

惯性参考系

F.Herrmann 著,陈敏华 译

德国卡尔斯鲁厄理工学院物理教育研究所,德国 卡尔斯鲁厄 76128

摘要:本文从广义相对论的高度审视了中学物理课程,指出在中学物理教材中没有必要引入惯性参考系,并给出了相应的教学设计。

关键词:惯性参考系;惯性质量;引力质量

中图分类号:G633.7

文献标识码:A

文章编号:1003-6148(2017)9-0009-3

1 主题

“惯性参考系”(inertial frame of reference)这一概念在中学和大学的物理教学中起着很重要的作用,它被用在描述惯性定律中:物体总保持静止或匀速运动,除非外界有力作用于它。这个定律只有当我们用合适的参考系来描述相应的运动时才成立。这个合适的参考系就是惯性参考系。

那么,什么是惯性参考系?

在物理学中,惯性参考系(在拉丁语中,iners是懒惰和无力的意思)是这样的参考系,其中的物体保持匀速运动,除非有力作用于它。

惯性参考系在近似条件下可以“实现”:太空飞船是在理想的近似条件下实现的惯性参考系。只要太空飞船在离开其他所有物体很远的星际空间运动并且自身不旋转时,它就是惯性参考系。

2 缺点

我们先来看惯性定律:在没有受到外力作用时,物体的速度保持不变。

仅就上面这句话来说,这是错的,因为只要选择合适的参考系,任何物体的运动速度都可以保持不变。因此,惯性定律不是普遍成立的。它只有在特定的参考系即所谓的惯性参考系中成立(所以我们后来才知道这一点)。这样,我们对惯

性定律的最好表述为:在没有受到外力作用时,物体相对于惯性参考系的速度保持不变。

然而,我们如何知道一个参考系是否是惯性参考系?人们会认为,不受力的物体是惯性参考系。这样,我们就可以判断其他物体的运动速度是否保持不变。至今为止,这是一个很好的办法。

然而,这里遗留着一个问题:我们是如何知道这个惯性参考系没有受力的?我们总不能这样说:因为它的速度保持不变。这是因为,就是这个参考系告诉我们速度不变的意思是什么。这样,我们不得不去寻找其他可以解释这个参考系没有受力的方法。初看起来,这是一个简单的问题。我们知道自然界中的力,也知道力的来源,知道力与距离的关系所遵循的定律。这样,我们至少在思想实验中相信没有力作用在这个参考系上就意味着我们可以保证没有电力、磁力和接触力作用在这个参考系上。

我们也可以认为这个参考系没有受万有引力的作用。然而,这里有一个问题,我们无法排除万有引力。但只要认为万有引力(可以用牛顿万有引力定律计算的力)可以区别于惯性力,就不会有这个问题(回顾前面提到的太空飞船,这足以使它到达星际空间)。然而,如果承认在理论上不能区分这两种力,这个争论就不存在了。我们

收稿日期:2017-7-20

基金项目:本译文系浙江省教科规划2013年重点研究课题“传统物理课程的不足之研究:课程考古学的方法”(SB067)的研究成果之一。

作者简介:F.Herrmann(1939-),男,教授,博士,主要从事德国卡尔斯鲁厄物理课程的开发。

译者简介:陈敏华(1962-),男,正高,特级教师,博士,主要从事高中物理教学工作,曾获第四届浙江省基础教育教学成果一等奖(2012)。

无法再决定一个力是否作用在物体上,一个力作用在一个参考系上,而不是另一个参考系上。

想象一下,我们正坐在飞行在星际空间中的太空飞船,火箭发动机以恒定的推力运行着。在太空飞船中惯性定律是否成立?当然是成立的。如果我们释放一个物体或抛出一个物体,它不会沿直线运动,这是因为有力作用在它上面。以太空飞船为参考系,引力场强度不为零,因此,万有引力作用在物体上。根据牛顿第二运动定律,物体会加速运动,因此,牛顿运动定律在“非惯性参考系”中也成立。

那么,我们为何还要用惯性参考系这个概念呢?

3 历史

为什么通常人们不提及牛顿运动定律假定成立的参考系?其原因也许是牛顿本人在他的第一和第二定律中没有提及这种参考系。牛顿不需要这样做,这是因为他在他的“运动定律”的前一章中以“定义”的形式解释了其成立的条件。在这里,他用真实力和虚拟力来解释。真实力就是有施力物体的力,而虚拟力或惯性力没有施力物体。他的定律只适用于真实力。

在《原理》出版后的第二十年,这个观点受到了质疑。爱尔兰哲学家伯克里(George Berkeley, 1685—1753)提出,惯性力也来自于其他物体,即恒星。这一观点后来被物理学家和哲学家马赫所接受。根据他的观点,虚拟力的概念不再需要,惯性力成了真实力。

在关于万有引力的物理中有一个奇怪的现象持续了很长时间:人们认识到惯性质量和引力质量是相等的,但无法解释这个现象。1916年,爱因斯坦对这一事实作了如下评论:“一个物体的引力质量和惯性质量是相同的。迄今为止的力学已经采纳了这一重要事实,但还没有给以解释。”^[1]

广义相对论告诉我们,一个现象或过程如果可以在一个参考系中用惯性来解释,那么也可以在另一个参考系中用引力来解释。这样,引力质量和惯性质量之间的区别就消失了,正像惯性参考系和非惯性参考系之间的区别消失一样。

