

中学物理思维方法丛书

顾 问 [周培源] 于光远
序 言 阎金铎
主 编 王溢然 束炳如
编 委 (按姓氏笔划为序)
王明秋 王溢然 [刘宗贤]
束炳如 岳燕宁 谢 凯
本册作者 王溢然
插 图 朱 然

没有大胆的猜测，就作不出伟大的发现。

——牛 顿

只要自然科学在思维着，它的发展形式就是假说。

——恩格斯

序 言

在中学物理教学过程中,学生获取知识的同时,要重视从科学宝库中汲取思维营养,加强科学思维方法的训练。

思维方法是一个很大的范畴,有抽象思维、形象思维、直觉思维等。以抽象思维而言,又有众多的方法,在逻辑学中都有较严格的定义。对于以广大中学生为主的读者群,就思维科学意义上按照严格定义的方式去介绍这众多的思维方法,显然是没有必要的,也是不会收到成效的。由王溢然、束炳如同志主编的这套丛书,不追求思维科学意义上的完整,仅选取了在物理科学中最有影响、中学物理教学中最为常见的这些思维方法(包括研究方法)为对象,在较为宽泛的意义上去展开,立意新颖,构思巧妙。全套丛书共13册,各册彼此独立,都以某一二类思维方法为主线,在物理学史的恢宏长卷中,撷取若干生动典型的事例,先把读者引入到饶有兴趣的科学氛围中,向读者展示这种思维方法对人类在认识客观规律上的作用。然后,围绕这种思维方法,就其在中学物理教学中的

功能和表现、以及其在具体问题中的应用作了较为深入、全面的开掘,使读者能从物理学史和中学物理教学现实两方面较宽广的视野中,逐步领悟到众多思维方法的真谛。

这套丛书既不同于那些浩繁的物理学史典籍,也有别于那些艰深的科学研究方法论的专著,但却兼容了历史和方法、照顾了普及与提高、联系了中学教学实际、突出了对中学物理教学的指导作用和具体应用。文笔生动、图文并茂,称得上是一套融史料性、科学性、实用性、趣味性于一体的优秀课外读物。无论对广大中学生(包括中等文化程度的读者)还是中学物理教师、教学研究人员以及师范院校物理专业的大学生,都不无裨益。

科学研究是一项艰巨的创造性劳动。任何科学发现和科学理论都是在一定的背景下,经过科学家精心的实验观测、复杂的思维活动后的产物。在攀登道路上充满着坎坷和危机,并不是一帆风顺、一蹴而就的。科学家常常需及时地(有时甚至是痛苦地)调整自己的思维航向,才能顺利抵达成功的彼岸。因此,任何一项科学新发现、一种科学新理论的诞生,决不会仅是某种单一思维活动的结果。这也就决定了丛书各册在史料的选用上必然存在的某些重复和交叉。这是一个不足之处,但反过来却可转化为使读者的思维层次“多元化”的一个优点。不过,作为整套丛书来说,如果在史料的选用上搭配得更精细一些、思维活动的开掘上更为深刻一些,将会使全书更

臻完美。

我把这套丛书介绍给读者,一方面希望引起广大中学生的兴趣,能从前辈科学家思维活动轨迹中汲取智慧,活化自己的灵感,开发潜在的智能;另一方面希望中学物理教师在此基础上继续开展对学生思维方法训练的研究,致力于提高学生的素质,以适应新时期的需要。

我也真诚地希望这套丛书能成为图书百花园中一朵惹人喜爱的花朵。

阎金铎

1992年10月

引 言

猜想与假设(或假说、设想等)虽然在含义上或程度上不尽相同,但都是人们以一定的经验材料和已知的事实为依据,或以已有的科学理论和技术方法为指导,对未知事实或现象的原因及其规律所作的一种有一定推测性或假定性的说明,它是经验材料和科学理论之间的一座桥梁.科学的发展离不开假设,学习科学知识也经常需要假设.

在这本小册子中,我们摘取物理学发展史上的一些精彩的片断,通过一些典型的猜想与假设,向读者展示了猜想与假设在物理学发展中的重要作用,以及前辈物理学家是如何从纷杂的现象中萌发猜想、提出假设、检验假设、完善和发展假设,从而形成科学的理论的.同时,结合中学物理教学的实际,阐述了猜想与假设的教学功能和在分析、解决具体问题时的应用.

希望广大读者从阅读本书中,能提高对猜想与假设这一重要的思维方法的认识,并能运用它帮助自己理解和掌握物理知识,更希望能充分张开你智慧的翅膀,在浩瀚的未知世界中大胆地去猜想、假设,有所发现,有所创造.

