo dove sono i poli. Per contro, dalla distribuzione dei poli non è possibile risalire in modo univoco all'andamento delle linee di magnetizzazione.

La relazione tra linee di magnetizzazione e distribuzione dei poli è così semplice da poter essere discussa a lezione. Trattando la magnetizzazione ci si rende conto che magnetizzandolo, un corpo cambia in ogni suo punto, non solo dove si trovano i poli. Diventa evidente anche il fatto che spezzando un magnete si ottengono nuovi poli. Inoltre, la trattazione della magnetizzazione è importante nell'ottica di un corso avanzato: l'intensità del campo magnetico e la magnetizzazione, assieme formano ciò che più avanti verrà chiamato densità di flusso.

7. Due esperimenti di induzione

A volte trattando l'induzione si distingue tra due casi: 1. Un magnete permanente viene spinto in una bobina ferma. 2. Una bobina viene spinta sopra un magnete permanente fermo.

Naturalmente in entrambi i casi si tratta dello stesso esperimento. È solo descritto in sistemi di riferimento diversi.

Stando alla nostra esperienza di insegnamento, a nessuno studente viene in mente che siano due esperimenti diversi. Le difficoltà logiche sorgono solo quando si tenta di descrivere il problema con l'aiuto delle intensità di campo, cioè matematicamente. Solo allora gli esperimenti sembrano diversi, visto che in un caso appare la derivata dell'intensità del campo magnetico, nell'altro caso no. Allora si deve mostrare che cambiando sistema di riferimento, le intensità del campo variano in modo tale da lasciare invariati gli effetti osservabili. Fino a quando non si introduce una descrizione matematica dell'induzione la distinzione tra i due esperimenti sembra innaturale.

8. Bibliografia

HERRMANN, F.: Energy density and stress: A new approach to teaching electromagnetism. Am. J. Phys. 57, 707 (1989).

HERRMANN, F.: Felder als physikalische Systeme. MNU 43/2, 114 (1990).

HERRMANN, F.: Teaching the magnetostatic field: Problems to avoid. Am. J. Phys. 59, 447 (1991).

19. Elettrostatica

1. Il campo elettrico dopo quello magnetico

Ci sono argomenti pro e contro l'introduzione dell'elettrostatica alla fine dell'elettrologia. Nel nostro caso è stato decisivo il fatto che volessimo introdurre il concetto di campo a partire dal campo magnetico piuttosto che dal campo elettrico. Il primo contatto degli studenti con un campo non deve essere con una struttura così sfuggibile come il campo elettrico, un campo i cui effetti si possono percepire solo predisponendo tutta una serie di misure di sicurezza.

2. Carica e portatore di carica

Viene posto l'accento sulla necessità di distinguere tra la *grandezza fisica* "carica elettrica" e il *sistema fisico* "portatore di carica". Altrimenti è fin troppo facile identificare la carica elettrica con gli elettroni. Elettroni, ioni e altre particelle sono solo i portatori della carica elettrica. Portano anche altre grandezze fisiche (estensive): massa, quantità di sostanza, quantità di moto angolare, quantità di moto, entropia, ecc. Così un elettrone libero "porta"

la carica elettrica $Q = e = -1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$,

la massa $m = m_e = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$,

la quantità di moto angolare $L = h/4\pi = 0,527 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$,

la quantità di sostanza $n = 1/N_A = 1,66 \cdot 10^{-24} \text{ mol}$

I valori di quantità di moto ed entropia dipendono dallo stato in cui si trova l'elettrone.

3. Gli strani congegni dell'elettrostatica

In elettrostatica si sperimenta con apparecchiature completamente diverse da quelle viste prima nelle lezioni: con sfere conduttrici, con il generatore elettrostatico, con elettroscopi e LED. Il paragrafo 19.3 serve a chiarire perché i vecchi alimentatori e apparecchi di misurazione non sono più utilizzabili.

20. La tecnica dei dati

1. Cosa amplifica un amplificatore

L'amplificatore viene presentato come un apparecchio per aumentare la corrente di energia che accompagna una corrente di dati. Crediamo sia meglio cominciare in questo modo piuttosto che trattando un circuito elettronico di amplificazione. In quest'ultimo caso agli studenti potrebbe non risultare chiara la funzione di un amplificatore. Se l'amplificatore viene presentato solo come un apparecchio che rinforza la corrente elettrica o la tensione elettrica, ci si deve chiedere perché al suo posto non si usa un trasformatore. Anche un trasformatore rinforza la corrente elettrica, ma lo fa a scapito della tensione, e viceversa. La corrente di energia rimane costante, nella migliore delle ipotesi.

2. Sulla riduzione di dati in un computer

Come la sperimentazione ha mostrato, gli studenti non hanno nessuna difficoltà a intuire che un computer riduce la quantità di dati. Per contro, a volte è stato difficile convincere dei matematici o fisici esperti. Potrebbe dipendere dal fatto che la comprensione era ostacolata da una preesistente concezione della grandezza "quantità di dati" (o "entropia di decisione"). Il fatto che l'utente usando un computer impari qualcosa sembra suggerire che il computer generi una certa quantità di dati. Per convincerci in ogni singolo caso che non è così (se non con l'ordine RANDOM), dobbiamo applicare al problema la formula completa di Shannon, e questo significa fare chiarezza sulla distribuzione della probabilità dei segni in entrata e in uscita dal computer. Semplifichiamoci subito il compito immaginando che i dati forniti dal computer vengano trasmessi e usati per manovrare una macchina e non a placare la sete di sapere di qualche persona.

3. Teoria dei codici in un corso di fisica?

Il corso offrirebbe l'opportunità di approfondire la teoria dei codici: determinare la ridondanza di linguaggi e immagini, escogitare codici con la minore ridondanza possibile e molto altro. Questi problemi sono interessanti, si adattano al livello del corso e hanno una rilevanza pratica. Malgrado ciò riteniamo che non vadano affrontati in un corso di fisica. In linea di massima sono più adatti a un corso di matematica. Intravediamo la possibilità di fornire alla matematica delle interessanti domande di tecnica dell'informazione.

21. La luce

1. Come affrontare l'ottica in un corso di questo livello

Lo scopo più importante dell'ottica geometrica è la spiegazione della formazione delle immagini e la sua applicazione negli strumenti ottici. Quindi è senza dubbio una parte della fisica applicata. Le applicazioni di cui tratta sono però abbastanza particolari. Di conseguenza lo spazio dedicato all'ottica geometrica deve essere paragonato allo spazio dedicato ad altre applicazioni altrettanto particolari della fisica. Dovremmo vederla in concorrenza con l'elettronica, la tecnica dell'informazione, l'idrodinamica e altre discipline tecniche. Secondo la nostra opinione, in un confronto del genere l'ottica non risulta di certo penalizzata.

La si dovrebbe anche confrontare con aspetti di fisica fondamentale, come la termodinamica. Di fatto, spesso nei libri di fisica di questo livello le pagine dedicate all'ottica sono più di quelle dedicate alla termodinamica.

2. Gli argomenti di ottica geometrica

C'è tutta una serie di argomenti interessanti che possono essere trattati con l'ottica geometrica, ma che a scuola non sono trattati per niente. Invece l'ottica scolastica si limita a fenomeni molto specifici e particolari. Si può facilmente dare l'impressione che i raggi di luce e la distribuzione della luce siano importanti solo là dove qualcuno forma un'immagine. Ma questa è una situazione eccezionale.

Esempi di argomenti che fanno parte dell'ottica geometrica e non sono certo meno interessanti di quelli tradizionali, potrebbero essere:

- l'analisi della distribuzione della luce come funzione di spazio e direzione nelle condizioni più svariate (per esempio nebbia o sole splendente);
- l'analisi di sistemi ottici che non formano immagini (in generale i concentratori di luce che non formano immagini hanno dei fattori di concentrazione molto più elevati dei sistemi che formano immagini);
- la descrizione di mescolanze di luce di diversa coerenza.

3. La luce come sostanza

Parliamo della luce come di una sostanza che fluisce dalla sorgente al ricevitore, quindi diamo un'immagine molto concreta anche della luce (come caso particolare dei campi elettromagnetici). Infatti un raggio di luce ha molto in comune con un raggio di particelle materiali. Come un raggio di materia anche la luce ha energia, quantità di moto, quantità di moto angolare ("spin"), entropia, ecc. Esattamente come della materia anche della luce si può dare una

descrizione atomistica. I suoi mattoni elementari sono i fotoni. Ed esattamente come la materia anche la luce può trovarsi rinchiusa in un contenitore. In questo caso normalmente si parla di cavità radiante.

In particolare nel corso non diciamo che la luce si propaga, diciamo che si muove.

4. La distribuzione locale della luce

Se consideriamo la luce in un determinato punto, possiamo fare delle affermazioni:

- sulla distribuzione delle direzioni della luce in quel punto;
- sulla distribuzione delle lunghezze d'onda in quel punto.

La prima affermazione riguarda ciò che in fisica si chiama coerenza spaziale, la seconda riguarda la coerenza temporale. Un'affermazione sulla coerenza della luce è quindi sempre un'affermazione sulla luce in un certo punto. Alcuni testi lasciano sorgere il dubbio che la coerenza sia una proprietà posseduta solo dai campi di luce estesi.

In realtà, all'interno di un campo di luce la coerenza è generalmente diversa da luogo a luogo. Ad esempio, la coerenza spaziale della luce di una lampadina aumenta se ci si allontana dalla lampadina.

Si potrebbe obiettare che non si può certo parlare di coerenza della luce in un singolo *punto*. È vero. Ma il punto è un'astrazione matematica che in fisica crea spesso delle difficoltà. Si dice anche, e a ragione, che la pressione, la temperatura o la densità sono locali, cioè grandezze associate a un punto. Malgrado ciò è impossibile esprimere il valore di queste grandezze in un punto nel senso matematico del termine.

Nel testo per studenti per determinare il punto abbiamo usato la "regione dello spazio R di forma sferica".

Per chiarire agli studenti il concetto di coerenza si può usare anche la seguente allegoria.

Davanti a noi c'è una grande cassa contenente molte mele diverse. Le mele si differenziano per due caratteristiche: per grandezza e per colore. Vogliamo classificare le mele. Cominciamo separandole a seconda della grandezza in 10 casse diverse, un diverso intervallo di grandezza per ogni cassa. Ora il contenuto di ogni cassa è uniforme. In seguito le mele di ogni cassa vengono suddivise in altre 10 casse a seconda del colore. In totale ci ritroviamo con 100 casse, ognuna con mele uniformi secondo entrambi i criteri, grandezza e colore.

La similitudine tra mele e luce è sorprendentemente valida. Per esempio ci rendiamo conto che per ottenere dei mucchietti di mele ordinati a partire da un mucchio di mele diverse, l'unico sistema consiste nel togliere le mele che non soddisfano il criterio

scelto. Non si può trasformare una mescolanza di mele in mele tutte uguali, così come non si può trasformare luce incoerente in luce coerente.

Per contro, è possibile coltivare dei meli che producano un solo tipo di mele. L'analogo succede con la luce. Possiamo usare una sorgente di luce che genera luce coerente, vale a dire un laser.

5. La densità della radiazione

Nel paragrafo 21.4 analizziamo qualitativamente la distribuzione della luce in un determinato punto in funzione dell'angolo e della lunghezza d'onda. La grandezza fisica in questione è detta *densità spettrale di radiazione*: la densità della corrente di energia per angolo solido e per intervallo di lunghezza d'onda. Questa grandezza è particolarmente adatta alla descrizione dei campi di radiazione. L'ideale è immaginare il campo rappresentato in uno spazio a sei dimensioni: come funzione di tre coordinate spaziali e di tre coordinate angolari. Ancora più coerente sarebbe esprimere la sua distribuzione nello spazio delle fasi - tre coordinate spaziali e tre coordinate di quantità di moto.

22. La formazione di immagini

1. Alcuni argomenti mancanti

Nel tentativo di snellire l'ottica geometrica, con una certa prudenza, abbiamo tolto dal corso alcuni argomenti e concetti.

Così mancano per esempio *immagine reale e virtuale, lente convergente, lente divergente, lente concava e lente convessa*.

Abbiamo anche rinunciato a spiegare la costruzione di immagini con l'aiuto di punto di fuga, raggi paralleli e linee guida. Crediamo che l'impegno necessario sia troppo alto se paragonato all'importanza dell'argomento. Inoltre, sappiamo per esperienza (con molti studenti di fisica agli esami intermedi) che anche chi padroneggia i principi del metodo, si arena spesso al primo ostacolo di tipo pratico.

2. Sistemi ottici con due lenti

Non è facile capire perché a volte può essere indispensabile utilizzare più lenti per la formazione di un'immagine. Dopotutto con una sola lente è possibile realizzare immagini con un ingrandimento qualsiasi.

Anche quando uno studente è in grado di descrivere correttamente il percorso dei raggi in un microscopio o in un cannocchiale, c'è da temere che non abbia capito i motivi che rendono necessario l'uso di due lenti.

Se non fossero parte del programma, avremmo rinunciato volentieri a trattare il microscopio e il cannocchiale.

23. I colori

1. Il quasi sconosciuto spazio cromatico

Lo spazio cromatico tridimensionale causa uno strano fenomeno: malgrado sia facile convincersi che ogni impressione cromatica sia descrivibile definendo tre caratteristiche, la maggior parte delle persone non sa che le percezioni cromatiche formano uno spazio tridimensionale. Lo si nota ad esempio nelle difficoltà solitamente incontrate nel descrivere i colori. Quando si parla di colori si ritiene normale aspettarsi delle affermazioni soggettive e che le affermazioni sui colori abbiano una validità limitata - influenzate dai più svariati effetti ottici. Sarebbe impossibile fare delle affermazioni precise riguardo alla percezione dei colori.

Gli effetti ottici ci sono davvero, e l'insegnamento della percezione dei colori presenta anche aspetti molto complessi. Ma ha anche aspetti indipendenti da ogni soggettività. Per esempio il fatto che due impressioni cromatiche ritenute uguali da una certa persona, saranno ritenute uguali anche da qualcun altro (che non sia daltonico). Anche le leggi di Graßmann (Lang 1978), che implicano la tridimensionalità dello spazio delle percezioni cromatiche, ne sono un esempio.

La teoria dello spazio cromatico tridimensionale ha assunto particolare importanza da quando esistono la fotografia a colori e la televisione a colori. E da quando ci sono dei calcolatori che possono generare su uno schermo una vastissima gamma di colori, sperimentare con lo spazio cromatico risulta anche molto agevole.

2. La topologia della scala cromatica

Tra le altre cose lo spazio cromatico è interessante in quanto uno dei suoi assi di coordinate, la tonalità, è chiuso su sé stesso. In fisica si conoscono poche scale con questa caratteristica. Un altro esempio, abbastanza banale, è la scala degli angoli. Un altro esempio, molto meno intuitivo, sono le dimensioni spaziali in un universo chiuso.

3. I nomi propri dei colori

Il fatto che molto spesso i colori siano designati da nomi propri è un altro indizio di quanto poco si conosca lo spazio cromatico. Spesso il nome di un colore deriva dal processo di produzione del colorante, come il giallo cadmio, il verde ossido di cromo o il nero seppia, e spesso il nome deriva da qualcosa che possiede quel colore, come il verde oliva, il blu genziana, il rosso vino o l'antracite. Per i nuovi colori alla moda si inventano spesso nomi nuovi.

Agli studenti appare sorprendente poter determinare in modo univoco e con tre soli valori un colore "indefinibile".

4. Mescolanze additive e sottrattive

Non usiamo le definizioni "additiva" e "sottrattiva" riferite alle mescolanze di colori, perché non crediamo che aiutino la comprensione, in quanto suggeriscono che si tratti di processi analoghi. In realtà la cosiddetta mescolanza additiva di colori è la composizione di luce di due o più tipi, quindi un processo che sarebbe più appropriato definire mescolanza di luce. Non c'è nessuna regola fissa che metta in relazione la percezione cromatica delle singole componenti e quella della luce risultante. Per contro nella cosiddetta mescolanza sottrattiva di colori non si mescola proprio niente, si applicano solo dei filtri successivi. Non c'è una regola fissa che metta in relazione la percezione cromatica della luce che attraversa un filtro e quella della luce che ha attraversato diversi filtri in successione. Per esempio, interponendo un filtro blu e uno giallo alla luce solare può risultare in un colore verde, nero o un altro colore, a seconda dello spettro di assorbimento dei due filtri.

Parlando di mescolanza additiva e sottrattiva si può facilmente dare l'impressione che si il tutto si riduca a mescolare coloranti. In realtà il colore di un miscuglio di coloranti dipende sia dalla mescolanza di luce che dall'effetto filtrante dei pigmenti.

5. La metrica dello spazio cromatico

La nostra descrizione dello spazio cromatico è qualitativa, vuol dire che non definiamo nessuna metrica. Da un lato sarebbe troppo complicato e dall'altro non è nemmeno necessario, visto che le affermazioni più importanti si possono ricavare anche senza metrica. Le 12 tonalità di colore che abbiamo scelto e alle quali abbiamo dato un nome, nel caso di una trattazione nell'ambito della metrica dovrebbero essere definite con più precisione. A lezione, invece, la scala delle tonalità cromatiche viene definita semplicemente mostrando i colori citati. (Con l'aiuto dei filtri in dotazione ai proiettori da laboratorio si dovrebbero già avere a disposizione sei colori.)

Il motivo per cui abbiamo dato un nome a esattamente 12 colori del cerchio cromatico è il seguente. Il numero dovrebbe essere in ogni caso divisibile per tre, in modo che ognuno dei tre colori dello schermo di un televisore abbia un proprio nome. Con sei colori avremmo potuto definire i tre colori dello schermo e i loro complementari: gialloverde - blu - rosso e turchese - porpora - arancione (i colori corrispondenti ai filtri in dotazione). Lo svantaggio sarebbe l'assenza dalla lista di colori importanti come il giallo e il verde. Di conseguenza abbiamo ulteriormente raddoppiato il numero dei colori.

6. Bibliografia

LANG, H.: Farbmeterik und Farbsehen, Oldenbourg Verlag, München (1978).

24. Trasformazioni di sostanze e potenziale chimico

1. L'analogia con la meccanica, l'elettrologia e la termologia

Trattiamo la fisica chimica dallo stesso punto di vista della meccanica, dell'elettrologia e della termologia: i processi vengono descritti mediante correnti. Se una corrente è dissipativa diciamo che viene ostacolata da una resistenza. La differenza dei valori della corrispondente grandezza intensiva funge da spinta naturale di una corrente. La spinta è necessaria per vincere una resistenza.

Nel caso della chimica, invece dell'intensità della corrente, abbiamo il tasso di trasformazione. La tensione chimica, cioè la differenza di potenziale chimico, funge da spinta per una reazione chimica.

Naturalmente avremmo potuto includere anche le vere e proprie correnti di sostanza. Così facendo si sarebbero potuti trattare i processi di diffusione: una differenza di potenziale chimico sarebbe stata la causa di una corrente di sostanza (di diffusione).

Esattamente come vi sono le resistenze meccanica, elettrica e termica, così nella chimica c'è una resistenza di reazione.

2. Il potenziale chimico come grandezza fisica

Introdurre il potenziale chimico come grandezza fisica è appropriato. In effetti già si aggira nei testi scolastici di chimica - ma senza essere mai nominato e senza che gli si assegnino dei valori.

Così si classificano i metalli a seconda della loro tendenza a reagire con il diossigeno e li si definisce più o meno nobili. Le coppie redox vengono ordinate in una lista. La capacità di un atomo di reagire con gli elettroni viene descritta dall' "elettronegatività". In tutti questi casi il concetto è lo stesso: la descrizione quantitativa o qualitativa di una tensione chimica (Job 1981). Tutte queste proprietà e valori possono essere letti su un'unica tabella, la tabella dei potenziali chimici.

3. Le domande della chimica

Questa unità didattica ha lo scopo di rispondere a delle domande semplici e importanti con le quali un chimico si trova confrontato quando lavora su determinate reazioni chimiche:

In che direzione si svolge la reazione?

Qual è la velocità della reazione e come la si può accelerare o inibire?

Quanta energia si può ricavare nello svolgersi della reazione?

Quanta entropia ("calore") viene assorbita o ceduta durante la reazione?

Un'ulteriore domanda da aggiungere alla lista è: come si può influenzare la direzione di svolgimento di una reazione? È equivalente alla domanda: come si può modificare l'equilibrio chimico? Nel nostro modello didattico rinunciamo a rispondere a questa domanda. Per poterlo fare dovremmo trattare la dipendenza del potenziale chimico da pressione e temperatura, un argomento di per sé non troppo difficile (Job 1978) ma che renderebbe troppo ampia l'unità didattica "fisica chimica" nell'ambito di un corso di fisica.

4. I valori del potenziale chimico

Come si ottengono i valori di potenziale chimico?

La risposta a questa domanda è del tutto analoga alla risposta alla domanda più generica: come si ottengono i valori di una qualsiasi grandezza fisica? È una questione di procedimento di misurazione. Dobbiamo però distinguere chiaramente tra l'indicazione di un procedimento di misurazione fondato sulla definizione della grandezza, e che equivale quindi ad una definizione operativa della grandezza stessa, e l'indicazione di un procedimento pratico, tecnico.

Così la temperatura è definita dalla relazione

$$P = TI_S$$

Il procedimento di misurazione che ne risulta consiste nel misurare l'intensità I_S di una corrente di entropia, l'intensità P della corrente di energia corrispondente alla corrente di entropia e nel dividere P per I_S .

I metodi pratici per misurare la temperatura sono però completamente diversi: si misura l'allungamento di una colonna di liquido, una resistenza elettrica o una tensione termica. Naturalmente le scale dei rispettivi apparecchi di misurazione vanno tarate rispetto all'equazione che definisce la temperatura.

Nella misurazione delle tensioni chimiche si procede in modo analogo. In linea di principio sono misurabili sulla base dell'equazione che le definisce

$$P = (\mu(A) - \mu(B)) \cdot I_{n(R)}$$

In pratica invece la misurazione è molto diversa. I metodi pratici sono alquanto diversi tra loro (Job 1981). Ciò dipende dal fatto che si ha a che fare con un gran numero di reazioni.

In questo corso ci limitiamo alla discussione dell'equazione di definizione. I valori di μ che ci servono li ricaviamo dalle tabelle. (Lo stesso vale, tra l'altro, per i valori della quantità di sostanza. Li otteniamo via la massa molare m/n , per i cui valori ci affidiamo alla tavola periodica.)

Questo procedimento non è molto diverso da quello applicato nel caso di altre grandezze fisiche. Spesso i valori delle grandezze fisiche non sono ricavati

dalle tabelle, ma grazie ad apparecchi di misurazione del cui funzionamento ci fidiamo senza conoscerlo nel dettaglio: misuriamo la temperatura con un moderno termometro digitale, misuriamo la massa con una bilancia magnetica e misuriamo intervalli di tempo con un orologio al quarzo. Nel corso non viene discusso il funzionamento di nessuno di questi apparecchi.

È comunque importante fare in modo che gli studenti siano portati a fidarsi di questi apparecchi. La fiducia si ottiene cominciando ad effettuare le misurazioni in situazioni per le quali gli studenti hanno già delle fondate aspettative sui risultati che si otterranno. Le aspettative sono poi confermate dalle misurazioni.

Allo stesso modo costruiamo la fiducia nelle tabelle del potenziale chimico. Inizialmente usiamo i valori delle tabelle per determinare la direzione di reazioni che gli studenti già conoscono.

5. Lo zero del potenziale chimico

Il potenziale chimico è una grandezza che, come la temperatura, ha uno zero assoluto. Fintanto che si trattano solo le reazioni chimiche, quindi non reazioni nucleari o tra particelle elementari, è ragionevole e vantaggioso scegliere tanti zeri quanti sono gli elementi chimici.

Per poter descrivere anche le reazioni che coinvolgono degli ioni, oltre agli elementi chimici dobbiamo includere anche una particella elettricamente carica. È comune fissare a 0 gibbs il potenziale chimico dello ione di idrogeno H^+ in soluzione acquosa a concentrazione un molare.

6. La quantità di sostanza come grandezza fondamentale

La grandezza quantità di sostanza n è per il chimico una grandezza fondamentale. Malgrado ciò, nei corsi tradizionali viene introdotta con una certa reticenza. Serve come misura di quantità, ma non appare in nessuna relazione fisica.

Nel nostro corso invece assume un ruolo molto importante. Di conseguenza è necessario introdurla con molta cura.

7. Bibliografia

JOB, G.: Das chemische Potential im Physik- und Chemie-Elementarunterricht. Konzepte eines zeitgemäßen Physikunterrichts, Heft 2, Pag. 67. Hermann Schroedel Verlag KG, Hannover 1978.

JOB, G.: Die Werte des chemischen Potentials. Konzepte eines zeitgemäßen Physikunterrichts, Heft 4, Pag. 95. Hermann Schroedel Verlag KG, Hannover 1981.

25. Quantità di sostanza ed energia

1. Celle elettrochimiche

Le celle elettrochimiche sono conosciute con vari nomi. Alcuni nomi richiamano il loro funzionamento, per esempio cella combustibile, altri ricordano il nome del loro inventore, come la pila Leclanché, altri ancora riguardano la loro costruzione, come cella alcalina e infine il nome di alcune suggerisce che possono funzionare in due sensi: gli accumulatori.

Abbiamo cercato di fare ordine nella molteplicità di definizioni di questi apparecchi: il concetto che le accomuna è quello della "cella elettrochimica". Quando la cella riceve energia elettrica (energia con il portatore elettricità) le chiamiamo "pompe di reazione". Quando cedono energia elettrica le chiamiamo "pompe di elettricità".

Non è nostra intenzione aggiungere nuovi elementi al panorama di nomi per altro già sufficientemente ricco. Questi nomi servono solamente a facilitare la comprensione della funzione delle celle. Sono nomi per uso domestico.

Naturalmente questi nomi servono a evidenziare delle analogie. La definizione di pompa elettrica è già stata usata nell'elettrologia per descrivere tutti quegli apparecchi che cedono energia con il portatore elettricità. Anche la dinamo e la cella solare sono pompe di elettricità. Analogamente in termologia abbiamo parlato di pompa di entropia. Il termine tecnico in questo caso è pompa termica. E nella meccanica avevamo visto come i motori sono delle pompe di quantità di moto.

2. L'irreversibilità delle celle elettrochimiche

Nella descrizione delle celle elettrochimiche ignoriamo la produzione di entropia; facciamo come se le celle lavorassero in modo reversibile. Lo facciamo per lo stesso motivo per cui ignoriamo la produzione di entropia in una bobina, in un motore elettrico o in un paranco: la produzione di entropia non è elemento essenziale nella descrizione del funzionamento di questi apparecchi e la descrizione del loro funzionamento ne risulta semplificata.

In gran parte la produzione di entropia dipende dal processo di conduzione nell'elettrolita. La si può ridurre quasi a piacimento: la resistenza della componente esterna della corrente deve essere molto più grande della resistenza della cella.

26. Bilancio termico delle reazioni

1. Il bilancio entropico di reazioni condotte in modo reversibile

La discussione del bilancio entropico di una reazione sarebbe molto più semplice se fosse possibile farla sulla base di una reazione elettrochimica dallo svolgimento reversibile. Avremmo però bisogno di una reazione elettrochimica che preveda una diminuzione della temperatura.

In linea di massima reazioni di questo tipo esistono. Ma una reazione di questo tipo necessiterebbe di un decorso estremamente lento. In quel caso però la diminuzione di temperatura sarebbe troppo piccola per essere misurabile. Se lasciamo che la reazione avvenga a un ritmo ragionevolmente rapido la temperatura non diminuisce ma al contrario aumenta, a causa dell'elevata produzione di entropia.

2. Reazioni esotermiche ed endotermiche

La suddivisione delle reazioni in esotermiche ed endotermiche si fonda su un criterio molto evidente, cioè se i prodotti della reazione sono più caldi dei reagenti o no. Questo criterio è però, cosa ben nota a ogni chimico, molto superficiale.

Non dice molto sulla possibilità o meno di guadagnare energia da una reazione e nemmeno sulla direzione che la reazione seguirebbe spontaneamente. Il motivo è che il calore di reazione ha due cause ben distinte. Da un lato dipende dalle capacità termiche dei reagenti e dei prodotti, dall'altro dalla tensione chimica della reazione.

Se escludiamo le transizioni di fase, le reazioni endotermiche sono abbastanza rare, quindi si potrebbe anche rinunciare a trattarle nel corso. Se lo si fa, si devono separare chiaramente i due diversi contributi al calore di reazione.

3. Transizioni di fase

È possibile trattare le transizioni di fase come reazioni chimiche, descriverle con lo strumento "potenziale chimico". Sarebbe interessante in quanto in questo caso le reazioni endotermiche sono all'ordine del giorno. Il "freddo da evaporazione" è un fenomeno noto a tutti.

Abbiamo rinunciato a trattare le transizioni di fase in questo modo per due motivi.

Innanzitutto perché renderebbe indispensabile la trattazione della dipendenza del potenziale chimico dalla temperatura - cosa che nel nostro corso non avviene.

In secondo luogo perché le transizioni di fase più conosciute sono dei cattivi esempi di descrizione di reazione con il potenziale chimico come spinta. Nelle transizioni da solido a liquido, da liquido a gassoso e viceversa, la resistenza di reazione è così

piccola che praticamente non si genera nessuna tensione chimica. Quindi le due fasi sono sempre in equilibrio chimico. Di conseguenza, per rendere plausibili la presenza di una spinta e di una resistenza si dovrebbero trattare fenomeni un po' esotici come la sopraffusione e il sottoraffreddamento.

27. Fisica relativistica

1. Cinematica relativistica e dinamica relativistica

L'obbiettivo più importante di questo capitolo è mostrare che massa ed energia sono la stessa grandezza. Questa è una delle affermazioni più importanti della dinamica relativistica.

Ciò che rende la teoria della relatività così affascinante per molte persone è però qualcos'altro: fenomeni della cinematica relativistica come la contrazione delle lunghezze, la dilatazione del tempo, il paradosso dei gemelli, ecc. Non trattiamo questi temi per due motivi.

Prima di tutto la cinematica relativistica è troppo ingarbugliata - così ingarbugliata da creare problemi anche a fisici esperti. Di conseguenza è semplicemente troppo difficile per un corso di questo livello.

Inoltre è un argomento troppo "improduttivo". Ci sono ben pochi fenomeni sufficientemente importanti da giustificare la trattazione della cinematica relativistica.

Invece i fenomeni della dinamica relativistica che sono trattati nel corso sono semplici e hanno importanti conseguenze alle quali ci si rifà in capitoli successivi.

2. L'exergia

Gli argomenti discussi nel paragrafo sono trattati da alcuni autori con l'aiuto del concetto di exergia. Siamo decisamente contrari all'introduzione di questa grandezza.

Al contrario dell'energia, la grandezza exergia non è localizzabile. Non si può dire in quale sistema sia contenuta.

Inoltre il suo valore dipende dall'ambiente nel quale è inserito il sistema considerato. La scelta dell'ambiente da considerare è però sempre il risultato di una decisione arbitraria (Herrmann 1987).

3. Bibliografia

HERRMANN, F.: "Plädoyer für die Abschaffung der Exergie", DPG-Tagungsband, Fachausschuß Didaktik der Physik, 1987.

28. Onde

1. Le onde come processo periodico

Spesso le onde sono introdotte come processo periodico nello spazio e nel tempo. Spesso si sottolinea anche che un'onda può essere considerata un insieme di oscillazioni accoppiate. La macchina dei pendoli accoppiati evidenzia in modo particolare questa concezione. Riteniamo che introdurre le onde in questo modo porti a sottolineare troppo una caratteristica secondaria e a tralasciare una caratteristica importante.

In effetti la periodicità è una caratteristica di un tipo particolare di onde. Molte onde molto importanti presenti in natura non sono affatto periodiche. Per esempio, la lunghezza di coerenza della luce solare o della luce di una lampadina a incandescenza non è più grande della lunghezza d'onda media. Quindi in questo caso non c'è quasi traccia di periodicità. Anche la maggior parte delle onde sonore che giungono alle nostre orecchie non sono periodiche. Il fatto che il fisico veda subito dappertutto una periodicità, dipende dalla sua abitudine di fare mentalmente una scomposizione di Fourier di ogni onda. Si pensi però che la scomposizione di un'onda in componenti può essere fatta anche in altri modi.

Ciò che a noi sembra molto più importante della periodicità di certe onde è il fatto che un'onda è un sistema fisico autonomo. Alla "propagazione" di un'onda è legato il trasporto di molte grandezze fisiche: energia, quantità di moto, quantità di moto angolare, entropia. In un corso di questo livello si discute solo dell'energia. Ma parliamo già dell'onda come parleremmo di un corpo qualsiasi, preferendo dire che l'onda "si muove" o "viaggia" invece di "si propaga" o "si diffonde".

2. Il portatore dell'onda

Per sottolineare che l'onda è una struttura autonoma, nelle onde meccaniche diamo importanza alla distinzione tra il moto dell'onda e quello del portatore dell'onda. Di solito la velocità dell'aria che porta un'onda sonora viene detta velocità acustica. Noi preferiamo dire che è la *velocità del portatore* dell'onda sonora.

Sottolineare il ruolo del portatore di un'onda meccanica rende ovvio chiedersi quale sia il portatore di un'onda elettromagnetica. Solitamente questa domanda viene evitata (anche a livello universitario) per schivare la discussione sull'etere. Noi affrontiamo coscientemente la questione e diamo la risposta della fisica moderna (nei limiti concessi in un corso di questo livello): le onde elettromagnetiche sono degli stati eccitati del vuoto. O, in altre parole: il vuoto è lo stato fondamentale del sistema "campo elettromagnetico".

La parola "vuoto" non è però del tutto appropriata. È utile nella misura in cui descrive lo stato di

assenza di eccitazione. Sarebbe però meglio avere a disposizione un termine che esprima la presenza di qualcosa, non l'assenza. Nel passato tutto era più facile: fino a buona parte del XX° secolo il portatore dell'onda si chiamava "etere" (Mie 1942). Purtroppo questa parola si porta appresso un bagaglio tale da renderne impossibile l'uso, malgrado tutta la buona volontà: fino al volgere del secolo le onde elettromagnetiche erano descritte come onde meccaniche dell'etere. Invece di adattare il concetto di etere alle nuove esigenze introdotte con la teoria della relatività, si è optato per l'eliminazione dalla fisica di questa parola. E si usa il termine vuoto per descrivere qualcosa al quale non si adatta pienamente.

3. Onde elettromagnetiche in un corso di questo livello

Di solito si ritiene che le onde elettromagnetiche siano un argomento troppo difficile per un corso di questo livello. In effetti è così se si tenta di introdurre sulla base della loro descrizione nei testi di livello universitario. Ma considerando l'importanza delle onde elettromagnetiche in natura e nella tecnica, è auspicabile cercare di sviluppare una versione che permetta di trattare l'argomento già in un corso di questo livello.

La trattazione proposta deve la sua semplicità alle seguenti differenze rispetto alla formulazione tipica del livello universitario (che in sostanza è la rappresentazione di Hertz).

- Nella discussione sulla generazione delle onde ci limitiamo a considerare il campo magnetico.
- Come antenna non scegliamo il dipolo ma un lungo filo.
- Non presupponiamo che l'antenna stessa sia un risonatore. È più facile anche spiegare la generazione del suono da un altoparlante (senza oscillazioni proprie) che da una canna d'organo (con oscillazioni proprie).

4. Esperimenti di interferenza

Introduciamo l'interferenza della luce con il più semplice degli esperimenti possibili: l'esperimento del doppio specchio di Fresnel. Non lo facciamo con l'esperimento della doppia fenditura, più complicato di quello di Fresnel per due motivi:

- non si ha a che fare con onde piane ma con onde sferiche. Il luogo geometrico di annullamento dell'onda non è una serie di piani, come nell'esperimento di Fresnel, ma una serie di iperboloidi.
- la generazione delle onde sferiche è legata alla diffrazione, un fenomeno che non viene trattato.

Si potrebbe, e a volte viene addirittura proposto da uno studente, sostituire il doppio specchio con un

dispositivo ancora più semplice: due laser i cui raggi si intersecano con un angolo molto piccolo.

Naturalmente l'esperimento non funziona: visto che le oscillazioni dei due laser sono indipendenti l'una dall'altra, i laser finiscono sempre per essere "fuori tempo". In media rimangono "a tempo" per un intervallo che dura

lunghezza di coerenza / velocità della luce,

rapporto di ordine di grandezza uguale a 1 ns. Ogni volta che i laser "perdono il ritmo", la figura di interferenza si sposta. Naturalmente questi spostamenti sono troppo rapidi per essere osservati a occhio nudo.

Quindi se uno studente dovesse proporre questa variante si dovrebbe dire che la proposta è buona, ma che non è tecnicamente realizzabile: i laser non sono sufficientemente precisi.

Con due antenne paraboliche a onde radio alimentate dallo stesso alimentatore ad alta tensione l'esperimento funzionerebbe.

5. Bibliografia

MIE, G.: Lehrbuch der Elektrizität und der Magnetismus. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart, 1948, Pag. 55.

29. Fotoni

1. La luce come sostanza

In relazione alla luce e ai suoi componenti elementari, i fotoni, si sente spesso una concezione perlomeno fuorviante, ma a guardare meglio proprio sbagliata: la luce è una forma di energia, la radiazione elettromagnetica è pura energia, i fotoni sono quanti di energia. Affermazioni di questo genere suggeriscono che chi le fa confonde una *grandezza fisica*, l'energia, con un *sistema fisico*, il campo elettromagnetico. Un sistema fisico è descritto da tutta una serie di grandezze fisiche e dalle loro relazioni. Di conseguenza affermare che la luce o la radiazione elettromagnetica sono pura energia è altrettanto sbagliato dell'affermazione che un gas ideale è pura energia o che gli elettroni sono pura energia. Esattamente come un gas ideale o un qualsiasi altro sistema, anche la luce oltre all'energia ha quantità di moto, quantità di moto angolare, entropia e quantità di sostanza oltre ad avere una pressione, una temperatura e un potenziale chimico.

Durante la lezione è importante spiegare che la luce è qualcosa che presenta molte analogie con una sostanza, in effetti possiamo dire che la luce è una sostanza. Esattamente come i componenti elementari della sostanza elio sono gli atomi di elio o quelli dell'acqua sono le molecole d'acqua, i componenti elementari della "sostanza luce" sono i fotoni. È per chiarirlo che cominciamo il capitolo sui fotoni con un paragrafo sulle reazioni fotochimiche. Ciò serve a evidenziare come la luce sia un partner di reazione altrettanto serio di altre sostanze "materiali".

Il fatto che nella stesura di un'equazione di reazione, la luce, descritta con il simbolo γ , non appaia in entrambi i termini dell'equazione, come fanno gli elementi chimici, non deve disturbare. Il motivo è che durante le reazioni la luce viene prodotta o annientata. Nelle reazioni nucleari gli studenti dovranno comunque abituarsi al fatto che a sinistra e a destra di un'equazione di reazione non ci sia lo stesso numero di atomi.

Per evitare il sorgere della concezione errata della luce come pura energia, è importante anche che nell'equazione di reazione la luce non sia rappresentata dal simbolo $h\nu$, visto che $h\nu$ non è il nome di una sostanza ma un valore di energia.

2. La grandezza dei fotoni

Cosa si intende con grandezza di un oggetto? La risposta sembra semplice: la distanza tra l'inizio e la fine. La domanda può essere generalizzata: cosa si intende per forma di un oggetto? La risposta è: la forma del suo contorno. Questo è ciò che intendiamo quando parliamo di grandezza di un oggetto: qual è la sua forma?

Ora, che forma ha un fotone? Per rispondere a questa domanda dobbiamo sapere dove inizia e dove finisce un fotone, dov'è il suo contorno. Qui si dirà

che non si può dire dove inizia e dove finisce un fotone, e tanto meno dove sia il suo contorno. Quindi un fotone non ha una forma. Il concetto di grandezza nel senso di estensione spaziale nasce dall'esperienza del mondo macrofisico. Questo stesso concetto non è applicabile al mondo microfisico, in particolare alla fisica quantistica. Di conseguenza chiedersi quale sia la grandezza di un fotone è altrettanto privo di senso che chiedersi quale sia il colore del nucleo di un atomo.

Ma se escludiamo questo concetto, per coerenza dovremmo radiare dal repertorio delle affermazioni anche tutta una serie di altre domande con le rispettive risposte. Quando parliamo di fotoni lo facciamo sempre sulla base di un modello. Così diciamo per esempio che un fotone viene emesso da una sorgente e poi assorbito da un altro corpo. Il modello usato in questo caso è quello dell'individuo identificabile che si muove nello spazio. Non vogliamo perorare l'abbandono di questo modello. Ma se accettiamo questo modello diamo per scontato che il fotone abbia una grandezza - in particolare che è molto piccolo.

Affermare che un fotone si muove da una sorgente a un assorbitore ha senso solo se il fotone è più piccolo della distanza tra sorgente e assorbitore. Se questa distanza è di 10 cm, ne consegue che il fotone debba essere più corto di 10 cm. Ma la sorgente e l'assorbitore possono trovarsi a una distanza di 1 mm o di 1 μm . Quindi viene sottinteso, senza dirlo esplicitamente, che il fotone è più corto di 1 μm .

In alcuni testi scolastici si può addirittura leggere che le particelle elementari sono puntiformi. Non è un'affermazione molto sensata. Anche se durante la misurazione delle dimensioni di un elettrone si dovesse determinare che il suo diametro è inferiore a 10^{-30} m, una struttura con un diametro di 10^{-30} m è ben lungi dall'essere puntiforme. Il punto è un concetto metafisico, un prodotto della nostra mente. In linea di principio è impossibile verificare o smentire che una particella sia puntiforme.

La nostra conclusione: anche senza ammetterlo si dà credito alla teoria secondo la quale i fotoni siano piccolissimi. In ogni caso si parla in modo che gli studenti siano portati a crederlo, visto che usando il modello dell'individuo in moto, chiedersi quali siano forma e dimensioni diventa legittimo. E se non diamo noi una risposta, gli studenti si rispondono da soli. Quindi perdiamo il controllo del processo di apprendimento su un punto importante.

Se lasciamo che i fotoni si muovano nello spazio dobbiamo dire agli studenti quali sono la loro forma e la loro grandezza.

Ma che grandezza hanno? O meglio: il modello permette di assegnare loro una grandezza?

Per un fisico rispondere a questa domanda non è per niente difficile. Anche se dire dove siano l'inizio e la fine di un fotone, nel senso della nostra esperienza macroscopica, ci mette in imbarazzo, possiamo

comunque dare un'altra risposta che renda giustizia alla domanda. Nella teoria dei fotoni, qual è quella grandezza fisica che caratterizza i fotoni e che ha le dimensioni di una lunghezza? I candidati sono due: la lunghezza d'onda e la lunghezza di coerenza.

La lunghezza d'onda può essere scartata subito. Secondo il nostro modello il fotone è una struttura estesa nelle tre dimensioni, ma la lunghezza d'onda è una grandezza unidimensionale.

Per contro, la lunghezza di coerenza è una buona misura della grandezza di un fotone, o più precisamente: l'area di coerenza tridimensionale. Ha una forma definita e misurabile. Quindi interpretiamo l'area di coerenza di una particella come lo spazio occupato dalla particella. La forma dell'area di coerenza è la forma della particella.

Questa definizione è generalizzabile. Più avanti la applicheremo anche agli elettroni.

Un altro modo di dire la stessa cosa: la forma di una particella, di un fotone o di un elettrone, è data dalla relazione di indeterminazione. L'area di indeterminazione della posizione viene interpretata come la parte di spazio occupata dalla particella.

L'indeterminazione della posizione di una particella è una misura della grandezza della particella.

Una conseguenza di questa definizione:

La grandezza di un fotone (o di un elettrone) dipende dallo stato in cui si trova.

Facciamo alcuni esempi di forma di un fotone in questo senso. I fotoni della luce solare sulla Terra e con cielo sereno hanno una lunghezza di 1 μm circa e un'estensione perpendicolare alla direzione del moto di 40 μm circa. I fotoni di luce proveniente da un laser sono invece lunghi e sottili: larghi come il raggio laser, cioè circa 1 mm, e lunghi come la lunghezza di coerenza, cioè per esempio 10 cm. I fotoni di un'emittente radiofonica sono molto più grandi, coprono tutto l'area di ricezione.

