

PHYSICS
THINKING

最新 中学物理学习 思想方法

主编:王钢

中国青年出版社

(京)新登字083号

图书在版编目(CIP)数据

最新中学物理学习思想方法/王钢主编. —北京:中国青年出版社, 2009

ISBN 978-7-5006-8902-7

I.最... II.王... III.物理课-中学-教学参考资料 IV.G634.73

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第146464号

责任编辑:刘 杨

*

中国青年出版社 出版 发行

社址:北京东四12条21号 邮政编码:100708

网址:www.cyp.com.cn

编辑部电话:(010) 64034349

门市部电话:(010) 84039659

中青印刷厂印刷 新华书店经销

*

889×1194 1/16 16印张 350千字

2009年8月北京第1版 2009年8月北京第1次印刷

定价:28.00 元

本图书如有印装质量问题,请凭购书发票与质检部联系调换

联系电话:(010)84047104

长期以来,物理难教、难学已经成为不争的事实。一时间,各种教学辅导用书,特别是《习题集》走俏,学生和家长盲目地寻求学好物理的捷径,为此付出了大量代价,但效果并不理想,原因是盲目地做题却忽略了思想方法的引导,出现了“死记硬背”、在“题海”中挣扎的现象。

中国古时便有“授人以鱼,仅供一饭之需;教人以渔,终身受益”的智慧;德国教育家第斯多惠也曾经说过:“教育的艺术不在于传授知识,而在于唤醒、激发、鼓舞。”这些都说明方法的力量能够让人获得不竭的动力源泉,同时也更凸显出了方法的弥足珍贵!注重方法的学习,是人类聪明才智的体现,是每位理性公民都懂得的基本道理。总结和归纳各种学习方法,并灵活地加以运用,是能够迅速提高成绩、学好物理的关键。

可是,现实情况并不乐观。市面上介绍物理学习方法的书籍非常少见,想买一本讲述物理学习方法的书很难,尤其是综述全面、高质量的书就更困难,追其原因可能有很多方面。其中有学生受知识学段的局限不能够全面解读的问题;有“习题集才最好”的思想认识问题;有市场经济带来的发行量小的问题等等。但是,很多学生和教师都希望能够有一本方法全、思路新、针对性强的好书来介绍物理的学习方法。

《中学物理学习的思想方法》一书,正是在大家的热切期盼下诞生的。编者突破传统的按知识框架结构编写的束缚,采用物理学习方法和实际考试应用相结合的方式,既有满足高考实战要求的需要,又有大量的思想方法教育的渗透。针对物理教师备课,特别是高三学生进行专题化复习,大有益处。

高考在近些年来,加强了对物理思维方法的考查,只有谙熟物理思维方法的学生,才能够在很短时间里进入状态,从而取得好成绩。熟悉思维方法需要经过一个训练过程,因此重温思想方法的使用非常必要,学生在学习时,最好能够先独立思考问题,然后进行笔答,最后再对照答案,发现问题后进行反思,把对典型问题的分析、归纳和概括纳入自己的认知结构,同时还要不断地运用学过的思想方法指导解决新的问题,这样才能提高学习的实效性。本书在讲述每一种思想方法时都突出了探究式学习的特点,尽量再现物理学史中某一种思想方法应用的典型事例,体现“古为今用”的思想。本书在运用各个典型案例时,特别注意联系生产实际、生活实际和最新的科学技术实际,以求激发起学习者的学习兴趣。

思想方法的“力量”是强大的,它能够方便快捷地解决问题。比如“极限思维”、“物理模型”、“等效”、“守恒”、“对称”、“临界条件”、“猜想”和“类比”等方法有着“化繁为易”的功能。其中的“守恒”、“对称”还体现了科学美,是启迪学生认识物理学之美,发现广义美的很好题材。另外,在物理发展的历史中,“极限思维”、“物理模型”、“猜想”和“类比”等思维模式还起着推动物理学前进的作用。

如早期托勒密的“地心说”，后来哥白尼的“日心说”，都是对天体运动进行的“建模”；伽利略提出的“理想斜面”上的运动，是对运动过程“建模”；而卢瑟福提出的核式结构模型则是对原子结构的“建模”。这些伟大的思想推动了科学的进步，在科学发展史上留下了光辉的篇章。

当然，对于物理问题，可以从各个不同的角度进行思考，有的问题所涉及的方法可能有几个，也并不奇怪，本书所选用的例题中就有互相渗透的情况。从某种角度来讲，“极限法”与“临界条件”之间就不能有一个明显的界线，但它们确有一定的区别。“极限法”是当一个物理量趋于一个极限值时，这个极限值可能是无穷小，也可能是无穷大，还可能是某一个具体值，另一个物理量将趋于一个定值。而“临界条件”则是一个物理量在逐渐变化的过程中，由量变到质变的转折点。求解某些题时，有时说是“极限法”，有时说是“临界条件”，区别就不是那么的明确，但必须注意到它们的共同点就是寻找这个特殊的值。所以，常规方法可能是解题中必须用的，但在很多情况下，用特殊的方法可以解决常规方法不能解决的问题并且提高解题效率。

我们在文中所列的十种中学物理学习的思想方法，仍然不能涵盖中学物理的全部思想方法，本书只想就实际学习中运用最多的十种思想方法作一些介绍，希望能够帮助莘莘学子们找到物理学习的“金钥匙”。此外，笔者也希望能够引导学习者自主探究和实践，因为方法不能光靠读书获得，而是还要通过不断地总结、演练、自省才能够变成自己的认识。所以，我们要强调这一过程的学习要以书本为依托，伴以连续的实践和思考，最终才能够取得明显效果，并在这一学科的学习上有所突破。

