

原始物理问题在大学物理中的教学研究与实践

邓学明

(浙江科技学院 理学院,杭州 310023)

摘要: 通过对物理教学中抽象问题和原始问题的分析与探讨,认为基于“现象是物理学的根源”的观点的原始物理问题的提出与解决,能够帮助人们认清问题的物理本质,给人们以明确的物理图像,有助于人们理解现象的物理实质而不会陷于复杂、盲目的推演之中。在大学物理教学中,引入原始物理问题提出与解决的实践,有助于提高大学生的实践能力和创新能力。

关键词: 原始物理问题;大学物理教学;教学探究

中图分类号: G642.0;O4

文献标志码: A

文章编号: 1671-8798(2011)06-0508-06

Research on college physics instruction based on original physics problems

DENG Xue-ming

(School of Sciences, Zhejiang University of Science and Technology, Hangzhou 310023, China)

Abstract: By analyzing the abstract questions and original problems existing in physical education, the author thinks that the presenting and solving of the original physical problem based on the view “phenomena is the root of physics” can help the students understand the physical nature, give them clear images of physical problems, help them understand the physical substance, and avoid blindly following in a complex derivations. This teaching method also can enhance their ability of practice and innovation.

Key words: original physics problems; college physics instruction; teaching research

如何对大学物理进行适合社会需求的教学改革,一直是大学物理教学中的热门研究课题之一,这方面的研究涉及包括教学形式、教学内容、教学方法、教学手段等方面,相关的研究主题也非常广泛,有多媒体教学、网络化教学、计算机仿真实验教学和开放性实验教学等,这些研究成果大多对大学物理的教学起到了促进作用。但不可否认的是,部分研究过多地强调了教学手段的现代化及教学方法的变革,而忽略了原始物理问题对学生物理思维的培养作用,导致学生的实践能力和创造力缺乏。

收稿日期: 2010-12-24

作者简介: 邓学明(1969—),男,黑龙江省虎林人,讲师,硕士,主要从事大学物理理论与实验教学研究。

以现象为基础的原始物理问题的提出与研究,对学生物理思维的培养有着积极的作用,有助于提高学生的实践能力和创新能力。

1 原始物理问题的理论探讨

1.1 原始物理问题的界定

文献调研显示,关于对原始物理问题概念的理解有待统一,原始物理问题的教育理念还有待完善。

基于“现象是物理学的根源”的观点,所谓原始物理问题是指基于未被经过分解、化简、抽象等方式加工的通过对现实世界中的物理现象的观察而产生的对现象背后内在原因的疑问,由于是来自真实生活情境的综合性现象或问题,因此也被称作实际问题或具体问题。一个好的原始问题的提出与解决,能够帮助人们解决许多具体的物理认识问题,能够揭示出事物运动的内在规律。与原始问题对应的是抽象问题,抽象问题是指将原始问题经过合理分解、化简和抽象后形成的问题。这类问题往往是为巩固物理概念、规律、原理,或有针对性地检验他人对物理概念、规律、原理的掌握而人为加工选编出来的。质点、刚体、光滑的斜面、轻质的细杆、不可伸长的细绳、牛顿第二定律等都是抽象物理问题及其解决的体现;而形变体、质心运动定律、考虑到空气阻力、考虑到摩擦力等则渗透着原始物理问题及其解决的思想。越接近原型的物理模型越是复杂而实用的模型。

1.2 原始物理问题对培养学生物理思维的作用

唯物主义认识论认为,人们认识客观世界,首先是形象思维,而不是抽象思维,就是说,人类思维的发展是从具体到抽象,这说明了物理思维的特点。

爱因斯坦认为,科学思维的开始和终结主要是超逻辑(直觉)思维,只有中间过程是以逻辑思维为主;他曾高度评价直觉思维在创新活动中的作用,他说真正可贵的因素是直觉^[1]。在原始物理问题的解决过程中,既需要逻辑思维,又需要非逻辑思维,需要的是全面的物理思维。

杨振宁认为,非逻辑思维的训练要靠每个人自己去摸索,具有较强的个性^[2]。由于传统的习惯,亚洲的学生,特别是中国的学生,喜欢复杂的推演的东西,这对自己、对科学的发展都是不利的,因为它违反了物理学的规律,物理本身是现象而不是推演^[3]。中国学生缺乏通过定性的思考或半定量的分析先对问题的性质、解的特性作一总体评估的训练,因此,在解决问题时往往头脑中缺乏清晰的物理图像,不能认识问题的物理本质,容易陷于复杂的推演之中。