3. Il dualismo onda-corpuscolo

Il problema dell'interpretazione tradizionale della meccanica quantistica, che vede un "microoggetto" manifestarsi a volte come onda e a volte come corpuscolo, da noi non si pone più. Lo vogliamo spiegare prendendo come esempio di microoggetto l'elettrone, la particella meglio conosciuta dalla maggior parte dei fisici. Ciò che diremo vale però anche per i fotoni e per le altre particelle.

Secondo la meccanica quantistica, la natura ondulatoria di un elettrone si manifesta più chiaramente quando l'elettrone si trova in uno stato di quantità di moto ben determinata (e cioè con un numero d'onda determinato). In quel caso la posizione è completamente indeterminata. La natura corpuscolare si manifesta chiaramente quando il sistema è in uno stato con posizione determinata e quantità di moto completamente indeterminata.

Ma onda e corpuscolo sono due concetti che fanno parte di un modello. Il corpuscolo perfetto è puntiforme. Ha una posizione identificata da un solo punto nello spazio. (In questo è molto diverso da un corpo macroscopico, la cui posizione non può mai essere identificata da un solo punto visto che occupa sempre una certa regione dello spazio.)

Invece l'onda perfetta è sinusoidale e infinitamente estesa. In questo caso la sua quantità di moto è identificata da un solo punto nello spazio della quantità di moto.

In uno stato qualsiasi dell'elettrone, nessuno dei due modelli si adatta in modo assoluto. E se l'elettrone è coinvolto in un processo durante il quale il suo stato cambia, per esempio se passa da uno stato di posizione completamente determinata a uno stato di quantità di moto completamente determinata, ovviamente sorge un problema se tentiamo di applicare uno dei modelli estremi "corpuscolo" (punto nello spazio della posizione) o "onda" (punto nello spazio della quantità di moto). Si cerca di aggirare l'ostacolo con la scappatoia del "dualismo onda-corpuscolo".

Il problema scompare se sin dall'inizio si evita di applicare i modelli non adatti del "corpuscolo puntiforme" e della "onda sinusoidale infinitamente estesa" e invece si definisce come grandezza della particella la regione dello spazio occupata dalla funzione di stato.

Per altro noi non usiamo la parola "particella" per una struttura puntiforme. La usiamo indipendentemente dallo stato in cui si trovano l'elettrone o il fotone.

30. Atomi

1. Il modello tradizionale dell'atomo

Secondo il modello tradizionale, l'atomo è fatto di un nucleo attorno al quale ruotano gli elettroni. Ma il moto degli elettroni non avviene su delle orbite ben precise, a volte si dice che il concetto di orbita è superato. Almeno per la scuola consideriamo inadatto questo modello. È sicuramente accettabile che un modello non corrisponda del tutto alla realtà, è addirittura caratteristico per ogni modello descrivere esattamente solo certi aspetti della realtà. Ma da un modello si può esigere che sia armonioso, che non contenga delle contraddizioni. E il modello tradizionale dell'atomo non soddisfa questa esigenza. Dobbiamo immaginare l'elettrone come un corpuscolo in moto e contemporaneamente accettare che non percorra un'orbita. Ma allora come immaginare il moto di questo corpuscolo?

2. Elettronio ed elettrone

Per l'elettrone usiamo lo stesso modello che per il fotone: l'elettrone è una struttura estesa. La sua forma è descritta dalla sua funzione di stato. Di conseguenza la sua forma dipende dal suo stato. Quando è in uno stato di posizione determinata l'elettrone è molto piccolo, quando è in uno stato di quantità di moto determinata è molto grande. Per descrivere un elettrone del genere ci serve un nome per qualcosa che nel modello tradizionale manca: un nome per la sostanza di cui è fatto l'elettrone. Abbiamo deciso di chiamare *elettronio* questa sostanza.

L'introduzione di questo nome facilita la descrizione della struttura dell'atomo: l'atomo è composto da un nucleo piccolo e pesante e da un guscio grande e leggero. Il guscio è fatto di elettronio. Al centro la densità del guscio è elevata, andando verso l'esterno diminuisce. Non c'è un bordo ben delineato. Se proviamo a estrarre un po' di elettronio dall'atomo osserviamo che si ottengono sempre delle porzioni ben precise: una certa quantità di elettronio (come misura della quantità si sceglie la massa) o un suo multiplo intero. Questa quantità elementare di elettronio prende il nome di elettrone.

Negli stati dell'atomo che la meccanica quantistica chiama stati propri dell'energia, la distribuzione, e quindi la forma, dell'elettronio è costante nel tempo: l'elettronio non si muove.

Crediamo che questo modo di trattare gli elettroni nella sostanza non rappresenti nulla di nuovo. I fisici atomici, i chimici e i cristallografi lavorano costantemente con questo modello. Ma invece di parlare di elettronio parlano di orbitali o di distribuzione della densità degli elettroni. Si capisce dal loro modo di parlare che manca loro solo una parola per descrivere la sostanza di cui parlano.

3. Probabilità di presenza e probabilità di transizione

Tradizionalmente il quadrato della funzione di stato dell'elettrone ψ viene interpretato come densità della probabilità di presenza della particella. Come si arriva a questa interpretazione?

Vogliamo descrivere il processo detto misurazione della posizione, prima nel linguaggio della teoria, poi nel linguaggio del modello tradizionale e infine in quello del nostro modello a elettronio.

Nella misurazione della posizione di un elettrone (per esempio l'elettrone di un atomo di idrogeno), l'elettrone passa da uno stato di energia determinata e posizione indeterminata, come la funzione $1s$, a uno stato di posizione determinata ed energia indeterminata. In questo stato il quadrato del valore assoluto della funzione di stato, $|\psi(x,y,z)|^2$, è una funzione delta.

Ora l'interpretazione nel modello tradizionale: se ripetiamo molte volte la misurazione della posizione di un elettrone nello stato fondamentale $1s$, otteniamo valori diversi con una distribuzione della loro frequenza descritta da $|\psi_{1s}|^2$. Visto che si presume che già prima della misurazione le particelle fossero puntiformi, siamo costretti a interpretare il processo di misurazione nel modo seguente: prima della misurazione le particelle ruotano freneticamente attorno al nucleo (anche se, come già detto, senza seguire un'orbita precisa). Hanno una certa probabilità di trovarsi nelle diverse posizioni. La misurazione della posizione ci dice dove si trovava la particella all'istante effettivo della misurazione. La particella rende identificabile la sua posizione.

E per finire l'interpretazione nel modello a elettronio: in questo modello il processo non dovrebbe nemmeno essere definito una misurazione della posizione ma una transizione da uno stato in cui l'elettrone è grande in uno stato in cui è piccolo. Durante la transizione si ritrae in una piccola regione dello spazio. Se ripetiamo molte volte il procedimento constatiamo che l'elettrone può ritrarsi in punti diversi. La probabilità di trovare l'elettrone in una certa posizione dopo il processo è espressa da $|\psi_{1s}|^2$, cioè dalla densità dell'elettronio prima della transizione. Quindi $|\psi_{1s}|^2$ viene interpretata come densità di una probabilità di transizione.

4. Il modello a gusci

Per spiegare le proprietà degli atomi, in particolare la periodicità dei raggi atomici e dell'energia di ionizzazione in funzione del numero atomico, usiamo volentieri il modello a gusci. Se costruiamo un atomo con più elettroni aggiungendo alternativamente un protone (e anche uno o due neutroni) al nucleo e un elettrone al guscio, secondo questo modello l'atomo cresce a gusci successivi. Immaginiamo ogni elettrone come un individuo aggiunto all'atomo dell'esterno, e questa aggiunta avviene in modo

che i vari gusci si riempiono l'uno dopo l'altro. Ogni volta che un guscio è pieno l'energia di ionizzazione ha un massimo, gli atomi con gusci pieni sono particolarmente stabili. Il raggio dell'atomo dovrebbe avere un minimo quando il guscio più esterno è pieno e un massimo quando il guscio più esterno contiene un solo elettrone. In realtà si osservano i massimi, mentre i minimi sono al posto sbagliato. Malgrado ciò il modello a gusci va sicuramente considerato come un modello valido.

Ma alcuni autori sembrano non accontentarsi delle prove osservative in favore del modello. Adducono dimostrazioni che in effetti non lo sono o che sono addirittura false - con il risultato che gli studenti si creano un'immagine sbagliata dell'aspetto degli atomi, più precisamente della distribuzione della densità elettronica o distribuzione dell'elettronio, come la chiamiamo noi.

Evidentemente si vorrebbe dimostrare che in un atomo con più elettroni la densità elettronica oscilla dal centro verso l'esterno, cioè che in un atomo sia possibile osservare i vari gusci. In altre parole: che in una certa misura sia possibile riconoscere i singoli elettroni.

La distribuzione della densità elettronica in un atomo, è una funzione monotona che decresce rapidamente verso l'esterno, fig. 30.1a. Non si riesce a vedervi nessun guscio. Ma i gusci si possono creare con un artificio matematico. Invece di riportare la densità ρ in funzione del raggio, cioè la funzione $\rho(r)$, si integra questa funzione su tutto l'angolo solido e si riporta il risultato in funzione di r . Visto che gli atomi hanno praticamente sempre una simmetria sferica, il risultato è semplicemente il prodotto $r^2 \cdot \rho(r)$. Per atomi con un numero atomico elevato questa funzione presenta effettivamente alcune oscillazioni, fig. 30.1b, che però trasmettono un'immagine ingannevole della distribuzione della densità elettronica. Lo si nota chiaramente applicando lo stesso procedimento a un modello diverso di atomo: una sfera massiccia. Per una sfera la densità in funzione del raggio $\rho(r)$ è costante, come mostra la fig. 30.2a. La fig. 30.2b mostra la funzione $r^2 \cdot \rho(r)$. In questa immagine la reale distribuzione della densità è praticamente irriconoscibile. Più che altro questa immagine mostra come in una sfera ci sia più massa all'esterno che all'interno.

È invece del tutto falsa la rappresentazione tridimensionale della funzione $r^2 \cdot \rho(r)$ sotto forma di corpo.

5. Densità dell'elettronio e funzione d'onda

Per un sistema a un elettrone, quindi per l'atomo di idrogeno, la densità elettronica (densità dell'elettronio nel nostro linguaggio) $\rho(r)$ è semplicemente il quadrato del valore assoluto della funzione d'onda:

$$\rho(\mathbf{r}) = |\psi_{1s}(\mathbf{r})|^2$$

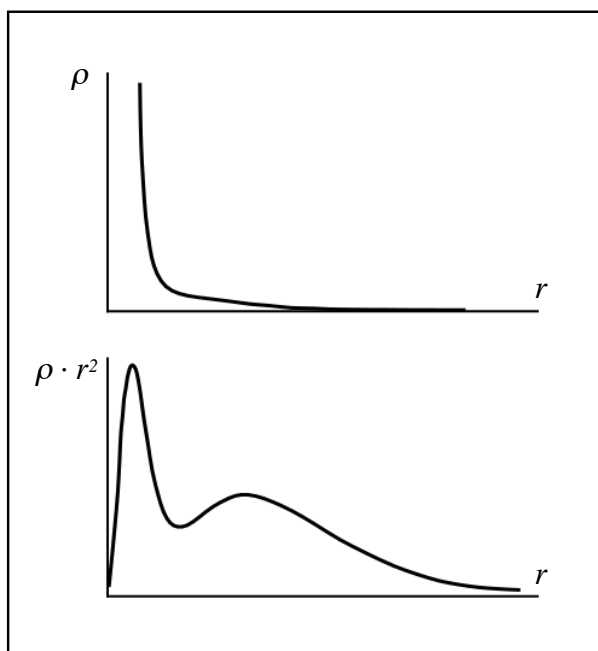


Fig. 30.1. (a) Densità ρ dell'elettronio in funzione della distanza dal nucleo in un atomo di carbonio. (b) La grandezza $\rho \cdot r^2$ in funzione della distanza dal nucleo per un atomo di carbonio.

Sostanzialmente la distribuzione della densità elettronica contiene le stesse informazioni della funzione d'onda. Non così per sistemi con più elettroni. In questo caso la funzione d'onda dipende da tante variabili quanti sono gli elettroni. Per contro la distribuzione elettronica è ancora una funzione di un'unica variabile di posizione. Quindi la funzione d'onda contiene molte più informazioni della densità elettronica. Di conseguenza dalla densità dell'elettronio non è possibile ricavare molte delle proprietà degli atomi, come per esempio il tipo di legame con altri atomi.

6. L'atomo vuoto

Il modello degli elettroni puntiformi ha un altro difetto. Spesso si sottolinea come gran parte dello spazio occupato da un atomo sia vuoto. È un'affermazione di significato dubbio, in contrasto con quanto indicato dalla funzione d'onda dell'elettrone. Il vuoto è conseguenza dell'interpretazione degli elettroni come puntiformi, ma se lo sono gli elettroni allora devono esserlo anche tutte le altre particelle elementari, in particolare i quark. Però allora tutto quanto lo spazio è vuoto. Cosa devono pensare gli studenti di un'affermazione del genere?

Nel modello a elettronio lo spazio occupato dall'atomo non è per niente vuoto. Vi si trova una sostanza, l'elettronio, con una densità di massa e una densità di carica ben definite.

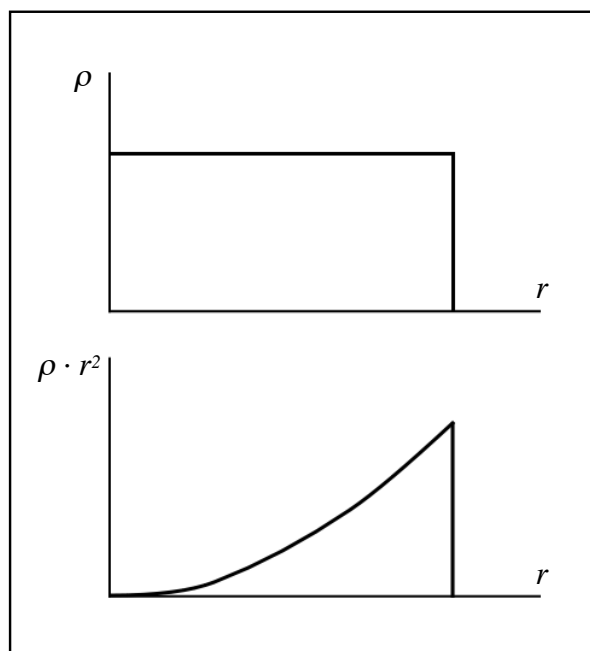


Fig. 30.2. (a) Densità della massa ρ in funzione della distanza dal centro in una sfera massiccia e omogenea. (b) La grandezza $\rho \cdot r^2$ in funzione della distanza dal centro per la stessa sfera.

7. Diminuzione esponenziale

La crescita o la diminuzione esponenziale sono sicuramente fenomeni universali e molto importanti. In fisica l'esempio paradigmatico di applicazione della funzione esponenziale è il decadimento radioattivo. Per molti studenti è anche l'unico esempio con cui avranno mai a che fare. In questo modo nasce la curiosa impressione che in natura la funzione esponenziale appaia solo in relazione alla relatività. Per contrastare questa impressione la introduciamo già per descrivere il decadimento degli stati eccitati degli atomi.

Anche il fatto che l'andamento di un processo si possa definire mediante delle probabilità è un fenomeno di fondamentale importanza. E anche questo fatto solitamente è messo in relazione unicamente al decadimento radioattivo. Per sottolineare l'importanza delle affermazioni probabilistiche, trattiamo in modo dettagliato il decadimento degli atomi eccitati.

8. Applicazioni della fisica atomica

Una delle applicazioni della fisica atomica da noi trattate è l'analisi spettrale. Un altro fenomeno più importante, perché più pertinente alla vita di tutti i giorni, spiegabile grazie alla fisica atomica è l'emissione di luce da parte dei gas. Per questo motivo trattiamo in modo approfondito le lampade a gas e le fiamme.

31. I solidi

1. L'elettronio nei solidi

Il modello dell'elettronio si può applicare facilmente ai solidi. Anche in questo caso si può dire che il modello coincide con la concezione della struttura microscopica dei solidi tipica della fisica. La distribuzione della densità dell'elettronio nei solidi è misurata grazie alla diffrazione dei raggi X ed è calcolata dai teorici.

Confrontiamo nuovamente il modello tradizionale dell'elettrone puntiforme con il modello dell'elettronio. Trascuriamo il moto termico dei nuclei atomici.

Nel modello tradizionale un solido ha l'aspetto seguente: degli elettroni puntiformi ruotano attorno al nucleo atomico. Si muovono in modo molto curioso, percorrendo tutto lo spazio a disposizione nei dintorni del nucleo, con la probabilità massima di essere localizzati attorno al nucleo stesso. Non dobbiamo immaginarci delle orbite e, se lo facciamo comunque, dobbiamo pensare a delle orbite a zig zag alquanto contorte. Visto che gli elettroni sono puntiformi, il solido è vuoto.

Nel modello dell'elettronio non si muove nulla. Tra i nuclei atomici si trova l'elettronio. Ha la sua densità massima in corrispondenza dei nuclei. Se ci si allontana dal nucleo, la densità diminuisce molto. Malgrado ciò tutto lo spazio all'interno di un solido è riempito di elettrone.

2. Modello a bande e scala di energia

Come per il singolo atomo, anche per un solido le eccitazioni sono legate a una variazione della densità dell'elettronio. Ma mentre in un atomo può assumere solo determinate forme ben definite e diverse tra loro, nel caso del solido l'elettronio può assumere molte forme e passare dall'una all'altra in modo continuo. Di conseguenza anche i valori di energia di eccitazione coprono degli intervalli continui. Questi intervalli di energie (e forme) ammesse, si alternano con delle energie proibite: energie che il solido non può assorbire.

Caratterizziamo un solido grazie al suo spettro di energia o, come diciamo noi, alla sua *scala di energia*. Basandoci sulla scala di energia siamo in grado, come già per il singolo atomo, di fare molte affermazioni importanti.

Quando parliamo di energie permesse nella scala di energia, intendiamo quei valori di energia che il solido può immagazzinare. Non ci chiediamo se lo stato corrispondente comporta un'eccitazione di un solo elettrone o un'eccitazione collettiva. Di conseguenza la scala di energia non dipende dal modello. Riporta semplicemente dei valori di energia determinati sperimentalmente.

La scala di energia è una descrizione del solido più semplice e più limitata dello schema a bande. Lo

schema a bande consiste nel riportare l'energia in funzione del luogo.

3. Le proprietà ottiche dei solidi

In margine al capitolo sulla fisica dei solidi sarebbe auspicabile una trattazione completa delle proprietà ottiche della materia: tutto ciò che percepiamo quando osserviamo la superficie di un corpo.

Per una descrizione completa delle proprietà ottiche della materia ci vogliono due funzioni: parte reale e parte immaginaria dell'indice di rifrazione complesso. Nell'ambito del nostro corso però, abbiamo a disposizione solo una di queste funzioni, oltretutto solo nella forma rudimentale della scala di energia. Quindi non possiamo spiegare tutte le proprietà ottiche. In particolare la scala di energia non permette di spiegare i fenomeni della riflessione e della rifrazione.

Per contro molti altri fenomeni si possono spiegare bene, e noi abbiamo fatto uso di questa opportunità. Così spieghiamo perché i metalli assorbono la luce visibile, perché la maggior parte dei non-metalli è trasparente, perché altri composti tra metalli e non-metalli, come il solfuro di cadmio, sono trasparenti e colorati, perché i semiconduttori sono trasparenti agli infrarossi, perché le sostanze nere sono nere e quelle bianche sono bianche.

4. I solidi come sorgente luminosa

Esattamente come i gas anche i solidi possono emettere luce quando il sistema di elettroni passa da uno stato eccitato a uno stato eccitato di energia inferiore. Esattamente come per i gas l'eccitazione può avvenire in vari modi:

1. con elettroni veloci (esempio: il tubo catodico);
2. con fotoni: (esempio: la sostanza fluorescente sulla superficie interna di una lampada al neon);
3. con una reazione chimica (esempio: la reazione di elettroni e buchi nello strato limite p-n in un diodo luminoso);
4. riscaldando (esempio: l'incandescenza)

Se c'è tempo vale la pena trattare i vari meccanismi e ricordare come un gas possa essere portato a emettere luce negli stessi quattro modi. Nel testo per studenti ci siamo limitati alla descrizione dell'incandescenza.

I corpi incandescenti sono tra le nostre sorgenti di luce più importanti: il filo di una lampadina ad incandescenza o le particelle di carbonio nella fiamma di una candela.

Stranamente a questo argomento solitamente viene dedicato poco spazio. Da un maturando ci si aspetta che sappia spiegare il funzionamento di un laser, ma la descrizione microscopica dell'incandescenza non viene affrontata.

5. Le proprietà elettriche dei solidi

Il modello più diffuso per la descrizione della conducibilità elettrica è il modello di Drude: ci si limita a considerare gli elettroni liberi, che vengono descritti come un gas, cioè come particelle in movimento. Il modello di Drude è molto pratico. E ciò è sorprendente, in quanto è difficile capire come mai gli elettroni debbano potersi muovere liberamente all'interno di un solido. Uno dei difetti del modello è che si adatta male ad altri modelli usati nella descrizione degli atomi: per la descrizione dei fenomeni elettrici nei semiconduttori e per il modello a bande. Nell'ambito di un corso di fisica di questo livello vogliamo a tutti i costi limitarci all'uso di un solo modello, quindi descriviamo anche la conduzione metallica con il modello dell'elettronio.

Il trasporto di carica è descritto nel modo seguente: nei metalli è possibile causare una deformazione dell'elettronio, cioè una variazione della distribuzione di densità rispetto allo stato fondamentale, con una quantità di energia piccola a piacere. Questa variazione consiste in un addensamento e una rarefazione (sempre rispetto alla distribuzione della densità allo stato fondamentale). Sia l'addensamento che la rarefazione possono essere spostati all'interno del solido mediante applicazione di un campo elettrico e così facendo si trasporta elettrone, quindi anche carica elettrica.

Chi non è abituato a pensare in termini di elettroni e difetto di elettroni, potrebbe chiedersi quale sia la relazione tra i nostri addensamenti e le nostre rarefazioni con i ben noti elettroni e buchi del modello a bande.

Cominciamo da qualche osservazione generale sugli elettroni e sui buchi. Questi concetti sono usati per descrivere il trasporto di carica elettrica. Consideriamo una certa banda responsabile per il suddetto trasporto. Possiamo sempre scegliere tra una descrizione del trasporto mediante elettroni o mediante buchi, il risultato è lo stesso. Ma la massa efficace dell'elettrone dipende dall'energia. Al limite inferiore della banda ha un valore diverso che al limite superiore. Per la precisione, la massa efficace dell'elettrone è positiva al limite inferiore della banda e negativa al limite superiore. Per i buchi vale il contrario: la loro massa è positiva al limite superiore e negativa a quello inferiore.

Il fatto che la massa efficace non sia costante di solito rende complicata la descrizione del processo di trasporto. Però ci sono situazioni dove la descrizione è molto semplice.

Se una banda è occupata da pochi elettroni, la loro massa è positiva e sostanzialmente costante. In questo caso gli elettroni si comportano come elettroni liberi. Di conseguenza il trasporto di elettricità in una banda del genere sarà descritto con gli elettroni.

Una descrizione con i buchi darebbe lo stesso risultato, ma risulterebbe ben più complicata. Tanto

per cominciare ci sono molti più buchi e relativi stati i cui contributi al trasporto andrebbero presi in considerazione. Per di più questi buchi hanno masse molto diverse, anche negative.

Analogamente, il trasporto di carica in una banda quasi completamente occupata da elettroni è descritto con i buchi: sono meno numerosi degli elettroni e hanno una massa efficace univoca e positiva.

Come si vede da queste considerazioni, non è del tutto corretto dire che grazie all'effetto Hall si può capire se si ha a che fare con un conduttore a elettroni o a buchi. Infatti ogni trasporto si può descrivere in un modo o nell'altro. Piuttosto l'effetto Hall fa capire se una banda è più o meno occupata da elettroni.

Passiamo ora al modello a elettrone: per descrivere il trasporto di carica elettrica non dobbiamo necessariamente scegliere tra elettroni o buchi, possiamo anche pensare a una loro combinazione. È ciò che si fa parlando di addensamenti e rarefazioni. Anche questa descrizione fornisce il valore corretto della corrente totale attraverso il solido. (Laukenmann 1996)

6. Il diodo semiconduttore

Il diodo semiconduttore è un argomento difficile, a dire il vero troppo difficile per un corso di questo livello. Di conseguenza la nostra trattazione è più una descrizione del funzionamento di un diodo che una spiegazione. Una vera spiegazione del suo funzionamento non è possibile con i soli mezzi dell'elettrologia. La corrente del portatore di carica nel diodo non dipende solo da un gradiente del potenziale elettrico, ma anche da un gradiente del potenziale chimico: è l'andamento del potenziale chimico il responsabile per la corrente totale.

7. Il transistor

Ci limitiamo alla descrizione di un transistor a effetto di campo. Solitamente si privilegia il transistor bipolare, ma ciò dipende dal fatto che è stato sviluppato prima e che si è affermato molto prima dell'apparizione del transistor a effetto di campo. Al giorno d'oggi però il transistor a effetto di campo non è più un componente esotico e si sta affermando sempre più anche nei processori per computer. Quindi dal punto di vista delle applicazioni, trattare il transistor a effetto di campo è altrettanto giustificato che trattare il transistor bipolare. Di conseguenza la scelta dovrebbe essere basata sui vantaggi didattici - e il transistor a effetto di campo ne esce decisamente favorito.

Al contrario del transistor bipolare e del diodo, il funzionamento del transistor a effetto di campo dipende unicamente da fenomeni elettrici, può essere capito interamente grazie all'elettrologia.

Inoltre, anche se si è capito il diodo, la spiegazione del funzionamento di un transistor bipolare è

del funzionamento di un transistor bipolare è parzialmente insoddisfacente. In linea di massima quando spieghiamo a uno studente il funzionamento di un apparecchio vorremmo dargli la sensazione che quell'apparecchio avrebbe potuto inventarlo lui. Non crediamo che con il transistor bipolare si possa avere questa impressione.

A volte si sente dire, anche da docenti, che la spiegazione di una buona vecchia valvola triodo fosse più semplice di quella di un transistor (bipolare). Questa idea nasce dal fatto che sulla griglia della valvola non scorre corrente. Per controllare la corrente anodica basta variare il potenziale della griglia. Un transistor a effetto di campo è altrettanto semplice, anzi, ancora più semplice visto che in questo caso non c'è bisogno di riscaldare un catodo. Il transistor a effetto di campo è per così dire la realizzazione ideale di un interruttore che può essere aperto o chiuso variando un valore di potenziale.

Il fatto che la corrente può essere controllata semplicemente variando il potenziale del gate permette anche la semplificazione dei circuiti: ci vogliono meno resistori. Di conseguenza i circuiti diventano più facili da interpretare.

Non abbiamo trattato nessuna applicazione dei transistor come amplificatori. Per farlo dovremmo discutere di linee caratteristiche, ciò che comporterebbe un impegno molto maggiore. Nella maggior parte delle sue applicazioni, e tra loro tutte quelle della tecnica digitale, i transistor fungono da interruttori, cioè da componenti binari.

8. Bibliografia

LAUKENMANN, M.: Dissertation, Universität Karlsruhe, 1995.

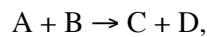
32. Nuclei atomici

1. L'analogia tra fisica nucleare e chimica

Tra fisica nucleare e chimica, così come tra fisica del nucleo e fisica della nube elettronica, c'è un'analogia che va oltre ciò che i libri di testo lasciano intendere. Spesso, in fisica nucleare dei concetti già presenti nella chimica sono reintrodotti con nuovi nomi. Dei processi già trattati nel corso di chimica sono trattati nuovamente in quello di fisica nucleare, ma in modo tale da non permettere di riconoscere che si tratta dei processi già visti a chimica. Ecco alcuni esempi:

La grandezza che in chimica viene chiamata tasso di trasformazione ed è misurata in mol/s, in fisica nucleare si chiama attività e si misura in Becquerel - seppure se ne parli solo in relazione a determinate reazioni.

La rappresentazione simbolica delle equazioni di reazione è diversa. La reazione che in chimica è rappresentata da



secondo le convenzioni della fisica nucleare è descritta da



una rappresentazione che tende a suggerire come le sostanze A e B avrebbero un ruolo diverso nella reazione, così come i prodotti C e D. L'origine storica di questa, da un punto di vista moderno infelice, scrittura è facilmente riconoscibile: nasce quando le reazioni nucleari si interpretavano come una trasformazione degli elementi con il concorso di una radiazione. Le particelle della radiazione non erano considerate dei partner della reazione.

La diminuzione esponenziale di una quantità di nuclei eccitati o di nuclei che decadono, ha il suo analogo nella diminuzione degli stati eccitati della nube elettronica o nella diminuzione della concentrazione di una sostanza che decade chimicamente.

La fisica nucleare è stata particolarmente solerte nell'inventare nomi particolari per determinati processi. Ad esempio, le reazioni di decadimento, fissione e fusione sono descritti come processi fondamentalmente diversi. Così facendo si ignora il fatto che possono essere descritti usando gli stessi mezzi.

2. "Residui" dell'evoluzione storica

La complessa evoluzione storica che ha portato alla nascita del relativamente semplice campo della "fisica nucleare" ha lasciato molte tracce nell'insegnamento. Molti delle vie tortuose dello sviluppo storico sono ripercorse nell'insegnamento e così sono introdotti molti concetti superflui comprensibili solo nel loro contesto storico.

I primi passi della fisica nucleare furono compiuti quando si scoprirono nuove forme di radiazione - in

un tempo quando in fisica le radiazioni erano un argomento di moda nella ricerca. Comprensibilmente ogni nuovo tipo di radiazione riceveva un nome prima ancora di essere spiegata. Così si può spiegare come ancora oggi si parli di raggi α , β e γ , anche se ormai sappiamo di cosa si tratta: di nuclei di elio veloci, di elettroni veloci e di radiazione elettromagnetica. Ognuna delle tre sostanze non è altro che il prodotto di reazione di determinate reazioni nucleari. Ma ci sono molti altri prodotti di reazione del genere.

3. Apparecchi di misurazione delle radiazioni

Di soliti nell'ambito della fisica nucleare si spende molto tempo per spiegare il funzionamento degli apparecchi di detezione e misurazione delle radiazioni. Riteniamo che l'argomento non sia sufficientemente importante, soprattutto in un corso di questo livello. La descrizione di questi apparecchi è in concorrenza con quella di numerosi altri apparecchi. Il cronometro al quarzo, il termoelemento, il sensore a infrarossi e molti altri apparecchi di misurazione sono più importanti, eppure di loro gli studenti imparano poco.

4. Esperimenti con raggi alfa, beta e gamma

Nell'insegnamento della fisica nucleare è comune studiare la natura e le proprietà di vari tipi di radiazione: la carica delle particelle e il raggio d'azione della radiazione in diversi materiali.

Si potrebbe giustificare dicendo che sono questioni importanti. Da un lato danno delle indicazioni sulla natura delle radiazioni nucleari, dall'altro sono importanti per capire gli effetti biologici delle radiazioni. Noi crediamo che il vero motivo sia da ricercare nell'evoluzione storica. Nei primi tempi della fisica nucleare le radiazioni erano semplicemente l'unica cosa nota.

Non dimentichiamo che la netta maggioranza dei prodotti delle reazioni nucleari non sono osservabili durante una lezione.

Per quanto riguarda il raggio d'azione delle radiazioni: ci sono molte altre "radiazioni" del cui raggio d'azione non ci preoccupiamo. Non sarebbe forse altrettanto interessante studiare il raggio d'azione dei raggi infrarossi, dei raggi X o delle microonde?

5. La materia nucleare

Nel Karlsruher Physikkurs si fa ampio uso di un modello: il modello della sostanza distribuita in modo continuo. Rappresentiamo i campi elettrici, i campi magnetici, la luce, gli elettroni ("elettronio"), ma anche le grandezze estensive, immaginando di parlare di una sostanza.

È ragionevole procedere allo stesso modo con la materia di cui sono fatti i nuclei atomici. Sottolineiamo che la sostanza è omogenea, cioè che nel nucleo i protoni e i neutroni non sono separati. Sarebbe ragionevole anche darle un nome, per esempio nucleonio. Vi abbiamo rinunciato in quanto nel corso non appare spesso e perché diamo maggior valore a evitare di introdurre troppi nuovi concetti.

6. La forma dei nuclei eccitati

Esattamente come nel caso della nube elettronica interpretiamo la funzione detta densità della probabilità di presenza come distribuzione della densità dell'elettronio, così determiniamo la distribuzione della densità (e di conseguenza grandezza e forma del nucleo) mediante la "densità della probabilità di presenza" dei nucleoni. Una delle conseguenze è che il nucleo eccitato non è descritto come una gocciolina oscillante o rotante, come avviene invece nel modello a goccia. Un nucleo eccitato ha piuttosto una forma precisa e costante nel tempo, come d'altronde altri stati stazionari. Esattamente come la nube elettronica, il nucleo "scatta" in varie forme. A ogni forma corrisponde un'energia.

7. Grandezza e densità delle nubi elettroniche e del nucleo atomico

Le distribuzioni della densità della nube elettronica e del nucleo atomico sono molto diverse tra loro.

La densità dell'elettronio nella nube elettronica decresce fortemente dal centro verso l'esterno. Per contro, la densità del nucleo è pressoché costante.

Anche il confronto tra la grandezza e la densità di atomi con numero atomico molto diverso, dà risultati estremamente differenti. Il diametro dell'atomo, cioè il diametro della nube elettronica, rimane grosso modo costante. Fluttua parecchio, ma in media il diametro di atomi con un alto numero atomico non è sensibilmente maggiore del diametro degli atomi con numero atomico più piccolo. Così un atomo d'oro è più o meno grande quanto un atomo di litio. Naturalmente ciò significa che l'elettronio dell'atomo d'oro e di quello di litio hanno densità molto diverse.

Per la materia nucleare è tutt'altra cosa. In questo caso è la densità a essere più o meno costante per tutti gli atomi. Ma ciò significa che il volume del nucleo è proporzionale al numero di nucleoni.

8. Energia di legame o energia di separazione

Riteniamo che l'espressione "energia di legame" dia adito a delle difficoltà di comprensione. Suggestisce che si tratti di un'energia necessaria per tenere legate le parti di un nucleo. Invece è un'energia che viene liberata quando un nucleo si lega. Quindi l'energia

di legame è un'energia che il nucleo non possiede. Ma allora è un'energia negativa? Per evitare domande del genere preferiamo parlare di energia di separazione: l'energia necessaria per separare le parti di un nucleo. Con questa definizione appare ovvio che questa energia è positiva.

Inoltre questa definizione è costruita in modo analogo all'energia di ionizzazione: l'energia necessaria per ionizzare un atomo.

9. La tabella delle energie di separazione

Per poter predire se una reazione nucleare avverrà o meno o, più precisamente, per sapere in quale direzione avverrà, le energie di legame dei nuclei coinvolti devono essere note. Quindi gli studenti devono avere a disposizione una tabella che riporti i valori corrispondenti. Ci sono vari modi di allestire una tabella del genere. Si elencano:

- le energie di riposo dei nuclei;
- le energie di legame per nucleone;
- le energie di separazione, cioè le energie necessarie per scomporre totalmente il nucleo in protoni e neutroni.

Abbiamo optato per la terza soluzione. La prima possibilità, cioè lavorare con le energie di riposo, è concettualmente la soluzione più semplice, ma ha lo svantaggio che la tabella corrispondente deve contenere numeri con molte cifre. In tutti i bilanci apparirebbero delle differenze tra numeri molto grandi. Di conseguenza il procedimento non sarebbe certo molto economico.

Abbiamo rinunciato all'introduzione di una tabella con le "energie di legame per nucleone" (o energie di separazione per nucleoni) perché riteniamo questa grandezza troppo poco chiara. La scomposizione di un nucleo avviene per tappe e per ogni nucleone tolto dal nucleo cambia l'energia di separazione necessaria.

Quindi la nostra tabella contiene solo l'energia di separazione totale da fornire al nucleo per scomporlo completamente in protoni e neutroni.

10. Il prefisso "anti-"

Con il termine antiparticella viene espressa una relazione: una certa particella è l'antiparticella di un'altra. L'antiprotone è l'antiparticella del protone, il protone è l'antiparticella dell'antiprotone. Quindi il termine antiparticella ha un significato simile alla parola partner. Non ci può essere un solo partner, ci sono solo partner di qualcun'altro.

Ma il prefisso "anti-" ha anche un significato assoluto, in particolare quando precede il nome di una particella, come nel caso dell'antiprotone, dell'antineutrone, dell'antineutrino...

11. I nomi delle famiglie di particelle

Dalla nascita di una nuova area della fisica consegue la definizione di nuovi termini tecnici. Più sono questi termini tecnici, più sarà possibile esprimere in modo sintetico determinati comportamenti. Ma nel contempo tutti questi termini tecnici comportano l'aumento delle definizioni da imparare.

In fisica nucleare la proliferazione di nomi per la classificazione delle particelle era particolarmente marcata. Ogni particella ha un nome proprio. Alcune ne hanno addirittura due, uno originale e uno che esprime la loro caratteristica di antipartner, per esempio positrone e antielettrone. Inoltre le particelle sono raggruppate in famiglie.

Se partecipano alla forza nucleare forte si chiamano adroni. Se certi numeri quantici (il numero barionico e il numero leptonic) hanno determinati valori, si chiamano barioni, leptoni, mesoni, particelle o antiparticelle. I barioni che formano il nucleo degli atomi, e le loro antiparticelle, si chiamano nucleoni.

Tra i nomi di famiglie di particelle citati, usiamo solo particella e antiparticella. Il nome mesone non ci serve perché non trattiamo reazioni che vedono coinvolti dei mesoni. Il nome adrone non ci serve perché non trattiamo la forza nucleare forte. Ma abbiamo rinunciato anche all'uso dei nomi nucleone, barione e leptone.

Da noi nucleone sarebbe semplicemente un nome che comprende le particelle protone e neutrone. Riassumere questi due nomi in una nuova famiglia non ci sembra giustificato dalla conseguente semplificazione nella descrizione di un nucleo atomico. Lo stesso vale per i nomi barione e leptone.

12. Numero barionico e numero leptonic

Per stabilire se una reazione nucleare è possibile o meno, verifichiamo tra le altre cose che nella reazione il numero barionico e il numero leptonic siano conservati. Entrambe queste grandezze estensive sottostanno a una legge di conservazione. I nomi numero barionico e numero leptonic però non mettono in evidenza il fatto che si tratti di grandezze estensive e, a dire il vero, nemmeno che si tratti di grandezze fisiche. I loro nomi suggeriscono che siano semplicemente di numeri: il numero di barioni e di leptoni. Invece per alcune particelle queste grandezze possono assumere anche valori negativi, escludendo che possano essere dei semplici numeri.

Per questo motivo preferiamo altri nomi: carica barionica e carica leptonica. Con questa scelta abbiamo dei nomi costruiti in analogia a quello della carica elettrica, con il quale gli studenti hanno sufficiente dimestichezza da trovare del tutto naturale che le grandezze corrispondenti possano assumere anche valori negativi.

A differenza della carica elettrica la carica barionica e quella leptonica non hanno un'unità di misura e i

loro valori sono sempre un multiplo della carica barionica o leptonica elementare. Per sottolineare comunque l'analogia, in tabella 32.3 anche i valori di carica elettrica sono espressi come multipli della carica elementare.

13. Antimateria

La cosiddetta antimateria viene spesso mistificata, anche nei racconti di fantascienza: si è portati a pensare che si tratti in tutti i sensi del contrario della materia. In particolare si discute spesso la possibilità che abbia massa negativa. Il nome antimateria, che purtroppo è ormai impossibile cambiare, contribuisce sicuramente all'equivoco. Di conseguenza insistiamo in modo particolare sul fatto che la differenza tra particelle e antiparticelle stia unicamente nel segno di alcune grandezze fisiche. Invece di dare l'impressione che un'antiparticella sia per così dire la negazione di una particella, cerchiamo di trasmettere un'altra idea: particella e antiparticella formano una coppia di particelle che si somigliano sotto molti punti di vista.

14. Reattore nucleare e reattore a fusione

Solitamente questi impianti sono presentati in modo da dare l'impressione di essere dei metodi molto particolari per "liberare energia" usando due reazioni nucleari fondamentalmente diverse.

Noi invece cerchiamo di spiegare i processi nei due tipi di reattore come qualcosa di molto simile. In entrambi avvengono delle reazioni nucleari, e la causa è la stessa: perché l'energia di riposo degli edotti è maggiore di quella dei prodotti. Ma i processi in entrambi i tipi di reattore sono fortemente inibiti, la resistenza di reazione è così elevata da impedirne lo svolgimento in condizioni normali. Per aumentare la velocità di reazione si applicano i metodi ben noti in chimica: nel reattore nucleare si usano dei neutroni come catalizzatori, nel reattore a fusione Tokamak si accelera la reazione aumentando la temperatura. Anche la fusione nucleare può essere accelerata usando un catalizzatore: i muoni.

15. Il Sole

Per tutto quanto avviene sulla Terra il Sole è così importante che in effetti la sua trattazione dovrebbe essere uno degli argomenti più importanti di qualsiasi corso di scienze naturali. Invece se ne parla spesso in maniera marginale: come lampada, che illumina la Terra e quanto vi avviene, o come importante sorgente di energia.

Anche in questo caso le origini di questa sottovalutazione dell'importanza di un argomento sono sicuramente storiche. Le nostre conoscenze dei processi che avvengono nel Sole sono relativamente recenti

e provengono da ricerche effettuate nell'ambito della fisica nucleare e delle particelle di livello universitario. Ciò ha portato a ritenere che la affermazioni riguardanti il Sole siano materia complessa e difficile e da riservare a un corso di livello ben più avanzato. Non è del tutto vero, infatti le ricerche in fisica solare hanno dato dei risultati molto semplici:

- La distribuzione della densità del Sole è molto interessante e di facile comprensione.

- Il motivo per cui il Sole è tanto caldo è sorprendentemente facile da spiegare. Il confronto tra il Sole e una bomba a idrogeno genera l'impressione errata che il Sole sia caldo per lo stesso motivo per cui si genera calore in presenza di un'esplosione. Nei fatti le reazioni nel Sole sono, almeno per un aspetto, radicalmente diverse da quelle in una bomba a idrogeno: avvengono in modo estremamente lento. Solo così possiamo spiegare come mai il Sole esista da così tanto tempo.

- Spesso si suggerisce che per capire il funzionamento del Sole si deve capire il ciclo Bethe-Weizsäcker. Invece in chimica ci si accontenta di conoscere la reazione netta. Chi è in grado di descrivere esattamente le singole reazioni che avvengono nella combustione della benzina?

16. Reazioni nucleari e reazioni chimiche

In fisica nucleare come in chimica, alcune domande sono sempre in primo piano. Abbiamo in mente una determinata reazione e ci chiediamo per prima cosa se la reazione può avvenire e, per secondo, a che velocità avviene (se lo fa). Per rispondere a queste domande, sia in fisica nucleare che in chimica, si procede allo stesso modo. Visto che di solito nella presentazione delle due materie questa analogia non è sempre chiara, vogliamo confrontare i modi di procedere della chimica e della fisica nucleare.

L'allestimento di una reazione

Nell'allestimento dell'equazione di una reazione chimica vanno seguite alcune regole: il numero di atomi di ogni tipo di elemento a sinistra dell'equazione deve coincidere con quello a destra. Nella terminologia fisica si tratta di soddisfare una legge di conservazione. Di fatto nell'ambito dei processi di cui si occupa la chimica vale la conservazione del numero e del tipo di atomi. Questa non è una legge di conservazione di valore generale. Vale solo in chimica e, proprio in quanto la sua validità non è generalizzabile, non è formulata come una legge di conservazione.