2009年8月

第一章	物理学习的思想方法	1
专题一	物理模型思想方法	1
专题二	猜想与假设的方法	15
专题三	临界分析法	23
专题四	类比的思维方法	48
专题五	极限的思维方法	60
专题六	等效的思维方法	64
专题七	对称的思想方法	79
专题八	图解的方法	85
专题九	整体法与隔离法	101
专题十	守恒的思想方法	116
第二章	近期高考在运用思想方法中典型题目的分析	131
专题一	“物理模型思想方法”在高考中的典型分析	131
专题二	“猜想与假设”在高考中的典型分析	145
专题三	“临界条件”在高考中的体现	154
专题四	“类比”思想方法在高考中的典型分析	165
专题五	“等效”思想方法在高考中的典型分析	170
专题六	“极限”思想方法在高考中的典型分析	175
专题七	“对称”思想方法在高考中的典型分析	179
专题八	“图解法”在高考中的典型分析	184
专题九	“守恒”在高考中的典型分析	191

第三章	跳出“题海”，方法点拨与专题指导	197
专题一	估算方法的指导	197
专题二	求极值的常用方法	204
专题三	抓“生题”教学中的“三新”	212
专题四	关注学科交叉，“物理与生物”相结合	216
专题五	综合理科“阅读信息题”的专项训练	221
专题六	重视设计型实验的学习	229
专题七	实验中补偿的方法	237
专题八	实验中替代的方法	241

物理学习的思想方法

§ 1-1. 物理模型思想方法

一、物理模型思想方法的形成及特征

物理模型是人们按照科学研究的特定目的，在一定的假设条件下，用物质的形式或思维形式再现原型客体的某种本质特征，诸如关于客体的某种结构（整体或部分的）、功能、属性、关系、过程等等。通过对这种物理模型的研究，来推知客体的某种性质或规律。这种借助构建模型来获取关于客体的认识的方法，就是物理学研究中常用的模型方法。

任何自然界的现象都是错综复杂的，不可避免的会有干扰因素，不可能以完全纯粹的形态自然地展现在人们面前。例如，人们从生产和生活中遇到的各种力学现象抽象出客观规律，必定要有相当复杂的提炼、简化、复现、抽象等实验和理论研究的过程。和物理学其他部分相比，力学的研究经历了更为漫长的过程。从古希腊时代算起，这个过程几乎达到两千年之久。其所以会如此漫长，一方面是由于人类缺乏经验，弯路在所难免，只有在研究中自觉或不自觉地摸索到了正确的研究方法，才有可能得出正确的科学结论。其次是由于生产水平低下，没有适当的仪器设备，无从进行系统的实验研究。人们在对具体力学物理问题进行科学研究的过程中，逐渐摸索出略去非本质因素，突出主要因素，来得出一种能反映原研究对象本质特性的方法，这种方法后来发展为物理模型的方法。物理模型是人们通过科学思维对物理世界中的原研究对象的抽象描述，是按照物理学科研究的特定目的，用物质形式或思维形式对原型客体本质关系的再现。物理模型是知识与思维的产物，是知识与能力的完美结合。人们通过对物理模型的认识和研究，理解物理知识深刻的内涵及外延，并获取关于原型客体的知识及其在自然界中的运动变化规律。

在分析一个物理问题的时候，常常会发现影响它的因素往往是复杂多样的，比如：一个物体从高处落下，影响它运动过程的因素很多（重力、阻力、风、环境、体积等），如果把所有因素都考虑在内，

对该物体的运动时间、位移、速度进行研究,寻找运动规律,事实上很难做到。这种情况下,可以先不考虑次要因素,只考虑重力的影响,突出这个共同的本质,排除其他所有因素,就诞生一种理想过程模型——自由落体运动模型,即质点在唯一的重力作用下产生的竖直方向上的匀加速直线运动。然后再回来——考查各个因素对它运动状态的影响就容易得多。再比如研究带电粒子之间的相互作用,就可以忽略它们之间的万有引力作用,但当研究带电粒子在电场中的运动时,就不能不考虑重力了。因此,在分析研究一个具体物理问题时,常常采用这样的策略来构建行之有效的物理模型。

二、物理模型方法与物理学的发展

1. 牛顿的万有引力定律与质点模型

质点模型是牛顿在研究万有引力定律时首先使用的。牛顿在 1666 年计算地球对其附近一个小物体的引力时,遇到一个使他困惑的问题:怎样确定这一物体与地球之间的距离呢?是物体离地面的高度,还是物体离地心的距离,还是物体离一个别的点的距离?牛顿尽管当时选用了物体离地心的距离进行计算,而且发现他计算出的理论值与实验中的实际值相当接近。但他仍不能确定地球对一物体的吸引恰如它的质量全部集中在中心点一样。这是牛顿当时虽然已经得出了万有引力公式而不敢公开发表的主要原因之一。直到 1685 年,牛顿自己才证明出了这样的定理:两个球体之间的吸引力和假设每一个球的质量都集中在各自的中心点是相同的。正是消除了这一长期的困惑的问题以后,牛顿才于 1686 年正式公布他所发现的万有引力定律,他的这一伟大的发现被推迟了整整二十年才被公布出来,但模型的方法在物理学的研究中所起的不可替代的作用开始显现出来。

