

对中学物理“超重 失重”教学的几点思考

段宝维 陈若冰

(中国人民大学附属中学 北京 100080)

(收稿日期:2023-06-10)

摘要:超重与失重不仅是牛顿第二定律的典型应用,对培养学生的类比等效等科学思维能力也有独特价值.从超重与失重概念引入、教学意义、思维价值、典型案例选取等方面探讨超重与失重问题在高中物理教学中的地位 and 作用.

关键词:超重;失重;视重;等效重力

在笔者从教经历过的以及参考过的各种版本中学物理教材中,从80年代的《甲种本》^[1]到现行教材^[2],以及各种国外教材,无一例外地都把超重失重列为必修内容.究其原因,有3条:

(1) 在于“自从人造卫星和宇宙飞船发射成功

以来,人们经常谈到超重和失重”^[1],但物理语言的超重失重与生活语言的超重(太胖、超载等)与失重(如减肥、脱水、在月球上受重力较小等)需要区分,需要清晰认识超重失重的物理内涵;

(2) 在于这一部分内容是非常典型的应用牛顿

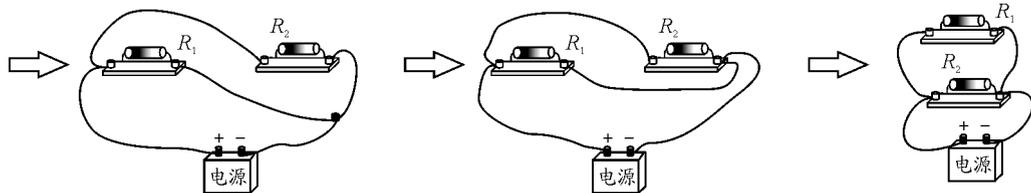


图4 电路图分析示例

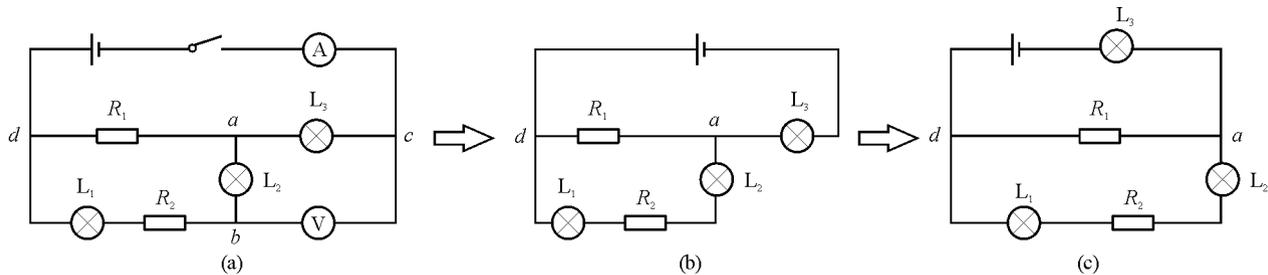


图5 应用“先简化后抓交点”法解决问题

4 总结与展望

电路图的理解是电学学习中的重要组成部分,需要教师与学生加以重视.很多时候学生不能完成电路图、实物图、实物连接这三者之间的转换,究其根源是学生未真正理解串、并联电路的电流、电压规律.除了针对图像进行训练外,还需要加强学生对基础知识的理解,提升学生的推理能力,教材编写组也应当适当调整教材内容,以更加科学直观的方式帮助学生理解电压.

参考文献

- [1] 中华人民共和国教育部.义务教育物理课程标准[S].北京:北京师范大学出版社,2022.
- [2] 孟宪兰,孙晓斌.调整电阻教学顺序的建议——以“电压”教学为例[J].中学物理教学参考,2022,51(17): 51-53.
- [3] 王振宏,刘萍.动机因素、学习策略、智力水平对学生学业成就的影响[J].心理学报,2000(1): 65-69.
- [4] 梁国瑛,皮飞鹏.一种电流等效的动态可视化教具创新设计——初中电学入门“电流流向”探究[J].科学大众:科技创新,2019(3):78,81.