Ma anche in fisica si lavora spesso con delle grandezze conservate solo parzialmente. Ad esempio in meccanica si applica spesso la conservazione dell'energia meccanica nei processi non dissipativi. In molti processi termodinamici si può considerare

l'entropia una grandezza conservata, per esempio nella trattazione dei movimenti d'aria nell'atmosfera. Anche nel caso di grandezze della cui conservazione siamo convinti, non possiamo escludere che un giorno si scoprano dei processi nei quali non siano conservate. Un esempio è il numero barionico. Finora è sempre stato ritenuto una grandezza assolutamente conservata: non si è mai osservato il decadimento di un protone che violasse la conservazione del numero barionico. Malgrado ciò si continua a cercare un processo che la violi, visto che la teoria permette questa violazione.

Quindi in chimica è legittimo parlare della conservazione del numero e del tipo di atomi.

Allestendo l'equazione di una reazione chimica si deve rispettare un'altra legge di conservazione: quella della carica elettrica.

Nell'allestimento di una reazione nucleare si procede allo stesso modo. In questo caso il numero degli atomi di un elemento non è più conservato, ma ci sono altre grandezze conservate che ci permettono di allestire l'equazione di reazione. Le leggi di conservazione della fisica nucleare sono quelle della carica elettrica, del numero barionico e del numero leptonico (o delle cariche elettrica, barionica e leptonica).

In quale direzione può avvenire la reazione?

In chimica si confrontano i potenziali chimici degli edotti e dei prodotti. La reazione avviene spontaneamente dal potenziale più alto verso quello più basso.

Si può procedere allo stesso modo anche per le reazioni nucleari. Mentre la chimica permette di fissare arbitrariamente lo zero di tanti potenziali chimici quanti sono gli elementi, per le reazioni nucleari si deve lavorare con i valori assoluti dei potenziali chimici. (Il motivo è proprio che gli elementi chimici si possono trasformare l'uno nell'altro.) I valori assoluti del potenziale chimico sono, con una buona approssimazione, uguali all'energia di riposo molare delle sostanze. E la differenza dei potenziali chimici in una reazione nucleare è sostanzialmente uguale alla differenza tra le energie di riposo molari delle sostanze a sinistra e a destra dell'equazione di reazione. Solo in condizioni molto estreme si hanno delle variazioni dovute a temperature o pressioni molto elevate. Invece di determinare la direzione di una reazione sulla base dei potenziali chimici, si può determinare a partire dalle energie di riposo.

Dovevamo scegliere tra i due metodi. In favore dei potenziali chimici giocava il fatto che il procedimento risulta identico a quello usato in chimica. Abbiamo comunque optato per le energie di riposo. Il potenziale chimico appare in ogni caso come grandezza nel caso in cui la reazione avvenga tra molte particelle, e in chimica è quasi sempre così. Per contro, nella fisica nucleare i tassi di trasfor-

mazione sono quasi sempre molto piccoli e l'accento è posto sul processo di reazione elementare. Includere il bilancio energetico nello stabilire la direzione di una reazione appare adatto anche perché nella discussione delle reazioni nucleari la conservazione di grandezze estensive ha comunque un ruolo importante. Quindi il bilancio energetico di una reazione è semplicemente un altro bilancio accanto a quello della carica elettrica, del numero barionico e del numero leptonico. Naturalmente si perde di vista il fatto che in una reazione spontanea il processo principale è la produzione di entropia. In effetti la produzione di entropia è la spinta principale di un processo spontaneo.

Il tasso di trasformazione

Il tasso di trasformazione della chimica, misurato in mol/s, indica quanto redditizia sia una reazione. Anche per le reazioni nucleari c'è bisogno di una grandezza del genere. Purtroppo esiste già un concetto ben affermato: l'attività. Ma l'attività si usa solo per la descrizione di certi tipi di reazione: i cosiddetti decadimenti radioattivi - in simboli chimici $A \rightarrow B + C$. Anche l'unità di misura è diversa, invece delle mol/s si usa il Becquerel, cioè il numero di decadimenti al secondo.

Preferiamo usare anche in questo caso l'espressione tasso di trasformazione. L'unità di misura Becquerel sarà quindi solo un'unità di misura più piccola per la stessa grandezza fisica. Per le reazioni nucleari usiamo comunque un'unità di misura diversa in quanto i tassi di trasformazione sono spesso così piccoli che nemmeno i prefissi come piko e femto bastano per esprimerli.

In ogni caso in fisica nucleare si usa comunque un'altra misura per il tasso di trasformazione di una reazione: il tempo di dimezzamento. Con il simbolo n per la quantità di sostanza della sostanza che decade, dn/dt per il tasso di trasformazione e $T_{1/2}$ per il tempo di dimezzamento, otteniamo

$$\frac{dn}{dt} = -n \frac{\ln 2}{T_{1/2}}$$

Con l'introduzione del tempo di dimezzamento si dà l'impressione che questa grandezza sia caratteristica della fisica nucleare e che, di conseguenza, anche le relative diminuzioni esponenziali della quantità di una sostanza siano una particolarità della fisica nucleare. Per evitare di dare questa impressione, introduciamo il concetto di tempo di dimezzamento e di diminuzione esponenziale già parlando di fisica atomica. In effetti la transizione della nube elettronica da uno stato eccitato allo stato fondamentale è un processo dello stesso tipo della transizione di un nucleo da uno stato eccitato allo stato fondamentale.

17. La carta dei nuclidi

Introdurre così presto la carta dei nuclidi può sembrare sorprendente. Dopotutto gli studenti non possono ancora sapere dove si ha a che fare con i numerosi nuclidi. Inoltre viene loro detto che in maggioranza questi nuclidi sono instabili. Ma allora come è possibile che i nuclidi esistano? Se gli studenti dovessero porre questa domanda, si può ragionevolmente rimandare l'argomento osservando che molte molecole sono instabili nei confronti delle reazioni chimiche e che ciò non stupisce nessuno. E se qualcuno chiedesse come sono state prodotte quelle molecole, la risposta è: sono state sintetizzate in innumerevoli modi, la maggior parte dalla natura, in minima parte dagli uomini, in laboratorio o nelle fabbriche. Alcuni di questi processi di sintesi vengono trattati nel corso di chimica. La stessa cosa vale per i nuclei atomici. Anche i nuclei instabili sono prodotti in molti modi diversi, sia naturali che artificiali, e alcuni di questi processi saranno discussi a lezione.

18. Nuclidi stabili e nuclidi instabili

La questione della stabilità dei nuclidi è per certi versi una questione di definizione. Alcuni nuclidi, soprattutto i più leggeri, non possono decadere. Ogni reazione dove la carica elettrica, il numero barionico e il numero leptonico sono conservati, porta a prodotti di reazione la cui energia è maggiore di quella del nucleo iniziale. Quindi la reazione non può avvenire "da sola", senza apporto di energia. Molti altri nuclidi definiti stabili nella carta dei nuclidi, in questo senso non sono stabili. Non decadono solo in quanto la resistenza di reazione è molto alta. In altre parole il loro tempo di dimezzamento è molto molto lungo. Si è stabilito che i nuclidi con un tempo di dimezzamento rispetto al loro decadimento superiore a circa 10^{15} anni, si definiscono stabili.

C. Esperimenti

1. Energia e portatori di energia

Paragrafo 1.2

Con apparecchi in dotazione o portati da casa, assemblare un sistema sorgente-ricevitore, p. es.

pila - cavo - lampadina

bombola a gas - tubo - lampada da campeggio (o fornello da campeggio)

asciugacapelli (o ventilatore) - girandola

motore elettrico - corda (cinghia di trasmissione) - un qualche giocattolo

motore elettrico - albero motore - un qualche giocattolo

lampadina - cellula solare

trasmissione idraulica di energia con i Fischertechnik o i Lego

trasmissione pneumatica o idraulica di energia con due stantuffi collegati da un tubo

Affinché la struttura "sorgente - conduttore - ricevitore" sia chiaramente riconoscibile, nell'esperimento il conduttore deve sempre essere molto lungo rispetto alle dimensioni di sorgente e ricevitore. Quindi collegheremo una lampadina a una pila con qualche metro di cavo e una lampada da campeggio alla bombola con un tubo di diversi metri.

Paragrafo 1.3

Nei limiti imposti dal materiale a disposizione, costruire una catena con alcuni trasferitori di energia.

2. Correnti di liquidi e gas

Paragrafo 2.1

Misurare diverse pressioni o leggere diversi valori di pressione:

- pneumatico d'auto (manometro da grande mazzino)

- conduttura dell'acqua (manometro con una portata di circa 10 bar)

- bombola a gas

- campana a vuoto

- pressione atmosferica (con un barometro)

Paragrafo 2.3

1. In un sottile tubo lungo circa 3 m si fanno dei piccoli fori (diametro 1 mm) a distanza di 1 m l'uno dall'altro. Si allaccia il tubo a un rubinetto che viene aperto. Da ogni foro sprizza una fontanella. L'altezza della fontanella è una misura della pressione nel tubo. La pressione diminuisce allontanandosi dal rubinetto. Quindi l'acqua scorre da punti a pressione più alta verso punti a pressione più bassa.

2. Lasciamo entrare aria in una campana a vuoto.

3. Due pneumatici d'auto più diversi possibile e gonfiati a pressioni diverse, vengono collegati con un tubo. L'aria fluisce fino a quando le pressioni sono uguali. Occorrono due adattatori per collegare il tubo alle valvole (negozi di accessori per auto).

Paragrafo 2.4

Mostrare diverse pompe, mentre funzionano e smontate. Per esempio la pompa centrifuga di una vecchia lavatrice o una pompa che si può comperare come accessorio per un trapano a percussione.

Paragrafo 2.5

1. Con un recipiente graduato e un cronometro misurare l'intensità della corrente d'acqua con il rubinetto aperto.

2. L'intensità della corrente d'aria che fuoriesce da un pneumatico viene misurata usando quest'aria per gonfiare un sacchetto di plastica di capacità nota.

Paragrafo 2.6

Per l'analisi qualitativa della dipendenza dell'intensità di corrente dalla differenza di pressione, così come dalla lunghezza e dal diametro del conduttore, si riempie un sacchetto di plastica con l'aria che esce da un pneumatico. Un regolatore di portata preso dalla strumentazione del laboratorio di chimica è adatto a evidenziare la corrente.

Paragrafo 2.7

1. Il tempo necessario per riempire il sacchetto di plastica è una misura dell'intensità di corrente e viene cronometrato. Confrontare due a due i seguenti esperimenti (indicati con (a) e (b)):

- Da un pneumatico aria a pressione elevata (a) e da un altro aria a pressione bassa (b); basta far uscire poca aria per volta; entrambe le volte con lo stesso tubo.
- Un tubo lungo (circa 3 m) (a) e uno corto (circa 0,2 m) (b); i tubi devono essere molto sottili (diametro interno circa 3 mm); hanno lo stesso diametro; la pressione nei pneumatici è la stessa.
- Tubo sottile (a) e tubo spesso (b); i tubi hanno la stessa lunghezza (circa 3 m), la pressione nei pneumatici è la stessa.

2. Per mostrare la dipendenza della resistenza da lunghezza e sezione del conduttore, possiamo far soffiare gli studenti in cannuce di grossezza e lunghezza diverse.

Paragrafo 2.8

1. Se non è ancora stato fatto nel capitolo 1: trasmissione idraulica o pneumatica di energia con i Fischertechnik o i Lego oppure con due stantuffi collegati da un tubo.

2. In un modellino di macchina a vapore si allaccia un tubo nel punto dove l'acqua entra nella caldaia e un altro tubo allo scarico del vapore. Facciamo funzionare la macchina inserendola tra:

- un pneumatico gonfio e l'ambiente;
- un pneumatico gonfio e uno sgonfio;
- l'ambiente e una campana a vuoto.

Si lascia funzionare la macchina fino a quando si instaura un equilibrio delle pressioni.

3. Quantità di moto e correnti di quantità di moto

I requisiti più importanti per un gran numero di esperimenti nella prima fase della meccanica sono tre tipi di "veicoli". Si differenziano soprattutto per quanto riguarda l'attrito:

1. Diversi piccoli veicoli con molto poco attrito. I più adatti sono le slitte su una rotaia a cuscinio d'aria. Quando, nella descrizione degli esperimenti ci riferiamo a questi veicoli poveri di attrito, diciamo sempre "slitta".

2. Due veicoli il cui attrito non sia trascurabile nell'esperimento ma sia invece grande abbastanza per permettere alla quantità di moto di manifestarsi come una grandezza veramente percepibile. Sarebbe bello se uno studente potesse salire o sedersi su un veicolo del genere. A seconda della situazione parliamo di "carrello" o "vagone". In caso di bisogno si possono naturalmente utilizzare anche veicoli più piccoli. Un'altra possibilità è di usare i tavoli a rotelle da laboratorio. Lo svantaggio di questi tavoli è che di solito quando sono spinti non vanno dritti.

3. Il terzo tipo di corpi in moto che usiamo non può nemmeno essere definito veicolo: un corpo il cui attrito con la superficie di appoggio sia intenzionalmente molto alto. Si può usare una scatola di cartone riempita di libri.

Paragrafo 3.2

1. Dimostrazione con corpi che contengono molta quantità di moto e altri che ne contengono poca.

2. Una slitta si muove da sinistra verso destra senza cambiare la sua velocità.

3. Urto elastico tra una slitta in moto e una ferma.

4. Urto anelastico tra una slitta in moto e una ferma.

5. Urto anelastico tra una slitta in moto e due slitte ferme agganciate tra loro.

6. Urto anelastico tra una slitta in moto e 3, 4, ecc. slitte ferme.

7. Urto anelastico tra una slitta e la fine della rotaia (urto anelastico tra un carrello e la parete).

8. Una slitta si muove su una rotaia. Prima che raggiunga l'estremità spegniamo la soffiatrice in modo che si appoggi sulla rotaia.

9. Lasciamo andare un carrello finché si ferma.

10. Urto anelastico tra due slitte che si muovono alla stessa velocità ma in direzioni opposte.

Paragrafo 3.3

1. Una persona (insegnante, studente) tira un carrello con una corda e lo mette in moto verso destra.
2. Una persona è seduta su un carrello e tira con una corda un altro carrello il cui peso è grosso modo uguale al primo carrello, persona inclusa.
3. Una persona è in piedi su uno skateboard e con due corde tira verso di sé due carrelli.
4. Un'automobilina telecomandata è su un cartone appoggiato su dei rulli (p.es. delle cannuccie). Si accende il motore. L'auto si mette in moto in una direzione e il cartone nell'altra.
5. Due slitte, una delle quali equipaggiata con un respingente elastico (una molla), sono collegate con una cordicella in modo che la molla sia compressa. La cordicella viene tagliata o bruciata.

Paragrafo 3.4

1. Un carrello viene messo in moto verso destra con una sbarra, viene cioè caricato con quantità di moto positiva. Una volta si tira dal davanti, una volta si spinge da dietro.
2. Un carrello viene caricato di quantità di moto con una corda tirando dal davanti. Spingere è inutile.
3. Un magnete a sbarra o a ferro di cavallo viene montato su una slitta. Si mette in moto la slitta spingendo da dietro con un altro magnete (avvicinando i poli uguali).
4. Su un carrello viene appoggiata una pesante sbarra (o una tavola). La sbarra sporge sul lato sinistro. Si carica il carrello di quantità di moto spingendo l'estremità sospesa della sbarra. La sbarra deve scivolare sul carrello.
5. Su un piccolo veicolo (slitta o carrello) viene montato un palloncino gonfio. Si apre il palloncino. Il carrello si mette in moto grazie alla reazione dell'aria che fuoriesce.

Paragrafo 3.6

Si riempie d'acqua un secchio bucato. Il livello dell'acqua inizialmente sale. Alla fine la corrente d'acqua che esce dal foro è uguale a quella che entra nel secchio.

Paragrafo 3.7

Un pezzo di legno viene gettato su una tavola appoggiata su dei rulli, in modo che la tavola si metta in moto.

Paragrafo 3.8

1. Un carrello viene messo in moto con una sbarra fissata al carrello.
2. Un carrello viene messo in moto tirandolo con una corda elastica.
3. Un carrello viene messo in moto spingendolo con una molla d'acciaio.

Paragrafo 3.9

1. Con una corda si trascina sul pavimento una scatola di cartone.
2. La scatola di cartone e la persona sono su una tavola appoggiata su dei rulli. Come rulli si possono usare dei manici di scopa o dei tubi dell'acqua.
3. La scatola di cartone e la persona sono su due tavole. Su una delle tavole è fissato un pezzo di gommapiuma, nella corda è inserita una molla. Mentre la scatola di cartone viene tirata a velocità più o meno costante la molla è chiaramente allungata e la gommapiuma chiaramente compressa.
4. Blocchiamo la scatola di cartone, per esempio con un chiodo fissato nella tavola.
5. Blocchiamo la corda inchiodandola alla tavola.
6. Mostrare in molte costruzioni statiche che c'è sempre una parte sottoposta a trazione e un'altra a compressione.

Esempi:

- Uno studente con tende un estensore (trazione nell'estensore, compressione nel corpo dello studente).
- Due studenti sono seduti su due tavoli con le ruote. Si prendono le mani e tirano mentre con le gambe spingono i tavoli (trazione nelle mani, compressione nelle gambe).
- Costruzione con materiale per stativi e una molla, che rappresenta un circuito di quantità di moto chiuso e non ramificato, Fig. 3.1.

Paragrafo 3.10

1. Mostrare dei dinamometri a molla. Lasciare che gli studenti giochino con dei dinamometri (non troppo sensibili).
2. Una lunga corda è tesa attraverso tutta l'aula, Fig. 3.2. La carrucola e il peso servono a tendere la corda, cioè a mantenere una corrente di quantità di moto x , e non sono oggetto d'esame. Si misura la

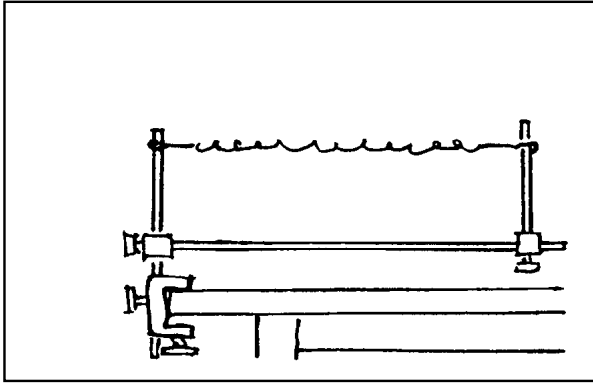


Fig. 3.1. Circuito di quantità di moto chiuso e non ramificato, fatto con materiale per stativi.

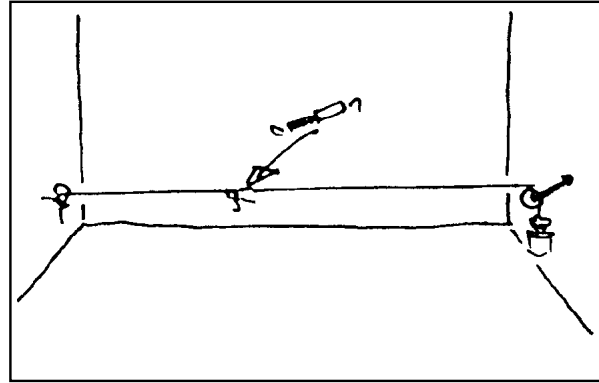


Fig. 3.2. Nella corda fluisce una corrente di quantità di moto la cui intensità rimane costante se si cambia leggermente la lunghezza della corda.

corrente di quantità di moto nella corda. Sottolineare che si procede nel modo seguente: prima si taglia il conduttore della corrente di quantità di moto. Le due estremità ottenute vengono collegate agli allacciamenti dell'apparecchio che misura l'intensità di corrente. (Si procede in modo analogo per la misurazione dell'intensità di corrente di una qualsiasi altra grandezza estensiva.)

3. Accelerare un carrello con una forza il più possibile costante. La forza viene misurata.

4. Nella costruzione in Fig. 3.2 si inseriscono due dinamometri. Il valore segnato dell'intensità della corrente di quantità di moto è lo stesso di prima.

5. Nella corda in Fig. 3.2 si crea una ramificazione (come in Fig. 3.47b nel testo per studenti). Misurare le intensità delle correnti di quantità di moto.

Paragrafo 3.12

1. Con un elastico e un righello si definisce l'unità dell'intensità di corrente. Con altri elastici si realizzano i multipli dell'unità.

2. Usando le unità dell'intensità di corrente si tara un estensore.

3. Con una corda elastica si accelera un carrello. Sul prolungamento della corda viene misurata l'intensità della corrente di quantità di moto che fluisce al carrello.

4. Con l'aiuto delle unità di intensità di corrente si determina la relazione $F-s$ per una molla d'acciaio.

Paragrafo 3.14

1. Considerare, esaminare e discutere diversi misuratori di velocità, p.es.:

- tachimetro di una bicicletta
- anemometro di una stazione meteorologica
- manica a vento di un eliporto

2. Con i pezzi di un gioco di costruzione tecnico, costruire un veicolo con un misuratore di velocità che funzioni secondo il principio del regolatore centrifugo.

3. La velocità costante di una slitta su una rotaia a cuscino d'aria viene determinata con una misurazione spazio percorso-tempo. In questo modo gli studenti hanno a che fare per la prima volta con le barriere fotoelettriche.

Paragrafo 3.15

Gli esperimenti sono descritti nel testo per studenti.

4. Il campo gravitazionale

Paragrafo 4.1

Costruire un circuito di quantità di moto come mostrato in Fig. 4.1 del testo per studenti.

Paragrafo 4.2

1. Si lasciano cadere degli oggetti e se ne appendono altri a dei dinamometri.
2. Mostrare nuovamente un esperimento di trasmissione di quantità di moto con un campo magnetico.
3. Si fissa al pavimento una molla rigida o una corda elastica. Uno studente, ev. seduto su una sedia, tende con una mano la molla rispettivamente la corda elastica in direzione verticale. Nell'altra mano tiene un peso. Tutto è fatto in modo che le forze che lo studente percepisce a destra e a sinistra siano uguali. Lo si può anche pregare di chiudere gli occhi e convincersi che il peso e la molla siano scambiati. È sorprendente quanto bene riesca. (Ovviamente lo nota solo chi fa l'esperimento.)

L'obiettivo dell'operazione è permettere allo studente di immaginarsi il campo gravitazionale in modo molto concreto.

Paragrafo 4.3

A un dinamometro si appende un peso dalla massa nota, poi due, tre, ecc. Si legge il valore segnato dal dinamometro.

Paragrafo 4.4

1. Due oggetti di massa chiaramente diversa ma non troppo leggeri, vengono lasciati cadere contemporaneamente da un'altezza non troppo elevata. Si sentono gli impatti nello stesso momento.

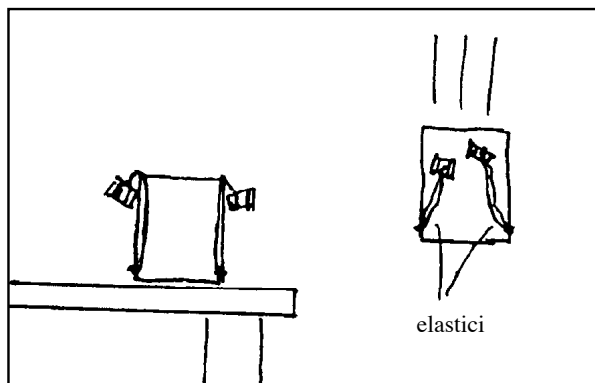


Fig. 4.1. Durante la caduta libera, i pesi sono tirati degli elastici all'interno della latta.

2. Un esperimento impegnativo: in un punto qualsiasi della caduta di una sfera in caduta libera, si misurano:
 1. la sua velocità
 2. il tempo di caduta.

Si ripete l'esperimento a diverse altezze. Il risultato dovrebbe soddisfare l'equazione $v = g \cdot t$.

3. Si fanno i noti esperimenti di caduta con il tubo a vuoto.

Paragrafo 4.5

1. Un palloncino gonfio e un oggetto pesante vengono lasciati cadere contemporaneamente.
2. Una sfera molto leggera e una molto pesante dello stesso diametro, vengono lasciate cadere contemporaneamente dalla stessa altezza.

Paragrafo 4.6

1. Fare l'esperimento, descritto nel testo per studenti, con i due blocchi che trattengono una tavola.
2. Qualcuno (insegnante, studente) salta dal tavolo con in mano due pesanti valigie. Durante la caduta il peso delle valigie non si percepisce.
3. Fare l'esperimento facilmente realizzabile descritto in Fig. 4.1: due elastici vengono fissati sul fondo interno di una scatola di conserva. Alle altre estremità degli elastici vengono fissati due piccoli oggetti metallici. Le lunghezze degli elastici sono tali da non superare il bordo della scatola. Possiamo però porre i due oggetti oltre il bordo della scatola in modo che gli elastici siano tesi. Se lasciamo cadere la scatola così preparata, sentiamo chiaramente che i due oggetti sono tirati all'interno della scatola. Naturalmente l'effetto si manifesta anche se la scatola è lanciata in alto.
4. Un esperimento da fare all'aperto: un cartone del latte da 1 litro viene riempito d'acqua. Lo si lancia in aria con l'apertura verso il basso. Durante il lancio si tiene chiusa l'apertura. Mentre il cartone vola, l'acqua non esce.

Paragrafo 4.7

1. Determinare la densità di un corpo geometricamente semplice, pesandolo e misurandone le dimensioni.
2. Determinare la densità di un liquido pesando e misurando il volume.
3. Determinare la densità di un corpo solido e geometricamente irregolare. Si ottiene il suo volume immergendolo in acqua e misurando il volume dell'acqua spostata.

4. Determinare la densità dell'aria a condizioni normali. Un recipiente in cui si possa fare il vuoto viene pesato due volte: una volta prima e una dopo aver tolto l'aria.

Paragrafo 4.8

1. Verificare quali corpi o sostanze galleggiano su quali altre. Si provino tutte le combinazioni possibili di "corpi" solidi, liquidi e gassosi.

2. Come descritto nel testo per studenti (Fig. 4.18) si stratificano in un recipiente tetracloruro di carbonio (o tricloroetilene), acqua e benzina e poi si mettono nel recipiente dei corpi solidi che galleggiano al limite tra i vari liquidi, uno che galleggia in superficie e uno che affonda del tutto. (Come corpi che galleggiano tra acqua e benzina si possono utilizzare svariate materie plastiche. Tra il tricloroetilene e l'acqua galleggia il materiale di cui sono fatte le prese elettriche.)

3. Verificare se un liquido che si mescola all'acqua, p.es. l'alcol, galleggia sull'acqua riempiendo un sacchetto di plastica e immergendolo in acqua.

Paragrafo 4.9

1. Dimostrare che la pressione gravitazionale aumenta verso il basso con l'esperimento di Fig. 4.19 del testo per studenti.

2. Un tubo viene riempito d'acqua e una delle due estremità sigillata. All'estremità chiusa si collega un manometro. Il tubo viene tenuto verticale. Più spazio a disposizione c'è (in direzione verticale) più sarà marcata la sovrappressione dell'acqua.

3. Con un manometro molto sensibile si confrontano la pressione atmosferica al piano più alto e quello più basso dell'edificio scolastico.

5. Quantità di moto e energia

Paragrafo 5.1

Fare l'esperimento descritto in Fig. 5.4 del testo per studenti. Si misurano le velocità delle tre corde.

Paragrafo 5.2

1. Si tende una molla e si agganciano le sue estremità. Una delle estremità viene liberata. La molla si muove in modo brusco e disordinato. Interpretiamo questo movimento come un segno della presenza di energia nella molla.

2. Una lunga molla è fissata da una parte alla parete, dall'altra a una corda. Si tende la molla avvolgendo la corda con un motore elettrico. Poi si lascia distendere la molla lasciando lavorare il motore come una dinamo. Alla dinamo è collegata una lampadina.

3. Un veicolo urta la parete rompendo qualcosa: una scatola di cartone o un oggetto di vetro. Interpretiamo questa distruzione come un segno della presenza di energia nel veicolo.

4. Una persona va in bicicletta. Smette di pedalare quando la dinamo è inserita. Il fatto che la luce resti accesa è un segno della cessione di energia da parte della bicicletta.

5. Un veicolo in moto tende una molla, vedi Fig. 5.8 nel testo per studenti. Il veicolo si muove una volta verso destra, una volta verso sinistra.

6. L'estremità di una molla tesa viene fissata a un veicolo, il veicolo viene lasciato andare. La molla si distende e il veicolo si mette in moto.

7. Con un motore elettrico e un rotolo di spago si solleva un oggetto. Poi l'oggetto viene lasciato andare lasciando lavorare il motore come una dinamo. A questa dinamo è collegata una lampadina.

8. Un oggetto viene appeso a una molla. L'oggetto si muove verso il basso e tende la molla.

Paragrafo 5.3

Costruire un oscillatore come quello mostrato in Fig. 5.12 del testo per studenti.

6. La quantità di moto come vettore

Paragrafo 6.1

Si fanno muovere due piccoli veicoli, p.es. automobiline giocattolo. Una volta i due veicoli hanno velocità dello stesso modulo e stessa direzione, una volta le direzioni sono uguali ma i moduli diversi, poi i moduli sono uguali e le direzioni diverse e infine sia modulo che direzione sono diversi. Solo nel primo caso le velocità sono uguali.

Paragrafi 6.2 - 6.3

1. Per fare l'esperimento abbiamo bisogno di un apparecchio che possa ricevere quantità di moto in due direzioni diverse. Un tavolo a rotelle non è molto adatto perché si gira facilmente: oltre ai diversi tipi di quantità di moto, può ricevere anche quantità di moto angolare e questo perturba l'esperimento.

Un tavolo a cuscino d'aria è più adatto perché non c'è il disturbo dell'attrito. Resta però il problema che i corpi ricevono anche quantità di moto angolare. Se facciamo urtare anelasticamente due slitte in modo che restino agganciate, a meno che si operi con molta abilità, dopo l'urto la coppia di slitte ruota.

2. Non è troppo difficile costruire un apparecchio adatto al nostro scopo: un foglio di compensato è montato su due coppie di binari tra loro perpendicolari, in modo da muoversi facilmente in direzione x e y ma senza poter ruotare, Fig. 6.1.

Sul compensato possono muoversi dei piccoli veicoli: un trenino giocattolo o un'auto telecomandata. Oppure si fa rotolare una sfera o più sfere su binari posati sulla tavola.

3. Per dimostrare che la quantità di moto che fluisce può avere direzioni diverse rispetto alla direzione del conduttore, bastano esperimenti più semplici: un veicolo con le ruote bloccate in una direzione viene caricato di quantità di moto con una sbarra. In sostanza facciamo l'esperimento di Fig. 6.5 nel testo per studenti. Prima di ogni tentativo si deve solo sta-

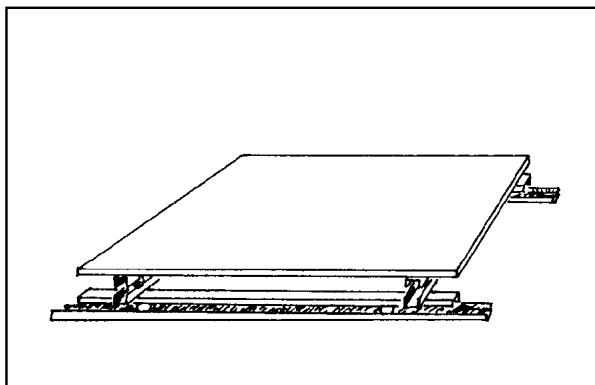


Fig. 6.1. Il foglio di compensato è isolato da terra per la quantità di moto lineare. La quantità di moto angolare invece, defluisce a terra.

re attenti a orientare il veicolo nella direzione della quantità di moto che riceve.

4. Caricare di quantità di moto un veicolo, spingendolo o tirandolo con una sbarra non diritta. Si può assemblare una sbarra del genere con materiale per stativi.

Paragrafo 6.5

1. Con l'aiuto di una corda in cui è inserito un dinamometro, si tira un veicolo non troppo leggero. Una volta nella direzione di marcia, una volta perpendicolarmente e una volta in una qualsiasi direzione obliqua. Si osserva qualitativamente la reazione del veicolo.

2. Una rotaia viene montata un po' inclinata e un carrello o una slitta la discende accelerando. Si riporta la velocità in funzione del tempo.

Paragrafo 6.6

L'esperimento adatto è banale ma ciononostante non superfluo: si fissa una corda a un qualsiasi oggetto che scivola facilmente. Tirando brevemente la corda si mette in moto l'oggetto su un tavolo orizzontale. Si nota che la direzione della quantità di moto che l'oggetto riceve è la stessa direzione della corda.

Paragrafo 6.7

In tre corde tese che confluiscono in un nodo vengono inseriti dei dinamometri. La somma dei tre vettori intensità di quantità di moto è nulla.

7. Momento meccanico e baricentro

Paragrafo 7.1

1. Costruire i dispositivi delle Figg. 7.1, 7.3, 7.4 e 7.6 del testo per studenti.
2. Si costruiscono dei paranchi con i mezzi a disposizione e si misurano le intensità della corrente di quantità di moto nella corda di trazione e in quella di carico.
3. In un grande magazzino o in un negozio specializzato si possono trovare dei paranchi per relativamente pochi soldi. Con un paranco del genere si solleva un carico pesante. A causa dell'attrito intenso di questi paranchi, le relazioni ottenute a lezione non si possono verificare quantitativamente.

Paragrafo 7.3

1. Costruire un dispositivo simile a quello in Fig. 7.16 del testo per studenti. Il dispositivo può essere appoggiato sul tavolo in modo che si possa spostare facilmente. Si deve fare in modo che lasciandolo penzolare verso il basso il suo peso sia trascurabile.
2. Costruire un dispositivo simile a quello in Fig. 7.21 del testo per studenti (naturalmente con un carico inferiore). Per misurare le intensità delle correnti di quantità di moto nei punti B e C, la sbarra viene appesa in quei punti a due dinamometri.
3. Una leva di inversione come quella descritta in Fig. 7.25 del testo per studenti può essere costruita con il materiale di una scatola per costruzioni Märklin. In entrambe le corde si inseriscono dei dinamometri.

Paragrafo 7.4

1. Sperimentare con un dispositivo simile a quello in Fig. 7.32 del testo per studenti: bracci della leva uguali e stessi pesi, bracci uguali e pesi diversi, equilibrio con bracci di diversa lunghezza.
2. Mostrare che un bilanciario libero di ruotare attorno al proprio centro è in equilibrio in qualsiasi orientamento. (Il bilanciario può essere costruito con il materiale a disposizione o con i pezzi della Lego, Märklin o Fischertechnik)
3. Determinare il baricentro di un corpo trovando un asse con il quale il corpo è in equilibrio indipendentemente dall'orientamento. Il corpo dovrebbe permettere di inserire degli assi in molti modi diversi. I Lego si prestano allo scopo.

Paragrafo 7.5

Determinare il baricentro di un corpo appendendolo in vari punti e marcando ogni volta con il filo a piombo la verticale che passa per il punto di sospensione.

Paragrafo 7.6

1. Si prenda un oggetto molto pesante a forma di parallelepipedo e molto più lungo che largo, p. es. un mobile. Mostrare che è molto più facile ribaltarlo quando è "in piedi" che quando è "sdraiato".
2. Mostrare come si usa una bilancia a piatti.

8. Quantità di moto angolare e correnti di quantità di moto angolare

Paragrafo 8.1

1. Mostrare due ruote di grandezza diversa che girano più o meno alla stessa velocità, p.es. un volano e una ruota Märklin.

2. Per questo esperimento ci vogliono due volani che possono essere collegati con una frizione a scivolamento. I volani da laboratorio sono adatti allo scopo. Visto che di solito se ne ha uno, solo se ne dovrà prendere uno in prestito. Una "frizione" può essere facilmente autocostruita. Si conduce l'esperimento descritto nel testo per studenti.

3. Far defluire a terra la quantità di moto angolare di una ruota che gira, frenandola con le mani.

Paragrafo 8.2

Fare l'esperimento con sgabello girevole e volano descritto nel testo per studenti.

Paragrafo 8.3

Con i pezzi della Märklin si costruisce un bilanciante che può ruotare attorno a un asse, vedi Fig. 8.15 nel testo per studenti. Eseguire l'esperimento descritto nel testo per studenti.

Paragrafo 8.4

A un volano viene fissata perpendicolarmente una sbarra piatta e elastica come un righello di plastica. Si carica il volano di quantità di moto angolare ruotando l'estremità libera del righello. Si osserva la torsione.

Paragrafi 8.5 e 8.6

Mostrare che la quantità di moto angolare che fluisce da un motore alla macchina azionata dal motore, ha bisogno di un percorso di ritorno. Ci sono molte possibilità. Un esempio: servono un trapano e un motorino elettrico da usare come dinamo. Alla dinamo è fissata una lampadina collegata elettricamente con la dinamo stessa. L'albero motore della dinamo viene fissato nel mandrino del trapano. La dinamo e la lampadina devono essere ben centrate per evitare che la Terra eserciti un momento meccanico sul telaio della dinamo. Se si accende il trapano, dinamo e lampadina girano assieme. La lampadina non si accende. Visto che il circuito di quantità di moto angolare non è chiuso, non può esserci un trasporto di energia. Se teniamo fermo il telaio della dinamo, la quantità di moto angolare trova una via di ritorno e il trasporto funziona.

9. Pressione e trazione

Paragrafo 9.1

Si blocca in un morsetto una specie di sandwich fatto da tre piccole lastre di legno e da due dischi di polistirolo. La sequenza è legno - polistirolo - legno - polistirolo - legno. Uno dei pezzi di polistirolo ha una sezione ridotta, l'altro più grande. Se stringiamo il morsetto, il pezzo di polistirolo con la sezione minore si schiaccia per primo. Evidentemente la pressione è maggiore che nell'altro pezzo di polistirolo.

Paragrafo 9.2

1. Usando delle morse, si stringe un piccolo oggetto cubico in modo che in tre direzioni perpendicolari ci siano pressioni diverse.

2. Un lungo pezzo di gommapiuma viene usato come ponte, Fig. 9.12 nel testo per studenti. Caricandola al centro si vede che nel senso della lunghezza, la gommapiuma è schiacciata in alto e dilatata in basso. In caso di bisogno si può usare anche una spugna.

3. Mostrare che in direzioni diverse il legno sopporta sollecitazioni diverse.

Paragrafo 9.3

Determinare la densità di varie sostanze con metodi diversi.

Paragrafi da 9.5 a 9.7

Fare i noti esperimenti con i mezzi a disposizione.

Paragrafo 9.8

1. A uno stantuffo viene allacciato un manometro in grado di misurare pressioni inferiori alla pressione normale. All'inizio lo stantuffo è totalmente inserito nel cilindro. Estrahendo lo stantuffo la pressione diminuisce ma resta positiva.

2. In uno stantuffo si trova solo acqua, senza aria. L'acqua è stata precedentemente fatta bollire per eliminare i gas sciolti. Si tira con forza lo stantuffo e si nota che sforzandosi è possibile estrarlo parzialmente. Così facendo si forma una bolla. Se lasciamo andare lo stantuffo la bolla scompare.

3. Mostrare una pompa di aspirazione.

4. Mostrare gli effetti oggetto dell'esercizio 2 e dell'esercizio 3.

Paragrafo 9.9

1. Realizzare un trasporto idraulico o pneumatico di energia con l'aiuto di due stantuffi collegati da un lungo tubo.
2. Lo stesso esperimento con stantuffi di sezione diversa. Mostrare che per entrambi il prodotto $A \Delta x$ ha lo stesso valore.
3. Si usino i mezzi a disposizione per mostrare che $F_1/F_2 = A_1/A_2$.

10. Entropia e correnti di entropia

Paragrafo 10.1

1. Misurazione della temperatura di diversi corpi con diversi apparecchi, p. es.:
 - con un termometro a mercurio la temperatura dell'acqua calda e fredda del rubinetto, la temperatura dell'aria sul pavimento e sul soffitto dell'aula.
 - con un termometro elettrico la temperatura in diversi punti di una fiamma di becco Bunsen, la temperatura dell'aria liquida.
2. Come descritto nel testo per studenti, si travasa acqua calda in diversi bicchieri

Paragrafo 10.2

1. Fare l'esperimento delle temperature che si uguagliano descritto nel testo per studenti.
2. Misurare con il termometro elettrico la temperatura di diversi oggetti dell'aula: oggetti di metallo, legno, calcestruzzo, ecc. Per ottenere un buon contatto termico durante la misurazione, si versa una goccia d'olio sul punto dove si misura (l'acqua perturberebbe l'equilibrio termico a causa dell'evaporazione).

Paragrafo 10.3

1. Se possibile, portare un frigorifero in classe, metterlo in funzione e identificare la pompa di calore, l'entrata e l'uscita per l'entropia.
2. Se si ha a disposizione una pompa di calore metterla in funzione e spiegare ciò che è possibile con quanto fatto finora a lezione.

Paragrafo 10.4

Qui facciamo solo un Gedankenexperiment: un mattone viene raffreddato con macchine del freddo sempre migliori.

Paragrafo 10.5

1. Anche se in ogni lampadina e nella maggior parte delle apparecchiature elettriche viene prodotta entropia, eseguiamo il seguente esperimento: facciamo passare una corrente elettrica molto forte attraverso un cavo molto sottile, per farlo diventare incandescente.
2. In un trapano a mano elettrico si fissa una punta smussata o semplicemente un grosso chiodo. Poi si prova a perforare un sasso o un pezzo di cemento. La punta di trapano, o il chiodo, diventa incandescente.

3. Mostrare alcuni processi irreversibili e (quasi) reversibili:

Si lascia cadere un oggetto. La caduta è reversibile, l'impatto è irreversibile.

Il docente si nasconde dietro la cattedra e lancia verso l'alto un oggetto in modo che gli studenti non vedano nè il lancio nè l'impatto alla ricaduta. La parte del processo vista dagli studenti è (quasi) reversibile.

Il moto di un pendolo è più o meno reversibile. Se lo osserviamo solo per breve tempo, l'irreversibilità non si percepisce. (Da un breve spezzone di un film nel quale si vede un pendolo, non si può capire se il film è proiettato al contrario o no.)

Paragrafo 10.7

1. Esaminare qualitativamente la conducibilità termica di alcuni materiali solidi.

2. Un esperimento sulla conducibilità termica dell'acqua: in una provetta c'è acqua fredda e sul fondo della provetta un pezzo di ghiaccio. Per impedire al ghiaccio di risalire, lo si appesantisce con un po' di filo di ferro. Ora teniamo la provetta inclinata sopra un becco Bunsen, in modo che la parte superiore si riscaldi. L'acqua nella parte superiore comincia a bollire mentre il ghiaccio sul fondo non si scioglie. Si misura la temperatura in cima e in fondo alla provetta. (Dobbiamo tenere il ghiaccio in basso e riscaldare in alto per ottenere una stratificazione stabile dell'acqua, cioè per impedire la convezione naturale.)

3. Alcuni materiali sono più freddi al tatto di altri materiali alla stessa temperatura. Al riguardo vengono fatti i seguenti esperimenti: un pezzo di ferro e uno di legno vengono raffreddati (direttamente nel frigorifero o in una miscuglio di acqua e ghiaccio) e poi toccati da diversi studenti. Il ferro sembra più freddo. Entrambi gli oggetti vengono poi riscaldati in acqua bollente e toccati nuovamente. Questa volta il ferro sembra più caldo.

11. Entropia e energia

Paragrafo 11.2

Definiamo una "tabella di taratura" per un riscaldatore a immersione: determiniamo l'intensità della corrente di entropia che il riscaldatore cede all'acqua, per valori diversi di temperatura. Con l'aiuto di un wattmetro misuriamo l'intensità della corrente di energia che affluisce al riscaldatore. (Il valore indicato dal wattmetro non è molto affidabile). Ci convinciamo che l'intensità della corrente di energia non dipende dalla temperatura. Poi dividiamo l'intensità della corrente di energia per diverse temperature assolute tra 273 K e 373 K (a intervalli di circa 20 K) e otteniamo così i valori di intensità della corrente di entropia per le temperature corrispondenti.