基于原型建立模型是原始物理问题解决的必经之路。所谓建模,就是通过对问题的深入分析后,利用某种机理,考虑一切主要因素,忽略一切不主要因素所创造出原事物的替代物的过程。在这个过程中,发散思维很重要,发散思维是根据已有的信息,从不同的角度、不同的方向寻求各种答案的思维,它是创造性思维的核心。模型要不断地逼近客观原事物,这样才能真正解决具体问题,这样才能真正具有实用价值,因而模型是在不断地被修正着、被丰富着、发展着。从某种意义上来说,抽象问题与原始问题的区别在于模型逼近客观原事物的程度不同,距离现实生活的远近不同。

解决原始问题与解决抽象问题,对人的能力的锻炼是不同的,在中小学教育完成后的一段时间内还不能显现出来,到大学期间,尤其是研究生期间,实践能力与创造性能力方面的问题才明显暴露出来。但是,要培养学生解决实际问题的能力,必须借助于实际的实际问题,而不是经过化简、抽象后的习题。

2 原始物理问题在大学物理中的教学研究与实践

2.1 以大学物理知识脉络为基础,选取合适的原始物理问题为教学素材

由于大学物理内容涉及力学、振动和波动、热学、电磁学、光学、狭义相对论力学基础和量子物理基础等多分支的领域,所以原始物理问题所涉及的内容十分广泛。立足于大学物理教学实践,挖掘一些有意义的适合大学生的原始物理问题及其解决,使学生在提出与解决原始物理问题时,既进行了逻辑方面的训练,又经历了非逻辑思维的历练,使其物理思维得到全面发展。而原始物理问题及其解决既要体现出大学

物理知识基础,又要体现出很强的实际应用价值,这都需要从现实生活中去寻找,从大学物理教学内容上获得启发。

2.2 通过原始物理问题的研究来促进教学改革,提高教学质量的现实意义

赵凯华先生认为,教师的职责不是如何教会学生应付某种考试,而是引导学生自主地开拓视野,获取丰富的知识,提升学生自身的创造能力^[4]。通过原始物理问题的研究来促进教学改革,提高教学质量,培养学生的实践创新能力,也是理工科学生卓越工程师培养目标的要求。

原始物理问题的求解训练能够锻炼学生的观察能力、分析能力和信息素养能力^[5],更重要的是能够提高学生的创造能力和实践能力。现象是物理学的根源,通过原始物理问题训练帮助学生正确认识物理学。通过原始物理问题训练帮助学生正确认识逻辑思维,逻辑思维只是思维链上的一个环节。通过原始物理问题训练有助于教师在教学中正确处理习题与原始物理问题的关系,教师在教学中既重视抽象习题的练习,也重视原始问题的解决,以习题教学为基础,原始物理问题解决为目标。

2.3 原始物理问题在大学物理中的教学实践

物理学教材^{[6]37}上介绍的绕在圆柱上绳索的张力随绳索和圆柱相接触的角度 θ 的增大按指数关系增大,即 $F_{TB} = F_{TA} e^{-\mu\theta}$,可以说明四两拉千斤的道理,并用来解释为了使轮船平稳地停靠在码头上,人们常将缆绳在桩柱上多绕几圈的现象;有经验的人把重物挂在屋内的梁柱上,总是把系有重物的绳索先在梁柱上绕上几圈。这是一个非常好的原始物理问题的解答与应用例子。

讲到抛体运动,笔者会提出这样的问题让学生思考:足球守门员大脚开球到中场,球的飞行轨迹为什么是一道不对称的从最高点很快坠落的弧线?从高空抛下物体,为什么水平方向上运动的距离离抛出点总是比预想(匀速运动)的要近?为什么有时根据乒乓球的轨迹判断乒乓球会出台,结果乒乓球却刚好落在了台内?

这些都可以用空气对抛体的阻力与抛体速度成正比来说明,而不能用无空气阻力的条件来描述。

水平方向有:

$$F_x = -kv_x$$

$$ma_x = m \frac{dv_x}{dt} = -kv_x$$

$$\frac{dv_x}{v_x} = -\frac{k}{m} dt$$

考虑初始条件, $t=0$ 时, $v_x = v_{x0}$, $x=0$

有 $v_x = v_{x0} e^{-\frac{k}{m}t}$, $x = \frac{m}{k} v_{x0} (1 - e^{-\frac{k}{m}t})$,说明抛体在水平方向上不是作匀速运动,而是作速度随着时间

指数衰减的运动。当然如果阻力比较大,则可能有 $F_x = -kv_x^2$,则有 $v_x = v_{x0} e^{-\frac{k}{m}x}$,抛体速度随着位移指数衰减,速度衰减得更快。这些都能够更好地解释现实中具体的有空气阻力的情况。

讲到系统的内力与外力,笔者会让学生思考:人是怎样运动的?人是怎样跑起来的?

