

Europa-Gymnasium Wörth
Abiturprüfung 2012
Leistungskurs Physik LK2

Aufgabe III: Die Erdatmosphäre

Leistungsfachanforderungen

Hilfsmittel

Formelsammlung (war im Unterricht erstellt worden)

Taschenrechner

Aufgabe III:

Die Erdatmosphäre

1. Das natürliche Temperaturgefälle

In einem Hochdruckgebiet strömt Luft aus größerer Höhe nach unten. Wir betrachten eine Luftportion, die aus 1200 m Höhe über NN (Meeresspiegel) zum Boden auf 200 m über NN absinkt. Der Druck in 1200 m Höhe ist 87 200 Pa und am Boden 98 800 Pa. Die Temperatur am Boden beträgt 24 °C. Wie verhalten sich bei diesem Vorgang

– die Entropie;

– die Temperatur

der Luftportion? Begründen und/oder berechnen Sie.

2. Der Gasdruck

Zum Gasdruck: Begründen Sie mit Argumenten einer mikroskopischen Betrachtungsweise, dass der Druck in einem Gas nur positive Werte haben kann. In welche Richtung fließt der Impulsstrom in einem Gas? Skizze.

3. Die Ionosphäre

Die Ionosphäre beginnt in einer Höhe von etwa 100 km Höhe und ist positiv elektrisch geladen. Die Gegenladung befindet sich auf der Erde. Gewitter sorgen dafür, dass die Ionosphäre ständig nachgeladen wird. Ionosphäre und Erde bilden eine Art Kondensator. Schätze dessen Kapazität ab. (Erdradius ≈ 6400 km). Die elektrische Spannung zwischen Ionosphäre und Erde beträgt 300 000 V. Welche elektrische Ladung sitzt in der Ionosphäre? Zwischen Ionosphäre und Erde fließt ständig der so genannte Schönwetterstrom. Er beträgt global etwa 1500 A. Wie groß ist die entsprechende Stromdichte? Berechne die Leitfähigkeit der Luft.

4. Gewitter

Ein Blitz habe einen Durchmesser von 2 cm. Die Temperatur der (ionisierten) Luft im Blitz betrage 20 000 K. Im Blitz fließe ein elektrischer Strom von 15 000 A.

4.1 Wie hoch ist der Druck dieses Plasmas (in bar)?

In der kurzen Zeit, in der der elektrische Strom durch das Plasma fließt, hatte dieses noch keine Zeit, sich auszudehnen. Für das molare Volumen (Stoffmenge durch Volumen) nehmen wir vereinfachend den Wert von n/V für normale Luft.

4.2 Wie groß ist der Druck des entsprechenden magnetischen Feldes (in bar) direkt an der Oberfläche des Plasmas? Reicht er, um das Gas zusammenzuhalten?

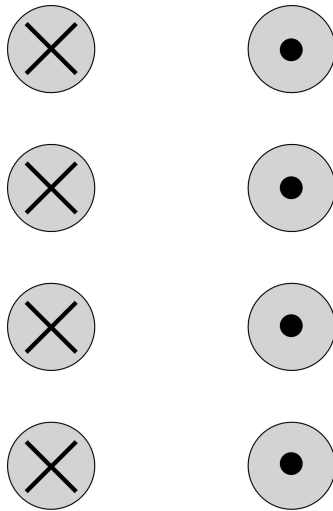


Abb. 1

4.3 Erläutern Sie die Druck- und Zugspannungen in elektrischen und magnetischen Feldern. Abbildung 1 zeigt elektrische Leitungen, die senkrecht zur Zeichenebene stehen. Die Stärke des elektrischen Stroms ist in allen gleich, nur fließt er in den linken in die Zeichenebene hinein, in den rechten aus der Zeichenebene heraus. Zeichnen Sie Feldlinien und Feldflächen ein. In welche Richtung werden die Leiter gedrückt oder gezogen?

4.4 Wie kommt die hohe Spannung innerhalb einer Gewitterwolke zustande? Erläutern Sie an Hand einer geeigneten Formel.

4.5 Bei einem Gewitter sieht man den Blitz nur, wenn eine geradlinige „Sichtverbindung“ zum Blitz besteht. Den Donner hört man aber auch, wenn es keine solche Verbindung gibt. Erklären Sie und begründen Sie den Unterschied (Skizze).