运动定律解决问题的实例；

(3) 在于它有助于学生的体验和发现,有助于科学思维能力的培养,有助于核心素养的培养。

文献[3]指出:科学教育应引导学生用获取的知识和研究方法去审视、发现和解决与实际生活相联系的问题,在解决问题的过程中重视培养学生从不同角度、更深层次思考问题的能力。

新教材^[2]把这一节的教学目标定位为^[3]:(1) 通过体验或者实验,认识超重和失重现象;(2) 通过在电梯里观察体重计示数或其他方式发现超重和失重现象产生的条件,并应用牛顿运动定律分析超重和失重现象发生的动力学原因,理解超重和失重的本质,培养从实际情境中捕捉信息、发现问题并提出问题的能力;(3) 通过查阅资料、分享和交流,了解超重和失重现象在各个领域中的应用,解释生活中的超重和失重现象,培养学生用科学知识解释生活现象的能力,激发学生的学习热情和兴趣,形成良好的科学态度与责任.这显著高于上一版教材^[4]“知道物理学中超重和失重现象的含义,能通过牛顿定律对它们进行定量地分析,并能分析和说明一些简单的相关问题”这样的目标定位。

从教材的内容安排看,过去教材侧重于体会现象、分析原理,新教材增加了“重力的测量”这一版块,帮助学生明确了两种常见的测量重力的方法,为学生后续利用体重计寻找超重失重产生的条件并理解超重和失重搭建了台阶;增加了火箭发射、航天器在轨等实际场景中超重失重现象的了解与认识,“使课程内容情景化”“充实丰富培养学生社会责任感、创新精神、实践能力相关内容”^[5].有利于核心素养的落实。

除了以上考量之外,笔者结合多年的教学实际对这一部分内容的教学提出以下一些思考认识与广大同行交流。

1 通过引入“视重”概念明确“超”和“失”的含义

我们首先要问,超重和失重是在描述一种物理“现象”,还是描述物体的状态?是现象,也是状态。

但为什么叫超重失重?前文说到了,新教材增

加了“重力的测量”这一版块,强调了或者说回顾了人们“测得”重力的过程和方法.但这一版块与接下来的“超重和失重”部分的逻辑联系缺少明示。

笔者认为,课本这一段加得很好.逻辑在于,学生的思维起点是概念的字面意思,对现象的第一次观察与感受也还没有形成明确的场景与模型,如果我们将“物体静止时物体对水平支持物压力或者对竖直悬挂物的拉力”定义为“视重”,将“物体的重力”定义为“实重”,这样,用“视重”和“实重”的概念来描述超重失重的概念,如果新的情景下,对物体的重力进行同样方法的测量,结果“测超了”与“测失了”,就是“超”或者“失”,会更清晰简捷,更有利于学生理解,更突出对现象的定义.然后再分析产生的条件与动力学原因,可以避免学生死记“加速度向上就是超重,向下就是失重”,避免把条件当做了定义的错误思维。

2 解决超重失重相关问题的关键在于“等效重力”

引入超重失重这样的概念,本意并不是为了习题与考试,而是为了用简洁的语言解释一类现象的本质.只要理解了“视重”,认识到在那样一个环境中物体就好像受到了那样的重力,进而认识到在那样的环境中可以引入等效重力和等效重力加速度这样的概念,然后一切的分析求解过程都和在地面上一样,相关的问题都会迎刃而解。

比如,在如图1所示的相对地面以加速度 a 匀加速上升的电梯中,倾角为 θ 的斜面上有一质量为 m 的物块,我们可以求解物块相对斜面静止时所受斜面的弹力、摩擦力,也可以讨论电梯加速度变化时支持力、摩擦力的变化,以上两个问题似乎不用等效重力也能解决。

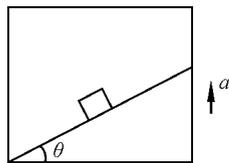


图1 加速上升电梯中的物块

但是2015年高考海南卷第9题,还是前面相同的场景,物块相对于斜面匀速下滑,比较电梯静止时有与竖直方向的加速度时物块的受力情况.如果不用等效重力,怎么给学生讲?