Paragrafi 11.4 e 11.5

Si mostrano alcune macchine termiche o "motori termici" cercando ogni volta di individuare dove l'entropia entra nella macchina a temperatura elevata e da dove ne esce a temperatura più bassa. A seconda delle situazioni si discutano i dettagli di funzionamento della varie macchine.

1. La macchina Stirling

Si mostra sia il funzionamento come pompa di calore che come motore termico. Quando lavora come pompa di calore, mostriamo che l'uscita per l'entropia è altrettanto importante dell'entrata: riduciamo il riscaldamento in modo tale che la macchina lavori appena e poi chiudiamo l'acqua di raffreddamento. Dopo pochi minuti la macchina si ferma. Se apriamo di nuovo l'acqua di raffreddamento si rimette in funzione.

2. L'elemento Peltier

I moduli Peltier si possono acquistare nei negozi di elettronica. Al modulo viene allacciato un piccolo motore elettrico. Il modulo viene azionato per esempio tra un bicchiere con acqua fredda e uno con acqua calda. Un'altra possibilità: una parte del modulo viene raffreddata con un blocco di metallo freddo, l'altra messa in contatto con un ferro da stiro.

3. La macchina a vapore

Vale la pena mostrare una comune macchina a vapore giocattolo, visto che la maggior parte degli studenti non ha mai visto una macchina a vapore in funzione. Con una macchina a vapore a condensatore si potrebbe compiere un esperimento molto più bello, purtroppo sono rare le scuole che ne possiedono una. Anche in questo caso chiudiamo l'acqua di raffreddamento. Si può vedere molto bene come la pressione nel condensatore aumenti fino a uguagliare la pressione nella caldaia. Naturalmente la macchina si ferma. Riaprendo l'acqua di raffreddamento la macchina ricomincia a funzionare, e lo fa molto rapidamente.

4. Il motore a scoppio

Usiamo un motore di motorino. Con un tubo conduciamo i gas di scarico fuori dalla finestra. Si approfitti dell'occasione per spiegare il funzionamento delle varie parti di un motore a scoppio. (Si smonti per esempio la candela, lasciandola però collegata in modo da vedere la scintilla di accensione.)

C'è tutta una serie di giocattoli che funzionano secondo il principio della macchina termica:

5. la barchetta a vapore

6. il motore a elastico

Una ruota con degli elastici al posto dei raggi viene riscaldata su un lato con una lampada a incandescenza. Sul lato caldo gli elastici si contraggono. Il baricentro della ruota si sfasa rispetto all'asse e la ruota comincia a girare.

Paragrafo 11.6

Si misura la perdita di energia di diversi apparecchi.

1. Alimentatore, trasformatore

Ovviamente l'apparecchio deve essere caricato. Con il wattmetro misuriamo l'intensità della corrente di energia all'entrata e all'uscita. Si può mostrare che la perdita dipende dal carico.

2. Cavo di prolunga

Con un wattmetro si misura la perdita di un cavo di prolunga molto lungo, p.es. 50 m. (La perdita è molto piccola.)

3. Dinamo

Si arrotola una corda sull'albero di una dinamo, o di un motore elettrico utilizzabile come dinamo. Appendiamo un peso alla corda. Lasciamo cadere il peso in modo che azioni l'albero della dinamo. Alla dinamo è allacciato un consumatore di energia elettrica. L'intensità della corrente di energia che vi affluisce viene determinata via forza e velocità, quella della corrente che defluisce con un wattmetro.

4. Puleggia

Si appende una puleggia. Al gancio (che si muove lentamente) si aggancia un peso. Alla corda (che si muove rapidamente) si aggancia un dinamometro. Ora tiriamo l'altra estremità del dinamometro. Conoscendo il rapporto della puleggia, possiamo trovare anche il rapporto tra le velocità. Via forza e velocità si determinano le intensità delle correnti di energia. Una grossa puleggia da cantiere è particolarmente adatta allo scopo.

Paragrafo 11.7

Si determina la temperatura dell'acqua come funzione dell'entropia fornita con un riscaldatore a immersione. L'esperimento è attuabile senza problemi se viene svolto a temperatura ambiente: le perdite di calore sono trascurabili.

Si versano circa 5 l d'acqua in un secchio di plastica. Riscaldiamo l'acqua con il riscaldatore a immersione tarato (vedi esperimento per il paragrafo 11.2). Si misura la temperatura e si determina il tempo necessario affinché la temperatura dell'acqua aumenti di 2 K. Prendiamo l'intensità della corrente di entropia dalla tabella di taratura del riscaldatore a immersione e calcoliamo per ogni intervallo di tempo la quantità di entropia fornita.

Dividiamo l'entropia trovata per la massa dell'acqua e confrontiamo con il grafico nel testo per studenti.

Ripetiamo l'esperimento con un altro liquido, per esempio olio commestibile.

Paragrafo 11.8

Si determina la capacità termica specifica dell'acqua. Si riscalda con il riscaldatore a immersione, si misura l'intensità della corrente di energia con il wattmetro e si misura la temperatura in funzione del tempo.

12. Transizioni di fase

Paragrafo 12.1

1. Riscaldare acqua in una beuta con un becco Bunsen e misurare la temperatura. La temperatura non sale oltre i 100°C malgrado un ulteriore apporto di entropia. Durante l'ebollizione misurare anche la temperatura del vapore sopra l'acqua.

2. Si porta a ebollizione dell'acqua in una beuta e si conduce il vapore in un tubicino di vetro orizzontale. Riscaldiamo il tubicino con un secondo becco Bunsen e misuriamo la temperatura del vapore che ne esce. Si raggiungono facilmente temperature fino a 150°C .

3. Misuriamo l'entropia di evaporazione specifica: con un riscaldatore a immersione facciamo evaporare una certa quantità d'acqua. Determiniamo la massa dell'acqua evaporata pesando l'acqua liquida all'inizio e alla fine dell'esperimento. L'entropia si ottiene via corrente di entropia, tempo e temperatura (373 K).

4. Riscaldiamo acqua condensando del vapore e facciamo il bilancio dell'entropia: versiamo acqua a circa 80°C in un vasetto da yogurt. In quest'acqua conduciamo del vapore, ottenuto per esempio grazie a una macchina per il caffè, fino a quando la temperatura raggiunge circa i 90°C . Prima di usare il vapore ne lasciamo uscire un po' per evitare che durante l'esperimento ci sia ancora vapore che condensa nel tubo. Misuriamo la temperatura dell'acqua all'inizio e alla fine dell'esperimento. Con la differenza di massa calcoliamo l'entropia ceduta dal vapore durante la condensazione. La confrontiamo con l'entropia calcolata a partire dall'aumento di temperatura.

5. Mostrare la transizione di fase tra zolfo rombico e monoclinico che avviene a 95°C .

Paragrafo 12.2

Riempiamo un pallone a fondo sferico con acqua calda e togliamo l'aria rimasta con una pompa a vuoto. Contemporaneamente misuriamo la temperatura. L'acqua comincia a evaporare anche se la temperatura è inferiore a 100°C .

Paragrafo 12.3

1. Preparare una miscela refrigerante: mescolare sale da cucina e ghiaccio sbriciolato in un rapporto 1 : 3. Misurare la temperatura.

2. Mostrare il "freddo da evaporazione" dell'etere: imbevare d'etere un po' di ovatta e misurare la temperatura. Soffiando riusciamo ad abbassare ulteriormente la temperatura.

13. I gas

Paragrafo 13.1

1. Mostrare che l'aria che entra in un recipiente vuoto occupa tutto lo spazio a disposizione, l'acqua invece no.

2. Un cilindro contiene aria. Vi si può spingere un pistone. Se invece il cilindro contiene acqua non si riesce a spingere il pistone. Se nel liquido è immerso un corpo solido succede la stessa cosa.

3. Dimostrare l'elevata espansione termica dell'aria, paragrafo 13.4 nel testo per studenti.

Paragrafo 13.2

1. Riscaldare l'aria contenuta in un recipiente al quale è allacciato un manometro.

2. In un cilindro chiuso è montato un sensore per la temperatura. Si comprime l'aria e si osserva l'aumento della temperatura.

3. L'aumento di temperatura che osserviamo comprimendo un gas, non è molto consistente. Sarebbe molto più grande se il sensore e le pareti del cilindro non assorbissero così tanta entropia. Grazie a un trucco però, possiamo ottenere un aumento di temperatura abbastanza grande:

Inseriamo un sensore per la temperatura al foro d'uscita di una pompa di bicicletta. Applichiamo una guarnizione in modo che l'apertura non sia sigillata completamente. Se ora spingiamo rapidamente il pistone nel cilindro, dapprima si riscalda l'aria. Molto in fretta però, l'aria cede entropia alle pareti del cilindro e al sensore per poi uscire. Diamo ora un'altra pompata. Ancora una volta l'aria cede entropia al sensore prima di defluire. L'esperimento si svolge così: pompamo rapidamente più volte di seguito. In questo modo si raggiungono temperature superiori a 100°C .

4. Una versione semplificata dell'esperimento precedente che ogni studente può fare da solo: usiamo la pompa tenendo il pollice sul foro d'uscita in modo che l'aria possa defluire solo alla fine di ogni pompata, cioè quando è già molto compressa. Dopo alcune pompate l'aria è così calda da rendere la temperatura insopportabile per il pollice.

Lo stesso effetto è responsabile del surriscaldamento della valvola quando si gonfia una ruota di bicicletta.

Paragrafo 13.3

Se non è ancora stato fatto, presentare una macchina a vapore e un motore a benzina. Per esempio esaminando il motore dell'auto del docente: dove sono i

tubi di entrata e uscita, carburatore, pompa della benzina, candele, bobina di accensione, spinterogeno. Se possibile mostrare il bilancere che comanda l'apertura delle valvole.

Paragrafo 13.5

Mostrare un modello di impianto di riscaldamento centrale.

14. La luce

Paragrafo 14.1

Un blocco di metallo di circa 2 kg viene riscaldato con un becco Bunsen fino a circa 300 °C e in seguito posato o appeso in una campana a vuoto, in modo da ridurre al minimo le perdite di calore dovute a conduzione (p. es. appoggiandolo su delle puntine da disegno). Non si posa o appende l'oggetto al centro ma vicino alla parete della campana. Si fa il vuoto. La parete nei pressi dell'oggetto diventa sensibilmente più calda.

Paragrafo 14.2

1. Scomporre con un prisma la luce di una lampada ad arco. Alle estremità dello spettro visibile si intuiscono le radiazioni IR e UV.

2. Sperimentare con il telecomando di un televisore: si collima la radiazione emessa dall'apparecchio e si fa riflettere su una lastra metallica la radiazione IR.

3. Trasmettere su una lunga distanza la radiazione IR emessa da un oggetto, con l'aiuto di due specchi parabolici: uno specchio per rendere parallela la radiazione emessa dall'oggetto, uno per concentrare la radiazione sul ricevitore. Come sorgente si può usare un pezzo di metallo riscaldato con un becco Bunsen, come ricevitore la sonda del termometro. Si aggiusta il dispositivo con la luce visibile.

Paragrafo 14.5

Con un po' di nastro isolante fissiamo la sonda del termometro a una lampadina il cui filamento sia appena incandescente. Si aspetta che la temperatura non cambi più. Poi si migliora il rivestimento termico avvolgendo la lampadina con uno straccio e si aspetta ancora. La temperatura aumenta.

16. Elettricità e correnti elettriche

Paragrafo 16.1

1. Costruire semplici circuiti elettrici con differenti sorgenti di energia (batteria, alimentatore, dinamo, cellula solare) e con differenti ricevitori di energia (lampadina, motore).
2. Esaminare vari oggetti per capire quali conducono la corrente elettrica e quali no.
3. Al fine di verificare se la sorgente di energia deve innanzitutto riempire di elettricità i cavi elettrici, si allaccia una lampadina a una batteria con un cavo molto lungo. La lampadina si accende senza ritardo.

Paragrafo 16.2

Misurare l'intensità della corrente elettrica in un punto qualsiasi di un circuito. Poi la si misura in altri punti dello stesso circuito. Infine misurarla con diversi amperometri in serie.

Paragrafo 16.3

Verificare la regola dei nodi.

Paragrafo 16.4

1. Misurare la tensione elettrica tra i collegamenti di diverse batterie e alimentatori, una cellula solare, una dinamo e una presa.
2. Collegare un voltmetro a diversi punti di un circuito.
3. Misurare la tensione con diversi voltmetri in parallelo.
4. Collegare un voltmetro a una batteria e misurare l'intensità della corrente che lo attraversa.

Paragrafo 16.5

1. Mettere a terra una volta il polo positivo e una volta il polo negativo di una batteria, misurando la tensione tra la terra e l'altro polo.
2. Misurare la tensione tra la presa di terra della cattedra e la conduttura dell'acqua.
3. Allacciare il polo di una batteria al collegamento di un alimentatore che si trovi a una tensione abbastanza elevata, poi misurare il potenziale (= la tensione rispetto a terra) dell'altro polo della batteria.

Paragrafo 16.6

1. Allacciare in serie una lampadina e un motore elettrico a un alimentatore regolabile e misurare l'intensità della corrente e la tensione. Regolare la

tensione a un valore elevato. Frenare il motore e mostrare che l'intensità della corrente non dipende solo dalla tensione ma anche dal carico al quale è sottoposto il motore.

2. Collegare l'una dopo l'altra due lampadine diverse a un alimentatore, facendo in modo che la tensione sia la stessa in entrambi i casi.

Paragrafo 16.7

Verificare con delle misurazioni le soluzioni di alcuni degli esercizi proposti. In particolare, mostrare che quando si interrompe il circuito il potenziale del collegamento a destra della lampadina in fig. 16.40 sale da 0 V allo stesso valore dell'altro collegamento.

Paragrafo 16.8

Determinare la curva caratteristica $I-U$ per

- una lampadina;
- un diodo;
- un motore elettrico (con diversi carichi);
- un filo molto lungo e sottile;
- un resistore;
- più resistori allacciati in serie e in parallelo.

Paragrafo 16.10

1. Costruire la sorgente di tensione alternata in fig. 16.57 del testo per studenti. Misurare il potenziale del conduttore superiore (= tensione rispetto a terra) alternando la posizione dell'interruttore e usando un voltmetro con lo zero al centro della scala.

2. Rappresentare il potenziale dei poli di una presa in funzione del tempo con l'aiuto di un oscilloscopio.

3. Rappresentare graficamente una funzione sinusoidale. Per ricavare i valori si usi una normale calcolatrice.

4. Esperimenti con un generatore sinusoidale:

È necessario usare un generatore sinusoidale che fornisca una corrente elettrica intensa e la cui frequenza possa essere ridotta fino a valori molto bassi (~ 1 Hz).

Allacciare una lampadina e aumentare progressivamente la frequenza, partendo da 1 Hz.

Alimentare una lampadina con una frequenza superiore ai 20 Hz e un'altra, identica, con una sorgente a tensione costante. Regolare il valore della tensione in modo che le lampadine brillino con la stessa intensità. Confrontare la tensione della seconda sorgente con il valore massimo di quella del generatore sinusoidale.

5. Misurare tensioni alternate con un voltmetro a tensione alternata. Misurare il potenziale di entrambi i poli di una presa (tensione rispetto a terra).

Paragrafo 16.11

1. Misurare l'intensità della corrente elettrica che fluisce attraverso una persona (a tensione molto bassa). Analizzare l'intensità della corrente quando il contatto con le mani è più o meno buono. Analizzare l'influsso dell'umidità.

2. Esaminare una prolunga: i collegamenti di terra di spina e presa sono allacciati.

Esaminare il collegamento tra la messa a terra e il telaio di un apparecchio elettrico.

17. Elettricità ed energia

Paragrafo 17.1

1. Costruire il circuito in fig. 17.1 del testo per studenti.

2. Misurare alcune intensità di corrente di energia con un wattmetro.

3. Misurare delle quantità di energia con un "contatore di corrente".

4. Leggere i valori in volt e in watt stampati su vari apparecchi elettrici.

Paragrafo 17.2

Una lampadina da 6 V - 30 W viene allacciata a un cavo molto lungo. Il cavo sia sufficientemente lungo e sottile da causare un calo di tensione misurabile.

Inserire un amperometro e un voltmetro, ma inizialmente solo ai capi della lampadina. Regolare il valore della tensione dell'alimentatore in modo che la tensione della lampadina sia quella ideale per il suo funzionamento. Solo a quel punto leggere il valore di tensione dell'alimentatore.

Misurare anche la tensione ai capi di uno o di entrambi i conduttori.

Togliere la lampadina dal portalampada. La tensione alla fine del cavo sale al valore indicato dall'alimentatore. La tensione tra i capi del conduttore scende a zero. (Non fluisce nessuna corrente, quindi non c'è nessuna spinta.)

18. Il campo magnetico

Paragrafo 18.1

1. Dimostrare l'attrazione e la repulsione tra poli magnetici.
2. Sperimentare con un magnete permanente e dei pezzi di ferro dolce, per esempio dei chiodi.
3. Riscaldare un magnete di ceramica alla fiamma di un becco Bunsen. Il magnete perde la sua magnetizzazione.
4. Magnetizzare un ferro da calza.

Paragrafo 18.2

Per alcuni degli esperimenti descritti si tenga presente che alcuni magneti "a ferro di cavallo" reperibili in commercio non sono composti interamente da materiali magnetici duri. Quindi, in questi magneti i poli si possono spostare liberamente.

1. Figg. 18.6 e 18.7 del testo per studenti. Visto che le cariche magnetiche dei magneti non sono esattamente uguali e che i poli possono non essere esattamente sulle superfici terminali del magnete, è probabile che le cariche magnetiche non si annullino completamente. Di conseguenza usiamo un pezzo di ferro abbastanza pesante, come il nucleo di un trasformatore. Oggetti più leggeri potrebbe essere attratti anche dai magneti uniti.
2. Esaminare la distribuzione dei poli in magneti più complessi, per esempio magneti con più di due poli.

Paragrafo 18.3

Rompere un ferro da calza magnetizzato per mostrare che si formano dei nuovi poli. Allineare dei magneti a sbarra per mostrare che i poli magnetici scompaiono.

Paragrafo 18.4

1. Dimostrare con diversi esperimenti che per trasferire quantità di moto da un corpo all'altro ci vuole un collegamento. (Vedi testo per studenti.)
2. Trasmettere quantità di moto da un carrello (o da una slitta) a un altro attraverso il campo magnetico. Per farlo, sui carrelli vengono montati dei magneti permanenti.
3. Un esperimento semplice ma suggestivo: agli studenti viene chiesto di avvicinare il più possibile i poli omonimi di due magneti molto intensi. Si percepisce chiaramente che tra i magneti c'è qualcosa.

Paragrafo 18.5

1. Mostrare la distribuzione delle direzioni di un campo magnetico con l'aiuto di un ago di bussola.

2. Rendere visibile la distribuzione del campo magnetico servendosi di limatura di ferro.

Paragrafo 18.6

1. Collegare i poli di un magnete a ferro di cavallo con una sbarra di ferro dolce. L'"anello" risultante non attira più dei chiodi (pesanti).

Paragrafo 18.7

1. Mostrare che il campo magnetico penetra in certe sostanze e non in altre, per esempio con il dispositivo descritto nel testo per studenti.
2. Avvicinare dei pezzi di ferro dolce a un magnete intenso e analizzare la distribuzione dei poli nel ferro dolce, per esempio verificando quali punti del ferro dolce attirano dei chiodi (v. testo per studenti, figg. 18.26 e 18.27).

Paragrafo 18.9

1. Due fili appesi molto vicini l'uno all'altro e attraversati da una corrente elettrica si attirano o si respingono a dipendenza della direzione delle correnti. Per ottenere delle correnti intense si utilizzi come sorgente una batteria d'automobile.
2. Esaminare la distribuzione delle direzioni del campo magnetico nelle vicinanze di un filo attraversato da una corrente elettrica.
3. Mostrare che avvolgendo un filo per formare una bobina si può ottenere un campo magnetico più denso senza variare l'intensità della corrente.
4. Analizzare il campo di una bobina cilindrica con l'aiuto di limatura di ferro o di un ago di bussola.

Paragrafo 18.10

1. Figg. 18.36 e 18.37 del testo per studenti e il testo corrispondente.
2. Mostrare che invertendo la direzione della corrente in un elettromagnete, i poli nel nucleo di ferro si invertono.
3. Mostrare l'interazione tra
 - un elettromagnete e un magnete permanente (vedi fig. 18.40);
 - un elettromagnete e un pezzo di ferro dolce (vedi fig. 18.41);
 - due elettromagneti (vedi fig. 18.42),
4. Mostrare dei modelli, eventualmente autocostruiti, di diversi apparecchi contenenti elettromagneti, come un campanello elettrico, un amperometro o una serratura automatica di sicurezza.
5. Costruire un circuito con un relais.

Paragrafo 18.11

1. Costruire un modello del motore elettrico "manuale" descritto nel testo per studenti. Se ne possono fare diverse versioni, per esempio con tre bobine che possono essere accese o spente l'una dopo l'altra.
2. Mostrare il modello di motore elettrico in dotazione.

Paragrafo 18.12

Appendere un magnete a sbarra in modo che sia libero di ruotare. Si orienta in direzione nord-sud.

Paragrafo 18.13

1. Un voltmetro viene collegato a una bobina. Inserire un magnete nella bobina e poi estrarlo. Cortocircuitare la bobina con un amperometro e ripetere l'esperimento.
2. Ripetere l'esperimento con bobine dal diverso numero di avvolgimenti e con magneti di intensità diversa.
3. Invece di un voltmetro collegare un oscilloscopio e muovere il magnete molto in fretta.
4. Invece di muovere il magnete permanente, accendere e spegnere l'elettromagnete.
5. Muovere la bobina di induzione su un nucleo di ferro. Aggiungere dei pezzi di ferro dolce alle estremità del nucleo di ferro in modo da formare una "U". La "U" può essere prolungata aggiungendo su ogni lato altri pezzi di ferro dolce. Così facendo l'esperimento ha un effetto ancora maggiore. Si sposta il magnete permanente tra le due estremità prolungate del nucleo di ferro dolce. Viene indotta una tensione anche se il campo del magnete permanente non si estende fino alla bobina.

Paragrafo 18.14

1. Utilizzare il modello autocostruito di motore elettrico come generatore.
2. Mostrare il modello di generatore in dotazione.

Paragrafo 18.15

1. Vedi fig. 18.55 e il testo corrispondente.
2. Dimostrare la validità della relazione

$$U_1/U_2 = n_1/n_2.$$

3. Servendosi di un buon trasformatore mostrare che, con buona approssimazione, vale

$$U_1 I_1 = U_2 I_2$$

Lo si faccia con il trasformatore sottoposto a un carico medio.

Paragrafo 18.16

Vedi fig. 18.58 e il testo corrispondente.

Paragrafo 18.17

1. Rilasciare un superconduttore sopra un campo magnetico con un incavo. Il superconduttore resta sospeso.
2. Mettere il "superconduttore" sopra il magnete quando è ancora un conduttore normale e solo in seguito raffreddarlo. Si solleva da solo.

19. Elettrostatica

Paragrafo 19.2

Dimostrazione del moto degli ioni che trasportano la corrente elettrica. Si osserva che il confine tra gli ioni di permanganato (viola) e gli ioni di nitrato (incolore) si sposta.

Paragrafo 19.3

Tentare di accumulare carica elettrica in un cavo. Dapprima semplicemente allacciando il cavo a un collegamento di una batteria o di un comune alimentatore a bassa tensione mentre l'altro collegamento della batteria o dell'alimentatore è messo a terra. Tentiamo di evidenziare la presenza della carica con una lampadina. Poi si aumenta la tensione, si migliora l'isolamento e si usa uno strumento più sensibile - una lampadina fluorescente - fino a rilevare un leggero accumulo di carica.

Paragrafo 19.4

Compiere i noti esperimenti di attrazione e repulsione di corpi elettricamente carichi e dell'influenza.

Paragrafo 19.5

1. Esperimento con il condensatore descritto nel testo per studenti: mostrare che la capacità aumenta al diminuire della distanza tra le piastre.
2. Smontare un condensatore a carta metallizzata.

Paragrafo 19.6

1. Compiere diversi esperimenti con un condensatore di capacità molto elevata. La capacità minima dovrebbe essere di 10 millifarad, meglio ancora se 100 millifarad o 1 farad. Caricare il condensatore con un alimentatore e scaricarlo attraverso una lampadina. Collegare il condensatore a un motore che possa lavorare anche come dinamo. (Il motore dovrebbe avere un buon rendimento (80%). Il motorino di un videoregistratore è particolarmente adatto allo scopo.) Ruotare manualmente l'asse del motore in una certa direzione e lasciarlo andare. Continua a girare nella stessa direzione. Se lo si ferma per un istante si rimette subito in moto.

2. Registrare la tensione tra le piastre di un condensatore in funzione del tempo con una corrente di carica costante.

La capacità del condensatore dovrebbe essere di almeno 10 millifarad.

Usare un alimentatore che possa lavorare alternativamente a tensione o a corrente costante. Regolare la tensione al valore massimo voluto e la corrente al valore desiderato. Durante la fase di carica misurare sia la tensione che la corrente (costante).

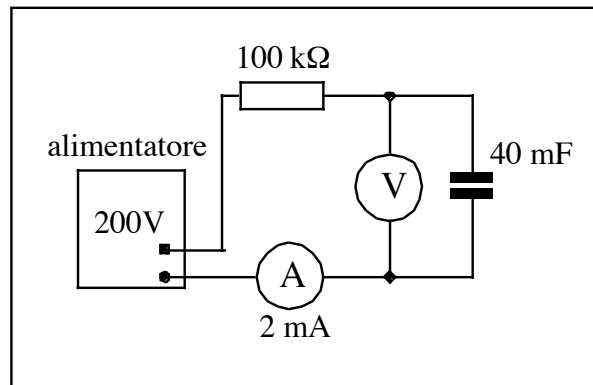


Fig. 19.1. La resistenza fa in modo che la corrente sia costante

Se non si ha a disposizione un alimentatore a corrente stabilizzata, ci si serve di un normale alimentatore a tensione continua. Regolare la tensione a un valore ben al di sopra di quella che si vuole ottenere per il condensatore e inserire nel circuito una resistenza di valore elevato, come nella figura. Spegnerne la sorgente di tensione appena il condensatore si trova alla tensione desiderata. Anche in questo caso si ottiene una corrente pressoché costante.

Dall'intensità della corrente e dal tempo di carica si calcola la carica sulle piastre alla fine del processo di carica, da tensione e carica si calcola la capacità.

Paragrafo 19.7

1. Esperimenti con il tubo catodico in dotazione. Mostrare come il raggio può essere deviato elettricamente e magneticamente.
2. Esaminare la struttura dello schermo di un televisore a colori.

20. La tecnica dei dati

Paragrafo 20.1

1. Costruire diversi dispositivi di trasporto dati con amplificatore:

microfono - amplificatore - altoparlante

circuito con relais (fig. 20.7 nel testo per studenti)

amplificatore ottico (fig. 20.9)

2. Mostrare che la quantità di energia che raggiunge il ricevitore dipende fortemente dal fatto che il portatore di dati venga immesso in un conduttore piuttosto che emesso in tutte le direzioni. L'esperimento si può fare con la luce e con il suono.

Luce: come segno si usa solo "chiaro" o "scuro". La trasmissione di luce attraverso un canale ben delimitato si può realizzare con una fibra ottica o collimando il fascio di luce mediante lenti o uno specchio concavo.

Suono: la sorgente è una persona che parla. Dapprima la persona parla normalmente, poi usando un tubo alla cui altra estremità si trova il ricevitore, cioè l'orecchio di un'altra persona.

Paragrafo 20.2

1. Mostrare un computer, diversi dispositivi di input, output e memorie esterne.

2. Costruire un semplice circuito con un transistor a effetto di campo: il transistor serve ad accendere o spegnere una lampadina oppure un motore.

3. Mostrare alcuni chips, anche smontati.

4. Gli studenti lavorano con alcuni programmi: giochi elettronici, elaboratori di testo, programmi di grafica o musica...

5. Far eseguire al computer dei semplici programmi (in BASIC o utilizzando le possibilità di programmazione di applicazioni come Excel)

6. Gli studenti scrivono ed eseguono dei semplici programmi.

7. Su un tavolo vengono allineati da quindici a venti oggetti che tutti conoscono, coperti con un telo. Si toglie il telo per 1 secondo in modo che una persona li possa vedere. Quanti ne saprà elencare? L'esperimento può essere fatto con tutti gli studenti: si preparano gli oggetti in laboratorio e, a turno, ogni studente entra, vede gli oggetti e scrive quelli che ricorda. In seguito si confronta. Di solito sono in grado di citarne fino a otto.

Paragrafo 20.3

Fare e discutere i seguenti giochi:

- indovinare un numero con delle domande sì/no;
- indovinare una parola con delle domande sì/no (vedi esercizio 3);
- Master Mind.

21. La luce

Paragrafo 21.1

Mostrare diverse sorgenti di luce, compreso il laser.

Paragrafo 21.2

1. Misurazione della velocità della luce.

2. Mostrare che un raggio laser è rettilineo cospargendo di polvere di gesso il suo percorso.

3. Mostrare che un raggio laser non si può vedere.

4. Mostrare che due raggi di luce intersecandosi non si influenzano.

5. Scomporre un raggio di luce bianca usando un prisma.

6. Dimostrare la presenza di luce infrarossa e ultravioletta alle estremità dello spettro visibile.

Paragrafo 21.3

1. L'aula viene oscurata. Usare una sorgente luminosa che produce un intenso raggio di luce bianca. Coprire la sorgente affinché esca solamente un fascio di luce. Orientare il fascio perpendicolarmente a

- una parete bianca;
- uno specchio;
- una lastra di vetro;
- una lastra opaca.

Di volta in volta si osserva: 1. il punto di impatto del raggio primario, 2. l'illuminazione dell'aula causata dalla luce riflessa.

2. Variare l'angolo di incidenza della luce.

3. Inserire delle lastre colorate sul percorso della luce bianca, anche più di una. Studiare la luce che attraversa le lastre e la luce riflessa con un filtro interferenziale.

4. Osservare le superfici più disparate in condizioni di illuminazione naturale e discutere cosa succede alla luce; superfici che si differenziano per brillantezza, colore e trasparenza.

Paragrafo 21.4

Per analizzare la distribuzione della luce in corrispondenza del volume di spazio V , è sufficiente guardare in tutte le direzioni attraverso un piccolo tubo di cartone a partire da V . (Attenzione! Questo metodo non va mai usato con la luce laser.) La grandezza osservata (qualitativamente) è la *densità di radiazione*.

Paragrafo 21.5

Eseguire i noti esperimenti sulla legge di riflessione.

Paragrafo 21.6

Eseguire i noti esperimenti sulla riflessione di uno specchio piano.

Paragrafo 21.7

1. Oscurare l'aula e accendere la lavagna luminosa. Interporre uno specchietto nel raggio di luce della lavagna luminosa e dirigerlo verso la parete di fondo dell'aula. Usare altri specchietti e concentrare nello stesso punto sulla parete i rispettivi raggi di luce. Gli specchietti vanno orientati individualmente. Con la mano non si riesce a tenerli abbastanza fermi.

2. Concentrare i raggi paralleli di luce solare con uno specchio parabolico più grande possibile.

3. Oscurare l'aula. Nel punto focale di uno specchio parabolico si mette una candela. Dirigere il fascio di luce parallela verso l'angolo opposto dell'aula. Tenendolo nella zona illuminata è possibile leggere un libro.

4. Mostrare che la luce diurna diffusa non si può concentrare quando il cielo è coperto.

Paragrafi 21.8-21.10

Eseguire i noti esperimenti di rifrazione, riflessione totale e con il prisma.

22. La formazione di immagini**Paragrafo 22.1**

Mostrare alcune immagini l'una accanto all'altra: un poster, un'immagine proiettata, un'immagine sullo schermo di un televisore e un ologramma.

Paragrafo 22.2

1. Gli studenti costruiscono una camera oscura.
2. L'aula viene trasformata in una camera oscura.

Paragrafi 22.4 e 22.5

Aprire due fori in una camera oscura in modo tale da ottenere due immagini parzialmente sovrapposte. Con l'aiuto di un prisma far coincidere le immagini. Mostrare che le immagini coincidono solo se lo schermo si trova a una distanza ben precisa.

Usare un unico grande foro (almeno 10 cm di diametro) e una lente con una grande lunghezza focale. Ora l'immagine è contemporaneamente luminosa e a fuoco. Mostrare che l'immagine è a fuoco solo quando lo schermo si trova a una distanza ben precisa.

Paragrafo 22.6

1. Mostrare che a ogni distanza a dell'oggetto corrisponde una certa distanza b dell'immagine e che b diminuisce all'aumentare di a .

2. Mostrare che b tende ad assumere un valore minimo quando a diventa molto grande e che b diventa molto grande quando a si avvicina a un determinato punto davanti alla lente.

3. Mostrare che con una lente si può rendere parallela la luce di una sorgente puntiforme e che si può concentrare in un punto la luce parallela. Si può compiere il seguente esperimento: usando una lente di Fresnel abbastanza grande (quella della lavagna luminosa può essere smontata facilmente) nell'aula oscurata si produce un fascio di luce parallela a partire da una candela. Il fascio può essere spedito attraverso l'aula e vi si può leggere il giornale.

Paragrafo 22.7

Studiare qualitativamente la relazione tra la curvatura della superficie di una lente e la sua lunghezza focale.

Paragrafo 22.8

Eseguire i noti esperimenti sulla composizione delle lenti.

Paragrafo 22.9

Mostrare la relazione tra il diametro della lente e la profondità di campo.

Paragrafo 22.10

Confrontare l'immagine ottenuta con una delle lenti in dotazione e quella ottenuta con l'obiettivo di una macchina fotografica.

Paragrafo 22.11

1. Mostrare le varie funzioni di una macchina fotografica.

2. Mostrare la differenza tra l'immagine ottenuta con un teleobiettivo e con un grandangolare.

Paragrafi 22.12 - 22.18

Presentare i vari apparecchi ottici discussi, aprirli, per quanto possibile, e costruire dei modelli con il materiale in dotazione.

23. I colori**Paragrafo 23.1**

1. Raccogliere oggetti dai colori più disparati: per esempio campioni di pittura o di carta colorata, gomitoli di lana, pennarelli. Lasciare che siano gli studenti a metterli in ordine. Solitamente il primo tentativo fallisce in quanto gli studenti tendono a organizzarli in modo unidimensionale.

Scegliere solo i colori saturi. Ora è possibile ordinarli in modo unidimensionale.

Poi scegliere i colori di diversa luminosità e saturazione ma della stessa tonalità. Già per ordinare questi colori servono due dimensioni.

2. Con l'aiuto di un computer rappresentare diverse sezioni dello spazio cromatico. Normalmente il computer dovrebbe avere il cerchio cromatico come ROM.

Paragrafo 23.2

1. Illustrare i concetti di tonalità cromatica, saturazione e luminosità con l'aiuto del miscelatore di colori in dotazione.

2. Generare luce bianca mescolando colori in vari modi:

- rosso + gialloverde + blu

- porpora + turchese + arancione

- rosso + turchese

- gialloverde + porpora

- arancione + blu

Paragrafo 23.3

1. Mescolare colori con l'aiuto di un disco di Newton o un dispositivo simile.

2. Mostrare in classe lo schermo di un televisore o di un computer, osservando i pixels con l'aiuto di una lente.

Paragrafi 23.5 e 23.6

Purtroppo uno spettrometro è così costoso che difficilmente una scuola se lo può permettere. Scomporre la luce con un prisma ha il vantaggio di evidenziare un fenomeno molto interessante. La rappresentazione dello spettro come banda colorata è però anche causa di equivoci, per via della nostra capacità di vedere a colori. Infatti non vediamo solo una scomposizione a ventaglio della luce - la distribuzione della quantità di luce in funzione dell'angolo di deviazione contiene già tutta l'informazione sullo spettro -, ma vediamo anche che questo "ventaglio" è colorato. Una rappresentazione grafica della densità della corrente di energia in funzione

della lunghezza d'onda, così come viene fornita da un moderno spettrometro, in questo caso è molto più chiara.

Con i mezzi a nostra disposizione studiamo la composizione spettrale della luce di diverse sorgenti: Sole, lampadina a incandescenza, lampada spettrale, lampadine con diversi filtri colorati.

Constatiamo che mescolanze di luci di diversa composizione spettrale possono essere all'origine della stessa impressione cromatica. Ovviamente ciò è particolarmente evidente per la luce bianca.

24. Trasformazioni di sostanze e potenziale chimico

Paragrafo 24.1

1. Pesare una mole di diverse sostanze e disporle l'una accanto all'altra. Nel senso della chimica le quantità sono uguali.

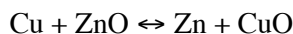
2. Pesare 1/4 di mole di ferro e di zolfo e mescolarle in un mortaio. Versare in una provetta e riscaldare con un becco Bunsen. Togliere il becco Bunsen appena il miscuglio comincia ad ardere. Attenzione: indossare gli occhiali protezione! Analizzare i reagenti e i prodotti della reazione (per esempio le proprietà magnetiche).

Paragrafo 24.2

Porre un piccolo bruciatore ad alcol su una bilancia e determinare la diminuzione di massa in funzione del tempo. Ricavarne la velocità di trasformazione della combustione.

Paragrafo 24.3

1. La reazione



si svolge spontaneamente verso destra o verso sinistra? Prima proviamo a far reagire Cu e ZnO, poi Zn e CuO. Solo nel secondo caso avviene una reazione. Quindi il potenziale chimico delle sostanze della parte destra è maggiore di quello delle sostanze della parte sinistra. (vedi sotto, paragrafo 24.4, esperimento 3 (b)).

2. Far reagire acqua e carburo di calcio in etino e idrossido di calcio. Usare una fiamma per dimostrare la presenza di etino (forte produzione di fuliggine)

Paragrafo 24.4

1. Soffiare in successione polvere di rame, di ferro e di magnesio sulla fiamma del becco Bunsen. Il magnesio ha la reazione più intensa, seguito dal ferro e dal rame. La sequenza rispecchia le tensioni chimiche.

2. Sciogliere magnesio, zinco e rame (non polverizzati) nell'acido cloridrico. La produzione di diidrogeno è molto intensa con il magnesio, molto meno con lo zinco e impercettibile con il rame. La sequenza rispecchia le tensioni chimiche.

3. Ridurre CuO con ferro, zinco e magnesio:

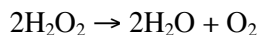
(a) miscelare 1,6 g di polvere di ossido di rame (nera) e 0,8 g di polvere di ferro (grigia). Riscaldare in una provetta fino all'incandescenza, poi togliere immediatamente dalla fiamma. (Indossare gli occhiali protezione!)

(b) miscelare 2 g di polvere di ossido di rame e 1,6 g di polvere di zinco, riscaldare in una provetta fino all'incandescenza. (Indossare gli occhiali protezione!)

(c) miscelare una punta di spatola di polvere di ossido di rame con una di polvere di magnesio, mettere la miscela in un piattino di porcellana e accendere con la fiamma del becco Bunsen. (Indossare occhiali e guanti di protezione!)

La riduzione di CuO con magnesio è la più violenta, seguono nell'ordine lo zinco e il ferro. La sequenza rispecchia le tensioni chimiche.

4. Ridurre la resistenza di reazione con un catalizzatore.



Versare in una provetta una soluzione di perossido di idrogeno (perossido di idrogeno diluito con acqua) e aggiungere un po' di spugna di platino. Attorno alla spugna di platino si forma immediatamente del gas. Dimostrare con la prova del filo incandescente che si tratta di diossigeno. Appena si toglie la spugna di platino dalla soluzione, la reazione si interrompe. Non si nota nessun cambiamento della spugna di platino.

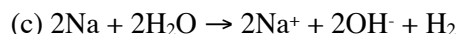
Paragrafo 24.5

1. Reazioni con una piccola resistenza di reazione sono:

(a) Se non ancora mostrata: produzione di etino da carburo di calcio e acqua (vedi sopra, paragrafo 24.3, esperimento 2).



Avvicinare molto i colli delle bottiglie aperte contenenti acqua ammoniacale e acido cloridrico concentrato. Si forma un fumo bianco di cloruro d'ammonio.



Riempire per metà una bacinella di vetro con acqua e gettarvi con una pinzetta un pezzetto di sodio tagliato di fresco, non più grande di un pisello. Per evitare che il sodio si appiccichi alla parete del recipiente, aggiungere all'acqua un po' di detersivo. Indossare occhiali e guanti di protezione!

2. Ridurre la resistenza di reazione mescolando e rimestando.



La reazione non si avvia fino a che si è rimestato per bene. Si capisce che la reazione sta avvenendo

- dall'odore
- dal fatto che la miscela diventa liquida
- dal raffreddamento.

(b) Gettare dei pezzetti di KOH in acqua. Restano inerti sul fondo. Rimestando però si sciolgono in fretta.

3. Ridurre la resistenza di reazione riscaldando. Molte reazioni possono essere usate come esempio, per esempio:

Mescolare 1,6 g di polvere di rame e 0,8 g di polvere di zolfo, mettere la miscela in un piattino di porcellana e accenderla con un filo incandescente. La reazione è molto violenta. Indossare occhiali e guanti di protezione!

25. Quantità di sostanza ed energia

Paragrafo 25.1

Mostrare l'elettrolisi. Esistono varie possibilità per farlo. In ogni caso si elettrolizzi l'acqua.

Paragrafo 25.2

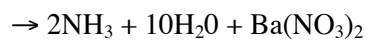
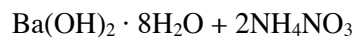
1. Un accumulatore a piombo viene caricato, scaricato, caricato, ecc. in rapida sequenza.
2. Mostrare altre celle elettrochimiche.
3. Mostrare una cella combustibile idrogeno-ossigeno.

26. Bilancio termico delle reazioni

Paragrafo 26.1

1. Mostrare delle reazioni esotermiche, tra le altre una reazione di soluzione, per esempio KOH in acqua. Misurare la temperatura.

2. Mostrare delle reazioni endotermiche. Un buon esempio è



Mostrare anche una reazione di soluzione endotermica, per esempio KNO_3 in acqua. Misurare la temperatura.

28. Onde

Paragrafi 28.1 - 28.3

1. Una corda lunga 10 - 20 m viene stesa sul pavimento. Si solleva leggermente una delle estremità e la si muove su e giù una sola volta. Non c'è onda. Poi si ripete il movimento ma molto in fretta. Dalla sorgente parte un'onda.

2. Una molla d'acciaio lunga circa 5 m viene stesa sul pavimento. Un'estremità viene fissata a qualcosa, l'altra mossa lentamente avanti e indietro (nella direzione della molla). Non c'è onda. Poi si ripete il movimento ma molto in fretta. Dalla sorgente parte un'onda. Per evidenziare il moto dell'onda si fissano in alcuni punti della molla dei pezzetti di cartone. Appena l'onda transita da uno di questi punti, il cartone si muove avanti e indietro.

La molla viene appoggiata sul pavimento in modo che l'attrito sia grande abbastanza da impedire all'onda riflessa di disturbare l'osservazione. È possibile che si debba smorzare ulteriormente il movimento dell'estremità, per esempio con una spugna.

Se la molla fosse appesa, si vedrebbe l'onda che la percorre avanti e indietro per diverse volte.

3. Un pezzo di grondaia lungo circa 2 m viene chiuso su entrambi i lati e riempito d'acqua. Per smorzare l'onda, in una delle estremità viene immerso uno straccio. All'altra estremità si immerge, dapprima lentamente poi più in fretta, un corpo di forma cilindrica (in modo che si addatti alla forma della grondaia).

Paragrafo 28.4

1. Mostrare varie oscillazioni meccaniche, anche non armoniche. Un metodo semplice per realizzare un'oscillazione non armonica consiste nel montare due molle sulle estremità di una slitta che poi viene fatta scivolare su un binario a cuscinio d'aria.

2. Misurare la durata dell'oscillazione armonica di un pendolo o di quella non armonica di una slitta con le molle su un binario a cuscinio d'aria.

Paragrafo 28.5

1. Generare un'onda armonica con i mezzi a disposizione. Una possibilità: posare la molla lunga sul pavimento, fissarne un'estremità, montare l'altra estremità sull'eccentrico di un trapano. Accendendo il trapano si crea un movimento in avanti e indietro. Per evitare il formarsi di un'onda stazionaria l'altra estremità deve essere smorzata.