2. 伽利略的惯性定律与理想实验模型

自近代科学诞生以来,思想实验作为与实际实验相辅相成的一种理论研究方法早已显示出它在科学发现中的重要作用。这是一种与实际实验程序相类似的逻辑推理方法,是在思维模型的基础上,按照实际实验的格局和步骤展开的推理活动。实验对象、实验设备、实验条件等都是些理想实验模型,实验操作是在思维中进行的推理。这种理想实验的结果实际上是思维操作亦即逻辑推理的结果。理想实验之所以重要,是因为它能够成为实际实验的逻辑补充。实际实验是实际物质活动,因为受到种种物质条件限制,对于研究对象、环境条件只能做到相对的简化、纯化和强化,而思想实验则可以做到绝对理想化、绝对的简化、绝对的纯化和强化。理想实验可以超越具体物质的条件限制,在思维中达到某种理想的、极限的境地,亦即用一种特殊的逻辑推理方法超越实际实验的局限,把终止了的实验在思维中继续下去,从而获得新的结论。伽利略发现惯性定律正是运用了理想实验的结果,是实际实验与理想实验相结合的产物。爱因斯坦说:“惯性定律标志着物理学上的第一个大进步,事实上是物理学的真正开端。

它是由考虑一个既没有任何外力作用而又永远运动的物体的理想实验得来的。从这个例子以及后来的许多旁的例子中，我们认识到用思维来创造理想实验的重要性。”

3. 热机效率与卡诺的热机模型

在物理学研究中，研究对象往往处于多种外界因素的影响之中，但对特定条件下所要研究的问题来说，并不是所有的外界因素都起着同样重要的作用，而是只有一种或几种起主要作用，其余的或者不起作用，或者作用很微弱。建立物理模型就是要抓住针对这一特定条件起主要作用的因素，完全忽略其他因素的影响。而在实际研究中，有时物理学家可能对研究对象认识不太清楚，难以明确哪些因素可以忽略。这时，往往采用尝试法，即试着去忽略某些因素，然后再和实验结果对照，从而逐渐地弄清楚可以忽略哪些因素。

在卡诺进行热机效率的理论研究之前，经瓦特改良后的蒸汽机虽然比纽可门机的效率高3~4倍，但是浪费能量仍很严重。因此，卡诺提出能不能从理论上解决蒸汽机的最高效率问题。很显然，蒸汽机是个复杂系统，处于各种各样的外界因素的影响之中，如工质温度的变化，工质同外界热量的交换，内部器件之间、器件与工质之间的摩擦等等。这些因素在具体应用中都无法排除，不可忽略。但是要将这些因素都考虑进去，研究起来将非常复杂。于是建立了一个卡诺热机理想循环模型，这个循环模型由两个等温过程和两个绝热过程组成。忽略了工质温度的变化，使循环过程是等温的；忽略了工质同外界交换热量等因素，使循环过程是绝热的；忽略了真实工质在热机循环后被抛弃于外面这一因素，使循环成为封闭的。卡诺设想的这部热机，虽然在现实中永远制造不出来，但由于其纯化了热机所处的条件，概括和抽象出热机的本质和特性，从而在理论上解决了热机的最高效率问题，所以能为切实提高热机的实际效率提供理论指导。

4. 人类对原子结构的认识与原子模型

电子的发现，打开了人们探索原子内部结构的大门，在此之前，人们对原子的内部状态一无所知，只能把原子看成是一个不可分的整体，顶多假设它是一个谐振子在做机械运动或是一个赫兹振子在做电磁振荡。从这些假设出发，虽然也可以进行数学计算，但却无助于物质结构的了解。只有在发现电子和确证原子可分后，才有可能真正建立原子结构的模型，探索原子结构的理论，从而对光谱的发射和其他原子现象作出正确的解释。

所谓原子结构模型，实际上是针对下列问题给出答案：原子内部有带负电的电子，但原子是中性的，所以必定还有带正电的部分，这些正电荷具有什么性质？是怎样分布的？正、负电荷之间如何相互作用？原子内究竟有多少电子？电子的数目如何确定？怎样才能保持原子的稳定状态？怎样解释线光谱？怎样解释放射性？等等。

面对这些问题，物理学家们根据自己的实践和见解从不同的角度提出不同的模型。经过实践的检验，

有的成功，有的失败。下面选取一些有代表性的例子来说明原子模型的历史演变。

汤姆逊的原子模型—1895年伦琴发现X射线后，英国物理学家汤姆逊对阴极射线管内的气体放电现象进行了深入的研究，测出了射线粒子的比荷，它比已知最轻的氢原子的比荷还要大得多，这说明组成射线的粒子的质量特别小，汤姆逊将这种粒子叫做电子。电子的发现打破了原子不能被再分割的观点，为人类认识物质的结构打开了一扇新的大门。1903年，汤姆逊提出了他的原子模型：正电荷均匀分布在原子球体之中（球体的直径的数量级约为 10^{-10}m ），带负电的电子散布在原子中，而且它们分布的位置是对称的。当电子静止在平衡位置时，原子是稳定的；当电子偏离各自的平衡位置时，电子就会振动而发光。汤姆逊的这种原子模型又被形象地叫做“枣糕模型”。