4.6 Der eine der beiden Kondensatoren (gleiche Kapazität) von Abbildung 2 ist geladen, der andere ungeladen. Nun wird der Schalter geschlossen. Wie verteilt sich die elektrische Ladung auf die beiden Kondensatoren? Was ist zur Energiebilanz zu sagen?

Skizzieren Sie ein analoges Experiment, bei dem der Drehimpuls die Rolle der elektrischen Ladung übernimmt.

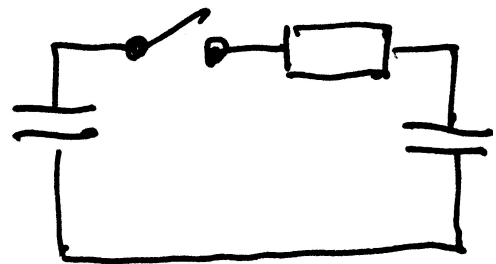


Abb. 2

Relativistische Physik

5. Willy und Lilly leben in einem 400 m hohen Hochhaus. Willy wohnt ganz oben, Lilly ganz unten. Die Relativitätstheorie sagt uns, dass Willy und Lilly im Prinzip Probleme haben, wenn sie sich verabreden wollen. Welche? Machen Sie eine quantitative Aussage darüber, wie groß der Effekt ist.

Schwingungen

6. Abbildung 3 zeigt 5 Körper, die durch Federn miteinander und mit der Wand rechts und links verbunden sind. Sie können sich nur in der Waagrechten bewegen. Welche Eigenschwingungen kann das System ausführen? Skizzieren Sie qualitativ die Resonanzkurve. Wie nimmt man eine Resonanzkurve auf?

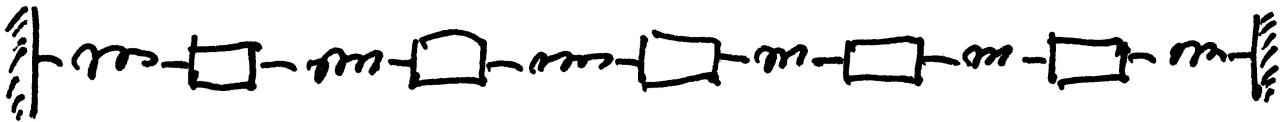


Abb. 3

Lösungsskizze

1

Die Entropie:

Sie bleibt bei dem Vorgang konstant. Sie kann nicht zu- oder abfließen, da die Luft ein sehr schlechter Wärmeleiter ist. Außerdem findet keine Reibung statt, sodass auch keine Entropie erzeugt wird.

Die Temperatur:

$$\frac{T}{T_0} = \left(\frac{p}{p_0} \right)^{\frac{\beta}{1+\beta}}$$

$\beta = 0,4$ (Wert in Tabelle der Formelsammlung)

$$T_0 = (273 + 24) \text{ K} = 297 \text{ K}$$

$$p_0 = 98\,800 \text{ Pa}$$

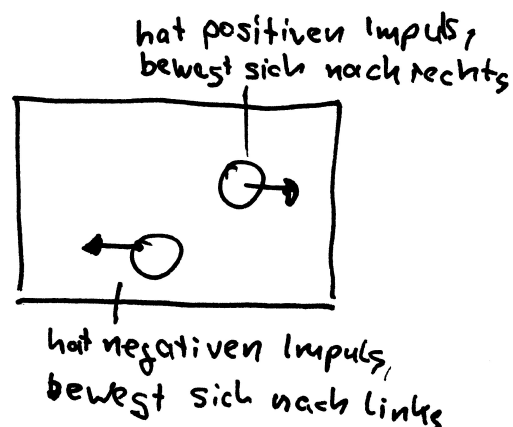
$$p = 87\,200 \text{ Pa}$$

$$T = T_0 \cdot \left(\frac{p}{p_0} \right)^{\frac{\beta}{1+\beta}} = 297 \text{ K} \cdot \left(\frac{87\,200}{98\,800} \right)^{\frac{0,4}{1+0,4}} = 286,6 \text{ K} \approx 287 \text{ K}$$

Beim Absinken der Luftportion nimmt die Temperatur von 287 K auf 297 K, also um 10 °C zu.