2. Discutere la cinematica dell'onda sinusoidale grazie al modello di proiezione (filo a spirale che ruota).

Paragrafo 28.6

1. Spiegare con il modello di proiezione come l'onda avanza di una lunghezza d'onda per ogni periodo dell'oscillazione.

Paragrafo 28.7

1. Collegare un altoparlante con la membrana visibile a un generatore di tensione continua. Si vede che aprendo e chiudendo l'interruttore la membrana si muove. Inoltre, ogni volta si sente un clic.

2. Compiere l'esperimento con il campanello e la campana di vetro.

3. Allacciare un altoparlante a un generatore di funzione di potenza non troppo bassa. Regolare il generatore di funzione su "tensione rettangolare". Cominciare con una frequenza molto bassa. Si percepisce una serie di clic. Aumentare la frequenza. A partire da 20 Hz circa, i singoli clic non sono più distinguibili e si sente un suono continuo. L'altezza del suono aumenta se si aumenta la frequenza.

Regolare il generatore di funzione su "tensione sinusoidale". Si sente un suono sinusoidale puro.

4. Allacciare un microfono a un oscilloscopio. Osservare l'andamento nel tempo dell'oscillazione sonora di diversi suoni e rumori. Esaminare in particolare la voce umana e il suono di diversi strumenti musicali.

5. Misurare la velocità del suono con una misurazione spazio-tempo.

Paragrafo 28.8

Emissione e ricezione di onde elettromagnetiche:

Generare una scintilla di scarica con un generatore a sfregamento. I tempi di carica e scarica della corrente elettrica lungo il percorso della scintilla sono molto brevi. (Le scintille generate a bassa tensione, per esempio caricando e poi cortocircuitando un condensatore di 80 μF a 300 V, sono molto spettacolari ma non adatte allo scopo, in quanto i tempi delle variazioni di corrente sono troppo lunghi.)

All'altra estremità dell'aula si mette un oscilloscopio molto sensibile la cui entrata è collegata alla presa di terra mediante un pezzo di cavo elettrico. Il cavo funge da bobina di ricezione.

Ogni volta che si produce una scintilla, sullo schermo dell'oscilloscopio si osserva un segnale.

Come ricevitore si può usare anche un apparecchio radio sintonizzato sulle onde corte, medie o lunghe. L'arrivo dell'onda si manifesta con un clic. (Con la ricezione in FM, cioè in modulazione di frequenza, un segnale di grande ampiezza non produce un segnale udibile.)

Paragrafo 28.9

1. Generare due onde in direzioni opposte in una corda posata sul pavimento. La deviazione della corda è in direzione parallela al pavimento e perpendicolare alla direzione della corda. Effettuare l'esperimento con impulsi sullo stesso lato della corda e su lati opposti. Le onde si attraversano.

Il forte attrito tra corda e pavimento è necessario affinché l'esperimento non sia perturbato dalla presenza di onde riflesse.

2. Muovere periodicamente entrambe le estremità della corda in direzione perpendicolare a quella della corda. Da ogni estremità parte un'onda periodica smorzata. Nella zona centrale si riconosce un'onda stazionaria.

3. Un'estremità della corda viene fissata, l'altra mossa periodicamente. L'onda prodotta viene riflessa all'estremità fissa. Nei dintorni della zona di riflessione si riconosce un'onda stazionaria.

4. I processi descritti nei punti 1., 2. e 3. si possono simulare bene con un computer. Il vantaggio dell'osservazione sullo schermo è la possibilità di osservarli al rallentatore.

5. Collegare un altoparlante a un generatore di funzione che fornisce una tensione sinusoidale. Posizionare l'altoparlante di fronte a una parete. Muovere un microfono collegato a un oscilloscopio nella zona tra l'altoparlante e la parete. Si riconoscono i punti dove le onde sonore incidente e riflessa si amplificano e dove si smorzano.

6. Mostrare l'annullamento prodotto dalla riflessione di onde elettromagnetiche decimetriche.

7. Fissare un'estremità della corda alla parete e reggere in mano l'altra estremità. La corda non tocca il pavimento. Muovendo periodicamente su e giù l'estremità, si generano le oscillazioni proprie della corda: cominciare dall'oscillazione fondamentale e poi passare alle armoniche.

8. Generare le oscillazioni proprie in una corda elastica grazie a un motore elettrico con eccentrico. Osservarle con uno stroboscopio.

9. Spiegare l'interferenza di onde piane su un proiettore. Spiegare in particolare come le zone di annullamento sono più lontane tra loro quando l'angolo tra le direzioni di propagazione è molto piccolo.

10. Mostrare l'interferenza della luce con l'esperimento del doppio specchio di Fresnel.

29. Fotoni

Paragrafo 29.1

1. "Accendere" un bastoncino luminescente nell'aula oscurata.

2. "Caricare" con luce visibile una pellicola sensibile agli infrarossi (negozi di materiale elettronico). Poi, al buio, irraggiarla con luce infrarossa (per esempio con il telecomando di un televisore). La pellicola produce luce visibile. Quindi può essere in due stati A e B, in altre parole: le sostanze A e B possono trasformarsi l'una nell'altra:



3. La pellicola fotografica reagisce con la luce visibile. Da AgBr si ottengono Br₂ e argento. Con un'esposizione molto lunga si osserva l'annerimento dovuto all'argento anche senza sviluppare la pellicola. Se c'è il tempo, spiegare nel dettaglio i processi di sviluppo e fissaggio.

4. Caricare di luce le lancette fosforescenti di un orologio o solfuro di zinco in polvere. Al buio avviene una reazione che emette luce.

Paragrafo 29.2

Un fotomoltiplicatore reagisce con singoli fotoni. Normalmente nella normale strumentazione da laboratorio non c'è un fotomoltiplicatore. L'esperimento è però così bello da spingerci a consigliarne l'acquisto. Il modello più a buon mercato è sufficiente.

A causa della sua estrema sensibilità, un fotomoltiplicatore acceso (cioè sotto tensione) deve essere esposto a intensità luminose molto basse, pena la rottura. Di conseguenza è consigliabile procurarsi un alimentatore con una protezione per l'intensità luminosa. Fotomoltiplicatore e alimentatore possono essere acquistati per una cifra complessiva di migliaia di Euro circa.

Per osservare gli impulsi di luce come mostrati nel testo per studenti, si utilizza una sorgente di luce molto indebolita. L'esperimento va effettuato in un locale totalmente oscurato. Il fotomoltiplicatore viene coperto con un panno nero. Il panno lascia passare ancora troppa luce, quindi tra sorgente di luce e fotomoltiplicatore viene inserito un vetro coperto di fuligine. Per stendere lo strato di fuligine sul vetro si usa la fiamma di una candela e si fa in modo che lo strato non abbia uno spessore omogeneo. Quindi in punti diversi avrà un diverso grado di assorbimento. Spostando lateralmente il filtro si potrà variare la quantità di luce che colpisce il fotomoltiplicatore.

La detezione del segnale all'uscita del fotomoltiplicatore può essere effettuata con un oscilloscopio. L'esperimento è ancora più bello però se il segnale viene disegnato. Un'interfaccia per computer è adatta allo scopo.

Paragrafo 29.6

Se non si è ancora mostrata l'interferenza della luce con l'esperimento del doppio specchio di Fresnel, farlo a questo punto.

30. Atomi

Gli esperimenti sulla struttura microscopica della materia sono per la maggior parte costosi e impegnativi. Di conseguenza, solitamente la scelta degli esperimenti da effettuare a lezione non è basata su ciò che si vorrebbe mostrare, ma piuttosto su ciò che si riesce a fare con un impegno ragionevole. Il numero di esperimenti a disposizione è quindi inferiore rispetto allo studio della fisica del macromondo.

Per compensare parzialmente questa carenza, a volte facciamo degli esperimenti-modello o esperimenti illustrativi invece di dimostrativi.

Paragrafo 30.3

1. Deformare con le mani un palloncino gonfio. Se lo si lascia andare riprende la forma iniziale. Un atomo si comporta allo stesso modo, a condizione di non deformarlo troppo.

2. Nei negozi di giocattoli si può trovare un giocattolo che serve a illustrare l'eccitazione e il ritorno allo stato iniziale di un atomo. Si tratta di un oggetto di gomma a forma di calotta emisferica dal diametro di circa 6 cm. Si preme la calotta, "rovesciandola" in modo che abbia ancora una forma grossomodo sferica, la si appoggia sul pavimento e si aspetta. Dopo pochi secondi l'oggetto riprende di scatto la sua forma iniziale facendo un "salto".

Paragrafo 30.4 e 30.5

L'esperimento è spesso parte del materiale da laboratorio. Da un fascio di luce bianca, il vapore di sodio rinchiuso in un recipiente di vetro assorbe la luce gialla corrispondente alla linea del sodio. Il sodio emette luce gialla in tutte le direzioni.

Paragrafo 30.6

Purtroppo le ditte di materiale didattico non offrono esperimenti che mostrino il decadimento esponenziale degli stati elettronici eccitati. Quindi optiamo per un esperimento-modello.

Si vuole mostrare in che modo diminuisce il grado di occupazione di uno stato eccitato quando la probabilità che un sistema compia una transizione da uno stato eccitato allo stato fondamentale, rimane costante nel tempo. La funzione corrispondente è detta esponenziale.

Tutti gli studenti si dispongono su un lato dell'aula. Quando si dà l'ordine, ognuno di loro lancia una moneta. Tutti quelli che ottengono "croce" si spostano dall'altra parte dell'aula, gli altri restano dove sono e partecipano al prossimo lancio, e così via.

Si riporta il numero di studenti rimasti dopo ogni lancio in funzione del numero di lanci effettuati.

Con un esperimento di lancio di un dado si può simulare anche il ritorno allo stato fondamentale di un atomo in uno stato di eccitazione a un livello superiore.

Il docente sale su un tavolo. Da lì può tornare sul pavimento in due modi: con un solo balzo o scegliendo una sedia come stazione intermedia. Decide con il lancio di un dado quale percorso scegliere, per esempio così: se lancia un uno o un due compie un solo balzo, se lancia un tre, un quattro, un cinque o un sei, passa prima dalla sedia.

Paragrafo 30.9

Osservare lo spettro di emissione di vari tubi a gas. (Si osservano i tubi attraverso un prisma di Amici.) I gas vengono identificati confrontando gli spettri osservati con gli spettri riportati sulle fonti bibliografiche.

Paragrafo 30.10

Versare del sodio (sotto forma di sale da cucina) o del litio su una fiamma. La fiamma diventa rispettivamente gialla o rossa.

Mostrare che la fiamma di idrogeno non si vede. Mostrare che la fiamma di metano (gas naturale) è bluastro.

31. I solidi

Paragrafo 31.1

Impilare palline da tennis o da ping pong su un tavolo, una volta in un "reticolo cristallino" ordinato, un'altra a casaccio.

Paragrafo 31.2

Ci sono dei palloncini gonfiabili a forma di tubo con vari restringimenti a distanze regolari. Posiamo sul tavolo svariati palloncini di questo tipo, prima uno accanto all'altro, poi uno sopra l'altro, per dare agli studenti un'idea della struttura spaziale dell'elettronio in un cristallo.

Paragrafo 31.4

1. Montare due specchi e lasciare che gli studenti guardino tra gli specchi come descritto nel testo per studenti.
2. Sfregare con un panno bianco e una polvere abrasiva una superficie di alluminio lucida. Il panno annerisce.
3. Ritagliare un piccolo foro in una scatola di cartone. L'interno della scatola deve essere bianco. Accanto al foro disegnare con un pennarello nero una macchia della stessa grandezza del foro. Il foro appare più nero della macchia.

Paragrafo 31.5

1. Sbriciolare degli oggetti trasparenti. La polvere ottenuta è bianca.
2. Mostrare agli studenti un pezzo di silicio.
3. Mostrare agli studenti dei cristalli di solfuro di cadmio. Sbriciolare alcuni cristalli di CdS. La polvere è giallo intenso.

Paragrafo 31.6

1. Riscaldare contemporaneamente (in modo che abbiano più o meno la stessa temperatura) diversi piccoli oggetti su una fiamma. Quelli bianchi e quelli trasparenti ardono, quelli neri no.

La fiamma deve essere calda e abbastanza grande. Un becco Bunsen non è molto adatto. Meglio usare due becchi Bunsen o la fiamma di una saldatrice.

Come oggetti bianchi o trasparenti si possono usare ghiaia bianca, quarzo o zaffiro. Alcuni oggetti sono inadatti malgrado siano bianchi o trasparenti: gesso o vetro comune. Il motivo è che contengono delle impurità. Inoltre il vetro non è adatto perché a queste temperature fonde.

Come oggetti assorbenti si possono usare della ghiaia nera, un pezzo di ferro, un pezzo di carbone di una lampada ad arco a carbone e un pezzo di silicio.

Paragrafo 31.8

Inserire un fotoconduttore (LDR = light dependent resistor) in un circuito e mostrare che quando è illuminato la resistenza diminuisce.

Paragrafo 31.9

1. Mostrare il funzionamento di

- un diodo raddrizzatore;
- un fotodiodo;
- un diodo luminoso;
- una cellula solare.

2. Tutte e quattro le funzioni di un diodo possono essere dimostrate anche con un unico esemplare. Usare un diodo luminoso non troppo piccolo.

Ovviamente può essere usato come diodo raddrizzatore.

Per mostrare il suo comportamento da fotodiodo (cioè da sensore per la luce) lo si collega a una sorgente di tensione nel senso di non conduzione. Mostrare con un amperometro molto sensibile che illuminandolo scorre un po' di corrente.

Diodo luminoso lo è già. Collegarlo nel senso di conduzione, senza dimenticare di inserire in serie una resistenza protettiva.

Collegando il diodo direttamente, cioè senza una sorgente di tensione, a un voltmetro (con resistenza interna elevata), si può osservare che quando lo si illumina c'è uno sbalzo di tensione di circa 1 volt.

Paragrafo 31.10

Inserire un MOSFET (metal-oxide semiconductor field effect transistor) in un circuito con un piccolo motore elettrico o una lampadina (collegare Source e Drain). Variando il potenziale elettrico dell'allacciamento Gate si può accendere o spegnere il motore rispettivamente la lampadina. È sufficiente mettere in contatto con un dito la Gate e il polo positivo o quello negativo della sorgente di tensione. L'esperimento mostra chiaramente che attraverso la Gate non scorre corrente.

32. Nuclei atomici

In generale con il materiale da laboratorio si possono eseguire parecchi esperimenti di fisica nucleare. Però consigliamo di non affidarsi eccessivamente a questi esperimenti. Quasi tutti sfruttano una classe particolare di reazioni nucleari che diventa percepibile malgrado un tasso di trasformazione molto ridotto grazie al fatto che le singole particelle si manifestano sotto forma di radiazione. In questo modo questo tipo di reazioni riceve un'attenzione secondo noi non meritata.

Paragrafo 32.9

Mostrare con un contatore Geiger che ci sono sempre delle particelle ad alta energia che si aggirano per l'ambiente naturale. Mostrare che un "preparato radioattivo" emette molte particelle del genere. Se si ha a disposizione un vecchio orologio con le cifre luminose, mostrare che queste cifre luminose sono radioattive. Consigliamo di non approfondire ulteriormente le proprietà dei raggi α , β e γ .

Paragrafo 32.10

Se si ha a disposizione un esperimento sulla misurazione del tempo di dimezzamento, effettuarlo a questo punto.

Se non si è ancora fatto, fare l'esperimento-modello descritto per il paragrafo 30.6.

D. Soluzioni degli esercizi

1. Energia e portatori di energia

Paragrafo 1.2

1. Lampadina, motore elettrico, asciugacapelli, forno elettrico.
2. Motore elettrico, turbina idraulica, ruota a vento, motore a benzina.
3. Portatori di energia del tipo "vuoto a rendere": elettricità, acqua di un impianto di riscaldamento centrale, olio idraulico; portatori di energia del tipo "vuoto a perdere": benzina, aria compressa, luce.

Paragrafo 1.3

1. Luce - elettricità; aria in movimento - elettricità
2. Forno elettrico; turbina idraulica
3. (Carbone) - centrale a carbone - (elettricità) - motore elettrico - (quantità di moto angolare) - pompa idraulica - (acqua in movimento)
4. Fig. 1.1
5. Dinamo; Fig. 1.2

6. Dinamo - motore elettrico; lampadina - cellula solare; turbina idraulica - pompa idraulica

Paragrafo 1.4

Al livello 1 la corrente di energia che fluisce nell'apparecchio ha un'intensità di 500 joule al secondo, al livello 2 un'intensità di 1000 joule al secondo.

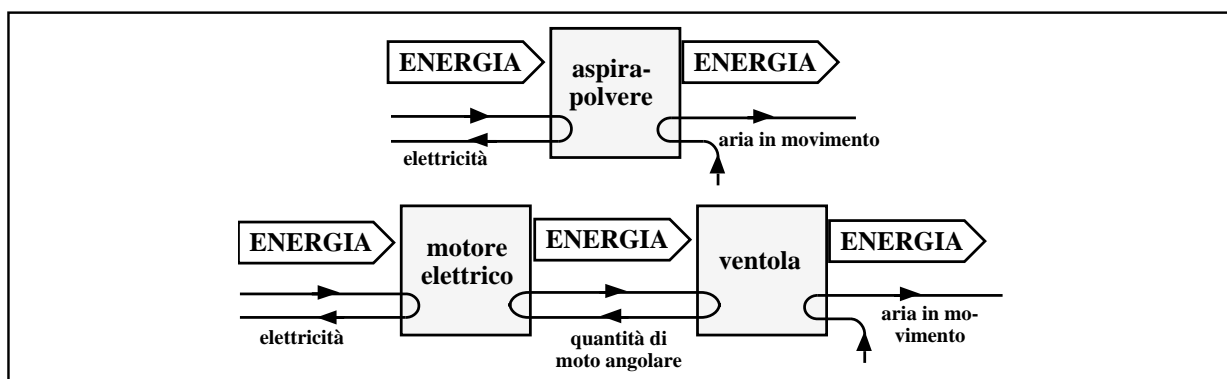


Fig. 1.1. Paragrafo 1.3, esercizio 4

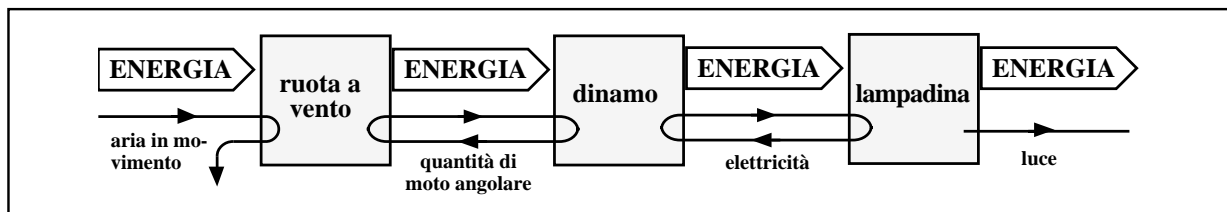


Fig. 1.2. Paragrafo 1.3, esercizio 5

2. Correnti di liquidi e gas

Paragrafo 2.2

2. 1 bar.

Paragrafo 2.3

(a) L'aria fluisce dal pneumatico piccolo a quello grande fino a quando le pressioni sono uguali (equilibrio di pressione).

(b) La pressione risultante è più vicina a 1 bar.

(c) Nel pneumatico grande.

Paragrafo 2.5

1. 6 L/min.

2. No. Oltre che dall'intensità della corrente, la velocità di scorrimento dipende anche dalla sezione del tubo.

3. 10 m³/s.

Paragrafo 2.6

(a) Anche 10 L/s. Tutta l'acqua che entra nel tubo da sinistra deve uscire da destra.

(b) La resistenza del tubo tra la strozzatura e l'estremità destra è inferiore che tra l'estremità sinistra e la strozzatura perché la parte destra del tubo è più corta e più grossa. Affinché nella parte destra fluisca una corrente della stessa intensità che nella parte sinistra, basta una spinta più piccola, una differenza di pressione inferiore.

3. Quantità di moto e correnti di quantità di moto

Paragrafo 3.1

1. Lunghezza (l), metro (m); area (A), metro quadrato (m²); intensità della corrente di energia (P), watt (W); intensità della corrente elettrica (I), ampère (A).

2. $E = 12$ MJ; $v = 1,5$ km/s; $p = 110$ kPa.

3. $v = 20$ m/s.

4. Caloria, CV, braccio, pollice

Paragrafo 3.2

1. La quantità di moto totale è 1500 Hy. In ogni vagone ci sono 300 Hy.

2. Prima dell'urto: due vagoni contengono 6000 Hy ciascuno, il terzo 0 Hy. Dopo l'urto: ognuno dei tre vagoni contiene 4000 Hy.

3. Dal carrello a sinistra 10 Hy passano a quello a destra cosicché dopo l'urto il carrello a sinistra ha -5 Hy e quello a destra +5 Hy.

4. Quantità di moto totale: $(500 - 200)$ Hy = 300 Hy. Dopo l'urto ogni vagone ha +100 Hy. I vagoni si muovono verso destra.

5. Quantità di moto dopo l'impatto: -1 Hy. Differenza di quantità di moto: 2 Hy. Attraverso il muro 2 Hy fluiscono a terra.

Paragrafo 3.4

1. Due sbarre unite. Se sottoposte a trazione si staccano.

2. L'auto scivola, mantiene la sua quantità di moto. Normalmente il collegamento tra ruote e strada deve condurre la quantità di moto. Con il ghiaccio non lo fa. Quindi la quantità di moto non può defluire a terra.

3. Le ruote girano a vuoto. Visto che il collegamento conduttore di quantità di moto tra le ruote e la strada è interrotto, il motore non può pompare quantità di moto nell'auto.

Paragrafo 3.5

1. L'aria in movimento cede quantità di moto alla barca.

2. La quantità di moto viene ceduta all'acqua attraverso le pareti della nave. Tra le pareti della nave e l'acqua c'è attrito.

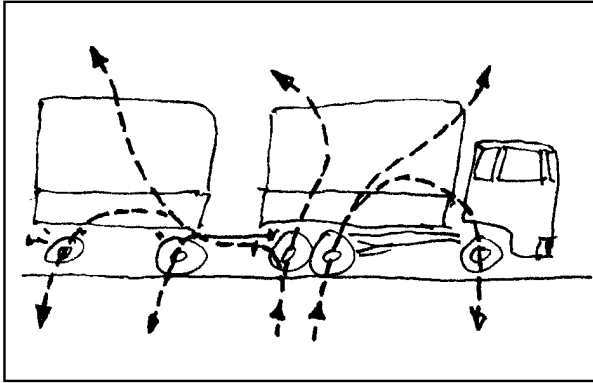


Fig. 3.1. Paragrafo 3.8, esercizio 3

Paragrafo 3.6

1. (a) Il motore pompa quantità di moto da terra nell'auto. (b) La quantità di moto defluisce lentamente a terra e all'aria. (c) La quantità di moto defluisce a terra rapidamente. (d) Tutta la quantità di moto che il motore pompa nell'auto defluisce a terra e nell'aria.

2. Perché la quantità di moto né affluiva né defluiva.

Paragrafo 3.8

1. Dall'auto a terra fluisce quantità di moto negativa, quindi positiva da terra all'auto. La velocità del terreno è 0 m/s, quella dell'auto è negativa. Quindi la velocità dell'auto è minore e, in accordo con la regola, la quantità di moto fluisce dal corpo a velocità maggiore verso il corpo a velocità minore.

2. La quantità di moto negativa del carrello aumenta, cioè quella positiva diminuisce. La quantità di moto (positiva) fluisce dal carrello attraverso le braccia della persona e poi a terra. Quindi nelle braccia la quantità di moto fluisce verso destra.

3. Il gancio di traino è sottoposto a trazione, Fig. 3.1.

Paragrafo 3.9

1. Da terra, attraverso le ruote posteriori, nel trattore, da lì all'albero attraverso la corda e poi nuovamente a terra.

2. Da terra nel palo a destra, risale nel palo fino alla corda, attraverso la corda al palo a sinistra, scende nel palo e torna a terra. La corda è sottoposta a trazione, la Terra a pressione.

3. Per esempio un pneumatico che ruota galleggiando nello spazio. In natura: gli anelli di Saturno ma anche la Terra che gira.

Paragrafo 3.10

1. $F = p/t = 200 \text{ Hy}/10 \text{ s} = 20 \text{ Hy/s} = 20 \text{ N}$

2. $p = F \cdot t = 6000 \text{ N} \cdot 5 \text{ s} = 30\,000 \text{ Hy}$

3. $F_C = 400 \text{ N}$, $F_D = 600 \text{ N}$

4. Dalla cassa a sinistra 100 N; dalla cassa a destra 200 N.

5. $p(t)$ è una retta che passa per l'origine.

Paragrafo 3.12

1. $s = F/k$

a) $s = 12 \text{ N} / (150 \text{ N/m}) = 0,08 \text{ m}$

b) $s = 24 \text{ N} / (150 \text{ N/m}) = 0,16 \text{ m}$

2. a) Per $F = 15 \text{ N}$, $s = 0,32 \text{ m}$;
per $F = 30 \text{ N}$, $s = 0,4 \text{ m}$.

b) Per $s = 0,2 \text{ m}$, $F = 4 \text{ N}$.

c) Man mano che l'allungamento aumenta diventa sempre più difficile tendere la corda.

3. Alle estremità di una molla si lega una corda più lunga della lunghezza a riposo della molla. Se tendiamo il dispositivo, in un primo tempo la corrente di quantità di moto fluisce attraverso la molla: vale la legge di Hooke. Appena la corda si tende non si riesce più ad allungare ulteriormente. La corrente di quantità di moto aumenta senza che la corda (e quindi la molla) si allunghi.

4. Chiamiamo le due molle A e B. Quindi abbiamo $F_A = k_A s_A$ e $F_B = k_B s_B$. Visto che le molle sono attraversate dalla stessa corrente di quantità di moto, $F_A = F_B$, quindi $k_A s_A = k_B s_B$. Ma visto che $s_A = 4s_B$, allora $k_B = 4k_A$.

Paragrafo 3.13

Usare 20 pezzi di spago contemporaneamente. La sezione del conduttore diventa 20 volte più grande che con uno solo. Ogni pezzo di spago è attraversato da una corrente massima di 100 N.

Paragrafo 3.14

1. Dati: $t = 40 \text{ min} = 2/3 \text{ h}$
 $s = 10 \text{ km}$

Cercato: v

$$v = \frac{s}{t} = \frac{10 \text{ km}}{2/3 \text{ h}} = 15 \text{ km/h}$$

2. Dati: $t = 92 \text{ min} = 92/60 \text{ h} = 1,533 \text{ h}$
 $s = 185 \text{ km}$

Cercato: v

$$v = \frac{s}{t} = \frac{185 \text{ km}}{1,533 \text{ h}} = 120,7 \text{ km/h}$$

$$= 120,7 \cdot 0,2778 \text{ m/s} = 33,5 \text{ m/s}$$

3. Dati: $t = 10 \text{ min} = 1/6 \text{ h}$
 $v = 90 \text{ km/h}$

Cercato: s

$$v = s/t \Rightarrow s = v \cdot t$$

$$s = 90 \cdot (1/6) \text{ km} = 15 \text{ km}$$

4. Dati: $v = 800 \text{ km/h}$
 $s = 1600 \text{ km}$
 Cercato: t

$$v = s/t \Rightarrow t = s/v$$

$$t = \frac{1600 \text{ km}}{800 \text{ km/h}} = 2 \text{ h}$$

5. Dati: $v = 300\,000 \text{ km/s}$
 $s = 150\,000\,000 \text{ km}$
 Cercato: t

$$t = \frac{150\,000\,000 \text{ km}}{300\,000 \text{ km/s}} = 500 \text{ s} \approx 8 \text{ min}$$

Paragrafo 3.15

1. Dati: $m = 12 \text{ t} = 12\,000 \text{ kg}$
 $v = 90 \text{ km/h} = 25 \text{ m/s}$
 Cercato: p

$$p = mv = 12\,000 \text{ kg} \cdot 25 \text{ m/s} = 300\,000 \text{ Hy} \\ = 300 \text{ kHy}$$

2. Dati: $v = 20 \text{ m/s}$
 $m = 420 \text{ g} = 0,42 \text{ kg}$
 Cercato: p

$$p = mv = 0,42 \text{ kg} \cdot 20 \text{ m/s} = 8,4 \text{ Hy}$$

3. Dati: $v = 30 \text{ m/s}$
 $m = 50 \text{ g} = 0,05 \text{ kg}$

$$p = mv = 0,05 \text{ kg} \cdot 30 \text{ m/s} = 1,5 \text{ Hy}$$

Questa è la quantità di moto della palla prima dell'urto. Visto che la palla rimbalza, dopo l'urto ha una quantità di moto $-1,5 \text{ Hy}$. Il muro ha ricevuto la differenza

$$1,5 \text{ Hy} - (-1,5 \text{ Hy}) = 3 \text{ Hy}$$

4. Dati: $m = 150 \text{ kg}$
 $F = 15 \text{ N}$
 $t = 5 \text{ s}$

Cercato: v

$$F = p/t \Rightarrow p = F \cdot t = 15 \text{ N} \cdot 5 \text{ s} = 75 \text{ Hy}$$

$$p = mv \Rightarrow v = p/m = 75 \text{ Hy}/(150 \text{ kg}) \\ = 0,5 \text{ m/s}$$

5. Dati: $F = 200 \text{ kN} = 200\,000 \text{ N}$
 $t = 30 \text{ s}$
 $v = 54 \text{ km/h} = 15 \text{ m/s}$

Cercati: p, m

$$p = F \cdot t = 200\,000 \text{ N} \cdot 30 \text{ s} = 6\,000\,000 \text{ Hy} \\ = 6 \text{ MHy}$$

$$p = mv \Rightarrow m = p/v \\ m = 6\,000\,000 \text{ Hy}/(15 \text{ m/s}) = 400\,000 \text{ kg} = 400 \text{ t}$$

6. Dati: $m = 42 \text{ kg}$
 $F = 20 \text{ N}$
 $t = 3 \text{ s}$
 $v = 1,2 \text{ m/s}$

$$p = F \cdot t = 20 \text{ N} \cdot 3 \text{ s} = 60 \text{ Hy}$$

In 3 s nel carrello fluiscono 60 Hy.

$$p = mv = 42 \text{ kg} \cdot 1,2 \text{ m/s} = 50,4 \text{ Hy}$$

La differenza di 9,6 Hy deve essere defluita a terra a causa dell'attrito.

7. Dati: diametro del tubo $d = 0,1 \text{ m}$
 lunghezza $l = 2 \text{ km} = 2000 \text{ m}$
 $v = 0,5 \text{ m/s}$
 $t = 2 \text{ s}$

Calcolo del volume in litri:

$$V = \pi (d/2)^2 l = \pi (0,05)^2 \cdot 2000 \text{ m}^3 \\ = 15,708 \text{ m}^3 = 15\,708 \text{ L}$$

Visto che 1 L d'acqua ha una massa di kg $m = 15708 \text{ kg}$.

$$p = mv = 15\,708 \text{ kg} \cdot 0,5 \text{ m/s} = 7\,854 \text{ Hy}$$

La quantità di moto defluisce a terra attraverso la valvola..

Calcolo dell'intensità della corrente di quantità di moto (della forza sulla valvola):

$$F = p/t = 7854 \text{ Hy}/2 \text{ s} = 3927 \text{ N}$$

4. Il campo gravitazionale

Paragrafo 4.3

1. Dati: $m = (\text{p.es.}) 40 \text{ kg}$
 $g_{\text{Terra}} = 10 \text{ N/kg}$
 $g_{\text{Luna}} = 1,62 \text{ N/kg}$
 $g_{\text{SN}} = 1\,000\,000\,000\,000 \text{ N/kg}$

Cercato: F

$$F = m \cdot g$$

Terra: $F = 40 \text{ kg} \cdot 10 \text{ N/kg} = 400 \text{ N}$

Luna: $F = 40 \text{ kg} \cdot 1,62 \text{ N/kg} = 64,8 \text{ N}$

stella di neutroni: $F = 40 \text{ kg} \cdot 10^{12} \text{ N/kg}$
 $= 40\,000\,000\,000\,000 \text{ N}$

2. Dati: $F = 300 \text{ N}$
 $g = 1,62 \text{ N/kg}$

Cercato: m

$$F = m \cdot g$$

$$\Rightarrow m = F/g = 300 \text{ N}/1,62 \text{ (N/kg)} = 185,2 \text{ kg}$$

Paragrafo 4.4

1. Dati: $m = (\text{p.es.}) 40 \text{ kg}$
 $t = 0,77 \text{ s}$

Cercati: p, v

$$p = m \cdot g \cdot t$$

$$= 40 \text{ kg} \cdot 10 \text{ N/kg} \cdot 0,77 \text{ s} = 308 \text{ Ns} = 308 \text{ Hy}$$

$$v = g \cdot t = 10 \text{ N/kg} \cdot 0,77 \text{ s} = 7,7 \text{ m/s}$$

2. Dati: $t = 0,5 \text{ s}$
 $g_{\text{Terra}}, g_{\text{Luna}}, g_{\text{Sole}}$

Cercato: v

$$v = g \cdot t$$

$$v_{\text{Terra}} = 5 \text{ m/s}, v_{\text{Luna}} = 0,81 \text{ m/s}, v_{\text{Sole}} = 137 \text{ m/s}$$

3. Dato: $v = 15 \text{ m/s}$

$$v = g \cdot t \Rightarrow t = v/g = 15 \text{ (m/s)}/10 \text{ (N/kg)} = 1,5 \text{ s}$$

= tempo fino all'inversione

$$\text{Tempo totale } t_{\text{Tot}} = 2 \cdot t = 3 \text{ s}$$

4. Dato: $t_{\text{Tot}} = 5 \text{ s}$
 Durata della caduta $t = t_{\text{Tot}}/2 = 2,5 \text{ s}$

$$v = g \cdot t = 10 \text{ (N/kg)} \cdot 2,5 \text{ s} = 25 \text{ m/s}$$

Paragrafo 4.5

Nella palla affluisce dalla Terra una corrente di quantità di moto di

$$F = m \cdot g = 0,8 \text{ kg} \cdot 10 \text{ N/kg} = 8 \text{ N}$$

Dalla Fig. 4.7 leggiamo: $v = 20 \text{ m/s}$

Paragrafo 4.6

1. L'astronauta mette in moto i due oggetti in modo che abbiano la stessa velocità. Per quello pesante ci vuole più quantità di moto.

2. Gli astronauti accendono i razzi. Dai razzi agli astronauti fluisce quantità di moto. Questa corrente di quantità di moto è percepibile come sensazione di peso.

Paragrafo 4.7

1. Dati: $V = 1,6 \text{ L}$
 $m = 1,3 \text{ kg}$

Cercato: ρ
 $\rho = m/V = 1,3 \text{ kg}/0,0016 \text{ m}^3 = 812,5 \text{ kg/m}^3$

2. Dati: $m = 2,2 \text{ kg}$
 $\rho = 2600 \text{ kg/m}^3$ (dalla tabella)

Cercato: V
 $V = m/\rho = 2,2 \text{ kg}/(2600 \text{ kg/m}^3)$
 $= 0,00085 \text{ m}^3 = 0,85 \text{ L}$

3. Dati: $V = 40 \text{ L}$
 $\rho = 720 \text{ kg/m}^3$ (dalla tabella)

Cercato: m

$$m = \rho V = (7200 \text{ kg/m}^3) \cdot 0,04 \text{ m}^3 = 28,8 \text{ kg}$$

4. Dati: $m = 8,2 \text{ kg}$
 $\rho = 8960 \text{ kg/m}^3$ (dalla tabella)
 lunghezza $l = 1,2 \text{ m}$
 larghezza $b = 0,8 \text{ m}$

Cercato: spessore s

$$V = m/\rho = 8,2 \text{ kg}/(8960 \text{ kg/m}^3)$$

$$= 0,000915 \text{ m}^3 = 0,915 \text{ L} = 915 \text{ cm}^3$$

$$V = l \cdot b \cdot s \Rightarrow s = V/(l \cdot b)$$

$$= 915 \text{ cm}^3/(120 \text{ cm} \cdot 80 \text{ cm})$$

$$= 0,95 \text{ cm} = 0,95 \text{ mm}$$

Paragrafo 4.8

1. Il ferro galleggia sul mercurio perché la densità del ferro è minore di quella del mercurio.

2. Il pallone scende perché la densità del diossido di carbonio è maggiore di quella dell'aria.

5. Quantità di moto e energia

Paragrafo 5.1

1. Dati: $v = 20 \text{ km/h} = 5,6 \text{ m/s}$
 $F = 900 \text{ N}$
 Cercato: P

$$P = v \cdot F = 5,6 \text{ m/s} \cdot 900 \text{ N} = 5040 \text{ W}$$

La quantità di moto fluisce a terra attraverso le ruote. L'energia è consumata nella produzione di calore nei pneumatici e nei cuscinetti delle ruote.

2. Dati: $s = 35 \text{ km}$
 $F = 900 \text{ N}$
 Cercato: E

$$E = F \cdot s = 900 \text{ N} \cdot 35 \text{ km} = 31\,500 \text{ kJ}$$

3. Dati: $v = 10 \text{ m/s}$
 $P = 800 \text{ W}$
 Cercato: F

$$P = v \cdot F \Rightarrow F = P/v = 800 \text{ W}/(10 \text{ m/s}) = 80 \text{ N}$$

4. Dati: $m = 50 \text{ kg}$
 $v = 0,8 \text{ m/s}$
 $h = 5 \text{ m}$
 Cercati: P, t, E

$$\text{Forza di gravità: } F = m \cdot g = 50 \text{ kg} \cdot 10 \text{ N/kg} \\ = 500 \text{ N}$$

$$P = v \cdot F = 0,8 \text{ m/s} \cdot 500 \text{ N} = 400 \text{ W}$$

$$v = h/t \Rightarrow t = h/v = 5 \text{ m}/(0,8 \text{ m/s}) = 6,25 \text{ s}$$

$$P = E/t \Rightarrow E = P \cdot t = 400 \text{ W} \cdot 6,25 \text{ s} = 2500 \text{ J} \\ = 2,5 \text{ kJ}$$

Paragrafo 5.3

1. Energia: dal vagone nel respingente e dal respingente indietro al vagone.

Quantità di moto: dal vagone a terra attraverso il respingente e questo fino a che il vagone ha tanta quantità di moto positiva quanta ne aveva di negativa all'inizio.

2. Energia: nella caduta dal campo gravitazionale alla palla, nel rimbalzo ridistribuzione nella palla, nella salita dalla palla al campo gravitazionale.

Quantità di moto: nella caduta dalla Terra alla palla attraverso il campo, nel rimbalzo dalla palla alla Terra, nella risalita nuovamente dalla Terra alla palla.

3. Energia: al di sotto della posizione di equilibrio l'energia va dalla corda elastica al campo gravitazionale e al corpo. Sopra la posizione di equilibrio va dalla corda elastica e dal corpo al campo gravitazionale. Nella discesa il contrario.

Quantità di moto: sempre dalla Terra al corpo attraverso il campo gravitazionale. Dal corpo torna sempre alla Terra attraverso la corda elastica e il sostegno. Al di sotto della posizione di equilibrio però, attraverso la corda elastica ne defluisce più di quanta ne affluisce dal campo gravitazionale e la quantità di moto del corpo diventa negativa. Al di sopra della posizione di equilibrio dalla corda ne defluisce meno di quanta ne affluisce dal campo e la quantità di moto negativa del corpo diminuisce di nuovo. Nella discesa il contrario.

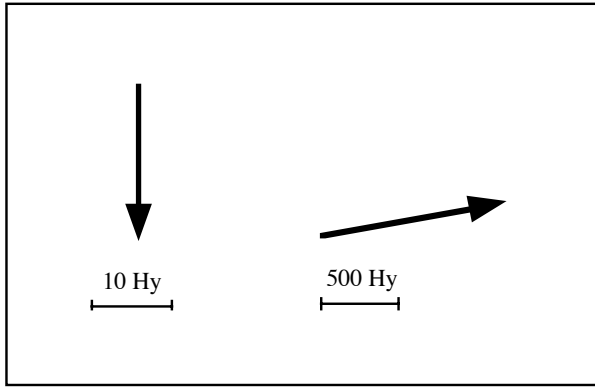


Fig. 6.1. Paragrafo 6.1, esercizio 1

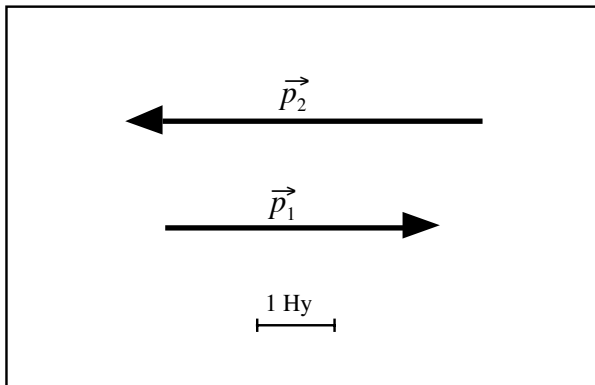


Fig. 6.2. Paragrafo 6.1, esercizio 2

6. La quantità di moto come vettore

Paragrafo 6.1

- vedi Fig. 6.1
- vedi Fig. 6.2
- Modulo: 2400 Hy 900 Hy 2100 Hy
 Direzione: 210° 300° 180°

Paragrafo 6.2

- Al rimorchio: il vettore intensità di corrente punta verso destra; dal rimorchio: il vettore intensità di corrente punta verso sinistra

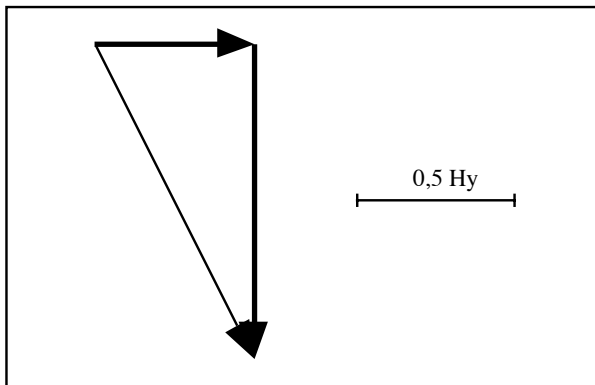


Fig. 6.3. Paragrafo 6.3, esercizio 1

- Al carrello fluisce quantità di moto a 0°
 - La corrente di quantità di moto segue la spirale
 - Vettore intensità di corrente verso destra
- $F = m \cdot g = 0,3 \text{ kg} \cdot 10 \text{ N/kg} = 3 \text{ N}$
 - Quantità di moto a 270°
 - La freccia punta verso il basso.