卢瑟福的原子模型—卢瑟福指导下的研究小组于1909年做了著名的 α 粒子散射实验。他们用 α 粒子轰击很薄的金箔做的靶子，并用荧光屏记数来观测穿过金箔的 α 粒子散射情况。根据实验结果，卢瑟福提出了原子的核式结构模型。这个模型当时并不被大多数人所接受，原因是绕核旋转的电子作环状分布，在经典力学看来，它不具有力学上的稳定性；在经典电磁理论看来，电子运动也会不断向外辐射能量，电子很快就会掉到原子核上去，破坏原子的稳定性，必然导致原子的很快死亡。尽管事实并非如此，但这样的模型还不能解释光谱的不连续现象。

玻尔的原子模型—虽然卢瑟福的原子模型当时被大多数物理学家认为是错误的，但玻尔却认为卢瑟福的原子模型是依据实验提出的，又能很好地解释 α 粒子散射实验的结果，必有其正确性。经过认真研究，玻尔找到了解决卢瑟福的原子模型所面临严重问题的方法。他大胆引进普朗克的量子观念，对核式模型进行了创造性的改进，提出了具有量子性的定态核式模型——玻尔模型。并成功解释了氢原子光谱，使人类对微观世界的认识又向正确的方向迈出了坚实的一步。

电子云原子模型—由于玻尔模型实际上是经典物理理论加上量子条件的一个折衷产物，这一点被德国物理学家玻恩发现，并在他的著作《原子力学》中对玻尔模型做了统计学修正。再加上其他许多著名物理学家的工作，最终建立了电子云模型。即在每个原子的正中央，有一个很小的核，它集中了原子内的全部正电荷和几乎全部的质量，电子在原子核外某个地方出现的机会（几率）是不相同的，有的地方电子出现的机会多，有的地方出现的机会少，电子在核外出现的机会最多的区域就像一层云雾一样笼罩着原子核。后人把这种模型简称为电子云模型。

5. 气态方程与理想气体模型

如何通过建立模型来研究气体的宏观性质的呢？在研究一个质点系的运动情况时，按照经典力学的一般方法，是对每个质点应用牛顿定律列出方程，然后根据每个质点的初始位置和初速度加以运算，得出每个质点的运动函数，从而知道该质点系的运动情况。而对于由大量分子组成的热力学系统从微观上加以研究时，上述的一般方法无法再用，必须用统计方法，即对微观量求统计平均值的方法。而要对微观量进行研究，是通过建立理想气体模型进行的。气体动理论关于理想气体模型的基本微观假设的内容可分为两部分。一部分是关于分子个体的，另一部分是关于分子集体的。关于每个分子的力学性质的假设：

- ①分子本身的线度比起分子之间的平均距离来说,小得很多,以至可以忽略不计。
- ②除碰撞瞬间外,分子之间和分子与容器壁之间均无相互作用。
- ③分子在不停地运动着,分子之间和分子与容器壁之间发生着频繁的碰撞,这些碰撞都是完全弹性的,即在碰撞前后气体分子的动能是守恒的。
- ④分子的运动遵从经典力学的规律。

以上这些假设可概括为理想气体的分子的一种微观模型:理想气体分子像一个个极小的彼此间无相互作用的遵守经典力学规律的弹性质点。

在理想气体分子模型的基础上,推导出了理想气体状态方程,理想气体状态方程与实验结果符合得很好,可用来说明在任一平衡态下各宏观状态参量之间的关系。各种实际气体,在通常的压强和不太低的温度的情况下,都近似地遵守这个状态方程,压强越低,近似程度越高。

上述理想气体分子模型,认为气体的分子之间除了在碰撞的瞬时外没有相互作用力。但是实际的分子都是由电子和带正电的原子核组成的,它们之间实际上总存在着相互作用力。对实验结果的理论分析表明,两个分子间的相互力随两个分子中心间的距离 r 变化的情况可用1-1-1图的曲线表示。

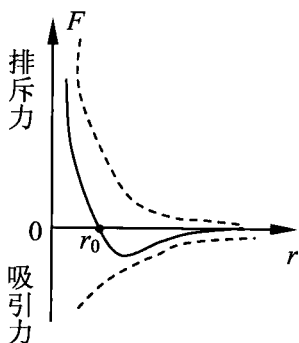


图1-1-1

当 $r < r_0$ 时,两分子的相互作用力表现为斥力。当 $r > r_0$ 时,两分子的相互作用力表现为引力。两分子分离较远时,两分子的相互作用几乎等于零,可以忽略不计。当 $r = r_0$ 时,两分子间也无相互作用。此 r_0 称为平衡距离。由图1-1-1可看出,当两个相向运动的分子彼此接近至 $r < r_0$ 时,相互斥力迅速增大。这强大的斥力将阻止两者进一步靠近,好像两个分子都是有一定大小的球体一样。

为了初步考虑分子间相互作用对气体宏观性质的影响,就简化地认为当两个分子的中心距离达到某一值 d 时,斥力变为无限大,因而两个分子中心距离不可能再小于 d 。这相当于把分子设想为直径为 d 的刚性球,这 d 就叫做分子的有效直径。实验表明,分子的有效直径的数量级为 10^{-10}m 。中心距离超过 d 时,两分子之间只有引力作用,其有效距离 s 是分子有效直径的几十到几百倍。这样我们就建立了比理想气体分子模型更接近实际气体分子的分子模型——有吸引力的刚性球模型。我们可以根据这个模型来修正理想气体状态方程,从而得出更接近实际气体性质的状态方程——范德瓦尔斯方程。