如果物块相对于斜面还有加速度怎么办? 如果仍然以地面为参照系, 简直没办法解决, 但如果用等效重力分析, 此时相对斜面下滑的物块加速度和原来比一样大, $(g+a)\sin\theta - \mu(g+a)\cos\theta = g\sin\theta - \mu g\cos\theta = 0$.

又如图2所示, 容器中有水, 木块漂浮在水面, 没入水中的高度为 h , 当容器以加速度 a 加速上升时, h 将变大还是变小? 传统的受力分析将很难分析清楚, 而如果用等效重力 $g' = g + a$, 可以列出 $mg' = \rho g' V_{\text{排}}$, 与等效重力加速度 g' 无关, h 当然是不变的.

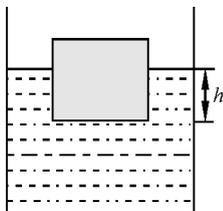


图2 加速上升容器中的木块

再比如, 我们讨论运行的电梯中单摆的周期时, 如果以地面为参照系, 摆球的运动根本不能看做简谐运动, 不用等效重力怎么解决?

除了研究上下方向运动的电梯, 研究汽车过拱桥的最高点、凹桥的最低点以及研究宇宙空间站中的物体运动时, 都可以用等效重力来分析超重失重. 其他如电场中的等效重力等, 老师们都很熟悉了.

另外, 课本在“重力的测量”这部分, 介绍了“先测量物体做自由落体运动的加速度 g , 再用天平测量物体的质量, 利用牛顿第二定律可得 $G = mg$ ”这一方法, 但在超重失重问题中并未对此有所回应. 如果引入“视重”的概念, 我们还可以进一步引入“视重力加速度”这样的概念, 通过测“视重力加速度” g' 再测等效重力 $G' = mg'$ 的方法仍然有效, 还可以研究在超重失重环境中的自由落体以及抛体运动. “重力的测量”这部分的引入逻辑也得以呼应.

3 除了超重和失重还可以等效“斜重”与“反重”

先说“斜重”, 我们通过下面的例题对等效“斜重”进行说明.

【例1】如图3所示, 车厢里悬挂着两个质量不同的小球, 上面的球比下面的球质量大, 当车厢向右

做匀加速运动时, 两个小球稳定后所处的位置为什么是这样的状态?

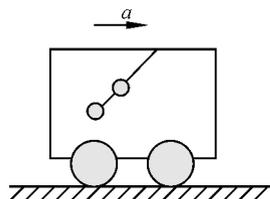


图3 小车匀加速向右运动

这个问题当然可以分别以两个小球各自或整体入手研究得到结论, 但如果直接想一下这个环境中的等效重力是向左下方的, 答案不是很显然吗? 学生能够有强烈的画面感, 对问题的认识与体会远胜于用公式推导得到的结论.

【例2】分离血液成分需要用到一种叫离心分离器的装置, 其工作原理的示意图如图4所示, 将血液装入离心分离器的封闭试管内, 离心分离器转动时给血液提供一种“模拟重力”的环境, “模拟重力”的方向沿试管远离转轴的方向, 其大小与血液中细胞的质量及其到转轴距离成正比.

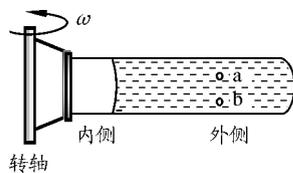


图4 血液离心分离器

初始时试管静止, 血液内离转轴同样距离处有两种细胞 a 、 b , 其密度分别为 ρ_a 和 ρ_b , 它们的大小与周围血浆密度 ρ_0 的关系为 $\rho_a < \rho_0 < \rho_b$. 对于试管由静止开始绕轴旋转并不断增大转速的过程中, 下列说法中正确的是()

- A. 细胞 a 相对试管向内侧运动, 细胞 b 相对试管向外侧运动
- B. 细胞 a 相对试管向外侧运动, 细胞 b 相对试管向内侧运动
- C. 这种离心机“模拟重力”对应的“重力加速度”沿转动半径方向向外侧逐渐变大
- D. 这种离心机“模拟重力”对应的“重力加速度”沿转动半径方向各处大小相同

答案: A、C.