Paragrafo 6.3

- Dati: $m = 0,1 \text{ kg}$
 $p_{\text{inizio}} = 0,5 \text{ Hy}$
 - Il sasso riceve $0,1 \text{ kg} \cdot 10 \text{ N/kg} = 1 \text{ Hy/s}$, vale a dire 1 Hy ogni secondo. È quantità di moto a 270°
 - $p = \sqrt{(0,5 \text{ Hy})^2 + (1 \text{ Hy})^2} = 1,12 \text{ Hy}$
 -
- Dati: $m = 0,3 \text{ kg}$
 $v_{\text{inizio}} = 5 \text{ m/s}$
 - $p = m \cdot v = 0,3 \text{ kg} \cdot 5 \text{ m/s} = 1,5 \text{ Hy}$
 - Quando il sasso ha un angolo di caduta di 45° ha ricevuto dalla Terra esattamente 1,5 Hy. La sua quantità di moto totale è quindi:

$$p = \sqrt{(1,5 \text{ Hy})^2 + (1,5 \text{ Hy})^2} = 2,1 \text{ Hy}$$

- Dati: $m = 3 \text{ kg}$
 $p_{\text{inizio}} = 12 \text{ Hy}$ a 45°
 La sfera ha un angolo di caduta di 45° quando dalla Terra ha ricevuto una quantità di moto di

$$p = \sqrt{(12 \text{ Hy})^2 + (12 \text{ Hy})^2} = 17 \text{ Hy}$$

La corrente di quantità di moto ha l'intensità $F = m \cdot g = 3 \text{ kg} \cdot 10 \text{ N/kg} = 30 \text{ N}$.
 Quindi si ottiene $t = p/F = 17 \text{ Hy} / 30 \text{ N} = 0,57 \text{ s}$

- Dati: $m = 1\,200\,000 \text{ kg}$
 $v = 70 \text{ km/h} = 19,4 \text{ m/s}$
 $p = m \cdot v = 1\,200\,000 \text{ kg} \cdot 19,4 \text{ m/s} = 23,3 \text{ MHy}$
 vedi Fig. 6.4a

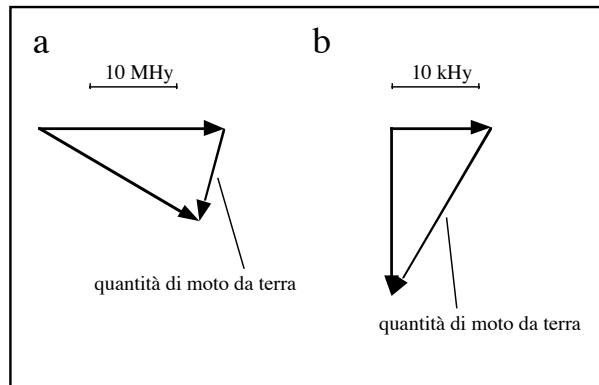


Fig. 6.4. Paragrafo 6.3, esercizi 4 e 5

5. Dati: $m = 1400 \text{ kg}$
 $v_1 = 30 \text{ km/h} = 8,33 \text{ m/s}$
 $v_2 = 50 \text{ km/h} = 13,9 \text{ m/s}$

vedi Fig. 6.4b

$p = 22\,656 \text{ Hy}$ (valore calcolato)

6. La palla riceve quantità di moto dal portiere. Durante il volo riceve quantità di moto a 270° dalla Terra, inoltre cede quantità di moto all'aria. Questa quantità di moto è dello stesso tipo della quantità di moto che possiede in quell'istante. Poi la palla riceve quantità di moto dal giocatore con un modulo doppio di quello che aveva quando lo ha raggiunto. La direzione di questa quantità di moto è opposta a quella che aveva un attimo prima.

Paragrafo 6.5

1. La direzione 0° è a destra. Il collegamento è impermeabile alla quantità di moto a 0° e permeabile alla quantità di moto a 90° .
2. Il collegamento è impermeabile alla quantità di moto che giace sul piano del telaio e permeabile alla quantità di moto la cui direzione è perpendicolare a questo piano.

Paragrafo 6.6

1. La costruzione dà circa $17,5 \text{ N}$.
2. La costruzione dà circa 470 N .

Paragrafo 6.7

1. La costruzione dà circa $28\,000 \text{ N}$.
2. La costruzione dà circa 290 N per le correnti di quantità di moto in ogni corda. Quindi le corde si rompono.

7. Momento meccanico e baricentro

Paragrafo 7.1

1. vedi Fig. 7.1

$$2. F_C = 100 \text{ kg} \cdot 10 \text{ N/kg} = 1000 \text{ N}$$

$$F_T = (1/4) \cdot 1000 \text{ N} = 250 \text{ N}$$

3. Le intensità delle correnti nelle corde oblique e quindi anche nella corda di trazione, sono molto alte. Non si guadagna niente.

Paragrafo 7.2

1. La puleggia in basso sale di 1 m , quella in mezzo di 2 m . Si devono riavvolgere 4 m della corda di trazione.

$$E = s \cdot F = 1 \text{ m} \cdot 100 \text{ kg} \cdot 10 \text{ N/kg} = 1000 \text{ J}$$

2. Il carico si solleva di $0,25 \text{ m}$.

$$E = 0,25 \text{ m} \cdot 20 \text{ kg} \cdot 10 \text{ N/kg} = 50 \text{ J}$$

3. Dati: $m = 200 \text{ kg}$
 $v_{\text{sin}} = 0,2 \text{ m/s}$
 $v_{\text{des}} = 0,4 \text{ m/s}$

$$\text{Cercati: } F_{\text{sin}}, F_{\text{des}}, P_{\text{sin}}, P_{\text{des}}$$

Corda di carico:

$$F_C = m \cdot g = 200 \text{ kg} \cdot 10 \text{ N/kg} = 2000 \text{ N}$$

Corda di trazione:

$$F_T = F_C / 4 = 500 \text{ N} = F_{\text{sin}} = F_{\text{des}}$$

$$P_{\text{sin}} = v_{\text{sin}} \cdot F_{\text{sin}} = 0,2 \text{ m/s} \cdot 500 \text{ N} = 100 \text{ W}$$

$$P_{\text{des}} = v_{\text{des}} \cdot F_{\text{des}} = 0,4 \text{ m/s} \cdot 500 \text{ N} = 200 \text{ W}$$

Paragrafo 7.3

1. Dati: $r_D = 25 \text{ cm}$
 $r_S = 5 \text{ cm}$
 $F_S = 50 \text{ N}$

$$\text{Cercato: } F_D$$

$$F_D = F_S (r_S / r_D) = 50 \text{ N} \cdot 0,2 = 10 \text{ N}$$

2. Chiamiamo A (a sinistra) e B (a destra) i due punti d'appoggio e scegliamo A come fulcro.

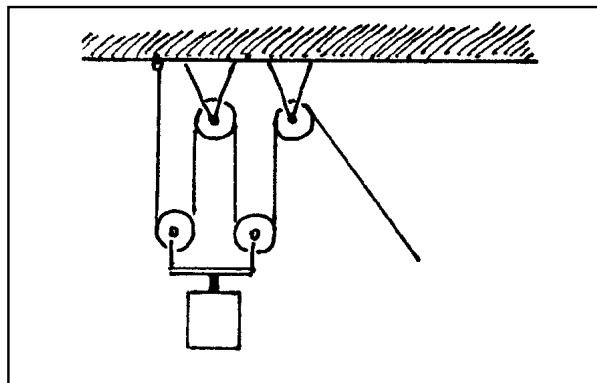


Fig. 7.1. Paragrafo 7.1, esercizio 1

Dati: $m = 9000 \text{ kg}$
 a) $r_D = 6 \text{ m}$ b) $r_D = 4 \text{ m}$
 $r_S = 12 \text{ m}$ $r_S = 12 \text{ m}$

$$F_D = m \cdot g = 9000 \text{ kg} \cdot 10 \text{ N/kg} = 90\,000 \text{ N}$$

$$\text{a) } F_B = F_S = F_D \cdot (r_D/r_S)$$

$$= 90\,000 \text{ N} \cdot (6 \text{ m}/12 \text{ m}) = 45\,000 \text{ N}$$

$$F_A = F_D - F_B = 90\,000 \text{ N} - 45\,000 \text{ N} = 45\,000 \text{ N}$$

$$\text{b) } F_B = F_S = F_D \cdot (r_D/r_S)$$

$$= 90\,000 \text{ N} \cdot (4 \text{ m}/12 \text{ m}) = 30\,000 \text{ N}$$

$$F_A = F_D - F_B = 90\,000 \text{ N} - 30\,000 \text{ N} = 60\,000 \text{ N}$$

3. Dati: $r_D = 5 \text{ cm} + 15 \text{ cm} = 20 \text{ cm}$

$$r_S = 5 \text{ cm}$$

$$F_S = 80 \text{ N}$$

Cercati: F_D

$$F_D = F_S \cdot (r_S/r_D) = 80 \text{ N} \cdot 0,25 = 20 \text{ N}$$

4. $F_D = m \cdot g = 120 \text{ kg} \cdot 10 \text{ N/kg} = 1200 \text{ N}$

$$F_B = 1200 \text{ N} \cdot (80 \text{ cm}/80 \text{ cm}) = 1200 \text{ N}$$

$$F_B = 1200 \text{ N} \cdot (160 \text{ cm}/80 \text{ cm}) = 2400 \text{ N}$$

5. Dati: $r_D = 1,2 \text{ m} + 0,4 \text{ m} = 1,6 \text{ m}$

$$r_S = 0,4 \text{ m}$$

$$F_D = 80 \text{ N}$$

Cercato: F_S

$$F_S = 80 \text{ N} \cdot (1,6 \text{ m}/0,4 \text{ m}) = 320 \text{ N}$$

6. Con la mano non si riesce a stringerlo bene perché il momento meccanico è più piccolo.

Paragrafo 7.4

1. Momento meccanico destrorso $= r_D \cdot F_D$

$$= 2,1 \text{ m} \cdot 45 \text{ kg} \cdot 10 \text{ N/kg} = 945 \text{ Nm}$$

Momento meccanico sinistrorso $= r_S \cdot F_S$

$$= 0,82 \text{ m} \cdot 150 \text{ kg} \cdot 10 \text{ N/kg} = 1230 \text{ Nm}$$

La sbarra non è in equilibrio, ruota in senso antiorario.

2. Momento meccanico destrorso =

$$= 1,5 \text{ m} \cdot 50 \text{ kg} \cdot 10 \text{ N/kg} = 750 \text{ Nm}$$

Momento meccanico sinistrorso =

$$= 0,15 \text{ m} \cdot 250 \text{ kg} \cdot 10 \text{ N/kg} = 375 \text{ Nm}$$

La ragazza ce la fa.

Paragrafo 7.5

1. Al centro del mozzo

2. Al centro della Terra

4. La distanza tra baricentro e centro della Luna è uguale a 100 volte la distanza tra baricentro e centro della Terra r_T . Quindi:

$$r_T = 380\,000 \text{ km} / 101 = 3763 \text{ km.}$$

Il baricentro è dentro la Terra.

Paragrafo 7.6

2. Il baricentro si trova sotto il punto d'appoggio del turacciolo. La posizione è di equilibrio stabile.

Paragrafo 7.7

1. Una sfera che può rotolare su un piano orizzontale; un veicolo che può muoversi su una superficie orizzontale; una ruota che può ruotare attorno a un asse.

2. Il baricentro di una bicicletta che cade si abbassa, quello di un'auto che si rovescia si alza.

3. No. L'angolo in basso a destra del corpo scende.

4. No. Per ribaltarsi il baricentro all'inizio dovrebbe salire.

5. Con i pesi cerchiamo l'equilibrio. Per trovare la massa cercata moltiplichiamo la massa dei pesi per il quoziente tra il braccio sinistro e quello destro. Il vantaggio di questa bilancia: bastano dei pesi più piccoli.

Tabella 8.1

Più la velocità di un corpo è elevata, più quantità di moto contiene.	Più la velocità angolare di un corpo è grande, più quantità di moto angolare contiene.
Più la massa di un corpo è grande, più quantità di moto contiene.	Più la massa di un corpo è grande, più quantità di moto angolare contiene.
La quantità di moto può passare da un corpo a un altro.	La quantità di moto angolare può passare da un corpo a un altro.
La quantità di moto si può distribuire su più corpi.	La quantità di moto angolare si può distribuire su più corpi.
Se un veicolo si muove con attrito in modo da fermarsi spontaneamente, la sua quantità di moto defluisce a terra.	Se una ruota non è priva di attrito e si ferma spontaneamente, la sua quantità di moto angolare defluisce a terra.
La quantità di moto può assumere valori positivi e negativi.	La quantità di moto angolare può assumere valori positivi e negativi.
La quantità di moto di un corpo è positiva se il corpo si muove verso destra, negativa se si muove verso sinistra.	Pieghiamo le dita della mano destra in modo che puntino nella direzione della rotazione. Se il pollice punta nella direzione x positiva la quantità di moto angolare è positiva, se punta nella direzione x negativa la quantità di moto angolare è negativa.

8. Quantità di moto angolare e correnti di quantità di moto angolare

Paragrafo 8.1

Vedi tabella 8.1

Paragrafo 8.2

Se all'inizio le ruote girano in senso opposto durante la frenata la persona e lo sgabello restano fermi. Se all'inizio le ruote girano nello stesso senso la persona e lo sgabello cominciano a girare nello stesso senso delle ruote.

Paragrafo 8.3

1. Nei veicoli: per impedire che la quantità di moto longitudinale defluisca e per la propulsione; per la trasmissione di energia con le cinghie di trasmissione; nei paranchi; nel cambio.

2. Macchina a vapore, motore d'automobile, macchina da cucire, automobilina giocattolo, giradischi, registratori e videoregistratori.

3. Va in pezzi. (Quando la rotazione è veloce, all'interno della ruota fluiscono correnti di quantità di moto molto intense.)

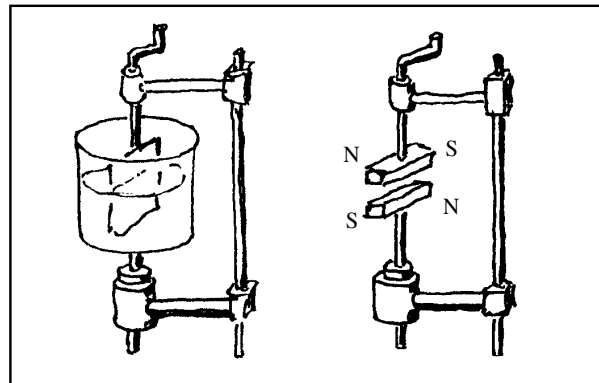


Fig. 8.1. Paragrafo 8.4, esercizi 1 e 2

Paragrafo 8.4

1. Vedi Fig. 8.1a. Si gira la manovella. Se l'acqua conduce la quantità di moto angolare il recipiente pieno d'acqua comincerà a girare.

2. Vedi Fig. 8.1b. Si gira la manovella. Il secondo magnete segue la rotazione.

3. Fig. 8.2. Il ventilatore a sinistra comincia a girare.

4. Albero a gomiti, albero a camme, albero di trasmissione, albero cardanico

5. Gli alberi più spessi sopportano correnti di quantità di moto angolare più intense di quelli sottili.

Paragrafo 8.5

1. Dall'albero motore, attraverso l'elica del ventilatore, l'aria, la Terra e il telaio del motore, di nuovo all'albero motore.

2. Mano destra - matita - temperamatite - mano sinistra - corpo - mano destra

Paragrafo 8.6

1. Vedi Fig. 8.3

2. Tutti i tipi di motori e turbine. Si riconoscono dall'albero motore ruotante che serve ad azionare qualcosa.

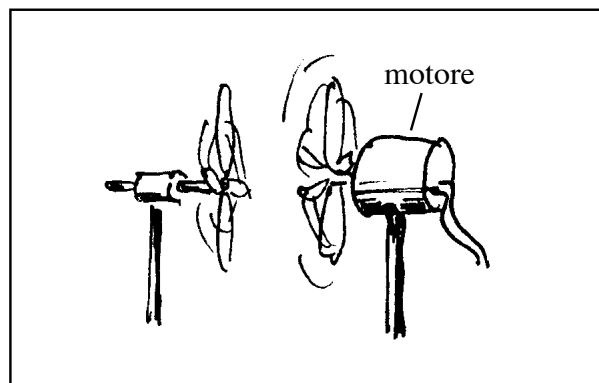


Fig. 8.2. Paragrafo 8.4, esercizio 3

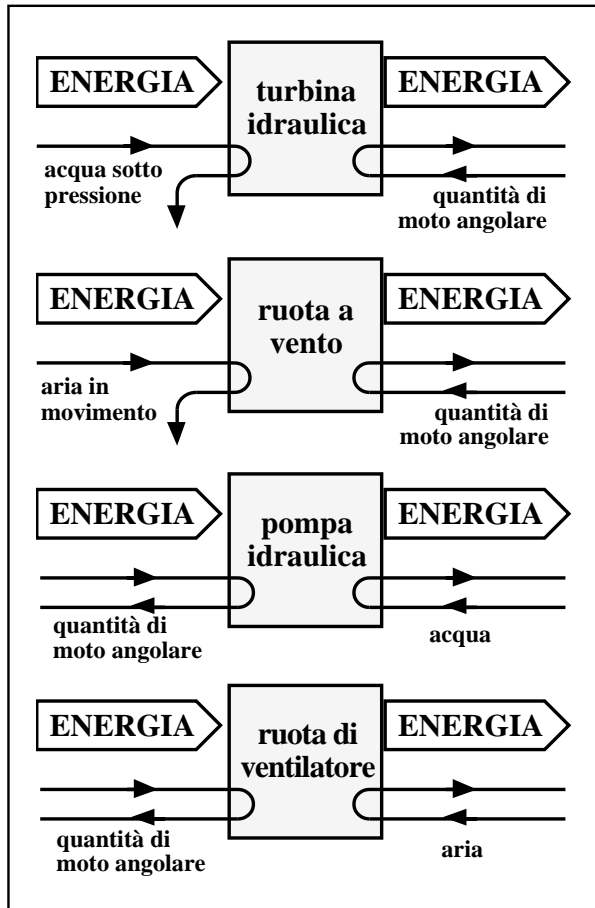


Fig. 8.3. Paragrafo 8.6, esercizio 1

3. Trapano, sega circolare, macinacaffè, cesoie. Si riconoscono dall'albero che permette di azionarle.

4. Dalla manovella.

9. Pressione e trazione

Paragrafo 9.1

1. Dati: $F = 420 \text{ N}$
 $A_1 = 2 \text{ cm}^2$
 $A_2 = 3 \text{ cm}^2$
 $A_3 = 3 \text{ cm}^2$

Cercati: p_1, p_2, p_3

$$p_1 = - \frac{420 \text{ N}}{0,0002 \text{ m}^2} = - 2,1 \text{ MPa}$$

$$p_2 = p_3 = - \frac{420 \text{ N}}{0,0003 \text{ m}^2} = - 1,4 \text{ MPa}$$

2. Dati: $m = 12 \text{ kg}$
 $A = 1,5 \text{ cm}^2$

Cercati: p_1, p_2, p_3

$$F_3 = m \cdot g = 12 \text{ kg} \cdot 10 \text{ N/kg} = 120 \text{ N}$$

$$F_1 = F_2 = F_3/2 = 60 \text{ N}$$

$$p_3 = - \frac{120 \text{ N}}{0,00015 \text{ m}^2} = - 800 \text{ kPa}$$

$$p_1 = p_2 = - \frac{60 \text{ N}}{0,00015 \text{ m}^2} = - 400 \text{ kPa}$$

3. Stimiamo l'intensità della corrente di quantità di moto in $F = 40 \text{ N}$. Il diametro della puntina è di circa $d = 1 \text{ mm}$.

La sezione è

$$A = \pi \left(\frac{d}{2} \right)^2 \approx 0,8 \text{ mm}^2 = 0,000\,000\,8 \text{ m}^2$$

e così otteniamo

$$p = \frac{40 \text{ N}}{0,000\,000\,8 \text{ m}^2} = 50 \text{ MPa} = 500 \text{ bar}$$

Se la sezione della punta diventa 10 volte più piccola, si ottiene una pressione di $500 \text{ MPa} = 5000 \text{ bar}$.

4. Dalla massa del martello $m = 1 \text{ kg}$ e dalla sua velocità stimata $v = 2 \text{ m/s}$, si ottiene una quantità di moto $p = 1 \text{ kg} \cdot 2 \text{ m/s} = 2 \text{ Hy}$. Stimiamo che il trasferimento di quantità di moto duri $0,01 \text{ s}$. Con $F = p/t$ si ottiene

$$F = \frac{2 \text{ Hy}}{0,01 \text{ s}} = 200 \text{ N}$$

Se la punta del chiodo ha una sezione di $0,1 \text{ mm}^2 = 0,000\,000\,1 \text{ m}^2$, la pressione è:

$$p = \frac{200 \text{ N}}{0,000\,000\,1 \text{ m}^2} = 2000 \text{ MPa} = 20 \text{ kbar}$$

Paragrafo 9.2

1. Stoffe, tessuti
2. Cemento, rocce ma anche sabbia e ghiaia
3. Legno, certi tessuti, mica, grafite

Paragrafo 9.5

1. Dati: $h = 4 \text{ m}$
 $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$
Cercati: p_G, p
 $p_G = \rho \cdot g \cdot h = 1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 10 \text{ N/kg} \cdot 4 \text{ m}$
 $= 40\,000 \text{ Pa} = 0,4 \text{ bar}$
 $p = p_G + 1 \text{ bar} = 1,4 \text{ bar}$

2. Dati: $h = 11\,000 \text{ m}$
 $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$
Cercato: p_G
 $p_G = 1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 10 \text{ N/kg} \cdot 11\,000 \text{ m}$
 $= 110\,000\,000 \text{ Pa} = 1100 \text{ bar}$

3. Dati: $h_1 = 0,5 \text{ m}$
 $h_2 = 0,3 \text{ m}$
 $\rho_1 = 1000 \text{ kg/m}^3$
 $\rho_2 = 13\,550 \text{ kg/m}^3$
Cercato: p_G
 $p_G = p_{G,1} + p_{G,2} = 1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 10 \text{ N/kg} \cdot 0,5 \text{ m}$
 $+ 13\,550 \text{ kg/m}^3 \cdot 10 \text{ N/kg} \cdot 0,3 \text{ m}$
 $= 5000 \text{ Pa} + 40\,650 \text{ Pa} = 45\,650 \text{ Pa}$

Paragrafo 9.6

1. Scorre acqua dal recipiente a sinistra a quello a destra fino a quando i livelli sono uguali.

2. All'altezza del tubo di collegamento le pressioni gravitazionali dell'alcol e dell'acqua devono essere uguali:

$$p_{G,\text{alcol}} = p_{G,\text{acqua}}$$

La pressione gravitazionale dell'alcol è:

$$p_{G,\text{alcol}} = 790 \text{ kg/m}^3 \cdot 10 \text{ N/kg} \cdot 0,3 \text{ m} = 2370 \text{ Pa}$$

Quindi anche $p_{G,\text{acqua}} = 2370 \text{ Pa}$.

Da

$$p_{G,\text{acqua}} = \rho_{\text{acqua}} \cdot g \cdot h_{\text{acqua}}$$

segue:

$$h_{\text{acqua}} = \frac{p_{G,\text{acqua}}}{\rho_{\text{acqua}} \cdot g} = \frac{2370 \text{ m}}{1000 \cdot 10} = 0,23 \text{ m}$$

La differenza di altezza è $h_{\text{alcol}} - h_{\text{acqua}} = 7 \text{ cm}$.

Paragrafo 9.7

1. Dati: $\rho_{\text{Hg}} = 13\,550 \text{ kg/m}^3$
 $\rho_{\text{Fe}} = 7900 \text{ kg/m}^3$
 $V = 5 \text{ cm}^3$
Cercati: $m_{\text{Fe}} - m_{\text{Hg}}, F_A$

$$m_{\text{Fe}} = \rho_{\text{Fe}} \cdot V = 7900 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,000\,005 \text{ m}^3$$

$$= 0,0395 \text{ kg} = 39,5 \text{ g}$$

$$m_{\text{Hg}} = \rho_{\text{Hg}} \cdot V = 13\,550 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,000\,005 \text{ m}^3$$

$$= 0,06775 \text{ kg} = 67,75 \text{ g}$$

$$m_{\text{Fe}} - m_{\text{Hg}} = 39,5 \text{ g} - 67,75 \text{ g} = -28,25 \text{ g}$$

Il pezzo di ferro sembra più leggero di 67,75 g, sembra avere una massa negativa. Quindi, invece di affondare risale in superficie.

$$F_A = m_{\text{Hg}} \cdot g = 0,06775 \text{ kg} \cdot 10 \text{ N/kg} = 0,6775 \text{ N}$$

2. Dati: $m = 150\,000 \text{ kg}$
 $\rho_{\text{granito}} = 2600 \text{ kg/m}^3$
Cercati: m_{acqua}, F_A

Prima calcoliamo il volume del blocco di granito:

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{150\,000 \text{ kg}}{2600 \text{ kg/m}^3} = 57,7 \text{ m}^3$$

La massa dell'acqua spostata è

$$m_{\text{acqua}} = \rho_{\text{acqua}} \cdot V$$

$$= 1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 57,7 \text{ m}^3 = 57\,700 \text{ kg}$$

Il blocco di granito sembra più leggero di 57,7 t.

$$F_A = m_{\text{acqua}} \cdot g$$

$$= 57\,700 \text{ kg} \cdot 10 \text{ N/kg} = 577\,000 \text{ N}$$

3. Dati: $m_{\text{sasso}} - m_{\text{acqua}} = 1,4 \text{ kg}$
 $\rho_{\text{sasso}} = 2400 \text{ kg/m}^3$
Cercato: m_{sasso}

Calcoliamo il volume del sasso:

$$m_{\text{sasso}} - m_{\text{acqua}} = \rho_{\text{sasso}} \cdot V - \rho_{\text{acqua}} \cdot V$$

$$= (\rho_{\text{sasso}} - \rho_{\text{acqua}}) \cdot V$$

$$V = \frac{m_{\text{sasso}} - m_{\text{acqua}}}{\rho_{\text{sasso}} - \rho_{\text{acqua}}} = \frac{1,4 \text{ m}^3}{2400 - 1000} = 0,001 \text{ m}^3$$

$$m_{\text{sasso}} = \rho_{\text{sasso}} \cdot V$$

$$= 2400 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,001 \text{ m}^3 = 2,4 \text{ kg}$$

4. Una volta riemerso, il legno sposta meno acqua di prima, la spinta verso l'alto diminuisce. Continua a salire finché la spinta diventa 0 N.

5. 1500 t

6. Nell'acqua di mare la nave emerge un po' di più.

Paragrafo 9.8

1. Un po' di acqua entra e comprime l'aria. In questo modo la pressione dell'aria sale fino a quando l'aumento uguaglia la pressione gravitazionale sulla superficie dell'acqua all'interno del bicchiere.

2. Se l'acqua non salisse con il bicchiere, sopra la sua superficie si creerebbe uno spazio a una pressione di 0 bar. Visto che all'esterno la pressione è 1 bar, l'acqua sarebbe immediatamente spinta in questo spazio.

3. Se ci spostiamo nell'acqua dal basso verso l'alto, la pressione gravitazionale diminuisce. In superficie la pressione gravitazionale è 0 bar. Se saliamo ancora, la pressione gravitazionale diventa negativa. Per il punto A si ottiene:

$$p_{G,A} = -\rho_{\text{acqua}} \cdot g \cdot 1 \text{ m}$$

$$= -1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 10 \text{ N/kg} \cdot 1 \text{ m} = -10\,000 \text{ Pa}$$

Ovviamente la pressione totale resta positiva

$$p_{\text{atm}} + p_{G,A} = 100\,000 \text{ Pa} - 10\,000 \text{ Pa} = 90\,000 \text{ Pa}$$

In B anche la pressione gravitazionale è di nuovo positiva. La distanza dalla superficie è 1 m.

$$p_{G,B} = \rho_{\text{acqua}} \cdot g \cdot 1 \text{ m}$$

$$= 1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 10 \text{ N/kg} \cdot 1 \text{ m} = 10\,000 \text{ Pa}$$

In questo caso la pressione totale diventa

$$p_{\text{atm}} + p_{G,B} = 100\,000 \text{ Pa} + 10\,000 \text{ Pa} = 110\,000 \text{ Pa}$$

Se apriamo il rubinetto l'acqua esce perché la pressione all'esterno è di soli 100 000 Pa.

Paragrafo 9.9

1. Dati: $p = 150 \text{ bar} = 15\,000\,000 \text{ Pa}$
 $A = 5 \text{ cm}^2 = 0,0005 \text{ m}^2$
 $v = 20 \text{ cm/s} = 0,2 \text{ m/s}$

Cercati: P, F

$$F = A \cdot p = 0,0005 \text{ m}^2 \cdot 15\,000\,000 \text{ Pa} = 7500 \text{ N}$$

$$P = v \cdot F = 0,2 \text{ m/s} \cdot 7500 \text{ N} = 1500 \text{ W}$$

2. Dati: $p = 80 \text{ bar} = 8\,000\,000 \text{ Pa}$
 $d = 1 \text{ m}$
 $P = 12 \text{ MJ}$

Cercato: v

$$A = \pi(d/2)^2 = 0,785 \text{ m}^2$$

$$P = v \cdot A \cdot p \Rightarrow$$

$$v = \frac{P}{A \cdot p} = \frac{12\,000\,000 \text{ J}}{0,785 \text{ m}^2 \cdot 8\,000\,000 \text{ Pa}} = 1,9 \text{ m/s}$$

10. Entropia e correnti di entropia

Paragrafo 10.1

1. C'è più entropia nel locale A visto che i valori di temperatura e massa dell'aria sono superiori che per il locale B.

2. In ogni tazza viene versato 1/6 del caffè, nella caffettiera ne restano i 3/6. Quindi ogni tazza contiene una quantità di entropia di

$$S_{\text{tazza}} = 3900/6 \text{ Ct} = 650 \text{ Ct}$$

e la caffettiera

$$S_{\text{caffettiera}} = 3900/2 \text{ Ct} = 1950 \text{ Ct}$$

Paragrafo 10.2

1. (a) Perché la temperatura della piastra è più alta di quella della pentola. (b) Perché la temperatura del sottopentola è più bassa di quella della pentola. (c) In un primo momento la temperatura del tavolo è più alta di quella della bottiglia. Quindi fluisce entropia dal tavolo alla bottiglia e la temperatura del tavolo diminuisce.

2. Fluisce entropia dal blocco grande a quello piccolo. La temperatura finale è più vicina a 120 °C.

3. (a) No. (b) Fluisce entropia dal blocco piccolo a quello grande. La temperatura del blocco piccolo diminuisce e quella del blocco grande aumenta fino a quando sono uguali. (c) Il blocco grande perché ha una massa maggiore.

Paragrafo 10.3

2. La pompa di calore estrae entropia dall'interno del frigorifero e dalla porta aperta ne entra altrettanta. (L'analoga situazione elettrica è un corto circuito.)

Paragrafo 10.4

1. 273,15 K; 298,15 K; 373,15 K; 90,15 K; 77,35 K; 4,25 K; 0 K.

2. -259,2 °C; -252,8 °C; -218,8 °C; -210 °C.

3. $S \approx 500 \text{ Ct}$

Paragrafo 10.5

1. Nella lampada entra luce proveniente dagli oggetti circostanti. Poco a poco la batteria si riempie.

2. Nello scappamento entrano vapore acqueo e anidride carbonica. Il radiatore raffredda l'aria che lo attraversa e riscalda l'acqua di raffreddamento. Dal motore esce una miscela di aria e benzina che vengono separate nel carburatore. Dal filtro dell'aria esce aria fresca, la pompa della benzina riempie poco a poco il serbatoio di benzina.

3. Aria calda entra in contatto con i freni. I freni si raffreddano e la bicicletta si muove più velocemente, per la precisione all'indietro.

Paragrafo 10.7

1. (a) Le pareti devono essere spesse. (b) La superficie totale delle pareti esterne deve essere piccola. (c) Le pareti devono essere fatte di un materiale con una grande resistenza termica.

2. (a) Il materiale di cui è fatto il calorifero è sottile. (b) La superficie (cioè la sezione del conduttore di calore) è grande. (c) Il materiale è un buon conduttore termico.

Altri apparecchi che sfruttano una buona conducibilità termica: il radiatore di un'automobile, la testa del cilindro di motori a scoppio raffreddati ad'aria, lo scambiatore di calore sul retro di un frigorifero.

Paragrafo 10.8

1. Attraverso le pareti, le finestre e le porte chiuse perdite per conduzione; attraverso le fessure attorno a porte e finestre perdite per convezione.

2. Per convezione dalla fiamma di combustione della benzina alle pareti interne del cilindro; da lì, per conduzione ai tubi dell'acqua di raffreddamento; con l'acqua di raffreddamento, per convezione dal motore al radiatore; per conduzione dalla parete interna dei tubi del radiatore all'esterno; da lì in avanti convettivamente con l'aria.

3. Con l'acqua di raffreddamento del motore, l'entropia giunge a una specie di radiatore. Lì passa all'aria che viene soffiata nell'abitacolo.

11. Entropia e energia

Paragrafo 11.1

1. Vedi figura 11.1

2. L'entropia viene prodotta nell'impatto dei cubetti con il suolo. L'energia proviene dal campo gravitazionale.

Paragrafo 11.2

1. Dati: $T = (273 + 20)K = 293 K$
 $I_S = 35 \text{ Ct/s}$

Cercato: P

$$P = T \cdot I_S = 293 K \cdot 35 \text{ Ct/s} = 10\,255 \text{ W} \approx 10 \text{ kW}$$

2. Dati: $T = (273 + 90)K = 363 K$
 $I_S = 60 \text{ Ct/s}$

Cercato: P

$$P = T \cdot I_S = 363 K \cdot 60 \text{ Ct/s} = 21\,780 \text{ W} \approx 22 \text{ kW}$$

3. Dati: $T = (273 + 300)K = 573 K$
 $P = 1000 \text{ W}$

Cercato: I_S

$$P = T \cdot I_S \Rightarrow I_S = P/T = 1000 \text{ W}/573 K = 1,7 \text{ Ct/s}$$

4. Dati: $T_A - T_B = 10 K$
 $I_S = 500 \text{ Ct/s}$

Cercato: P

$$P = (T_A - T_B) \cdot I_S = 10 K \cdot 500 \text{ Ct/s} = 5000 \text{ W}$$

5. (a) Dati: $T_A - T_B = 25 K$
 $I_S = 30 \text{ Ct/s}$

Cercato: P

$$P = (T_A - T_B) \cdot I_S = 25 K \cdot 30 \text{ Ct/s} = 750 \text{ W}$$

(b) Dati: $T = (273 + 25)K = 298 K$
 $I_S = 30 \text{ Ct/s}$

Cercato: P

$$P = T \cdot I_S = 298 K \cdot 30 \text{ Ct/s} = 8940 \text{ W}$$

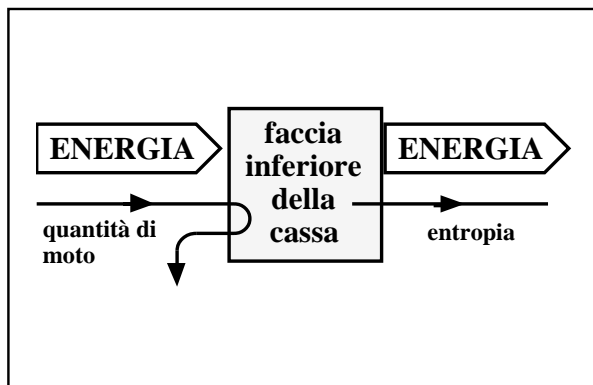


Fig. 11.1. Paragrafo 11.1, esercizio 1

Paragrafo 11.3

1. Dati: $P = 20 \text{ kW}$
 $T_1 = (273 - 5) \text{ K} = 268 \text{ K}$
 $T_2 = (273 + 20) \text{ K} = 293 \text{ K}$

Cercati: $I_{S2}, I_{S1}, I_{S \text{ prodotta}}$
 $P = T \cdot I_S \Rightarrow I_S = P/T$
 (a) $I_{S2} = P/T_2 = 20 \text{ kW}/293 \text{ K} = 68,3 \text{ Ct/s}$
 (b) $I_{S1} = P/T_1 = 20 \text{ kW}/268 \text{ K} = 74,6 \text{ Ct/s}$
 (c) $I_{S \text{ prodotta}} = I_{S1} - I_{S2} = (74,6 - 68,3) \text{ Ct/s}$
 $= 6,3 \text{ Ct/s}$

2. Dati: $P = 1000 \text{ W}$
 $T_1 = 373 \text{ K}$
 $T_2 = 1000 \text{ K}$
 Cercati: $I_{S2}, I_{S1}, I_{S1} - I_{S2}$
 $P = T \cdot I_S \Rightarrow I_S = P/T$
 (a) $I_{S2} = P/T_2 = 1000 \text{ W}/1000 \text{ K} = 1 \text{ Ct/s}$
 (b) $I_{S1} = P/T_1 = 1000 \text{ W}/373 \text{ K} = 2,7 \text{ Ct/s}$
 (c) $I_{S1} - I_{S2} = 1,7 \text{ Ct/s}$

Paragrafo 11.5

1. Dati: $\vartheta_A = 150 \text{ }^\circ\text{C}$
 $\vartheta_B = 50 \text{ }^\circ\text{C}$
 $I_S = 100 \text{ Ct/s}$
 Cercato: P
 $T_A - T_B = 100 \text{ K}$
 $P = (T_A - T_B) \cdot I_S = 100 \text{ K} \cdot 100 \text{ Ct/s} = 10 \text{ kW}$

2. Dati: $P = 1000 \text{ MW}$
 $T_A = 750 \text{ K}$
 $T_B = 310 \text{ K}$
 Cercati: I_S, P_1
 $T_A - T_B = 750 \text{ K} - 310 \text{ K} = 440 \text{ K}$
 $P = (T_A - T_B) \cdot I_S \Rightarrow I_S = P/(T_A - T_B)$
 $I_S = 1000 \text{ MW}/440 \text{ K} = 2,27 \text{ MCt/s}$
 $P_B = T_B \cdot I_S = 310 \text{ K} \cdot 2,27 \text{ MCt/s} = 704 \text{ MW}$

3. Si potrebbe far funzionare un motore termico:

- tra l'acqua di un freddo lago di montagna e l'acqua più calda di un lago nella valle;
- tra l'acqua del mare all'equatore e l'acqua del mare al Polo Nord;
- tra un iceberg trascinato con delle navi fino all'equatore e la tiepida acqua del mare;
- tra la Terra e lo spazio (che ha una temperatura di $2,7 \text{ K}$);
- tra un vulcano e l'acqua del mare;
- tra l'acqua alla superficie del mare e l'acqua più fredda alle grandi profondità.

Paragrafo 11.6

1. Dati: $P_{\text{entrata}} = 20 \text{ kW}$
 $P_{\text{uscita}} = 18 \text{ kW}$
 Cercato: V
 $P_V = (20 - 18) \text{ kW} = 2 \text{ kW}$
 $V = (P_V/P_{\text{entrata}}) \cdot 100 \%$
 $= (2 \text{ kW}/20 \text{ kW}) \cdot 100 \% = 10 \%$

2. Dati: $V = 40 \%$
 $P_{\text{entrata}} = 10 \text{ W}$
 $T = 300 \text{ K}$
 Cercati: $P_{\text{uscita}}, I_{S \text{ prodotta}}$
 $V = (P_V/P_{\text{entrata}}) \cdot 100 \%$
 $\Rightarrow P_V = (V/100 \%) \cdot P_{\text{entrata}}$
 $= (40/100) \cdot 10 \text{ W} = 4 \text{ W}$
 $P_{\text{uscita}} = P_{\text{entrata}} - P_V = 10 \text{ W} - 4 \text{ W} = 6 \text{ W}$
 $I_{S \text{ prodotta}} = P_V/T = 4 \text{ W}/300 \text{ K} = 0,013 \text{ Ct/s}$

3. Dati: $V = 8 \%$
 $P_{\text{uscita}} = 46 \text{ kW}$
 $T = 300 \text{ K}$
 Cercati: $P_{\text{entrata}}, P_V, I_{S \text{ prodotta}}$
 46 kW corrispondono al 92% di P_{entrata} .
 $P_{\text{entrata}}/P_{\text{uscita}} = P_{\text{entrata}}/46 \text{ kW} = 100 \%/92 \%$
 $P_{\text{entrata}} = 46 \text{ kW} \cdot (100/92) = 50 \text{ kW}$
 $P_V = P_{\text{entrata}} - P_{\text{uscita}} = (50 - 46) \text{ kW} = 4 \text{ kW}$
 $I_{S \text{ prodotta}} = P_V/T$
 $= 4000 \text{ W}/300 \text{ K} = 13,3 \text{ Ct/s}$

Paragrafo 11.7

1. Dati: Figg. 11.20(a) e (c)
 $\Delta S = 80 \text{ Ct}$
 Cercati: $\Delta T_{\text{Cu}}, \Delta T_{\text{Al}}$
 Dai grafici leggiamo:
 $\Delta T_{\text{Cu}} = 70 \text{ K}$ e $\Delta T_{\text{Al}} = 27 \text{ K}$
 Il rame si riscalda di più.
 $\Delta T_{\text{Cu}} / \Delta T_{\text{Al}} = 70 \text{ K}/27 \text{ K} \approx 2,6$

2. Dati: Fig. 11.20 (e)
 $\vartheta_1 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$
 $\vartheta_2 = 100 \text{ }^\circ\text{C}$
 $m = 100 \text{ kg}$
 Cercato: ΔS
 Leggiamo dal grafico:
 $\Delta S = 1030 \text{ Ct}$ per 1 kg
 da cui segue
 $\Delta S = 103 \text{ 000 Ct} = 103 \text{ kCt}$ per 100 kg

Paragrafo 11.8

1. Dati: $m = 0,5 \text{ kg}$
 $P = 500 \text{ W} = 500 \text{ J/s}$
 $\vartheta_1 = 25 \text{ }^\circ\text{C}$
 $\vartheta_2 = 100 \text{ }^\circ\text{C}$
 Cercato: t
 $\Delta E = cm \Delta T$

$$\begin{aligned}
 P = \Delta E/t &\Rightarrow t = \Delta E/P \\
 &\Rightarrow t = c m \Delta T / P \\
 &= 4180 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K}) \cdot 0,5 \text{ kg} \cdot 75 \text{ K}/500 \text{ (J/s)} \\
 &= 313,5 \text{ s} \approx 5 \text{ min}
 \end{aligned}$$

2. Dati: Intensità della doccia = 0,1 kg/s
 $t = 5 \text{ min} = 300 \text{ s}$
 $\vartheta_1 = 15 \text{ }^\circ\text{C}$
 $\vartheta_2 = 45 \text{ }^\circ\text{C}$

Cercato: ΔE

$$m = 0,1 \text{ kg/s} \cdot 300 \text{ s} = 30 \text{ kg}$$

$$\Delta E = c m \Delta T$$

$$= 4180 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K}) \cdot 30 \text{ kg} \cdot 30 \text{ K} = 3,76 \text{ MJ}$$

12. Transizioni di fase

Paragrafo 12.1

1. Dalla Fig. 12.3 leggiamo:
 A $100 \text{ }^\circ\text{C}$ sono contenuti
 - 4600 Ct in 1 kg di acqua liquida;
 - 10 700 Ct in 1 kg di acqua gassosa.
 $f = 10700/4600 \approx 2,3$
 L'acqua gassosa contiene 2,3 volte più entropia dell'acqua liquida.

2. Dati: $m = 10 \text{ kg}$
 $\vartheta = 90 \text{ }^\circ\text{C}$

Dalla Fig. 11.20 (e) leggiamo che ci vogliono circa 115 Ct per portare 1 kg d'acqua da $90 \text{ }^\circ\text{C}$ a $100 \text{ }^\circ\text{C}$. Per far evaporare 1 kg d'acqua ci vogliono 6000 Ct.

Cercato: ΔS

$$\Delta S = \Delta S_{\text{riscaldare}} + \Delta S_{\text{evaporare}}$$

$$\Delta S_{\text{riscaldare}} = 115 \cdot 10 \text{ Ct} = 1150 \text{ Ct}$$

$$\Delta S_{\text{evaporare}} = 10 \cdot 6000 \text{ Ct} = 60 000 \text{ Ct}$$

$$\Delta S = (1150 + 60 000) \text{ Ct} = 61 150 \text{ Ct}$$

3. Dato: $\Delta S_{\text{fondere}} = 6000 \text{ Ct}$
Cercato: m

Per fondere 1 kg di ghiaccio ci vogliono 1200 Ct. Con 6000 Ct possiamo fondere $(6000/1200) \text{ kg} = 5 \text{ kg}$ di ghiaccio.

4. Dati: Variazione di temperatura da $20 \text{ }^\circ\text{C}$ a $0 \text{ }^\circ\text{C}$
 massa della limonata = 0,25 kg

Cercato: massa del ghiaccio fuso

Per raffreddare 1 kg d'acqua da $20 \text{ }^\circ\text{C}$ a $0 \text{ }^\circ\text{C}$, dobbiamo toglierle 280 Ct (vedi Fig. 11.20(e) nel testo per studenti). Per raffreddare 0,25 kg d'acqua da $20 \text{ }^\circ\text{C}$ a $0 \text{ }^\circ\text{C}$ dobbiamo toglierle $(280/4) \text{ Ct} = 70 \text{ Ct}$. Questi 70 Ct servono a fondere il ghiaccio. Ci vogliono 1200 Ct per fondere 1 kg di ghiaccio. Con 70 Ct possiamo fondere $1 \text{ kg} \cdot (70/1200) = 58,3 \text{ g}$.