6. 光的波动说和粒子说

19世纪末到20世纪中叶,已持续了近两个世纪的关于光的波动说和粒子说之争进入了一个新阶段。

1885年,德国物理学家赫兹用实验证实了麦克斯韦预言的电磁波的存在,支持了麦克斯韦关于光是一种电磁波的推测。但与此同时,人们还发现了光电效应现象和它的规律:对于任何一种可以产生光电效应的金属来说,都存在一个能够使该金属产生光电效应的光波的极限频率,低于这个频率的光线,哪怕它的强度再大,也不能使该金属产生光电效应,而产生光电效应时,光电流的大小由光线的强度来

决定；光电效应的反应时间极短，小于 10^{-9}s 。这些规律无论如何都不能用波动理论来加以解释。只有用微粒说才能很好地解释这些现象。问题由此产生，光到底是波还是粒子？光的波动理论是建立在实验事实基础上的理论，显然是正确的。而光电效应也是不容否定的。怎样才能找到符合自然界和谐统一的规律？1905年，爱因斯坦通过建立光子模型，提出了他著名的光子假说，完满地解释了这些现象。爱因斯坦的光子假说并不否认光具有波动性这一特点，因为他的光子模型不同于牛顿的光微粒模型，爱因斯坦的光子模型的能量 $\varepsilon = h\nu$ 是与表示波动性的光的频率联系在一起的。这就说明光子是既有粒子性，又具有波动性——即具有“波粒二象性”的物质。

三、模型方法在中学物理教学中的运用

1. 构建物理模型的方法从质点的引入开始

当研究火车在城市之间运行所需时间这类问题时，由于列车的长度远小于两个城市间的距离，就可以不考虑列车的长度，将列车视为质点。而当列车通过一座桥梁时，要研究列车过桥的时间就不能再简单地将列车视为质点，但这时能否依然使用质点模型来研究这一问题呢？当然可以，比如可选列车头部作为质点，而火车过桥的过程可相应地看做是列车头部通过车长再加桥长的过程。高中物理教学中的运动学的规律都是对质点而言，而实际生活中所遇到的又都是有形状和大小的实际的物体，不可能遇到真正意义上的质点，因此，对哪些物体在哪些相应的过程中可以看做是质点的判断，就是构建物理模型的思想方法的运用。我们所研究的对象只要是平动，而不是转动，都可以用质点模型来研究。当研究物体的运动涉及它自身的转动时，质点模型便不适用了，于是又抽象出刚体模型。建立模型的过程不应该是僵化的过程，关键在于：模型是否真正反映客体的本质特征，并有助于推知客体的某种性质或规律。

曾听过这样一节课，课的题目是《圆周运动》。教师课前做了充分的准备，其中就有一个课件，是一个正在绕圆心做匀速圆周运动的轮子，这对学生产生吸引力，学生很快进入状态。作为课题的引入教师先请学生说说自己知道的圆周运动，有学生提到钟表上转动的时针，有学生提到开动汽车的车轮，有学生提到洗衣机的甩干桶，教师表示赞同。但当有一个学生说出一块粘在车轮上的口香糖在做圆周运动时，全班笑起来，教师也未置可否。但如果从正确建立物理概念这一角度来说，最后一个同学的说法最具启发性。我们通常所说的圆周运动是谁在做圆周运动？我们在这里必须明确地指出：是质点在做圆周运动。因此，应当说钟表时针上有很多的质点，它们都在分别做着不同的圆周运动。只有明确了这一点，学生在学习后面的一系列的描述圆周运动的物理概念时才能深刻理解，准确把握这些概念之间的内在联系。学生是在学习《直线运动》这一章时，开始接触质点这一物理模型的，到《曲线运动》这一章时，教师要注意以质点模型为例帮助学生强化建立模型来解决问题的意识，学生既可以在此基础上正确建立物理概念，又可以在以后的学习中逐步加强借助物理模型解决物理问题的自觉性。

有教师在课后留给学生的思考题：拍苍蝇与物理有关，市场出售的蝇拍拍把长约 30cm，但这种拍的使用效果往往不好，当拍头打向苍蝇，尚未打到，苍蝇就飞了。有人将拍把增长一倍，结果是打一个准一个。你能解释其原因吗？你在解释这个现象时使用了怎样的物理模型？

2. 物理模型与摩擦力本质的研究

摩擦力是怎么产生的？从 15 世纪到 18 世纪，科学家们通过建立凹凸模型，提出了一种解释摩擦本质的凹凸啮合说，这个理论认为摩擦是由于互相接触的物体表面粗糙不平产生的。两个物体接触挤压时，接触面上很多凹凸部分就互相啮合。如果一个物体沿接触面滑动，两个接触面的凸起部分相碰撞，产生断裂、磨损，就形成了对运动的阻碍。继凹凸啮合说之后，英国的物理学家德萨左利厄斯于 1734 年提出了粘附说，他认为产生摩擦的真正原因在于接触面间的分子力作用。表面愈是光滑，其摩擦力就愈大。理由是如果表面愈光滑，其摩擦面愈接近，表面分子进入彼此之间分子力和原子力的引力范围之内，结果使两者产生强烈的粘合，这就表现为宏观上的摩擦力。直到 20 世纪，随着工业和技术的发展，对摩擦理论的研究进一步深入，诞生了新的摩擦粘附论。新的摩擦粘附论认为，两个互相接触的表面，真正的接触面与宏观接触面不能混为一谈。大量的实验事实证明：真正的接触面，根据压力的大小，一般仅为宏观接触面的万分之一。在此基础上产生一种新的思想，由于真正接触面积积极小，当宏观接触面上受到的压强只有几百千帕时，可在真正接触面上产生几百万千帕，如此大的压强已经远远超出了弹性物的弹性限度，因而使其发生塑性流动，使接触面的凹凸变形，接触部分产生了原子性或分子性粘附，分子间或原子间的相互作用就表现为宏观上的摩擦力。这种学说已经得到广泛的承认和支持。可以确定宏观接触面越是粗糙不平，摩擦力越大，但不能随意外推：“绝对光滑”的理想面摩擦力为零。