解析: 题目条件显然是忽略血液细胞受到的实

际重力了,模拟重力被定义到沿试管远离转轴的方向,管内血液细胞受到等效“斜重”的作用,相对于管壁静止时,等效“斜重”大小为 $m\omega^2 r$,等效斜重力加速度 $g' = \omega^2 r$,方向水平向右.因此在液体中,密度大于液体密度 ρ_0 的细胞“下沉”,密度小于液体密度 ρ_0 的细胞“上浮”.这种离心分离器“模拟重力”的方法被一些科幻影视作品用于载人空间站的仿重力环境的设计(图5),在这种航天器的环形舱中,“水平面”是环形的.

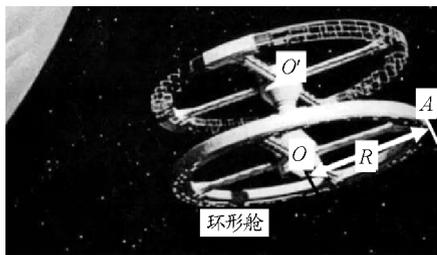


图5 绕轴自转的长时载人空间站

如果考虑血液细胞受到的实际重力也没关系,在“斜重”的等效重力场中,仍然是密度大的“下沉”,密度小的“上浮”,只不过是等效的“上”和“下”.

再说等效“反重”,比如图6、图7,我们研究以大于 g 的加速度 a 竖直加速下降的电梯里的物块 m ,它受到的等效重力为 $m(a-g)$,方向竖直向上.图7斜面上的物块 m 沿斜面的运动,我们可以在等效反重力场里研究物体的受力和运动情况.

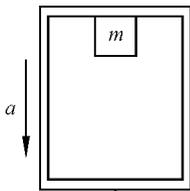


图6 “反重”场中物块 m

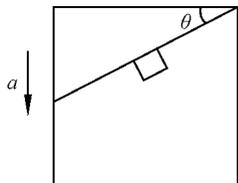


图7 “反重”场斜面上物块

4 超重失重教学的思维价值

除了迅速解决上述类似的问题之外,超重失重教学对培养学生的思维能力有独特的价值.

新课标把科学思维作为物理核心素养之一,特别强调思维能力的培养^[3-5].全文有48处提到“思维”;新教材更是在正文、旁批、“科学方法”栏目对物理学中常用和重要的科学思想、方法进行点拨.我们不能把能力培养当做知识讲授,而是要在具体教学中带着学生去体会、去领悟.

类比、等效是物理学中常用的思维方法,闫金铎、续佩君教授更是把直觉思维列为重要的思维方式^[6].超重失重的教学能有效培养学生对物理规律、物理事件的场景感,潜移默化地培养学生对非惯性参照系、惯性力、等效原理的预理解,并培养对物理场景的想象能力,培养直觉思维.

比如新教材超重和失重一节课后习题3谈到火箭加速度达到 $3.5g$ 时,内脏需要的支持力是多大的问题,学生可以有强烈的场景感与代入感,是每一个器官、每一滴血液、每一个细胞都相当于受到了平常重力 4.5 倍的重力!而飞行员、航天员在平时训练中更是要承受 $8g$ 、 $9g$ 的超重,其痛苦完全可以想象.这里的火箭是一个非惯性系,超重超出来的部分实际上是惯性力,这些我们可以不讲,但显然可以达到不讲而讲的效果,甚至将来有一天他们接触到爱因斯坦广义相对论的等效原理,也立即可以自然而然地接受.

再比如完全失重,完全失重不是不受重力,受到了测不出才叫“失”,空间站中的宇航员所受重力与在地面相差很少,但在空间站中没有表现,所以是完全失重.为了模拟空间站中的完全失重状态,怎样提前训练航天员?有人提出在密度合适的水中使人处于悬浮状态,这不是完全失重.完全失重是相当于完全不受重力,每一个细胞都不受,人在水中悬浮只是受力平衡,只不过水对人的浮力不像地面对人的支持力那样的集中.讲清这些,可以促进学生在不能上到空间站的条件下对完全失重“感同身受”.