2

Ein Molekül, das sich nach rechts bewegt, transportiert positiven Impuls nach rechts. Ein Molekül, das sich nach links bewegt, transportiert negativen Impuls nach links und das kommt von der Bilanz her auf dasselbe heraus, wie der Transport von positivem Impuls nach rechts. Beide Arten von Molekülen verursachen also einen Impulsfluss nach rechts. Impulsstrom nach rechts bedeutet Druck. Das Entsprechende gilt für die beiden anderen Raumrichtungen.



3

$$d = 100 \text{ km}$$

$$r = 6400 \text{ km}$$

$$U = 300\,000 \text{ V}$$

$$I = 1500 \text{ A}$$

$$A = 4 \cdot \pi \cdot (6400 \text{ km})^2 = 514,7 \cdot 10^{12} \text{ m}^2$$

$$C = \varepsilon_0 \frac{A}{d} = 8,854 \cdot 10^{-12} \frac{\text{As}}{\text{Vm}} \cdot \frac{514,7 \cdot 10^{12} \text{ m}^2}{100 \text{ km}} = 45,6 \text{ mF}$$

$$Q = C \cdot U = 45,6 \text{ mF} \cdot 300\,000 \text{ V} = 13\,700 \text{ C}$$

$$j = \frac{I}{A} = \frac{1500 \text{ A}}{514,7 \cdot 10^{12} \text{ m}^2} = 2,91 \cdot 10^{-12} \text{ A/m}^2$$

$$E = \frac{U}{d} = \frac{300\,000 \text{ V}}{100 \text{ km}} = 3 \text{ V/m}$$

$$j = \sigma \cdot E \rightarrow \sigma = \frac{j}{E} = \frac{2,91 \cdot 10^{-12} \text{ A/m}^2}{3 \text{ V/m}} = 0,97 \cdot 10^{-12} \frac{1}{\Omega\text{m}}$$

4

$$d = 2 \text{ cm}$$

$$T = 20\,000 \text{ K}$$

$$I = 15\,000 \text{ A}$$

4.1

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

$$p = \frac{n}{V} \cdot R \cdot T = \frac{1 \text{ mol}}{25 \text{ l}} \cdot 8,31 \frac{\text{Ct}}{\text{mol}} \cdot 20\,000 \text{ K} = 6,65 \cdot 10^6 \text{ Pa} = 66,5 \text{ bar}$$

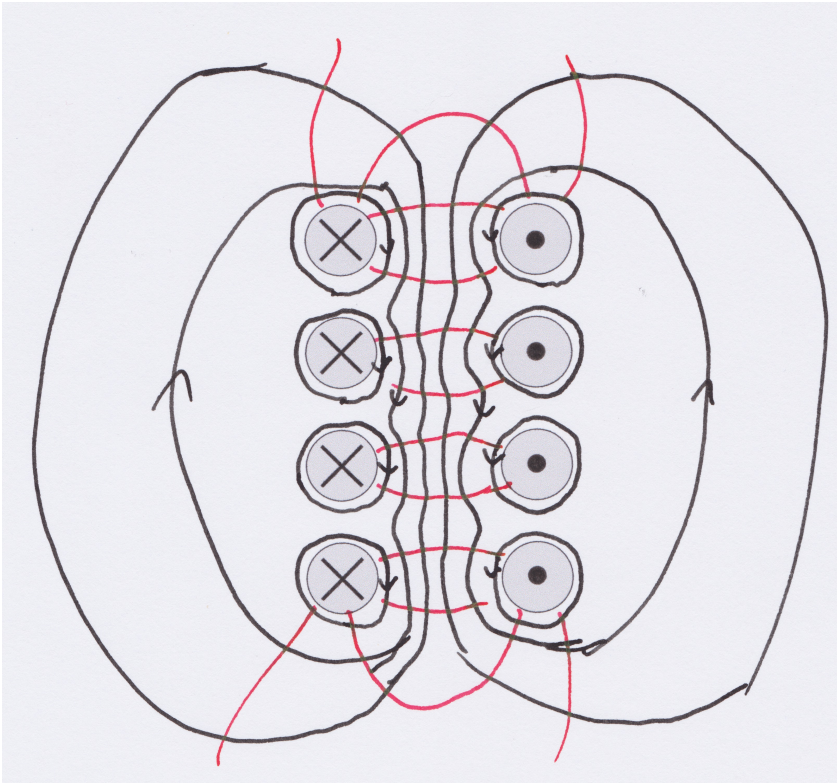
4.2

$$H = \frac{I}{\ell} = \frac{15\,000 \text{ A}}{\pi \cdot 0,02 \text{ m}} = 2,4 \cdot 10^5 \text{ A/m}$$