对同一问题构建的理想模型不具有唯一性。因此，在科学认识活动中表现以下两方面情况：一方面，对同一研究对象，常有多模型并存，形成相互竞争或对峙的局面；另一方面，对同一问题的认识深化过程，实际上也就是多种模型逐个更替的过程。

教学上经常使用的“光滑平面”，是指无摩擦或摩擦因数等于零的表面，即没有摩擦力，这只是在教学上的一种约定而已。

3. 点电荷模型与库仑定律

电荷之间的相互作用力，实质上是通过电场作用的。每一个电荷都要激发电场，空间的电场是各个电荷的场的叠加。点电荷只是在一定情形下使用的理想化模型。实际的场源电荷或是带电导体或是带电的介质，都有一定的大小和形状。在它周围没有其他带电体时，其电荷有一定的分布，并激发一定的电场 E_0 ；当在其周围放入带电体 Q 以后， Q 固然受电场的影响，而 Q 激发的场 E' 也要影响场源带电体的电荷分布（静电感应或极化）。电荷分布改变以后的场源电荷激发的电场 E 必定不同于 E_0 。作用于带电体 Q 上的电场力决定于这时的 E ，而不是原来的 E_0 。

4. 金属导电模型的应用

金属如何导电？金属导电与恒定电流中的电流、欧姆定律、电阻定律以及电阻和电阻率等知识有怎样的内在联系？如果教师在教学中有意识地帮助学生加强对金属导电模型的理解和应用，学生可较好地掌握上述有关知识。金属导电微观模型是怎样一个模型？

电子的发现为金属导电模型的建立提供了重要的依据，此后，德国科学家德鲁德发现金属中的自由电子密度，在数值上与标准状况下理想气体的分子密度相近，通过类比首次提出了金属导电的“自由电子气模型”。该模型认为，金属依靠自由电子导电，这些自由电子像气体分子一样无论何时都在做无规则的热运动。当金属导体两端不加电压时，自由电子沿任意方向运动的机会相等。对于导体中任一截面来说，任何时刻从两侧穿过它的自由电荷数都相等，它们的作用相互抵消，不会形成电流；当金属导体两端加上电压时，金属导体内建立了电场，这些自由电子在恒定的电场力作用下穿行于金属阳离子之间，不断地与金属阳离子磕磕碰碰而受到阻力，电场力和碰撞的阻力达到平衡时，最终形成一个稳定的自由电子的定向移动速度，从而在金属中产生了电流。

根据金属导电模型可知，电流是自由电子的定向移动形成的，因而电流的大小一定跟导体中自由电子的多少及其定向移动快慢有关。设导体的横截面面积为 S ，单位体积导体中的自由电子数目为 n ，每个自由电子的电量为 e ，自由电子做定向移动的速度为 v ，那么在 t 时间内自由电子定向移动的距离是 $L = v \cdot t$ 。也就是说在时间 t 内，体积 $V = Svt$ 内的自由电子全部通过了横截面 a （如图 1-1-2 所示），根据电流的定义式，得

$$I = \frac{Q}{t} = \frac{Svtne}{t} = nevS$$

这就是金属导体中电流的微观表达式。

我们还可以借助金属导电模型对欧姆定律进行微观解释。如图 1-1-3 所示，当一段长度 L 、横截面积为 S 的导体两端加上电压 U 后，可认为导体内部产生了匀强电场，由匀强电场的特点，电场强度为 $E = \frac{U}{L}$ ，自由电子在电场力作用下做定向加速运动，其加速度大小为 a ， $a = \frac{eU}{mL}$ 。

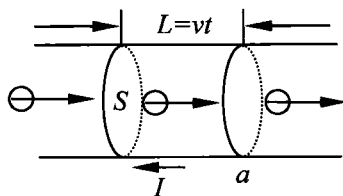


图 1-1-2

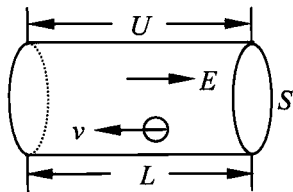


图 1-1-3

其中 e 和 m 分别为电子的电量和质量。由于导体中的自由电子在运动过程中频繁地与金属阳离子碰撞，自由电子定向移动的加速运动很快受到了破坏，限制了定向移动速度的增加。并且，由于自由电子热运动的无规则性，在与金属阳离子碰撞后向各个方向弹射的机会相等，失去了碰撞前具有的定向移动的特性。可以认为，自由电子在与金属阳离子两次碰撞之间的定向移动是初速度为零的匀加速运动。设自由电子在两次碰撞之间的平均时间为 t ，电子在第一次碰撞后的瞬间定向移动速率变为零，到下一次碰前获得的定向移动速度为 $v_t = at$