5 人在体重计上的蹲起是不是超重失重的合适的例子

人在体重计上的下蹲和起立,被广泛地作为超重失重教学的引入实验或者体会实验,新教材更进

一步地介绍用传感器记录“视重”的具体变化情况. 实验能让学生真切地看见并且感受人对体重计的压力大于或小于自身重力的现象, 认识“视重”相较于“实重”的“超”和“失”. 但我们怎么讲解这个实验?

在这个实验中, 说人处于超重或失重状态, 具体含义是什么? 此时人不是质点, 向上或者向下的加速度是谁的加速度? 如果说是重心在加速或者减速, 重心在哪里? 如果我们用质心运动定理, 这在现阶段是不合适的, 因为我们从来没有讲过这一套理论.

常有习题讨论图8中物块沿斜面加速下滑时地面对斜面体的支持力和摩擦力, 按照现有知识储备, 斜面和小物块运动状态不一致, 应该用隔离法分别分析两物块的受力情况, 求解斜面受到地面的摩擦力、斜面体对地面的压力. 但是这样分析将非常繁琐, 不少学生依据重心加速下降或者说系统处于失重状态. 物块减速下滑同理. 但依据的是什么定理或定律呢? 质点组牛顿第二定律? 质心运动定理? 都没有讲过, 不能靠意会, 不能靠“你想么……”这样的禅机.

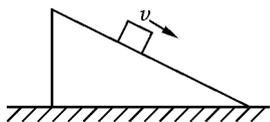


图8 斜面上物块加速下滑

还有在蹦极、跳楼机这样的活动中的超重失重状态, 参与者在哪里能体会等效重力呢? 是内脏与

血液的下坠感与上涌感, 因为人的躯体这个参照系处于竖直方向的加速或减速状态. 从这个角度讲, 人在体重计上的蹲起也还是一个不错的例子.

另外, 一个孤立的质点处于超重失重这样的说法没有意义. 一个质点自由下落, 按理说应该是处于完全失重状态, 可是又有什么意义呢? 它无所谓对别的物体的压力或拉力, 也没有内力, 失重又如何? 但是自由下落的液滴完全失重是有意义的, 因为此时液体的表面张力可以在几乎不受重力影响一样发挥作用, 比如铁水从高处落地时形成很好的球形.

以上浅见, 只是作者的一管之见, 是不是合适, 欢迎广大同行与专家指教.

参考文献

- [1] 张同恂, 方玉珍, 马淑美. 高级中学课本物理甲种本第一册[M]. 北京: 人民教育出版社, 1983: 85 - 88.
- [2] 人民教育出版社, 课程教材研究所, 物理课程教材研究开发中心. 普通高中教科书物理必修第一册[M]. 北京: 人民教育出版社, 2019: 105 - 108.
- [3] 彭前程, 张玉峰. 普通高中教科书教师教学用书物理必修第一册[M]. 北京: 人民教育出版社, 2019: 124 - 128.
- [4] 周誉嵩. 普通高中课程标准实验教科书 物理1 必修 教师教学用书[M]. 北京: 人民教育出版社, 2004.
- [5] 中华人民共和国教育部. 普通高中物理课程标准[S]. 北京: 人民教育出版社, 2017.
- [6] 阎金铎, 续佩君. 学科现代教育理论书系·物理·物理能力测量研究[M]. 南宁: 广西教育出版社, 1996.

Several Thoughts on Overweight and Weightlessness in High School Physics

DUAN Baowei CHEN Ruobing

(The High School Affiliated to Renmin University of China, Beijing 100080)

Abstract: Overweight and weightlessness are not only the typical application of Newton's second Law, but also have unique value in training students' scientific thinking ability such as analogy and equivalence. The paper discusses the status and function of overweight and weightlessness in high school physics teaching from the aspects of concept introduction, teaching significance, thinking value and selection of typical cases.

Key words: overweight; weightlessness; apparent weight; equivalent gravity