$$\sigma = \frac{\mu_0}{2} H^2 = \frac{1,257 \cdot 10^{-6}}{2} \cdot 2,4^2 \cdot 10^{10} \text{ Pa} = 3,62 \cdot 10^4 \text{ Pa} = 0,36 \text{ bar}$$

Der Druck des magnetischen Feldes (0,36 bar) ist viel zu klein, um das Gas, das einen Druck von 66,5 bar hat, zusammenzuhalten.

4.3



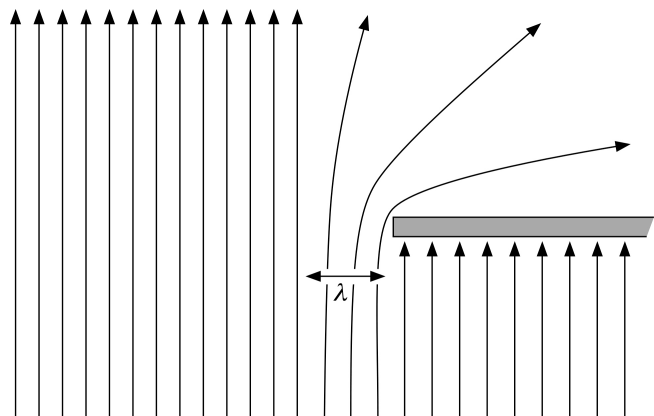
In elektrischen und magnetischen Feldern herrscht Zugspannung in Richtung der Feldlinien und Druckspannung quer dazu, d.h. in den Richtungen, die in den Feldflächen liegen. Die Leiter werden in horizontaler Richtung voneinander weg und in vertikaler Richtung zueinander hin gedrückt.

4.4

In der Regenwolke laden sich die Tröpfchen auf, die einen positiv, die anderen negativ, wobei die einen größer, die anderen kleiner sind. Der starke Aufwind trennt die großen von den kleinen Tropfen: die großen fallen nach unten, die kleinen werden nach oben mitgenommen. Damit werden auch die Ladungen räumlich getrennt. Der Vorgang ist ähnlich wie wenn man bei einem Kondensator bei konstanter Ladung die Platten voneinander entfernt. Dabei nimmt die Kapazität ab, und nach der Gleichung $Q = C \cdot U$ nimmt die Spannung zu.

4.5

Wellen werden an Hindernissen gebeugt. Es wird der Teil der Welle abgelenkt, der in einem Abstand von etwa einer Wellenlänge am Rand des Hindernisses vorbeikommt. Das ist bei Licht wegen der kleinen Wellenlänge (400 nm - 800 nm) sehr wenig, bei Schall, der eine große Wellenlänge hat (cm bis m), viel mehr.

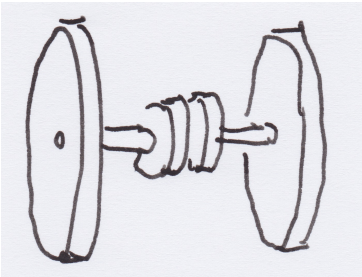


4.6

Kondensator 1	Kondensator 2	zusammen
<i>vorher :</i>		
$Q = Q_0$	$Q = 0$	$Q = Q_0$
$E = \frac{Q_0^2}{2C}$	$E = 0$	$E = \frac{Q_0^2}{2C}$
<i>nachher :</i>		
$Q = Q_0/2$	$Q = Q_0/2$	$Q = Q_0$
$E = \frac{(Q_0/2)^2}{2C} = \frac{Q_0^2}{8C}$	$E = \frac{(Q_0/2)^2}{2C} = \frac{Q_0^2}{8C}$	$E = \frac{Q_0^2}{4C}$

Die Energie in den Kondensatoren hat auf die Hälfte abgenommen. Mit der fehlenden Energie wurde im Widerstand Entropie erzeugt.