1922年,爱因斯坦这样写道:

“(广义)相对论的真正成就是,它让物理学避免了引入惯性参考系的需求。这个概念的不足之处是:它不加证明地从所有可想象到的参考系中选择了某些参考系。然后,它假定物理学的定

律(如惯性定律和光速不变定律)只有对于这些惯性参考系才成立。这样,人们可以将空间赋予一种性质,这种性质区别于其他物理定律所描述的性质:在那些没有对空间干扰的情况下,它对所有物理过程起着决定性的作用。虽然这一理论在逻辑上是可能的,但它是很不令人满意的。牛顿曾清楚地意识到这一理论的缺陷,但他认识到在当时的物理学来说没有其他别的办法。后来,科学家们(特别是马赫)明确指出了这一缺陷。”^[2]

4 建议

有人也许会认为,消除惯性参考系这一概念的工作只有在用广义相对论处理引力时才能进行,也就是说,只有当我们在广义相对论中涉及张量运算、爱因斯坦场方程(Einstein's field equation)和里奇张量(Ricci tensor)等方面时才能进行。然而,这种要求有点夸张。引力质量和惯性质量的相同性确实是广义相对论的结果,但没有广义相对论我们照样可以理解这一点。我们要做的是,必须承认这两种质量的相同性不是偶然的。

下面我们来介绍一下如何将这一主题介绍给学生。我们来看图1所示的情境。威利在著名的升降机中,而莉莉在外面。对威利(他的参考系是升降机)来说,那个球没有运动,它漂浮着。他认为这是正常的,因为在他所处的参考系中引力场强度 g 等于零,没有力作用在这个球上。而莉莉对此现象的解释是不同的:引力场强度不为零,有力作用在这个球上。



图1 威利和莉莉的对话(1)

威利:“球漂浮着,引力场强度必定为零。”莉莉:“球正在下降,它的速度在增大。引力场强度不为零。”

我们得出结论:引力场强度与参考系有关。我们并不为此感到惊奇,因为我们知道其他许多物理量也是这样的。

(下转第14页)

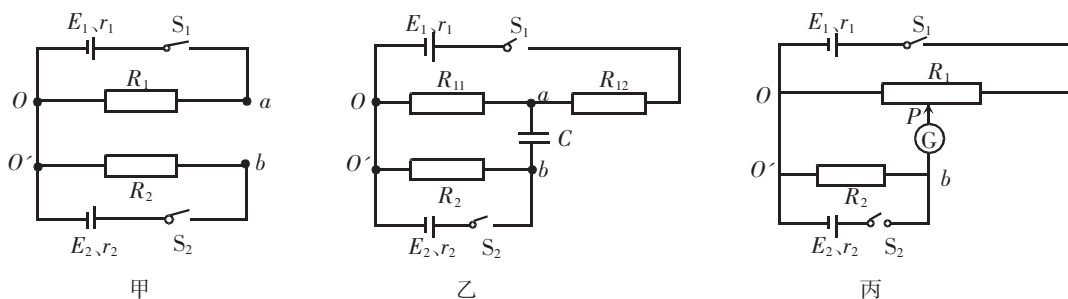


图 12 复杂电路图

图甲上下两部分电路完全独立,只是由一根导线将 $O、O'$ 两点连接,使这两点为等电势点,这样就可判定 $a、b$ 两点电势的高低,并求出其电势差 U_{ab} 。在甲图分析的基础上,就不难进阶到判定图乙电容器 C 哪个极板带正电荷,并求出电容器的带电量。进而分析丙图,当电流计 G 无电流通过时,滑动变阻器的滑动片 P 与 O 点之间的电势差。

有了这样的分析、识别电路的能力之后,再

来分析图 10 电路的测量原理便有一定的基础。因此,掌握教材提供的基本实验方法,拓展对复杂电路的认识,这样应对高考创新实验题就有充分的把握。

参考文献:

- [1]教育部考试中心.2016 年普通高等学校招生全国统一考试大纲[M].北京:高等教育出版社,2016:148.
- [2]林抒,龚镇雄.高等学校试用教材普通物理实验[M].北京:人民教育出版社,1981:221.

(栏目编辑 赵保刚)

(上接第 10 页)

图 2 中的问题是:为什么弹簧会被拉伸?在威利看来(从他所处的参考系看来),引力场强度处处为零。弹簧被拉伸的原因是与弹簧连接的物体在加速。由于它的惯性或它的惯性质量,它要阻止其加速。



图 2 威利和莉莉的对话(2)

威利:“引力场强度为零。弹簧被拉伸的原因

是正在加速的物体具有惯性。”莉莉:“弹簧被拉伸的原因是由于物体的重力。”

相反,莉莉认为弹簧被拉伸跟它的惯性无关,而与作用在物体上的引力有关,也就是说,与物体的引力质量有关。

我们得出结论:根据参考系的不同,质量有时表现为引力质量,有时表现为惯性质量。我们发现,引力质量和惯性质量之间的区别,跟真实力和虚拟力之间的区别一样,也跟惯性参考系和非惯性参考系之间的区别一样,是相对论前的物理学中的一个产物。

参考文献:

- [1]A.Einstein: über die spezielle und die allgemeine Relativitätstheorie, Akademie-Verlag Berlin (1973), S. 54.
- [2]A.Einstein: Grundzüge der Relativitätstheorie, Akademie-Verlag Berlin (1970), S. 138.

(栏目编辑 赵保刚)