5. Dati: Variazione di temperatura da $15 \text{ }^\circ\text{C}$ a $60 \text{ }^\circ\text{C}$
 massa del latte = 0,2 kg

Cercato: massa del vapore

Leggiamo dalla Fig. 11.20(e) che ci vogliono circa 620 Ct per portare 1 kg d'acqua da $15 \text{ }^\circ\text{C}$ a $60 \text{ }^\circ\text{C}$. Per 0,2 kg ci vogliono $620 \cdot 0,2 \text{ Ct} = 124 \text{ Ct}$. Condensando, 1 kg di vapore cede 6000 Ct. Quindi, ne abbiamo bisogno circa

$$1 \text{ kg} \cdot (124/6000) \approx 20 \text{ g}.$$

13. I gas

Paragrafo 13.1

1. La gomma riesce ad assorbire le irregolarità del fondo stradale in quanto viene compressa da queste irregolarità - ad esempio un sassolino. Visto che l'acqua è incomprimibile, una gomma piena d'acqua non riuscirebbe ad assorbire le irregolarità del fondo stradale.

2. L'aria nella mongolfiera si espande a pressione costante. In questo modo la sua densità diminuisce. (Una parte dell'aria fuoriesce). Così la densità dell'aria nella mongolfiera è inferiore a quella dell'aria circostante. L'aria nella mongolfiera e la mongolfiera salgono.

Paragrafo 13.2

1. (a) Si vedono delle bollicine. Dalla bottiglia esce aria. Inizialmente l'aria raffreddata era a pressione normale. Dopo averla chiusa le viene fornita entropia a $V = \text{cost.}$ Secondo (2a) la pressione aumenta. La pressione nella bottiglia diventa quindi maggiore della pressione circostante. Aprendo la bottiglia esce dell'aria in modo da equilibrare la pressione.

(b) Nella bottiglia entra acqua. L'aria riscaldata era a pressione normale. Mentre è chiusa, cioè a $V = \text{cost.}$, le viene tolta entropia. Secondo (2b) la pressione diminuisce e diventa più bassa della pressione circostante. Aprendo la bottiglia l'acqua viene premuta verso l'interno in modo da equilibrare la pressione.

2. La temperatura aumenta in entrambi i gas. Nel gas a $V = \text{cost.}$ l'aumento di temperatura è maggiore. Il processo con $p = \text{cost.}$ può essere suddiviso in due tappe. Dapprima forniamo entropia al gas a $V = \text{cost.}$ In questo modo aumentano pressione e temperatura. Questo è esattamente il processo al quale sottoponiamo l'altro gas. Poi lasciamo espandere il gas fino a quando la pressione è tornata al valore iniziale. Secondo (3b) la temperatura diminuisce.

3. Secondo (2a), fornendo entropia a $V = \text{cost.}$ la temperatura aumenta. Secondo (3b), se a $S = \text{cost.}$ il volume aumenta, la temperatura diminuisce. Quindi, apporto di entropia e aumento del volume hanno effetti opposti sulla temperatura. Se l'aumento di volume è sufficiente, "vince" sull'apporto di entropia e la temperatura diminuisce.

Paragrafo 13.3

1. Consideriamo la Fig. 13.10. Durante l'espansione il pistone si sposterebbe pochissimo. Di conseguenza non cederebbe energia. Inoltre, durante l'espansione la temperatura del liquido non diminuirebbe. Dopo la fase di espansione, con l'entropia defluirebbe anche quasi tutta l'energia che prima con lei era affluita.

2. In un motore diesel la miscela aria - carburante viene compressa maggiormente. In questo modo, secondo (2a), la temperatura assume un valore così alto che la miscela prende fuoco.

3. Quando il pistone è spinto fino in fondo il cilindro è ancora pieno di vapore ad alta pressione. Aprendo lo scarico questo vapore viene liberato, sprestando la molta energia che potrebbe ancora cedere.

Paragrafo 13.5

1. Riscaldiamo acqua in una pentola. L'entropia è fornita sul fondo della pentola e viene nuovamente ceduta attraverso le pareti e dalla superficie dell'acqua, dove viene utilizzata per l'evaporazione.

2. I gas della fiamma, a causa della loro temperatura elevata, hanno una densità inferiore all'aria circostante. Quindi scorrono verso l'alto, trascinando naturalmente anche le particelle solide che si trovano nella fiamma.

14. La luce

Paragrafo 14.3

- a) La temperatura è tra T_A e T_B .
- b) Una corrente di energia scorre da A a B e una da B a A. Quella da A a B è più intensa di quella da B a A. Una corrente di energia scorre da A a C e una da C a A. Quella da A a C è più intensa di quella da C a A. Una corrente di energia scorre da C a B e una da B a C. Quella da C a B è più intensa di quella da B a C.

Paragrafo 14.6

Si tratta del paracadute che viene aperto. Così come l'intensità della corrente di quantità di moto che defluisce dal paracadute dipende dalla velocità del paracadute, l'intensità della corrente di entropia che defluisce dalla Terra dipende dalla temperatura della Terra.

Il valore assunto dalla velocità del paracadute, fa sì che la quantità di moto del paracadute, e quindi la sua velocità, non cambino più.

Il valore assunto dalla temperatura della Terra, fa sì che l'entropia della Terra, e quindi la sua temperatura, non cambino più.

Entrambi i processi sono degli equilibri dinamici.

15. Dati e portatori di dati

Paragrafo 15.1

1. Antenna ricevente - (elettricità) - televisore; pianoforte - (suono) - orecchio; antenna emittente - (onde elettromagnetiche) - antenna ricevente.
2. Altoparlante, sirena, strumento musicale.
3. Fotodiode, videocamera, macchina fotografica.
4. Raggi infrarossi = onde elettromagnetiche.
5. Elettricità - luce; onde elettromagnetiche - suono.
6. Antenna emittente, microfono.
7. (Elettricità) - tabellone luminoso allo stadio - (luce) - radiocronista - (suono) - microfono - (elettricità) - antenna emittente - (onde elettromagnetiche) - apparecchio radio - (suono).

Paragrafo 15.3

1. $5000 \approx 4096 = 2^{12}$. Un codice di avviamento postale porta circa 12 bit.
2. Un po' più di 13 bit.
3. Quasi 11 bit.
4. $2^5 = 32$ segni.
5. L'albero si ramifica in 27 terminazioni, fig. 15.1.
Visto che $2^4 = 16 < 27 < 32 = 2^5$, con tre segni si ricevono tra 4 e 5 bit.
6. Un segno della sorgente B porta 1 bit in più di un segno della sorgente A.
7. Per identificare la carta, il mago ha bisogno di 4 bit. Ogni volta che uno spettatore indica uno dei quattro mazzetti il mago riceve 2 bit. Quando rimette assieme i quattro mazzetti il mago fa in modo che quello indicato dallo spettatore sia il secondo contando dall'alto verso il basso. Dopo la prima indicazione, la carta cercata è la quinta, sesta, settima od ottava, dopo la seconda indicazione è al sesto posto partendo dall'alto.

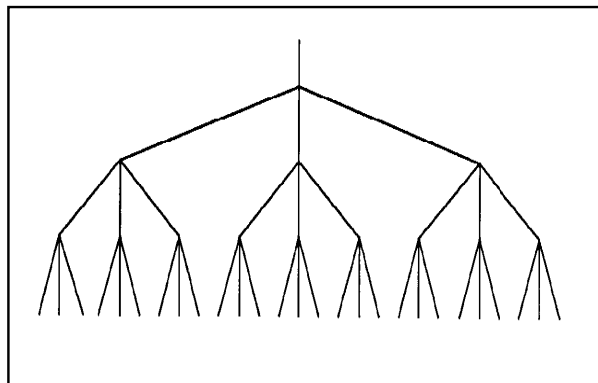


Fig. 15.1. Paragrafo 15.3, esercizio 5

Paragrafo 15.4

1. 180 battute al minuto = 3 segni al secondo;

$$I_H = 3 \cdot 7 \text{ bit/s} = 21 \text{ bit/s.}$$

2. $I_H = H/t \Rightarrow$

$$t = H/I_H = (40 \cdot 70 \cdot 7) \text{ bit}/(2400 \text{ bit/s}) \approx 8 \text{ s.}$$

Paragrafo 15.5

2. Quantità di dati di un dischetto = 4 bit; quantità di dati di un'immagine = $60 \cdot 80 \cdot 4 \text{ bit} = 19\,200 \text{ bit}$.

3. $18 \cdot 20 \text{ bit} = 360 \text{ bit}$.

16. Elettricità e correnti elettriche**Paragrafo 16.3**

1. $I = 0,8 \text{ A}$. La corrente defluisce dal nodo.

2. $I = 50 \text{ A}$. La corrente affluisce al nodo.

3. Complessivamente le correnti in P e Q devono avere un'intensità di 3 A e scorrere verso destra.

4. Vedi fig. 16.1.

5. Tutti gli amperometri indicano 1,6 A.

6. L'intensità della corrente in P è 11 A. Vedi fig. 16.2.

Paragrafo 16.5

1. $\varphi_1 = 4,5 \text{ V}$, $\varphi_2 = 0 \text{ V}$, $\varphi_3 = -4,5 \text{ V}$.

2. $\varphi_1 = 0 \text{ V}$, $\varphi_2 = -12 \text{ V}$, $\varphi_3 = 0 \text{ V}$.

3. $U_1 = 18 \text{ V}$, $U_2 = 9 \text{ V}$, $U_3 = 9 \text{ V}$.

4. Vedi fig. 16.3.

5. Circuiti in aeroplani, razzi, satelliti, automobili, biciclette.

Paragrafo 16.7

1. I valori del potenziale sono 0 V, 5 V e 9 V.

2. Lampadina di sinistra: $I = 1,6 \text{ A}$; lampadina di destra: $I = 0 \text{ A}$.

3. $\varphi_A = -20 \text{ V}$, $\varphi_D = 40 \text{ V}$, $U_{\text{batteria}} = 60 \text{ V}$. Con l'interruttore aperto: $\varphi_A = \varphi_B = \varphi_C = \varphi_D = 0 \text{ V}$.

4. (a) $\varphi_P = 12 \text{ V}$, $U_{L1} = 12 \text{ V}$, $U_{L2} = 0 \text{ V}$.

(b) $\varphi_P = 6 \text{ V}$, $U_{L1} = 6 \text{ V}$, $U_{L2} = 6 \text{ V}$.

La corrente attraverso la lampadina L1 è più intensa quando l'interruttore è chiuso, visto che la tensione su L1 è maggiore.

La corrente attraverso la lampadina L2 è più intensa quando l'interruttore è aperto. Con l'interruttore chiuso l'intensità della corrente è 0 A.

5. (a) $\varphi_1 = 0 \text{ V}$, $\varphi_2 = 150 \text{ V}$, $\varphi_3 = \varphi_4 = 75 \text{ V}$.

(b) $\varphi_1 = \varphi_4 = 0 \text{ V}$, $\varphi_2 = \varphi_3 = 150 \text{ V}$.

Quando l'interruttore è aperto, solo la lampadina di destra è accesa.

6. (a) $\varphi_1 = 0 \text{ V}$, $\varphi_2 = \varphi_3 = 9 \text{ V}$, $\varphi_4 = 18 \text{ V}$, $\varphi_5 = 9 \text{ V}$.

(b) $\varphi_1 = 0 \text{ V}$, $\varphi_2 = 9 \text{ V}$, $\varphi_3 = -3 \text{ V}$, $\varphi_4 = 6 \text{ V}$, $\varphi_5 = 3 \text{ V}$.

Paragrafo 16.8

1. Dati: $U = 20 \text{ V}$

$$I = 4 \text{ mA}$$

Cercato: R

$$R = U/I = 20 \text{ V}/4 \text{ mA} = 5\,000 \, \Omega = 5 \text{ k}\Omega.$$

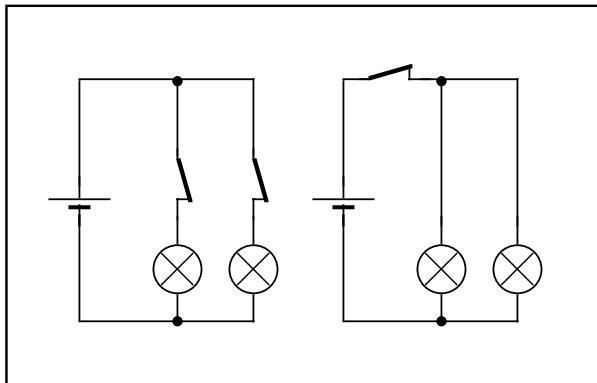


Fig. 16.1. Paragrafo 16.3, esercizio 4

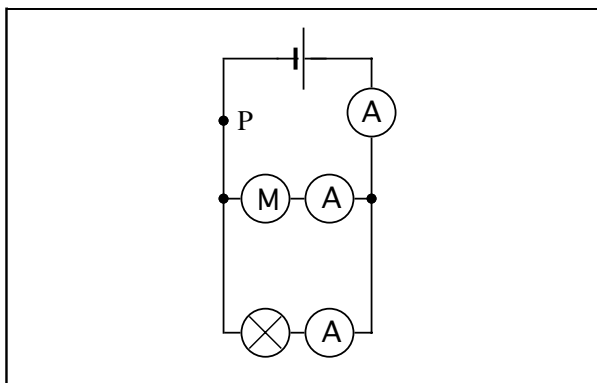


Fig. 16.2. Paragrafo 16.3, esercizio 6

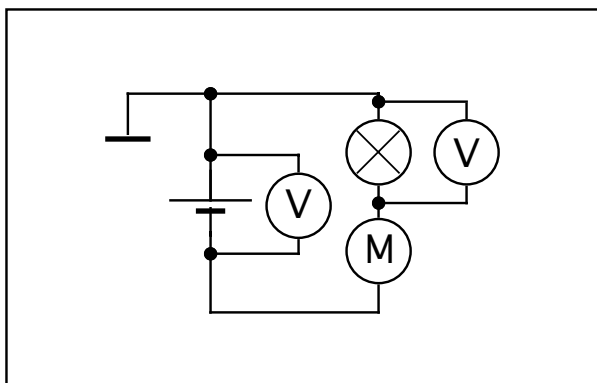


Fig. 16.3. Paragrafo 16.5, esercizio 4

2. Dati: $R = 2 \text{ k}\Omega$
 $U = 120 \text{ V}$
 Cercato: I

$$I = U/R = 120 \text{ V}/2 \text{ k}\Omega = 60 \text{ mA}.$$

3. Dati: $R = 1 \text{ M}\Omega$
 $I = 0,1 \text{ mA}$
 Cercato: U

$$U = R \cdot I = 1 \text{ M}\Omega \cdot 0,1 \text{ mA} = 100 \text{ V}.$$

4. Dati: $U = 35 \text{ V}$
 $I = 5 \text{ A}$
 Cercati: R_1, U_2, R_2

$$R_1 = U_1/I = 10 \text{ V}/5 \text{ A} = 2 \Omega.$$

$$U_2 = U - U_1 = 25 \text{ V}.$$

$$R_2 = U_2/I = 25 \text{ V}/5 \text{ A} = 5 \Omega.$$

5. Dati: $U = 12 \text{ V}$
 $R_1 = R_2 = R_3 = 100 \Omega$
 Cercati: $U_1, U_2, U_3, I_1, I_2, I_3, I$

$$U_3 = 12 \text{ V}, U_1 = U_2 = 6 \text{ V}.$$

$$I_1 = I_2 = 6 \text{ V}/100 \Omega = 0,06 \text{ A}.$$

$$I_3 = 12 \text{ V}/100 \Omega = 0,12 \text{ A}.$$

$$I = I_1 + I_3 = 0,18 \text{ A}.$$

6. Sinistra: resistore da $200 \text{ k}\Omega$
 Centro: diodo
 Destra: resistore da 5Ω

7. La resistenza è di 50Ω . Collegando in parallelo n resistenze dello stesso valore la resistenza totale è $1/n$ del valore delle singole resistenze.

8. La resistenza è di 200Ω . Collegando in serie n resistenze dello stesso valore la resistenza totale è n volte il valore delle singole resistenze.

Paragrafo 16.11

1. L'asciugacapelli è ancora umido. L'acqua potrebbe creare un collegamento tra la mano che regge l'asciugacapelli è una parte che si trova a potenziale elevato.

2. Se il conduttore rovinato è il polo che si trova sempre a 0 V non succede niente. Se è l'altro polo c'è un cortocircuito.

17. Elettricità ed energia

Paragrafo 17.1

1. Dati: $U = 12 \text{ V}$
 $I = 3,75 \text{ A}$
 Cercato: P

$$P = U \cdot I = 12 \text{ V} \cdot 3,75 \text{ A} = 45 \text{ W}$$

2. Dati: $U = 12 \text{ V}$
 $P = 21 \text{ W}$
 Cercato: I

$$P = U \cdot I \Rightarrow I = P/U = 21 \text{ W}/12 \text{ V} = 1,75 \text{ A}$$

3. Dati: $I = 2,4 \text{ A}$
 $U_1 = 2 \text{ V}$
 $U_2 = 6 \text{ V}$
 Cercati: $P_{\text{totale}}, P_1, P_2$

$$P_{\text{totale}} = (2 \text{ V} + 6 \text{ V}) \cdot 2,4 \text{ A} = 19,2 \text{ W}$$

$$P_1 = 2 \text{ V} \cdot 2,4 \text{ A} = 4,8 \text{ W}$$

$$P_2 = 6 \text{ V} \cdot 2,4 \text{ A} = 14,4 \text{ W}$$

4. Dati: $U = 12 \text{ V}$
 $I_1 = 2 \text{ A}$
 $I_2 = 3 \text{ A}$
 Cercati: $P_{\text{totale}}, P_1, P_2$

$$P_{\text{totale}} = 12 \text{ V} \cdot (2 \text{ A} + 3 \text{ A}) = 60 \text{ W}$$

$$P_1 = 12 \text{ V} \cdot 2 \text{ A} = 24 \text{ W}$$

$$P_2 = 12 \text{ V} \cdot 3 \text{ A} = 36 \text{ W}$$

5. Dati: $U_1 = 12 \text{ V}$
 $U_2 = 9 \text{ V}$
 $I = 1,5 \text{ A}$
 Cercati: $P_{\text{motore}}, P_1, P_2$

$$U_{\text{motore}} = U_1 + U_2 = 21 \text{ V}$$

$$P_{\text{motore}} = 21 \text{ V} \cdot 1,5 \text{ A} = 31,5 \text{ W}$$

$$P_1 = 12 \text{ V} \cdot 1,5 \text{ A} = 18 \text{ W}$$

$$P_2 = 9 \text{ V} \cdot 1,5 \text{ A} = 13,5 \text{ W}$$

6. $U_{AB} = 3 \text{ V}$

La pila più in alto si svuota a un ritmo doppio rispetto alle altre due.

Sorgente totale:

$$P = 3 \text{ V} \cdot 10 \text{ mA} = 30 \text{ mW}$$

Pila più in alto:

$$P = 1,5 \text{ V} \cdot 10 \text{ mA} = 15 \text{ mW}$$

Ognuna delle altre due pile:

$$P = 1,5 \text{ V} \cdot 5 \text{ mA} = 7,5 \text{ mW}$$

7. Dati: $I = 60 \text{ mA}$
 $E = 20 \text{ kJ}$
 Cercati: P, t

$$U = 3 \cdot 1,5 \text{ V} = 4,5 \text{ V}$$

$$P = U \cdot I = 4,5 \text{ V} \cdot 60 \text{ mA} = 0,27 \text{ W}$$

$$t = E/P = 3 \cdot 20 \text{ kJ}/0,27 \text{ W} \approx 222\,000 \text{ s}$$

$$\approx 62 \text{ h}$$

9. Dati: $U = 80 \text{ V}$
 $R = 2 \text{ k}\Omega$
 Cercati: I, P

$$I = U/R = 80 \text{ V}/2 \text{ k}\Omega = 40 \text{ mA}$$

$$P = U \cdot I = 80 \text{ V} \cdot 40 \text{ mA} = 3,2 \text{ W}$$

10. Dati: $R = 2 \Omega$
 $I_R = 10 \text{ A}$
 $P_L = 100 \text{ W}$
 Cercati: U, I_L, I

$$U = R \cdot I_R = 2 \Omega \cdot 10 \text{ A} = 20 \text{ V}$$

$$I_L = P_L/U = 100 \text{ W}/20 \text{ V} = 5 \text{ A}$$

$$I = I_R + I_L = 10 \text{ A} + 5 \text{ A} = 15 \text{ A}$$

Paragrafo 17.2

1. Dati: $U_S = 200 \text{ V}$
 $R_C = 2 \cdot 0,5 \Omega = 1 \Omega$
 $I = 8 \text{ A}$
 Cercati: P_S, P_C, P_M

$$P_S = U_S \cdot I = 200 \text{ V} \cdot 8 \text{ A} = 1600 \text{ W}$$

$$U_C = R_C \cdot I = 1 \Omega \cdot 8 \text{ A} = 8 \text{ V}$$

$$P_C = U_C \cdot I = 8 \text{ V} \cdot 8 \text{ A} = 64 \text{ W}$$

$$P_M = P_S - P_C = 1600 \text{ W} - 64 \text{ W} = 1536 \text{ W}$$

2. Dati: $I, U_{\text{lampadina}}, R_{\text{conduttore}}$
 Cercati: $U_{\text{conduttore}}, U_{\text{alimentatore}}, P_{\text{conduttore}}$

$$(a) U_{\text{conduttore}} = R_{\text{conduttore}} \cdot I = 1 \Omega \cdot 5 \text{ A} = 5 \text{ V}$$

$$U_{\text{alimentatore}} = 12 \text{ V} + 2 \cdot 5 \text{ V} = 22 \text{ V}$$

$$P_{\text{conduttore}} = U_{\text{conduttore}} \cdot I = 10 \text{ V} \cdot 5 \text{ A} = 50 \text{ W}$$

$$(b) U_{\text{conduttore}} = 1 \Omega \cdot 2,5 \text{ A} = 2,5 \text{ V}$$

$$U_{\text{alimentatore}} = 24 \text{ V} + 2 \cdot 2,5 \text{ V} = 29 \text{ V}$$

$$P_{\text{conduttore}} = U_{\text{conduttore}} \cdot I = 5 \text{ V} \cdot 2,5 \text{ A} = 12,5 \text{ W}$$

Più è alta la tensione utilizzata nel trasporto di energia, minore sarà la perdita nel conduttore.

18. Il campo magnetico

Paragrafo 18.1

Si prende un terzo magnete e lo avvicina ai poli degli altri due, uno alla volta. In questo modo ci si rende conto che il comportamento dei due magneti è del tutto identico.

Paragrafo 18.3

1. Vedi fig. 18.1
2. Vedi fig. 18.2a
3. Vedi fig. 18.2b
4. Vedi fig. 18.3

5. Rompere l'anello. Se nei punti di rottura ci sono dei poli, l'anello era magnetizzato.

Paragrafo 18.6

Vedi fig. 18.4

Paragrafo 18.7

Vedi fig. 18.5

Paragrafo 18.9

1. Avvolgere due fili per formare una bobina. Collegare tra loro una delle estremità dei fili e collegare le altre estremità alla sorgente di energia, in modo che la corrente scorra nei fili in direzioni opposte. L'effetto di uno dei fili viene annullato dall'effetto dell'altro.

2. Il campo genera attrazione tra due avvolgimenti consecutivi e spinge verso l'esterno le varie parti di un singolo avvolgimento.

Paragrafo 18.10

1. Lo scambio di un trenino elettrico, lo scambio delle rotaie del tram, il magnete della gru di un deposito di rottami.

2. Come un normale campanello a corrente continua, ma senza l'interruttore di corrente.

3. Il magnete permanente tenderebbe a ruotare in avanti e indietro molto rapidamente, ma ha troppa inerzia per poterlo fare. Sostituendo il magnete permanente con un pezzo di ferro dolce si ottiene un amperometro a corrente alternata.

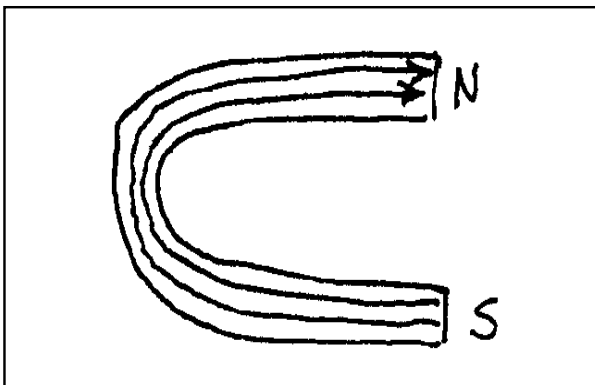


Fig. 18.1. Paragrafo 18.3, esercizio 1

Paragrafo 18.11

1. Il motore non si mette in moto da solo e può ruotare solo a una determinata frequenza: circa 50 giri al secondo.

2. I magneti fissi sono degli elettromagneti. Il collegamento alla sorgente di energia è fisso, vale a dire che la polarità non viene continuamente invertita. Il rotore è uguale a quello in fig. 18.46.

Paragrafo 18.12

1. A causa del campo magnetico terrestre nei pezzi di ferro si formano dei poli. Di conseguenza il campo magnetico terrestre viene modificato.

2. Gli aghi si dispongono paralleli l'uno all'altro. La direzione nella quale puntano non è più necessariamente nord-sud.

Paragrafo 18.13

1. I magneti devono essere mossi più in fretta possibile; i magneti devono essere più intensi possibile (con la maggior carica magnetica possibile); la bobina deve avere il maggior numero di avvolgimenti possibile

2. Un breve impulso di tensione seguito da un breve impulso di tensione del segno opposto.

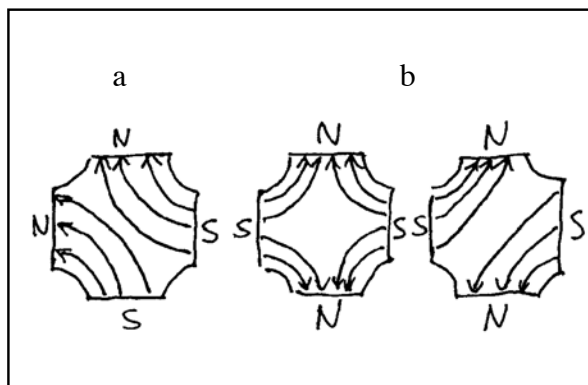


Fig. 18.2. Paragrafo 18.3, esercizi 2 e 3

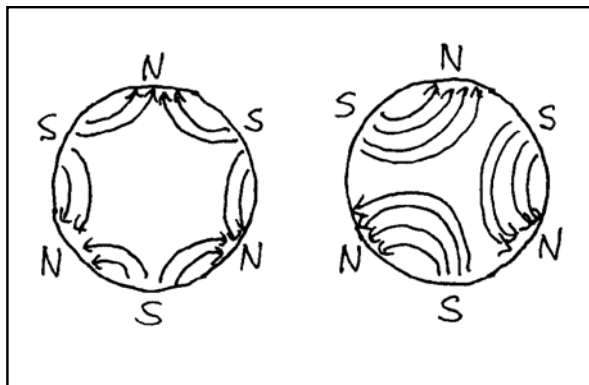


Fig. 18.3. Paragrafo 18.3, esercizio 4

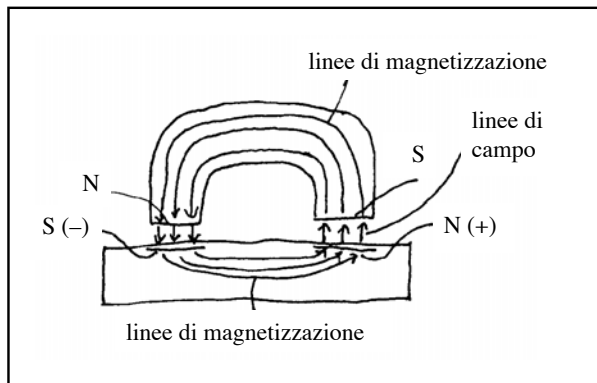


Fig. 18.4. Paragrafo 18.6

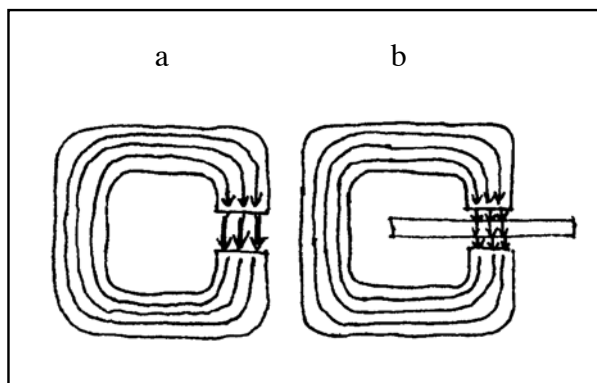


Fig. 18.5. Paragrafo 18.7

Paragrafo 18.15

1. Dati: numero di avvolgimenti: 1000, 5000
 $U_1 = 220 \text{ V}$

Cercato: U_2

$$U_1 / U_2 = n_1 / n_2 \Rightarrow U_2 = (n_2 / n_1) U_1$$

Con $n_2 / n_1 = 5000 / 1000 = 5$

si ottiene $U_2 = 1100 \text{ V}$.

Con $n_2 / n_1 = 1000 / 5000 = 0,2$

si ottiene $U_2 = 44 \text{ V}$.

2. Dati: $U_1 = 220 \text{ V}$
 $U_2 = 11 \text{ V}$

$I_2 = 2 \text{ A}$

Cercati: n_1 / n_2
 I_1

$$n_1 / n_2 = U_1 / U_2 = 220 \text{ V} / 11 \text{ V} = 20$$

Il numero di avvolgimenti della bobina secondaria è un ventesimo degli avvolgimenti della bobina primaria.

$$U_1 I_1 = U_2 I_2 \Rightarrow I_1 = U_2 I_2 / U_1$$

$$= 11 \text{ V} \cdot 2 \text{ A} / 220 \text{ V} = 0,1 \text{ A}$$

3. Dati: $n_1 = 1000$
 $n_2 = 10\,000$
 $U_1 = 220 \text{ V}$
 $I_1 = 0,1 \text{ A}$

Cercati: U_2, I_2

$$U_2 = (n_2 / n_1) U_1$$

$$= (10\,000 / 1000) \cdot 220 \text{ V} = 2200 \text{ V}$$

$$I_2 = U_1 I_1 / U_2$$

$$= 220 \text{ V} \cdot 0,1 \text{ A} / 2200 \text{ V} = 0,01 \text{ A} = 10 \text{ mA}$$

4. I conduttori in entrata devono essere molto spessi affinché sopportino una corrente di 10 000 A senza surriscaldarsi. I conduttori in uscita devono essere ben isolati per sopportare una tensione di 10 000 V senza produrre scintille. È più conveniente usare conduttori ben isolati (pali dell'alta tensione) piuttosto che conduttori molto spessi.

19. Elettrostatica

Paragrafo 19.2

1. La corrente elettrica scorre verso destra. La sua intensità è $0,5 \text{ A} + 0,3 \text{ A} = 0,8 \text{ A}$
2. $2 \text{ C} / (1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}) = 1,25 \cdot 10^{19}$

Paragrafo 19.4

1. Durante il contatto, da B ad A fluisce portatore di carica negativa, cosicché la carica netta di B è negativa. Ora entrambe le sfere sono caricate positivamente e il campo le respinge.
2. Si osservano attrazione e repulsione anche quando gli oggetti carichi non sono di un materiale magnetizzabile, per esempio di alluminio.
3. Durante il contatto con B, la sfera A si carica con elettricità di B. Di conseguenza A viene respinta da B ed entra in contatto con la sfera C. Qui A si scarica e poi si carica con elettricità di C, dopo di che viene spinta nuovamente verso B. Quindi la sfera A oscilla tra B e C.

Paragrafo 19.6

1. Dati: $I = 0,002 \text{ A}$
 $U = 240 \text{ V}$
 $t = 120 \text{ s}$

Cercati: Q, C

$$Q = I \cdot t = 2 \text{ mA} \cdot 120 \text{ s} = 240 \text{ mC}$$

$$C = Q/U = 240 \text{ mC} / 240 \text{ V} = 1 \text{ mF}$$

2. Dati: $C = 0,00008 \text{ F}$ $U = 150 \text{ V}$
Cercato: Q

$$Q = C \cdot U = 0,00008 \text{ F} \cdot 150 \text{ V} = 0,009 \text{ C}$$

Paragrafo 19.7

1. Dati: $U = 20000 \text{ V}$
 $I = 0,0002 \text{ A}$
Cercato: P

$$P = U \cdot I = 20000 \text{ V} \cdot 0,0002 \text{ A} = 4 \text{ W}$$

2. Contrassegniamo i punti dello schermo con le lettere r, g, b (le iniziali di rosso, gialloverde e blu).

colore percepito	punti accesi
rosso	r
gialloverde	g
blu	b
giallo	r, g
turchese	g, b
arancione	r, g (debole)
nero	-
bianco	r, g, b
marrone	r (debole), g (debole)

20. La tecnica dei dati

Paragrafo 20.1

1. Giradischi - altoparlante; telecamera - antenna emittente; microfono - orecchio; conversazione telefonica.
2. Quando ripete a voce alta qualcosa che gli è stato bisbigliato.

Paragrafo 20.2

1. Perché dal numero che appare sullo schermo non si può risalire in modo univoco al numero immesso; per esempio $9 = 3^2$ e $9 = (-3)^2$.
2. No, perché dal valore di x^3 si può risalire al valore di x .

Paragrafo 20.3

1. La prima domanda potrebbe essere: "è un numero pari?", oppure "è un numero minore di quattro?". Con la risposta alla domanda "è il sei?" Lilly riceve meno di 1 bit in quanto la risposta "no" è più probabile della risposta "sì".
2. Il numero minimo di domande sì/no è 5, visto che la persona che pone le domande in totale riceve 5 bit.
3. Poniamo che A possa scegliere tra 30 000 parole diverse (ordine di grandezza dei sostantivi in un vocabolario). Visto che $30000 \approx 2^{15}$, applicando la strategia migliore B dovrà porre 15 domande sì/no. Affinchè siano equiprobabili, B non dovrà cominciare con domande del tipo: "la parola è pennarello?", ma per esempio con: "è qualcosa di vivo?", oppure: "è qualcosa che in questo momento posso vedere?".

21. La luce

Paragrafo 21.3

1. Una piccola parte della luce viene riflessa. Ciò dà alla mela il suo aspetto lucido. Tutto il resto, rosso escluso, viene assorbito. La luce rossa viene riflessa e diffusa.
2. Tutta la luce viene assorbita, escluso il verde. La luce verde in parte attraversa la foglia, il resto viene riflesso e diffuso.
3. Il pullover assorbe tutti i tipi di luce escluso il rosso, quindi assorbe anche la luce dell'insegna pubblicitaria.
4. La maggior parte della luce viene riflessa. Una piccola frazione riesce a passare senza essere diffusa.
5. La luce o viene assorbita o continua dritta. Nei diversi punti della diapositiva vengono assorbiti tipi di luce diversi.
6. La luce viene o assorbita o riflessa e diffusa. Quale tipo di luce viene assorbito dipende dal punto della cartolina che viene considerato.
7. In brevissimo tempo la luce viene assorbita dal lato interno dei sacchi.

Paragrafo 21.4

1. Da tutte le direzioni arriva luce di tutti i tipi.
2. Da due direzioni tra loro perpendicolari arriva luce di tutti i tipi.
3. Luce di un unico tipo e proveniente da un'unica direzione.

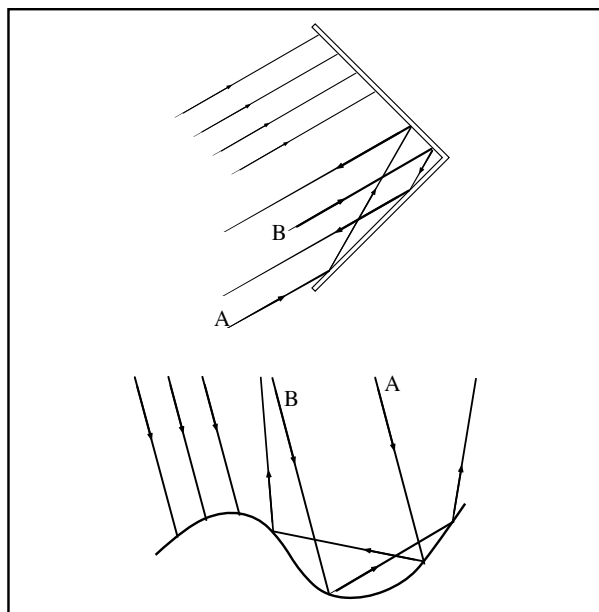


Fig. 21.1. Paragrafo 21.5, esercizi 1 e 2

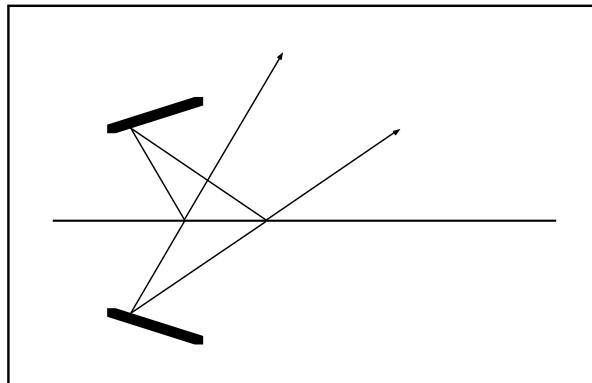


Fig. 21.2. Paragrafo 21.6

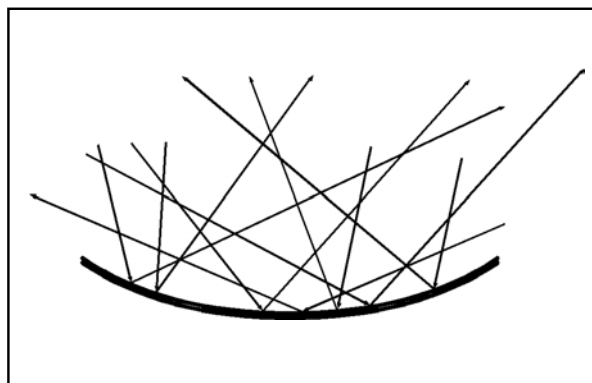


Fig. 21.3. Paragrafo 21.7

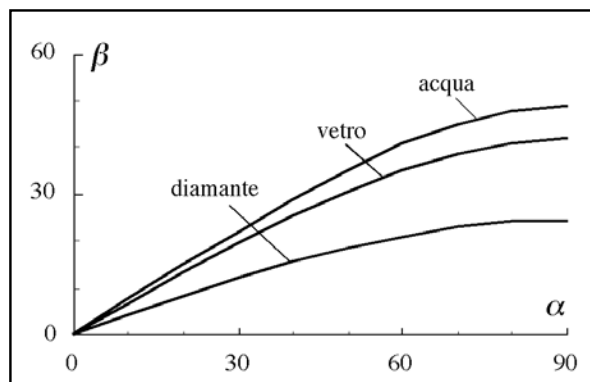


Fig. 21.4. Paragrafo 21.8, esercizio 1

Paragrafo 21.5

1. Vedi fig. 21.1
2. Vedi fig. 21.1

Paragrafo 21.6

Vedi fig. 21.2

Paragrafo 21.7

Vedi fig. 21.3

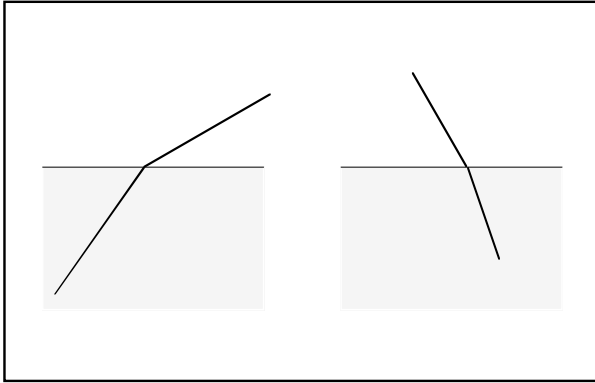


Fig. 21.5. Paragrafo 21.8, esercizio 2

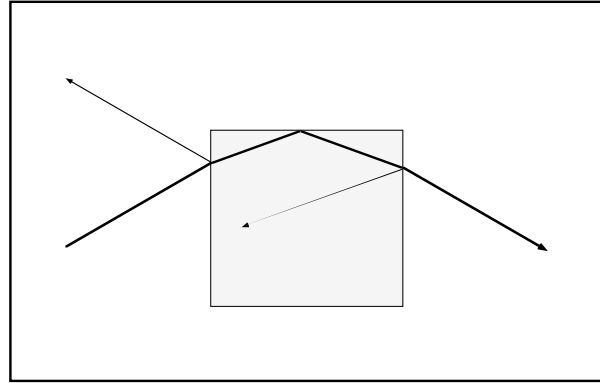


Fig. 21.8. Paragrafo 21.10, esercizio 1

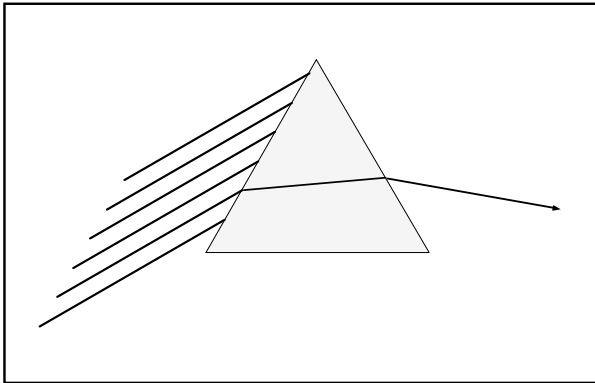


Fig. 21.6. Paragrafo 21.9, esercizio 1

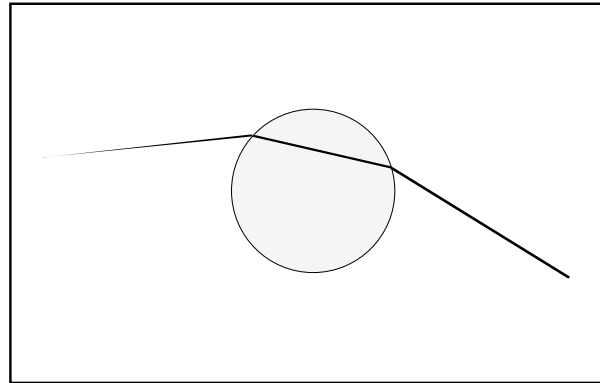


Fig. 21.9. Paragrafo 21.10, esercizio 2

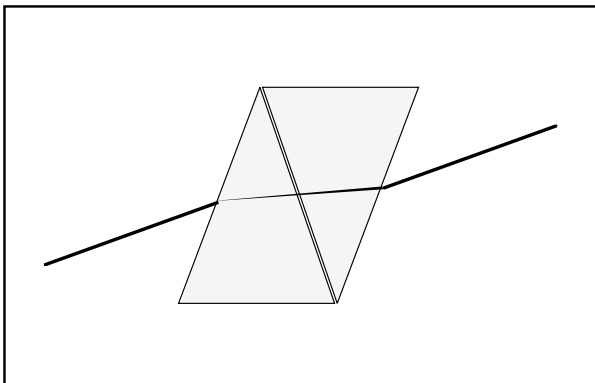


Fig. 21.7. Paragrafo 21.9, esercizio 2

Paragrafo 21.10

1. Vedi fig. 21.8
2. Vedi fig. 21.9

Paragrafo 21.8

1. Vedi fig. 21.4
2. Vedi fig. 21.5

Paragrafo 21.9

1. Vedi fig. 21.6
2. Vedi fig. 21.7

22. La formazione di immagini

Paragrafo 22.1

1. La diapositiva si vede male perché non disperde la luce che riceve. Per osservarla meglio la guardiamo sullo sfondo di una superficie luminosa omogenea, come il cielo o un foglio di carta ben illuminato.