则在两次碰撞过程中定向移动的平均速度为 $v = \frac{0 + v_t}{2}$, 这样, 对大量电子来说, 可以认为每个电子都是以这个平均定向移动速率 $v = \frac{v_t}{2} = \frac{1}{2} \cdot \frac{eU}{mL} \cdot t$

把自由电子定向移动的速度 $v = \frac{eUt}{2mL}$ 代入电流的微观表达式 $I = nevS$, 即得 $I = \frac{e^2 n t S U}{2mL}$, 比较 $I = U/R$ 可知: 对于一段金属导体, $R = \frac{2mL}{e^2 n t S}$ 是一个常量, 即为金属导体的电阻。

四、典型题目分析

建立物理模型的方法有助于提高学生解决实际问题的能力, 因此教学要引导学生在学习物理知识的过程中强化模型意识。学生首先要熟悉、理解、积累常见的物理模型, 并体会建立这些模型经历了怎样的过程? 排除了哪些非本质的因素和次要属性的干扰? 从而突出问题的主要方面, 揭示物理现象的本质过程; 其次解题过程就是建模过程, 对高中教学中所遇见的绝大多数物理问题, 实质上多是“模仿”、“还原”物理模型的过程, 这种“模仿”、“还原”不是机械被动地“乱套”公式, “横看成岭侧成峰”, 对同一个问题, 人们从不同的角度去考察时, 就可能构建出不同的模型。我们在建立模型时一定要从具体物理问题出发, 具体地分析哪些是支配这些物理过程的主要因素, 并由此建立起适当的物理模型。

用构建物理模型的方法去分析解决物理问题贯穿在高中物理教学的始终, 物理模型构建的水平高低能反映学生将知识转化为能力的水平, 因此在高中物理的教学中教师要不断地引导、强化学生构建物理模型去解决问题的主动意识, 并在“模仿”、“还原”、“反思”、“创新”物理模型的过程中真正提高解决问题的能力。

如何让学生在较少的课时内, 掌握更丰富的物理知识? 物理模型的教学不失为一种有效方法; 新的课改更加重视的是学生独立思考问题、解决问题的能力, 很多问题源于生产生活实际。许多问题的主干知识, 就是最新的前沿科技成果, 这样的题, 起点高落点低, 注重学生运用所学知识综合分析和解决问题的能力, 要求学生能从大量的文字中, 摄取有效信息, 然后通过建立物理模型从而解决问题, 因此建模能力得到空前的重视。如果缺乏这种能力, 学生难以抓住有效信息, 建立不起正确的模型, 又怎么谈得上解决问题?

物理模型来源于实践, 形成理论, 又反作用于实践, 具有前瞻性。物理模型作为物理基本知识单元, 既是掌握基本物理知识的基础, 也是组成综合问题的基础。通过建立物理模型的过程, 使学生能发现知识之间的内在联系, 掌握各种概念、原理的丰富内涵和本质, 将分散的知识整合为系统知识, 进而形成一种新的、经学生自己所构建的知识结构。从这个意义上讲, “建模”就是实现对知识的“融会贯通”。建立物理模型的过程就是在反思过程中将获得的感性认识升华到理性认识的过程, 就是学习者把所获得的体验、方法、思想、观念运用到新的情景中去。这本身就是一种创造性学习。

[例题 1] 天文观测表明, 几乎所有远处的恒星 (或星系) 都在以各自的速度背离我们而运动, 离我们越远的星体, 背离我们运动的速度 (称为退行速度) 越大; 也就是说, 宇宙在膨胀。不同星体的退行

速度 v 和它们离我们的距离 r 成正比, 即 $v=Hr$ 式中 H 为一常量, 称为哈勃常数, 已由天文观察测定。为解释上述现象, 有人提出一种理论, 认为宇宙是从一个大爆炸的火球开始形成的。假设大爆炸后各星体即以不同的速度向外匀速运动, 并设想我们就位于其中心, 则速度越大的星体现在离我们越远。这一结果与上述天文观测一致。由上述理论和天文观测结果, 可估算宇宙年龄 T , 其计算式 $T=$ _____。根据近期观测, 哈勃常数 $H=3\times 10^{-2}$ 米/秒·光年, 其中光年是光在一年中行进的距离, 由此估算宇宙的年龄约为_____年。

【解析】通过阅读文字叙述, 在同学的头脑中出现这样一副情景, 宇宙诞生于一个静止的大火球, 突然火球爆炸了, 分解成无数块碎片, 向四面八方飞去。每一块碎片都以爆炸时的速度做匀速直线运动。

以整个宇宙为研究对象, 这一情景的特点是初状态系统的速度为零, 也就是系统的初动量为零, 系统不受任何外力, 系统的动量守恒, 所以系统的末状态总动量的矢量和也为零。宇宙爆炸有广义的内能转化为各个星系的动能。如果以地球为参考系, 选择第 n 个恒星为研究对象, 画出它的位移图, 分析其受力情况, 从宇宙大爆炸为起始时刻到目前为止, 恒星所受外力为零, 即该恒星的加速度为零, 其初速度为 v 。该恒星的运动模型是匀速直线运动。它所遵循的规律是 $s=vt$ 。

恒星运动时间就是宇宙的年龄。从星系运动所遵循的这些规律中可以找到解决本题所需要的规律。

$$T=t=\frac{s}{v}=\frac{r}{v}=\frac{r}{Hr}=\frac{1}{H}$$

本题将复杂的宇宙简化为质点模型来研究, 并且将爆炸后的运动简化为匀速直线运动模型, 使问题迎刃而解。过程模型的建立往往是解决一个物理问题的难点, 学生只有将题目的文字叙述准确地转化成头脑中相应的物理情景, 再对物理情景进行分析、判断, 然后构建与之相适应的过程模型和状态模型, 解决问题才会得心应手。