人的走路、跑跳等活动都是人的自主活动,都是人的内力引起外力的表现^[7]。也就是说,人体直接通过肌肉的收缩与舒张引起各关节的运动,而当人体和与人接触的外界发生相互作用时,受到作用的外界会对人体施加反作用,又将引起整个人体(质心)的运动。这就是人跑起来的动力来源——外接触力。人跑起来的动力来自人体之外的外力,来自人体内力引起的外力。内力不管多么大,真正有效能够使物体质心产生平动的是能够引起外力的内力,而不能够引起外力的内力对物体质心产生平动是没有贡献的。

关于静摩擦力做功,笔者会让学生思考:汽车启动的动力是什么?汽车启动中静摩擦力是否做功?

汽车启动的动力是汽车后轮受到的由汽车内力引起的静摩擦力^[8],静摩擦力不是不做功吗?否,静摩擦力对汽车质心做的平动功与其对汽车后轮做的力矩功的合功为零。也即,汽车的后轮即驱动轮通过静摩擦力做功,一方面使后轮的转动动能减少(与其他条件相同但没有静摩擦力的情况相比),另一方面减少的转动动能通过静摩擦力做功转化为汽车质心的平动动能(包括车轮的平动动能);汽车的前轮即导向轮通

过静摩擦力做功,一方面使汽车质心的平动动能减少(与其他条件相同但没有静摩擦力的情况相比),另一方面减少的汽车质心平动动能(包括车轮的平动动能)通过静摩擦力所做的力矩功转化为前轮的转动动能。

汽车后轮减小的转动动能和汽车质心增加的平动动能两者大小相等,一正一负,和为零。静摩擦力虽然做的合功为零,但是在平动动能与转动动能之间的能量转换中却起着重要作用。没有电荷与净电荷量为零是两回事,力做功为零与力不做功也是两回事。

关于平动动能与转动动能,笔者会向学生提问:装满货物的车辆(重车)和不装满货物的同样车辆(空车),从同样高度的地方沿同样斜面的轨道向下溜放到平地上,哪个先到?为什么?

如果把车辆视为质点,便是质点沿斜面下滑的问题,结论是:重车和空车运动情况相同,同时到达。可是现实的结果却是:重车比空车先到,为什么?

车辆的到达要看车辆质心的平动速度,车辆质心的平动速度越大越先到达。重车和空车从同样高度的地方沿同样斜面的轨道向下溜放到平地上,实际上是车辆的重力势能转化为动能的过程。车辆的动能包括两部分,一部分是车辆质心的平动动能,另一部分是车轮系统的转动动能,在车轮的无滑滚动过程中,质心的平动速度与车轮边缘的转动线速度有密切联系,即 $v_c = \omega R$ 。车辆的总动能为

$$E_k = \frac{1}{2}mv_c^2 + N\frac{1}{2}J\omega^2 = \frac{1}{2}m\left(1 + N\frac{m_1\rho^2}{mR^2}\right)v_c^2,$$

其中车辆的总质量为 m ,一个轮的质量为 m_1 ,车辆有 N 个轮子,车轮绕车轮轴线的回转半径为 ρ 。也就是说,车辆的总动能按一定的比例在车辆质心的平动动能与车轮系统的转动动能之间进行分配,空车与重车的动能分配比例不同,车辆越重,车轮系统的转动动能在总动能中所占的比重就越小,对车辆做相等的功时,车辆所得到的平动速度就越大。车辆从同样高度的地方沿同样斜面的轨道向下溜放到平地上,先到达还是后到达,关键看车辆的平动动能占总动能的比重,而不是车辆的轻重。在某些情况下,把物体看成质点,用质点动力学的有关定律和公式来计算,将导致与实际不相符的结果,物理教学中质点模型的局限性在这里体现明显。