Zwei Schwungräder: Am Anfang dreht sich das eine, das andere dreht sich nicht, d.h. eins hat Drehimpuls, das andere nicht. Die Schwungräder werden durch eine Rutschkupplung miteinander verbunden. Drehimpuls fließt vom einen zum anderen bis die Winkelgeschwindigkeiten gleich sind. Die Energie in den Schwungrädern ist am Ende nur halb so groß wie am Anfang. Mit der fehlenden Hälfte wurde in der Rutschkupplung Entropie erzeugt.



5

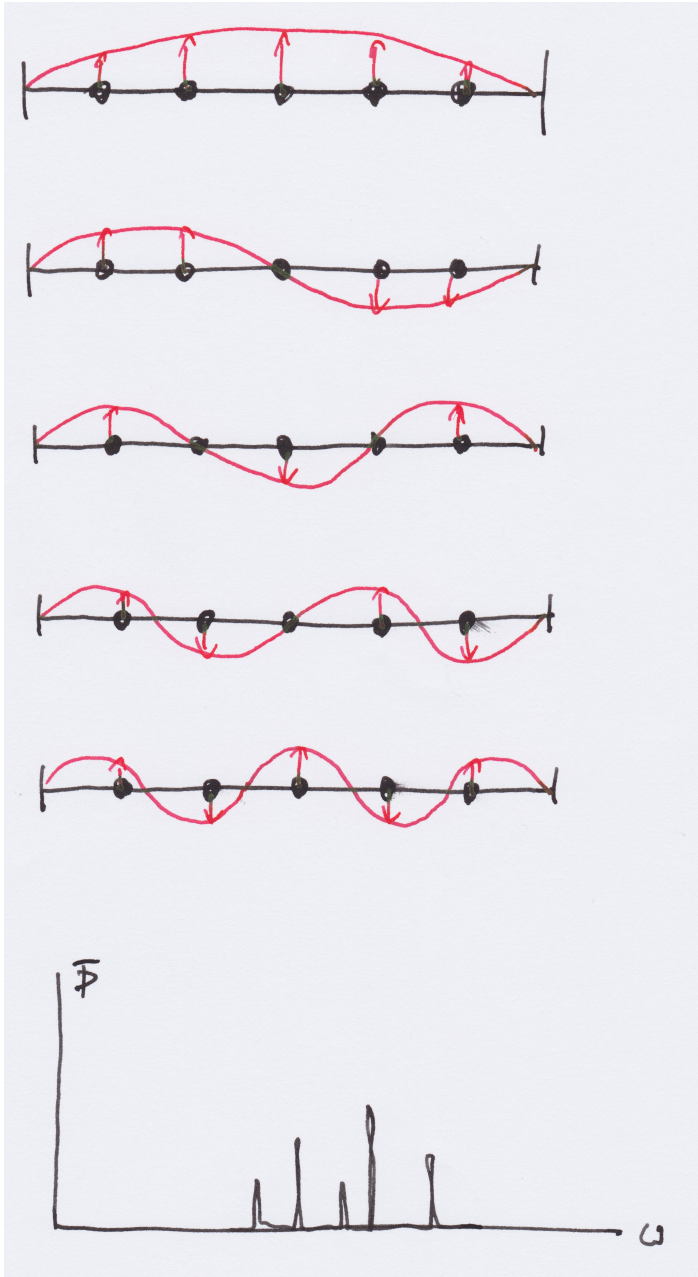
Bei Willy vergeht die Zeit schneller. Das müsste er berücksichtigen, wenn er sich mit Lilly verabredet. Der Effekt ist hier aber sehr, sehr klein:

$$\Delta\Psi = g \cdot \Delta h$$

$$\frac{\Delta f}{f} = \frac{\Delta\Psi}{k} = \frac{g \cdot \Delta h}{k} = \frac{10 \text{ N/kg} \cdot 250 \text{ m}}{9 \cdot 10^{16} \text{ J/kg}} = 2,78 \cdot 10^{-14}$$

6

Konstruktion der Eigenschwingungen siehe Skizze. (Bewegung horizontal)



Die Resonanzkurve nimmt man auf, indem man das eine Ende der Kette sinusförmig bewegt, und die Frequenz von null ausgehend erhöht. Die Peaks der Resonanzkurve liegen für jeden Körper an der selben Stelle, die Höhen sind aber unterschiedlich.