【例题 2】中子星是恒星演化过程的一种可能结果, 它的密度很大。现有一中子星, 观察到它的自转周期为 $T=1/30$ s。问该中子星的最小密度应是多少才能维持该星体的稳定, 不致因自转而瓦解。计算时星体可视为均匀球体。(引力常数 $G=6.67\times 10^{-11}\text{m}^3/\text{kg}\cdot\text{s}^2$)

【解析】本题是一个力学题, 取材于天文学中的中子星, 从知识上讲, 它考查了万有引力定律、匀速圆周运动、密度概念等, 但更重要的是本题考查了考生建立物理模型的能力, 这是解决实际问题中必须具备的一种能力。具体地说, 题目要求讨论中子星不致因自转而瓦解的条件, 如果我们以中子星为研究对象可以解决这样一个实际问题吗? 结论是不行。可行的做法是“隔离”出中子星表面处的一小块质量为 m 的质点作为研究对象, 这个质点随中子星做匀速圆周运动, 我们只需研究质点 m 受力与它的运动情况, 考虑到质点 m 受到星体其他部分的万有引力作用, 而要保证质点 m 在匀速圆周运动的过程中不从中子星上脱离, 这个力必须大于或等于它随星体做匀速圆周运动所需的向心力, 而“隔离”出的这块物质质量 m 很小, 星体其余部分的质量仍然等于星体的总质量 M 。如果我们选择的质点 m 具有普遍的代表性, 若 m 不脱离, 也就可以确定中子星不致因自转而瓦解。接下来的问题是我们选择出的这一点 m 具有普遍的代表性吗? 中子星上同一个物体位于赤道时所需的向心力最大。这就要求我们“隔离”

出的质点 m 一定是在中子星的赤道表面处, 如果它受到星体其他部分的万有引力作用大于或等于它随星体做匀速圆周运动所需的向心力, 则可确定中子星上任意一处的质点都不会在随中子星做匀速圆周运动的过程中脱离开, 即可保证中子星不瓦解。我们在研究本题的时候, 建立了质点模型和匀速圆周运动的模型, 建立前一个模型是建立后一个模型的条件和基础, 因为没有前一个模型, 我们头脑中也可能会有一个匀速圆周运动的模型, 但这一模型是模糊的和不确定的, 我们可以追问是谁在做匀速圆周运动? 是中子星吗? 如果是这样, 对我们解决这一实际问题有何帮助呢? 我们在帮助学生强化模型意识的时候一定要具体和明确, 根据实际问题找出关键的突破口才是根本。

【例题 3】在一些工业生产中常使用一种磁流体泵, 这种泵的传动部分与被传输的液体不接触。图 1-1-3 表示这种磁流体泵的结构。将导管放在磁场中, 当电流通过导电液体时, 这种液体即被驱动, 若导管的截面面积为 $w \cdot h$, 上、下表面为导体, 前、后表面绝缘, 管长为 l , 液体的电阻率为 ρ , 所加电源电动势为 E , 内阻为 r , 垂直于前、后表面所加匀强磁场磁感应强度为 B , 求驱动力产生的压强差为多少?

【解析】图 1-1-4 为磁流体泵简化情形, 其原理为电流流过液体时, 液体即为载流导体, 在磁场中受安培力作用, 可建立如图 1-1-5 所示的模型, 它实际上可看成是一个通电导体受安培力的模型 (导体棒长为 h)。它遵循的规律是 $F = BIL$ ($L=h$); 流体中的电流由电源提供; 在闭合电路的欧姆定律中, 液体的电阻等效为外电阻; 通电导体受安培力的方向由左手定则判断。

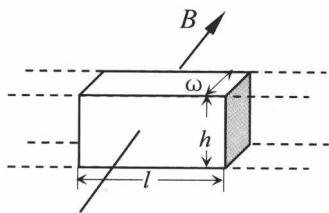


图1-1-4

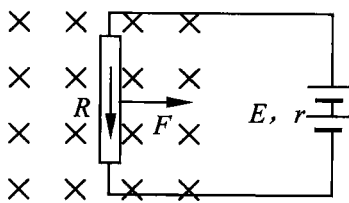


图1-1-5

载流导体棒长为 h , 横截面积为 $w \cdot l$ 电阻为 $R = \rho h / wl$ 的载流导体棒所受的安培力为

$$F = BIlh \quad (1)$$

由欧姆定律, 得 $I = E / (r + \rho h / wl)$ (2)

由压强公式, 得 $P = F / (wh)$ (3)

由①、②、③式, 得 $P = BE / (rw + \rho h / l)$

【例题 4】电磁流量计广泛用于测量可导电液体在管中的流量, 为了简化, 假设流量计是图 1-1-6 所示横截面为长方形的管道, 其中空部分长、宽、高分别为 a 、 b 、 c 流量计的两端与输送流体的管道相连, 前后表面绝缘, 上下表面为金属材料。在垂直于前后表面方向加上磁感应强度为 B 的匀强磁场, 当导电液体稳定流经流量计时, 在管外将流量计上下表面用一串接了电阻 R 的电流表两端连接, I 表示测得的电流值, 已知液体电阻率为不计电流表内阻, 则可求得流量为多少?