关于碰撞现象,笔者会向学生介绍乒乓球与球台的碰撞现象和上旋乒乓球与球台面碰撞后的轨迹特点,这是一个很好的原始物理问题。

无旋乒乓球在空中飞行时,路径类似于平抛物体的飞行路径,如图 1 中的虚线 a 所示,但由于空气阻力,使其落点提前,上升时的最高点降低,轨迹如图 1 中实线 b 所示。无旋乒乓球与台面的碰撞(接触)之后弹起,其反射角大于入射角,根据碰撞理论,球在触台前后的入射角 α 与反射角 β 之间的关系为 $\tan\beta = (1/e)\tan\alpha$,式中 e 为恢复系数, $e < 1$,可见,总有 $\beta > \alpha$,如图 1 所示,即球在触台后弹起的运动路线总要低于来球的路线。

如果球体无旋转,那么球体落到台面上时只受到弹力 F_N , F_N 与台面垂直。但上旋球是旋转的,如图 2 所示,在和台面接触时,与球面接触的台面有相对向后滑动的趋势,即球对台面产生一个向后的摩擦力,与此同时,台面对球产生一个向前的反作用力——摩擦力 F_f 。乒乓球受到的合力是由 F_N 和 F_f 合成的,方向向前。这样球在落点以后的路线更加平直,速度也更快,如图 1 中实线 b 。由于上述这些特点,强烈上旋球(弧圈球)的路线和球速很难预测。

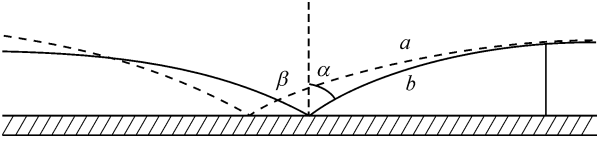


图 1 无旋乒乓球与台面碰撞轨迹
Fig. 1 Trajectory of collision between irrotational table tennis and table

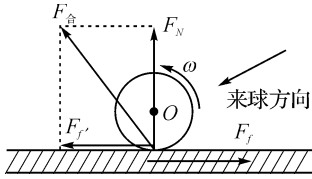


图 2 上旋乒乓球与台面碰撞分析
Fig. 2 Analysis of collision between top spin table tennis and table

关于“系统内质量移动”方面,建议大学物理教学中增加变质量的密舍尔斯基方程的推导与运用。变质量的密舍尔斯基方程非常重要,既可以解释火箭发射的原理,又可以解释小雨滴合成大雨滴的下落,有很强的实用价值。

对质点系所有质点应用牛顿运动定律并求和,并考虑到内力成对出现且是作用力与反作用力关系而抵消,可得 $\vec{F}^{\text{ex}} = \sum_{i=1}^n m_i \vec{a}_i$, 其中 \vec{F}^{ex} 为合外力。设 t 时刻主体的质量为 m , 速度为 \vec{v} (相对基本参考系), 质元的质量为 Δm , 速度为 \vec{u} (相对基本参考系), 在极短的时间 Δt 内, 质元与主体合并, 合并后的共同速度为 $\vec{v} + \Delta \vec{v}$ 。选择主体和质元组成的质点系为研究对象, 该质点系所受的合外力为 \vec{F}^{ex} , 主体的质量与其加速度的乘积为 $m \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\vec{v} + \Delta \vec{v} - \vec{v}}{\Delta t} = m \frac{d\vec{v}}{dt}$; 质元的质量趋于无穷小, 但速度发生突变, 加速度趋于无穷大, 两者的乘积为

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \Delta m \frac{\vec{v} + \Delta \vec{v} - \vec{u}}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta m}{\Delta t} (\vec{v} - \vec{u}) = \frac{dm}{dt} (\vec{v} - \vec{u}),$$

由质点系所受的合外力等于质点系各质点的质量与其加速度乘积的矢量和有

$$\vec{F}^{\text{ex}} = m \frac{d\vec{v}}{dt} + \frac{dm}{dt} (\vec{v} - \vec{u}),$$

这就是密舍尔斯基方程^[9]。

$\frac{dm}{dt} > 0$, 类似于小雨滴合成大雨滴的情景, $\frac{dm}{dt} < 0$, 类似于火箭发射的情景。对于火箭发射, $m \frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{F}^{\text{ex}} + \frac{dm}{dt} (\vec{u} - \vec{v}) = \vec{F}^{\text{ex}} + \frac{dm}{dt} \vec{v}_T$, \vec{v}_T 为气体相对火箭主体的相对喷射速度。