2. La luce proveniente dal proiettore verrebbe riflessa da ogni punto dello specchio in una sola direzione. Con il proiettore vedremmo la parte opposta del locale.

Paragrafo 22.2

1. Nel nostro occhio la luce non viene dispersa.

2. Non vedremmo niente. La luce proveniente dalla sorgente puntiforme viene riflessa e finisce da qualche parte su una parete della camera oscura.

Paragrafo 22.3

1. Dati: $a = 100 \text{ m}$
 $b = 16 \text{ cm}$
 $B = 8 \text{ cm}$

Cercato: A

$$A = Ba/b = 50 \text{ m}$$

2. Dati: $A = 157 \text{ m}$
 $b = 20 \text{ cm}$
 $B = 2 \text{ cm}$

Cercato: a

$$a = Ab/B = 1570 \text{ m}$$

3. È alto 4 m.

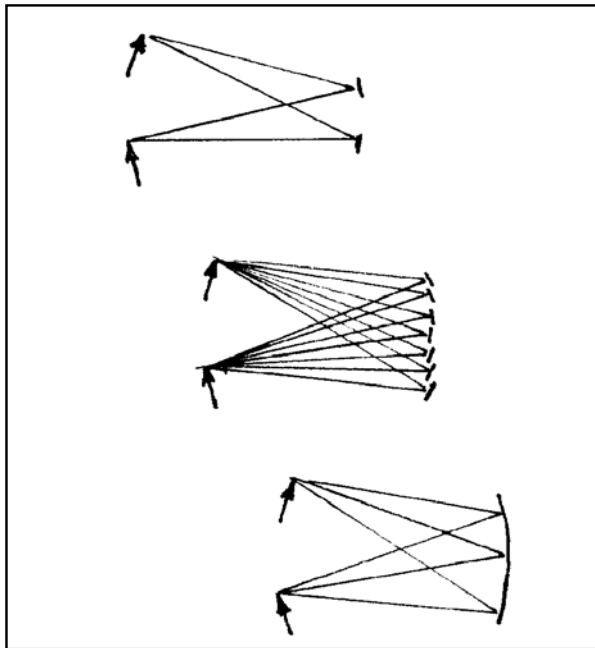


Fig. 22.1. Paragrafo 22.4

Paragrafo 22.4

Vedi fig. 22.1. Unendo tutti gli specchi otterremmo uno specchio concavo.

Paragrafo 22.6

Con la lente formiamo l'immagine della fiamma della candela posta molto distante dalla lente. La distanza dell'immagine corrisponde alla lunghezza focale.

Con una parte della luce della candela formiamo un fascio di luce parallela. La distanza tra lente e candela corrisponde alla lunghezza focale.

Paragrafo 22.8

1. -1 dt.

2. Per una lente vale

$$D = 1/f = 1/(0,4 \text{ m}) = 2,5 \text{ dt.}$$

Il potere diottrico delle due lenti combinate è 5 dt. Quindi per la lunghezza focale del sistema di lenti otteniamo $f = 1/(5 \text{ dt}) = 0,2 \text{ m}$.

3. $D_1 = 1 / (0,2\text{m}) = 5 \text{ dt}$, $D_2 = 1 / (0,5\text{m}) = 2 \text{ dt}$, $D_3 = -2 \text{ dt}$.

$$D = D_1 + D_2 + D_3 = 5 \text{ dt}$$

4. La combiniamo con una lente il cui potere diottrico sia conosciuto e positivo, in modo da ottenere un sistema di lenti con potere diottrico positivo. Misuriamo la lunghezza focale, e quindi il potere diottrico, del sistema. Dal potere diottrico del sistema sottraiamo il potere diottrico della seconda lente, ottenendo il potere diottrico cercato.

Paragrafo 22.11

1. Tempo di esposizione breve quando c'è molta luce; tempo di esposizione lungo quando c'è poca luce.

2. Diaframma poco aperto: grande profondità di campo; si può fare solo quando c'è molta luce. Diaframma molto aperto: poca profondità di campo; non c'è bisogno di molta luce.

3. Con il diaframma molto aperto la profondità di campo è ridotta; la regolazione della distanza deve essere effettuata con maggior cura.

5. Un grandangolare. Dal punto di vista del fotografo gli ospiti sono distribuiti su un angolo molto ampio.

6. Un teleobiettivo. Ci si allontana dalla persona fino a quando nell'immagine essa ci appare grande come con l'obiettivo normale. Rispetto alla lunghezza focale dei due obiettivi, ora le montagne appaiono più grandi.

7. Così un oggetto che riempie l'immagine di una macchina fotografica per piccolo formato riempirà anche l'immagine della macchina fotografica compatta.

8. Dati: $A = 10 \text{ m}$
 $a = 200 \text{ m}$
 $b = 50 \text{ mm (180 mm)}$
 Cercato: B

obiettivo normale: $B = 2,5 \text{ mm}$

teleobiettivo: $B = 9 \text{ mm}$

Paragrafo 22.13

1. Le lenti degli occhiali di un miope sono più sottili al centro che ai bordi, quelle di un presbite sono più spesse al centro.

2. L'immagine si può ottenere solo se sono gli occhiali di una persona presbite.

3. L'immagine ha la forma di un disco. È l'immagine del Sole.

Paragrafo 22.14

1. Grazie al condensatore tutta la luce che attraversa la diapositiva viene già condotta fino all'obiettivo. Più di così non si può fare.

2. Più grande è l'obiettivo, maggiore è la quantità di luce riflessa dall'originale che viene usata per formare l'immagine sulla parete.

3. In questo caso la distanza dell'oggetto è quasi uguale alla lunghezza focale. Con

$b = 5 \text{ m}$, $B = 2,40$, $A = 24 \text{ mm}$

si ottiene $a = f = 50 \text{ mm}$.

Paragrafo 22.15

1. Delle tremolanti strisce verticali.

2. Invece di 24 volte, interrompiamo il percorso della luce 48 volte al secondo. Ma solo durante un'interruzione su due la pellicola viene trascinata.

Paragrafo 22.18

1. Orientiamo l'antenna in modo da avere la miglior ricezione possibile. Dalla posizione dell'antenna possiamo dedurre la direzione nella quale si trova il satellite.

2. Il diametro del telescopio è circa 750 volte più grande di quello della pupilla. La sua superficie è $750^2 = 562\,500$ volte più grande. Quindi il telescopio raccoglie 562 500 volte più luce dell'occhio.

23. I colori

Paragrafo 23.1

1. Per esempio con un cubo. Tre spigoli perpendicolari tra loro formano gli assi per le coordinate corrispondenti a tonalità, saturazione e luminosità.

2. La scala della tonalità cromatica non ha né inizio né fine, è richiusa su se stessa. La scala della saturazione ha un inizio e una fine: comincia alla massima saturazione e finisce con il bianco. La scala della luminosità ha un inizio - oscurità totale - ma non una fine, visto che in teoria la luminosità della luce può essere aumentata a piacimento.

3. La misura degli angoli.

4.

	tonalità	luminosità	saturazione
panino	giallo-arancione	alta	media
cacao in polvere	rosso-arancione	bassa	forte
cioccolata	rosso-arancione	alta	debole
cola	arancione	molto bassa	media
carciofo	turchese	alta	debole
pelle	rosso-arancione	alta	debole
grondaia zincata	blu	media	molto debole
ruggine	rosso	bassa	media

Paragrafo 23.3

1.

	rosso	gialloverdo	blu
giallo	chiaro	chiaro	scuro
viola	chiaro	scuro	chiaro
rosa	chiaro	medio	medio
verde oliva	scuro	medio	scuro
ocra	chiaro	chiaro	medio
grigio scuro	medio	medio	medio

2. I colori a saturazione massima sul bordo del cerchio cromatico non si possono riprodurre. (Con l'eccezione dei tre colori di base dei pixel.)

Paragrafo 23.4

	arancione	turchese	porpora
rosso	chiaro	scuro	chiaro
blu	scuro	chiaro	chiaro
rosa	chiaro	medio	chiaro
bianco	chiaro	chiaro	chiaro
marrone	medio	scuro	scuro
nero	scuro	scuro	scuro

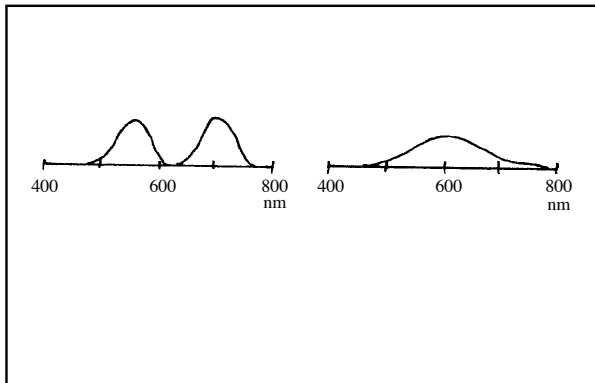


Fig. 23.1. Paragrafo 23.6, esercizio 1

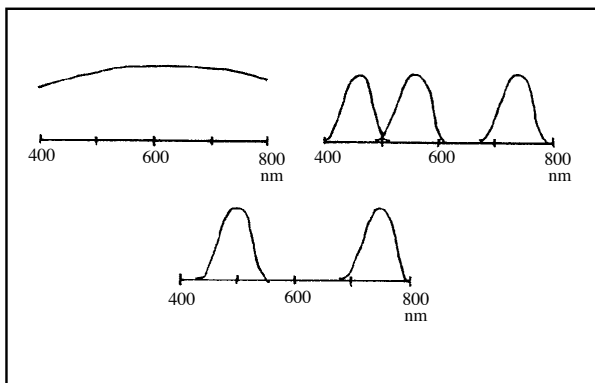


Fig. 23.2. Paragrafo 23.6, esercizio 2

Paragrafo 23.6

1. Vedi fig. 23.1
2. Vedi fig. 23.2

24. Trasformazioni di sostanze e potenziale chimico

Paragrafo 24.1

1.

$$\text{H}_2\text{O}: m/n = 18,01494 \text{ g/mol} \approx 0,018 \text{ kg/mol}$$

$$\text{O}_2: m/n = 31,998 \text{ g/mol} \approx 0,032 \text{ kg/mol}$$

$$\text{CO}_2: m/n = 44,009 \text{ g/mol} \approx 0,044 \text{ kg/mol}$$

$$\text{Ag}_2\text{S}: m/n = 247,804 \text{ g/mol} \approx 0,248 \text{ kg/mol}$$

$$\text{Pb}(\text{NO}_3)_2: m/n = 331,198 \text{ g/mol} \approx 0,331 \text{ kg/mol}$$

$$\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}: m/n = 342,296 \text{ g/mol} \approx 0,342 \text{ kg/mol}$$

$$2. m/n = 0,342 \text{ kg/mol}$$

$$n = \frac{m}{0,342 \text{ kg/mol}} = \frac{0,1 \text{ kg}}{0,342 \text{ kg}} \cdot \text{mol}$$

$$n = 0,29 \text{ mol}$$

3. 1 l d'acqua pesa 1 kg.

$$m/n = 0,018 \text{ kg/mol}$$

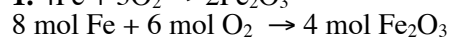
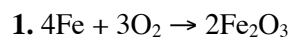
$$n = \frac{1 \text{ kg}}{0,018 \text{ kg}} \cdot \text{mol} = 55,5 \text{ mol}$$

4. Per il propano $m/n = 0,044 \text{ kg/mol}$

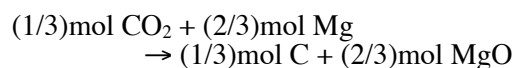
$$n = \frac{m}{0,044 \text{ kg/mol}}$$

$$= \frac{12 \text{ kg}}{0,044 \text{ kg}} \cdot \text{mol} = 273 \text{ mol}$$

Paragrafo 24.2

2. (a) Per C $m/n = 12,011 \text{ g/mol}$.

$$n = \frac{m}{12 \text{ g/mol}} = \frac{4 \text{ g}}{12 \text{ g}} \cdot \text{mol} = (1/3) \text{ mol}$$

(b) $\text{CO}_2: m/n = 44 \text{ g/mol}$

$$m = n \cdot 44 \text{ g/mol} = (1/3) \text{ mol} \cdot 44 \text{ g/mol} = 14,7 \text{ g}$$

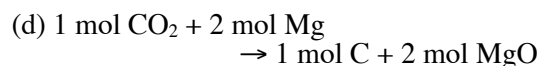
$$\text{Mg}: m/n = 24,3 \text{ g/mol}$$

$$m = n \cdot 24,3 \text{ g/mol} = (2/3) \text{ mol} \cdot 24,3 \text{ g/mol} = 16,2 \text{ g}$$

(c) $\text{CO}_2: n = (1/3) \text{ mol}$

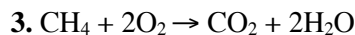
Numero di molecole:

$$(1/3) \cdot 6,022 \cdot 10^{23} = 2,0 \cdot 10^{23}$$



corrisponde a una trasformazione di 1 mol. Nel nostro caso ne viene trasformato 1/3.

$$\rightarrow n(\text{R}) = 1/3 \text{ mol}$$



→ Se ogni secondo si producono 2 mol d'acqua, il tasso di trasformazione è di 1 mol/s. Nel nostro caso se ne produce un ventesimo. → $I_{n(\text{R})} = 0,05 \text{ mol/s}$

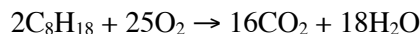
4. Dopo 100 km di strada si ottengono 10 L d'acqua. Visto che la velocità è 50 km/h e che 1 L d'acqua pesa 1 kg, i 10 kg d'acqua sono stati prodotti in 2 h:

$$t = 2 \text{ h} = 7200 \text{ s}$$

$$m = 10 \text{ kg}$$

Da $m/n = 0,018 \text{ kg/mol}$ segue

$$n = \frac{10 \text{ kg}}{0,018 \text{ kg}} \cdot \text{mol} = 555,56 \text{ mol}$$



18 mol d'acqua corrispondono a una trasformazione di 1 mol.

$$n(\text{R}) = \frac{555,56}{18} \text{ mol} = 30,86 \text{ mol}$$

$$I_{n(\text{R})} = \frac{n(\text{R})}{t}$$

$$= \frac{30,86 \text{ mol}}{7200 \text{ s}} = 0,00429 \text{ mol/s}$$

Paragrafo 24.3

1. Sostanze di sinistra: A, sostanze di destra: B.

(a) $\mu(\text{A}) - \mu(\text{B}) = 1138 \text{ kG}$

(b) $\mu(\text{A}) - \mu(\text{B}) = 117 \text{ kG}$

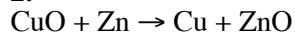
(c) $\mu(\text{A}) - \mu(\text{B}) = 3385,65 \text{ kG}$

(d) $\mu(\text{A}) - \mu(\text{B}) = -5797,78 \text{ kG}$

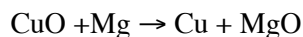
(e) $\mu(\text{A}) - \mu(\text{B}) = 188,62 \text{ kG}$

Le reazioni a, b, c ed e sono possibili, la reazione d no.

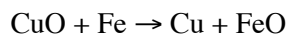
2.



$$\mu(\text{A}) - \mu(\text{B}) = 188,62 \text{ kG}$$

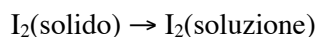


$$\mu(\text{A}) - \mu(\text{B}) = 439,26 \text{ kG}$$

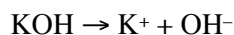


$$\mu(\text{A}) - \mu(\text{B}) = 115,44 \text{ kG}$$

3.



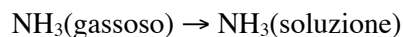
$$\mu(\text{A}) - \mu(\text{B}) = -16,40 \text{ kG}$$



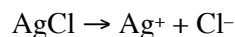
$$\mu(\text{A}) - \mu(\text{B}) = 61,5 \text{ kG}$$



$$\mu(\text{A}) - \mu(\text{B}) = 7,44 \text{ kG}$$



$$\mu(\text{A}) - \mu(\text{B}) = 10,09 \text{ kG}$$



$$\mu(\text{A}) - \mu(\text{B}) = -55,66 \text{ kG}$$

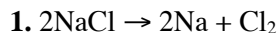
Solo di KOH, NH_4Cl e NH_3 si può ottenere una soluzione monomolare.

Paragrafo 24.5

3. La reazione è inibita. Altrimenti l'esplosivo scoppierebbe spontaneamente e non si potrebbe immagazzinare.

25. Quantità di sostanza ed energia

Paragrafo 25.2



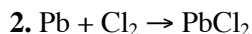
Per il sodio

$$m/n = 0,023 \text{ kg/mol}$$

$$n = \frac{1 \text{ kg}}{0,023 \text{ kg}} \text{ mol} = 43,5 \text{ mol}$$

$$\mu(\text{A}) - \mu(\text{B}) = 384 \text{ kG}$$

$$E = (\mu(\text{A}) - \mu(\text{B})) \cdot n = 384 \text{ kG} \cdot 43,5 \text{ mol} \\ = 16\,700 \text{ kJ} = 16,7 \text{ MJ}$$

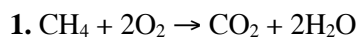


$$n = 2 \text{ mol}$$

$$\mu(\text{A}) - \mu(\text{B}) = 314 \text{ kG}$$

$$E = 2 \text{ mol} \cdot 314 \text{ kG} = 628 \text{ kJ}$$

Paragrafo 25.3



$$\mu(\text{A}) - \mu(\text{B}) = 818 \text{ kG}$$

$$P = (\mu(\text{A}) - \mu(\text{B})) \cdot I_{n(\text{R})} = 818 \text{ kG} \cdot 1 \text{ mol/s} \\ = 818 \text{ kJ/s} = 818 \text{ kW}$$

$$2. \mu(\text{A}) - \mu(\text{B}) = 394 \text{ kG}$$

$$(a) P = (\mu(\text{A}) - \mu(\text{B})) \cdot I_{n(\text{R})} \rightarrow$$

$$I_{n(\text{R})} = P/(\mu(\text{A}) - \mu(\text{B})) \\ = 100\text{W}/394 \text{ kG} = 0,00025 \text{ mol/s}$$

(b) Per il PbSO_4 $m/n = 303,25 \text{ g/mol}$.

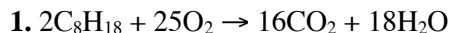
$$n = \frac{2000 \text{ g}}{303,25 \text{ g}} \text{ mol} = 6,6 \text{ mol}$$

$$n(\text{R}) = n/2 = 3,3 \text{ mol}$$

$$E = (\mu(\text{A}) - \mu(\text{B})) \cdot n(\text{R}) \\ = 394 \text{ kG} \cdot 3,3 \text{ mol} = 1300 \text{ kJ}$$

26. Bilancio termico delle reazioni

Paragrafo 26.1



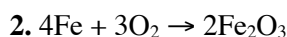
Per l'ottano $m/n = 114,2 \text{ g/mol}$.

$$n = \frac{1000 \text{ g}}{114,2 \text{ g}} \text{ mol} = 8,76 \text{ mol}$$

$$n(\text{R}) = n/2 = 4,38 \text{ mol}$$

$$\mu(\text{A}) - \mu(\text{B}) = 10592 \text{ kG}$$

$$S_{\text{prodotta}} = \frac{10592 \text{ kG}}{298 \text{ K}} \cdot 4,38 \text{ mol} = 156 \text{ kCt}$$



Per il ferro $m/n = 55,847 \text{ g/mol}$.

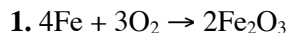
$$n = \frac{1000 \text{ g}}{55,847 \text{ g}} \text{ mol} = 17,9 \text{ mol}$$

$$n(\text{R}) = n/4 = 4,48 \text{ mol}$$

$$\mu(\text{A}) - \mu(\text{B}) = 2 \cdot 742,24 \text{ kG} = 1484,48 \text{ kG}$$

$$S_{\text{prodotta}} = \frac{1484,48 \text{ kG}}{298 \text{ K}} \cdot 4,48 \text{ mol} = 22,3 \text{ kCt}$$

Paragrafo 26.2



Consideriamo una reazione che trasformi 1 mol.

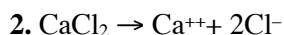
$$\mu(\text{A}) - \mu(\text{B}) = 1484,48 \text{ kG}$$

$$S_{\text{prodotta}} = \frac{1484,48 \text{ kG}}{298 \text{ K}} \cdot 1 \text{ mol} = 4980 \text{ Ct}$$

$$S(\text{A}) - S(\text{B}) = 549,41 \text{ Ct}$$

$$S(\text{A}) - S(\text{B}) + S_{\text{prodotta}} = 549 \text{ Ct} + 4980 \text{ Ct} = 5529 \text{ Ct}$$

Vengono ceduti 5529 Ct.



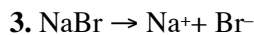
$$\mu(\text{A}) - \mu(\text{B}) = 65,37 \text{ kG}$$

$$S_{\text{prodotta}} = \frac{65,37 \text{ kG}}{298 \text{ K}} \cdot 1 \text{ mol} = 219,36 \text{ Ct}$$

$$S(\text{A}) - S(\text{B}) = 56,07 \text{ Ct}$$

$$S(\text{A}) - S(\text{B}) + S_{\text{prodotta}} = 275,43 \text{ Ct}$$

Restano 275,43 Ct per mole. La soluzione si scalda.



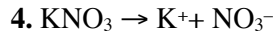
$$\mu(\text{A}) - \mu(\text{B}) = 16,6 \text{ kG}$$

$$S_{\text{prodotta}} = \frac{16,6 \text{ kG}}{298 \text{ K}} \cdot 1 \text{ mol} = 55,7 \text{ Ct}$$

$$S(\text{A}) - S(\text{B}) = 99,71 \text{ Ct}$$

$$S(\text{A}) - S(\text{B}) + S_{\text{prodotta}} = 155,4 \text{ Ct}$$

Restano 155,4 Ct per mole. La soluzione si scalda.



$$\mu(\text{A}) - \mu(\text{B}) = 1,47 \text{ kG}$$

$$S_{\text{prodotta}} = \frac{1,47 \text{ kG}}{298 \text{ K}} \cdot 1 \text{ mol} = 4,93 \text{ Ct}$$

$$S(\text{A}) - S(\text{B}) = -116,02 \text{ Ct}$$

$$S(\text{A}) - S(\text{B}) + S_{\text{prodotta}} = -111,09 \text{ Ct}$$

Per mantenere la temperatura mancano 111,09 Ct.

La soluzione si raffredda.

27. Fisica relativistica

Paragrafo 27.2

1. $E = 500 \text{ kJ}$

$$m = \frac{E}{k} = \frac{500 \text{ kJ}}{9 \cdot 10^{16} \text{ J/kg}} \approx 5,6 \cdot 10^{-12} \text{ kg}$$

Un'auto consuma circa 10 L/100 km, cioè circa 10 kg/100 km. Da $v = 100 \text{ km/h}$ segue che consuma circa 100 kg/h, o

$$100 \text{ kg/h} = 100 \text{ kg}/3600 \text{ s} \approx 3 \cdot 10^{-3} \text{ kg/s.}$$

Il processo di accelerazione dura circa 10 s. In quell'intervallo di tempo l'auto si alleggerisce di

$$3 \cdot 10^{-3} \text{ kg/s} \cdot 10 \text{ s} = 3 \cdot 10^{-2} \text{ kg.}$$

Questa diminuzione è circa $5 \cdot 10^9$ volte maggiore dell'aumento calcolato prima.

2. Su un metro quadrato, ogni secondo giungono 1000 J.

$$m = \frac{E}{k} = \frac{1000 \text{ J}}{9 \cdot 10^{16} \text{ J/kg}} \approx 1,1 \cdot 10^{-14} \text{ kg}$$

Quindi

$$\frac{m}{t} = 1,1 \cdot 10^{-14} \text{ kg/s}$$

e si ottiene

$$t = \frac{m}{1,1 \cdot 10^{-14} \text{ kg/s}} = \frac{0,001 \text{ kg}}{1,1 \cdot 10^{-14} \text{ kg/s}} = 0,9 \cdot 10^{11} \text{ s}$$

$$= 9000 \cdot 10^7 \text{ s} = 25 \cdot 10^6 \text{ h} \approx 10^6 \text{ d} \approx 2700 \text{ anni}$$

3.

$$m = \frac{E}{k} = \frac{3,8 \cdot 10^{23} \text{ J}}{9 \cdot 10^{16} \text{ J/kg}} \approx 4,2 \cdot 10^6 \text{ kg}$$

Ogni secondo il Sole perde $4,2 \cdot 10^6 \text{ kg}$.

28. Onde

Paragrafo 28.3

A differenza di una vera e propria onda, nell'onda dei tasselli del domino non viene trasportata energia dall'inizio alla fine della fila. Ogni tessera riceve l'energia dal campo gravitazionale.

Analogamente a una vera e propria onda, anche l'onda del domino ha un portatore e una velocità.

Paragrafo 28.4

1. Altalena: posizione e velocità dell'altalena.

Tram che viaggia avanti e indietro tra i due capolinea: posizione del tram.

Corda di violino: posizione e velocità del centro della corda.

Bosco: colore delle foglie durante l'anno.

Paragrafo 28.5

2. Da pochi millimetri a parecchi metri.

Paragrafo 28.6

1. $\lambda = v/f = (300 \text{ m/s})/440 \text{ Hz} = 0,7 \text{ m}$

2. $\lambda = v/f = (300 \text{ 000 km/s})/98,4 \text{ MHz} = 3 \text{ m}$

Paragrafo 28.7

1. Altoparlante, voce, strumenti musicali, temporale, esplosione.

2. 150 Hz

3. 15 m e 15 mm

4. La frequenza resta uguale, la lunghezza d'onda aumenta.

5. Circa 3000 m.

Paragrafo 28.8

1. Nel lampo scorre per breve tempo una corrente molto intensa. Il campo magnetico della corrente varia molto in fretta. Si allontana dal lampo, viaggia come un'onda e induce una corrente elettrica nell'antenna del televisore.

2. Antenna di emittenti radiofoniche e televisive, antenna parabolica delle torri per telecomunicazioni, forno caldo, sorgenti luminose, tubi a raggi X, sostanze radioattive.

Paragrafo 28.9

1. Il vento non è un'onda. Due "venti" non possono intersecarsi senza disturbo.

2. Qualcosa a metà strada tra un'onda normale e un'onda stazionaria: da un lato si nota una propagazione come in un'onda normale, dall'altro tutta l'onda diventa periodicamente più grande e più piccola, come un'onda stazionaria.

3. Dati: $l = 1 \text{ m}$
 $v = 6 \text{ m/s}$

$$\lambda_{\max} = 2l = 2 \text{ m}$$

Affinché si formino due nodi deve valere

$$l = 3/2\lambda, \text{ quindi } \lambda = 2/3l = 2/3 \text{ m.}$$

Da $v = \lambda f$ segue

$$f = v/\lambda = 9 \text{ Hz}$$

4. Se le onde oscillano "in fase": un'onda con ampiezza doppia rispetto all'ampiezza delle onde singole.

Se le onde oscillano "in controfase": annullamento totale e continuo.

29. Fotoni

Paragrafo 29.4

1.

$$\begin{aligned} \text{a) } E &= h \cdot f = 6,6 \cdot 10^{-34} \text{ Js} \cdot 9,84 \cdot 10^7 \text{ Hz} \\ &= 6,494 \cdot 10^{-26} \text{ J} \end{aligned}$$

$$p = \frac{h \cdot f}{c} = \frac{E}{c} = \frac{6,494 \cdot 10^{-26} \text{ J}}{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}} = 2,16 \cdot 10^{-34} \text{ Hy}$$

b)

$$E = \frac{h \cdot c}{\lambda} = \frac{6,6 \cdot 10^{-34} \text{ Js} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{1,5 \cdot 10^{-10} \text{ m}} = 1,32 \cdot 10^{-15} \text{ J}$$

$$p = \frac{h}{\lambda} = \frac{6,6 \cdot 10^{-34} \text{ Js}}{1,5 \cdot 10^{-10} \text{ m}} = 4,4 \cdot 10^{-24} \text{ Hy}$$

$$\text{c) } E_{\text{SWF3}}/E_{\text{visibile}} = p_{\text{SWF3}}/p_{\text{visibile}} \approx 10^{-7}$$

$$E_X/E_{\text{visibile}} = p_X/p_{\text{visibile}} \approx 10^4$$

2. a) Dal getto d'acqua alla palla scorre una corrente di quantità di moto negativa (direzione positiva verso l'alto). La quantità di moto positiva che riceve dal campo gravitazionale e quella negativa dal getto d'acqua si annullano.

b) Dal raggio di luce alla pallina scorre una corrente di quantità di moto negativa. La quantità di moto positiva che riceve dal campo gravitazionale e quella negativa dal raggio di luce si annullano.

c) Ogni secondo la pallina riceve

$$p = 7 \cdot 10^{-11} \text{ Hy}$$

dal campo gravitazionale.

Un fotone porta (vedi testo per studenti)

$$p_{\text{fotone}} = 8,25 \cdot 10^{-28} \text{ Hy.}$$

$$n = \frac{p}{p_{\text{fotone}}} = \frac{7 \cdot 10^{-11}}{8,25 \cdot 10^{-28}} \approx 10^{17}$$

Ogni secondo la pallina deve essere colpita da circa 10^{17} fotoni. (Il numero esatto dipende da come la luce viene riflessa dalla pallina.)

30. Atomi

Paragrafo 30.1

$$\frac{12\,000 \text{ km}}{50\,000} = 0,24 \text{ km} = 240 \text{ m}$$

Paragrafo 30.4

1.

$$E = \frac{h \cdot c}{\lambda} = \frac{6,6 \cdot 10^{-34} \text{ Js} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{2,85 \cdot 10^{-7} \text{ m}} = 6,95 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

2. L'energia di ionizzazione dell'atomo di sodio è $0,8 \cdot 10^{-18} \text{ J}$ (vedi testo per studenti).

$$\begin{aligned} \lambda &= \frac{h \cdot c}{E} = \frac{6,6 \cdot 10^{-34} \text{ Js} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{0,8 \cdot 10^{-18} \text{ J}} = 2,475 \cdot 10^{-7} \text{ m} \\ &= 247,5 \text{ nm} \end{aligned}$$

Si tratta di luce UV.

31. Corpi solidi

Paragrafo 31.2

$$m/n = 58,5 \text{ g/mol}$$

$$\rho = m/V = 2,16 \text{ g/cm}^3$$

$$\frac{m/V}{m/n} = \frac{n}{V} = \frac{2,16 \text{ mol}}{58,5 \text{ cm}^3} = 0,0369 \text{ mol/cm}^3$$

$$= 36,9 \cdot 10^{-6} \text{ mol/mm}^3$$

1 mol corrisponde a $6,02 \cdot 10^{23}$ particelle

Z = numero di particelle

$$\frac{Z_{\text{NaCl}}}{V} = 2,2 \cdot 10^{19} \frac{\text{molecole}}{\text{mm}^3} = 4,4 \cdot 10^{19} \frac{\text{atomi}}{\text{mm}^3}$$

Paragrafo 31.10

Con il polo negativo all'elettrodo di controllo.

32. Nuclei atomici

Paragrafo 32.1

$$1. \quad V_A = 8 \cdot V_B$$

$$r_A = 2 \cdot r_B$$

$$2. \quad \rho = 10^{14} \text{ g/cm}^3 = 10^{17} \text{ kg/m}^3$$

$$r = 5000 \text{ m}$$

$$V = \frac{4}{3} \pi r^3 \approx 5 \cdot 10^{12} \text{ m}^3$$

$$m = \rho \cdot V = 10^{17} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 5 \cdot 10^{12} \text{ m}^3 = 5 \cdot 10^{29} \text{ kg}$$

Paragrafo 32.2

2. Per gli elementi leggeri il rapporto tra il numero di protoni e di neutroni è circa 1, per gli elementi pesanti è minore di 1.

3. Ci sono circa 286 nuclidi stabili.

4. Il nuclide stabile più pesante è l'uranio ${}_{92}^{238} \text{U}$.

5. Gli isotopi stabili del neon sono: ${}_{10}^{20} \text{Ne}$, ${}_{10}^{21} \text{Ne}$ e ${}_{10}^{22} \text{Ne}$.

6. Tecnezio (numero atomico 43).

7. Lo xenon ha 36 isotopi, 9 dei quali sono stabili.

Paragrafo 32.3

$$1. \quad m_{\text{Tl}} = 350 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 3,5 \cdot 10^{-25} \text{ kg}$$

$$a) \quad E = 10^{-18} \text{ J}$$

$$m_{\text{eccitazione}} = \frac{E}{k} = \frac{10^{-18}}{9 \cdot 10^{16} \text{ J/kg}} \approx 10^{-35} \text{ kg}$$

$$\frac{m_{\text{eccitazione}}}{m_{\text{Tl}}} = \frac{10^{-35}}{3,5 \cdot 10^{-25}} \approx 3 \cdot 10^{-11}$$

$$b) \quad E = 10^{-14} \text{ J}$$

$$m_{\text{eccitazione}} = \frac{E}{k} = \frac{10^{-14}}{9 \cdot 10^{16} \text{ J/kg}} \approx 10^{-31} \text{ kg}$$

$$\frac{m_{\text{eccitazione}}}{m_{\text{Tl}}} = \frac{10^{-31}}{3,5 \cdot 10^{-25}} \approx 3 \cdot 10^{-7}$$

2. L'ordine di grandezza di 1 mol di sostanza è 100 g. A causa dell'eccitazione la sostanza diventa più pesante di $1/10^7$, in altre parole la sua massa varia di $100\text{g}/10^7 = 10 \mu\text{g}$. Ma nella migliore delle ipotesi la bilancia della scuola reagisce a variazioni di almeno $100 \mu\text{g}$.

Paragrafo 32.4

2. Di solito aggiungendo un neutrone a un nucleo si guadagna energia. Solo con l'elio ${}^4_2\text{He}$ si deve aggiungere energia.

Paragrafo 32.7

2. $p + \bar{p} \rightarrow e + \bar{e}$

$$p + \bar{p} \rightarrow 2e + 2\bar{e}$$

$$p + \bar{p} \rightarrow n + \bar{n}$$

Paragrafo 32.8

1.

		pn	→	p + n
$-E_S$		-0,36		0
ΔE				-0,36 pJ

		pn	→	2p + e + $\bar{\nu}$
E di riposo	n	150,525	p	150,320
particelle			e	0,082
$-E_S$		-0,36		0
somma		150,165		150,402
ΔE				-0,237 pJ

		pn	→	2n + \bar{e} + ν
E di riposo	p	150,320	n	150,525
particelle			\bar{e}	0,082
$-E_S$		-0,36		0
somma		149,96		150,607
ΔE				-0,647 pJ

Il deuterio non può decadere in nessuno dei tre modi proposti.

2.

		$P_{19}n_{21}$	→	$P_9n_{11} + P_{10}n_{10}$
$-E_S$		-54,72		-24,74 -25,74
somma		-54,72		-50,48
ΔE				-4,24 pJ

		$P_{19}n_{21}$	→	$P_2n_2 + P_{17}n_{19}$
$-E_S$		-54,72		-4,53 -49,15
somma		-54,72		-53,68
ΔE				-1,04 pJ

		$P_{19}n_{21}$	→	$P_{20}n_{20} + e + \bar{\nu}$
E di riposo	n	150,525	p	150,320
particelle			e	0,082
$-E_S$		-54,72		-54,80
somma		95,805		95,602
ΔE				0,203 pJ

		$P_{19}n_{21}$	→	$P_{18}n_{22} + \bar{e} + \nu$
E di riposo	p	150,320	n	150,525
particelle			\bar{e}	0,082
$-E_S$		-54,72		-55,08
somma		95,6		95,527
ΔE				0,073 pJ

Le ultime due reazioni rappresentano un possibile decadimento dell'isotopo di potassio.

3.

		P_6n_8	→	$P_2n_4 + P_4n_4$
$-E_S$		-16,87		-4,69 -9,05
somma		-16,87		-13,74
ΔE				-3,13 pJ

		P_6n_8	→	$2P_3n_4$
$-E_S$		-16,87		-2 · 6,29
somma		-16,87		-12,58
ΔE				-4,29 pJ

Nessuna delle due reazioni è possibile.

4.

		4p	→	$P_2n_2 + 2\bar{e} + 2\nu$
E di riposo	p	2 · 150,320	n	2 · 150,525
particelle			\bar{e}	2 · 0,082
$-E_S$		0		-4,53
somma		300,64		296,684
ΔE				3,956 pJ

Oltre al nucleo di elio vengono prodotti anche due antielettroni e due neutrini.

Paragrafo 32.9

1. a)

$P_{29}n_{32} \rightarrow P_{30}n_{31} + e + \bar{\nu}$			
E di riposo	n	150,525	p 150,320
particelle			e 0,082
$-E_S$		-85,18	-84,15
somma		65,345	66,252
ΔE			-0,907 pJ

$P_{29}n_{32} \rightarrow P_{28}n_{33} + \bar{e} + \nu$			
E di riposo	p	150,320	n 150,525
particelle			\bar{e} 0,082
$-E_S$		-85,18	-85,66
somma		65,345	64,947
ΔE			0,398 pJ

$P_{29}n_{32} \rightarrow P_{27}n_{30} + P_2n_2$			
$-E_S$		-85,18	-79,83 -4,53
somma		-85,18	-84,36
ΔE			-0,82 pJ

Il decadimento del ${}^{61}_{29}\text{Cu}$ produce un \bar{e} .

b)

$P_{29}n_{37} \rightarrow P_{30}n_{36} + e + \bar{\nu}$			
E di riposo	n	150,525	p 150,320
particelle			e 0,082
$-E_S$		-92,33	-92,63
somma		58,195	57,772
ΔE			0,423 pJ

$P_{29}n_{37} \rightarrow P_{28}n_{38} + \bar{e} + \nu$			
E di riposo	p	150,320	n 150,525
particelle			\bar{e} 0,082
$-E_S$		-92,33	-92,42
somma		57,99	58,187
ΔE			-0,197 pJ

$P_{29}n_{37} \rightarrow P_{27}n_{35} + P_2n_2$			
$-E_S$		-92,33	-86,63 -4,53
somma		-92,33	-91,16
ΔE			-1,17 pJ

Il decadimento del ${}^{66}_{29}\text{Cu}$ produce un e .

c) Il decadimento nel quale viene prodotto un elettrone non può essere esaminato perché la tabella non riporta l'energia di separazione del $p_{91}n_{137}$.

$P_{90}n_{138} \rightarrow P_{89}n_{139} + \bar{e} + \nu$			
E di riposo	p	150,320	n 150,525
particelle			\bar{e} 0,082
$-E_S$		-279,27	-279,05
somma		-128,95	-128,443
ΔE			-0,507 pJ

$P_{90}n_{138} \rightarrow P_{88}n_{136} + P_2n_2$			
$-E_S$		-279,27	-275,62 -4,53
somma		-279,27	-280,15
ΔE			0,88 pJ

Il decadimento del ${}^{228}_{90}\text{Th}$ produce un ${}^4_2\text{He}_N$.

2.

$P_{26}n_{29}e_{26} \rightarrow P_{25}n_{30}e_{25} + \nu$		
carica elett.	26 - 26	25 - 25
carica bar.	26 + 29	25 + 30
carica lept.	26	25 + 1

Un elettrone del guscio reagisce con un neutrone del nucleo. Il neutrone prodotto resta nel nucleo, il neutrino lascia l'atomo e si allontana.

3.

a) A è sopra la linea dei nuclidi stabili. B è sotto a destra in diagonale rispetto ad A.

b) C è sotto la linea dei nuclidi stabili. D è sopra a sinistra in diagonale rispetto a C.

c) Nella carta dei nuclidi E è in alto a destra. F è due posti sotto e due posti a sinistra di E.

Paragrafo 32.10

${}^{238}_{92}\text{U}$: 99,28%

${}^{235}_{92}\text{U}$: 0,72%

$$\frac{m}{n} = 238 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

$$n_{\text{totale}} = \frac{m}{238 \text{ g/mol}} = \frac{1 \text{ kg}}{0,238 \text{ kg}} \text{ mol} = 4,2 \text{ mol}$$

$$n_{235} = 0,072 \cdot 4,2 \text{ mol} = 0,3024 \text{ mol}$$

$$I_n = 5,76 \cdot 10^5 \text{ Bq} = 5,76 \cdot 10^5 \cdot \frac{1}{6} \cdot 10^{-23} \frac{\text{mol}}{\text{s}}$$

$$= 0,96 \cdot 10^{-18} \text{ mol/s}$$

Indichiamo con n' l'1% della quantità di ${}^{235}_{92}\text{U}$.

$$t = \frac{n'}{I_n} = \frac{3 \cdot 10^{-4} \text{ mol}}{0,96 \cdot 10^{-18} \text{ mol/s}} = 3,125 \cdot 10^{14} \text{ s}$$

$$= 0,868 \cdot 10^{11} \text{ h} = 3,6 \cdot 10^9 \text{ d} = 10^7 \text{ anni}$$

Paragrafo 32.11

1. 25 000 anni

2. 6 anni

3. 1 mese

4.

0 anni A: 100% B: 0% C: 0%

2 anni A: 0% B: 100% C: 0%

1 000 000 anni A: 0% B: 0% C: 100%

5. Anche il tasso di trasformazione è dimezzato.

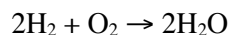
Paragrafo 32.12

1. Vedi esercizio 4 del paragrafo 32.8. Nella formazione di un nucleo di ${}^4_2\text{He}$ l'energia ceduta equivale a 3,956 pJ.

1 mol contiene $6,022 \cdot 10^{23}$ nuclei. Quindi l'energia E_{He} ceduta nella formazione di 1 mol è:

$$E_{\text{He}} = 6,022 \cdot 10^{23} \cdot 3,956 \cdot 10^{-12} \text{ J} = 2,38 \cdot 10^{12} \text{ J}$$

Confrontiamo con la reazione



La tensione chimica della reazione è:

$$\mu(\text{A}) - \mu(\text{B}) = 474,36 \text{ kG}$$

Se viene bruciata 1 mol di H_2 la trasformazione della reazione è $n(\text{R}) = 0,5$ mol. Quindi l'energia E_{H} ceduta è:

$$E_{\text{H}} = [\mu(\text{A}) - \mu(\text{B})] \cdot n(\text{R})$$

$$= 474,36 \cdot 0,5 \text{ kJ} = 237 \text{ kJ}$$

Il rapporto delle due energie è:

$$\frac{E_{\text{He}}}{E_{\text{H}}} = \frac{2,38 \cdot 10^{12} \text{ J}}{2,37 \cdot 10^5 \text{ J}} \approx 10^7$$

2. La corrente di energia media in un corpo umano è di 100 W. Quasi tutta l'energia è usata per produrre entropia. Come volume di un corpo umano prendiamo 100 L, quindi otteniamo:

$$\frac{P}{V} = 1 \frac{\text{W}}{\text{L}}$$

Per il Sole

$$\frac{P}{V} = 0,01 \frac{\text{W}}{\text{L}}$$

Quindi 1 L di corpo umano emette 100 volte più energia di 1 L di Sole.

Paragrafo 32.13

1. La produzione di energia nella reazione di decadimento dell'uranio è stata calcolata a pag. 100 del testo per studenti:

$$\Delta E_{\text{uranio}} = 32,07 \text{ pJ.}$$

		$\text{P}_{56}\text{n}_{85} \rightarrow \text{P}_{57}\text{n}_{84} + e + \bar{\nu}$	
E di riposo	n	150,525	p 150,320
particelle			e 0,082
$-E_{\text{S}}$		-188,09	-188,49
somma		-37,565	-38,088
ΔE		0,523 pJ	

$$\Delta E_{\text{bario}} = 0,523 \text{ pJ}$$

$$\frac{\Delta E_{\text{uranio}}}{\Delta E_{\text{bario}}} = \frac{32,07}{0,523} \approx 61$$

2.

	Ba	La	Ce	Pr
30 s	molto	poco	molto poco	molto poco
18 min	medio	medio	poco	molto poco
5 d	molto poco	poco	molto	poco
1 a	molto poco	molto poco	poco	molto