而教材^{[6]60-61}中变质量物体的运动公式推导的表述不仅范围太窄, 而且不便于记忆。实际上 2010 年浙江省第二届大学物理创新竞赛理论试题就考了变质量的密舍尔斯基方程的应用。

足球中的香蕉球现象与乒乓球中的弧圈球现象的描述与解释, 也是非常有意义的, 可以作为一个原始物理问题让学生进行广泛探讨! 轮滑鞋与地面相互作用的特点也非常有意义, 可以作为一个原始物理问题让学生进行探究。

当前阶段, 笔者主要对大学物理中的力学方面原始问题的提出与解决进行了教学研究实践, 其他方面, 如大学物理中的热学、电磁学、光学等方面的内容仍在探索之中。

通过课堂上的教学实践, 部分学生感到收获很大, 感觉到物理学很有意思, 物理学还是有用的, 生活中处处有物理; 然而也有不少学生感觉大学物理涉及的内容太多太杂, 用的微积分和矢量分析工具比较深奥, 上物理课时太紧张, 物理课推进的速度太快。实际上, 课程改革使得物理教学学时一再删减, 教师与学生都在忙于完成物理教学内容的最低要求。另一方面, 笔者也深深感到, 与生活关系密切的原始物理问题提出与解决的资料还需丰富, 还要加大步伐对与生活关系密切的原始物理问题进行研究, 尤其是运动生物力学方面的原始问题, 能够有数量更多更具代表性的原始物理问题的提出与解决内容进入大学物理教学, 才能使學生真正感觉到物理学还是有用的, 物理学很有意思, 生活中处处有物理。

3 关于原始物理问题和习题关系的讨论

抽象问题的练习与考试, 由于其简单、低成本、有明确的问题指向性和考查的针对性, 在一般考试中有广泛的市场而大量存在。在传统的大学物理教学中, 学生的知识多是以抽象物理问题的形式进行应用与巩固的, 在这个过程中, 学生的应试能力会得到一定强化, 但当面对一个实际物理问题时却往往无从下手, 不能将所学物理知识进行灵活运用。原始物理问题的提出与解决能够提高学生在真实情境中进行科学探究的能力, 笔者提倡学生“以习题练习为基础, 原始问题解决为目标”。实际上, 原始物理问题可以分解、抽象、化简为抽象问题, 而抽象物理问题的背后有着丰富的原始物理问题支撑。

4 结 语

原始物理问题的提出与解决具有实践性,只能在现实生活中、在实践中去寻找原始物理问题并对其解答;原始物理问题的提出与解决具有实用性,原始物理问题的提出与解决能够给当前的理工科学生卓越工程师培养计划以支持,原始物理问题的提出与解决是真正做学问做研究的路线,是提高学生实践能力、创造能力和竞争能力的路线;原始物理问题的提出与解决具有紧迫性,北京师范大学的邢红军教授及其所带的研究生在原始物理问题方面做了大量的研究,提出了一些适合中学生学习的原始物理问题,但未见针对大学生物理学习的相关原始物理问题。寻找一些适合大学物理教学与研究的原始物理问题及其解答就很有必要了。

从培养人的能力与素质方面讲,物理学具有不可替代的重要作用,是否可以将原始物理问题的提出与解决作为教学的指导思想是值得思考的。

参考文献:

- [1] 爱因斯坦. 爱因斯坦文集[M]. 许良英, 李保恒, 赵中立, 等译. 北京: 商务印书馆, 1977: 284.
- [2] 宁平治, 唐贤民, 张庆华. 杨振宁演讲集[M]. 天津: 南开大学出版社, 1989: 143.
- [3] 乔际平, 邢红军. 物理教育心理学[M]. 南宁: 广西教育出版社, 2002: 167.
- [4] 林纯镇, 吴崇试, 编译. 我国赴美物理研究生考试(CUSPEA)历届试题集解(1980—1984)[M]. 北京: 高等教育出版社, 1985.
- [5] 周武雷, 蔡托, 潘晓慧. 基于原始物理问题的大学物理教学实践[J]. 大学物理, 2010, 29(6): 43-48.
- [6] 马文蔚. 物理学: 上册[M]. 5 版. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [7] 邓学明. 跑步运动的力学探究[J]. 物理通报, 2011(7): 95-97.
- [8] 邓学明. 从汽车的启动看内力引起的外力做功[J]. 物理教师, 2011, 32(1): 49.
- [9] 钱天虹, 黄晖. 变质量物体动力学方程的另一简明讲法[J]. 物理与工程, 2002, 12(5): 12-13.