作 者

1992年春于苏州烟雾楼

目 录

序言

引言

一、大胆的猜想 绝妙的假设	(1)
1. 落体运动规律的猜想	(1)
2. 天体引力的平方反比假设	(6)
3. 关于热本质的猜想	(12)
4. 关于电本质的假设	(16)
5. 黑体辐射与普朗克量子假设	(21)
二、猜想与假设在科学认识中的作用	(30)
1. 解释物理现象或规律	(30)
2. 提出新的实验和观测方向	(36)
3. 构成通往正确道路的桥梁	(43)
三、猜想的萌发 假设的形成	(53)
1. 类比推理法	(53)
2. 归纳推理法	(57)
3. 演绎推理法	(60)
4. 经验公式法	(64)
5. 直觉思维法	(67)
四、实践是检验和发展猜想与假设的惟一途径	(69)
1. 伽利略的斜面实验	(70)

2. 万有引力定律的验证	(72)
3. 伦福德实验与焦耳热功当量的测定	(79)
4. 汤姆生巧测阴极射线	(83)
5. 劳厄一箭双雕	(93)
五、中学物理中常见的几种假设	(98)
1. 物理条件的假设	(98)
2. 物理过程的假设	(104)
3. 矢量方向的假设	(111)
4. 临界状态的假设	(116)
5. 极端情况的假设	(124)
六、猜想与假设在中学物理中的应用	(133)
1. 猜想与假设对学习和运用物理知识的指导作用	(133)
2. 猜想与假设在中学物理解题中的应用	(135)
结束语	(179)
主要参考资料	(180)

一、大胆的猜想 绝妙的假设

科学的发展与人们探索自然奥秘的思维活动有着密切的联系,面对五彩缤纷的自然景象和前人在生活、生产实践中积累的许多经验,科学家们为了解决问题,寻求答案,必须要作一些大胆的尝试,最初往往只是些试探性的猜想和假设.英国著名科学家赫胥黎(T. H. Huxley, 1825—1895)说:“一切科学都始于假设——或者说尚未证明的假设,而它们或许并且常常是错误的,但是对于在一片混沌的现象中追寻秩序的人来说,它们总比袖手旁观好.”下面就是物理学发展史上不同时期的几个著名的猜想与假设.

1. 落体运动规律的猜想

亚里士多德猜想 关于落体的运动,古希腊学者亚里士多德(Aristotle, 前384—前322)从对“运动原因”的探讨出发,作出一些猜想.亚里士多德认为:宇宙有一个中心,这个中心正好与地球中心重合.宇宙万物都有其指定的位置,如果脱离原位,就要争取回去,即脱离原位的物体都有寻找“天然处所”的趋势.把一块石头抛向空中,石头有回到它原来在宇宙中的位置——地球上的趋

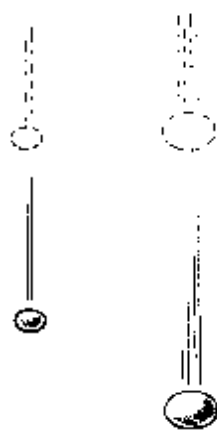


图 1 亚里士多德的落体观点

势,因此石头就要下落,并且,物体下落的速度和它们的重量成正比.他作出的猜想是:重的物体落得快,轻的物体落得慢(图 1).

亚里士多德关于落体运动的看法差不多流传了两千年.这两千年里,虽然有人曾反对过这种说法,但都因为没有确切的实验和理论上的论证,都没有被人重视.

伽利略的思想实验

成功地打破亚里士多德的错误权威的是意大利物理学家伽利略(G. Galilei, 1564—1642). 他从一个简单的思想实验得出的佯谬,*对亚里士多德的说法提出了反驳.把轻重不同的两个物体捆在一起,如果重物体比轻物体下落得快,那么当它们捆在一起下落时,由于快的物体受慢的物体的阻碍而减慢,慢的物体受快的物体的驱使而加快.其结果使得捆在一起的两个物体下落的速度一定介于原来两个物体的速度

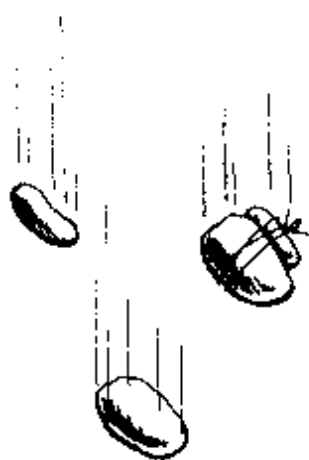


图 2 落体佯谬

之间,即小于原来重物体下落的速度,大于原来轻物体下落的速度(图 2).但是,两个物体捆在一起不就成了一个比原来的重物体更重的物体了吗?按亚里士多德的论断,这个物体下落的速度要比原来的重物体下落得更快,这就和上面的结论相矛盾了.由此可见,重的物体不会比轻的物体下落得更快.根据同样道理还可推知,轻的物体下落得不会比重的物体慢.所以,轻重不同的物体下落的速度应该是相等的.

历史上还流传下来一个脍炙人口的、生动的故事:1590年,伽利略曾登上如今名扬天下的比萨斜塔,当众从塔顶同时下落两个不同轻重的球,众人亲眼看到它们同时着地.如今,在意大利比萨

* 思想实验;又称思维实验,是以大脑为实验室、用思维操作进行的实验.

的博物馆里还陈列着据说是伽利略当年用过的木球。*

在伽利略的伟大著作《两门新科学》一书中还曾描写过类似的实验,他写道:“从高 200 库比特(当时意大利的长度单位,1 库比特 \approx 45.7 厘米——作者)的塔顶落下的铅球和乌木球,着地时前者不会比后者超前 4 英寸(1 英寸 = 25.4 毫米——作者).”

尽管对伽利略是否真的在比萨斜塔上做过落体实验还没有定论,不过,伽利略运用思想实验对亚里士多德的反驳是

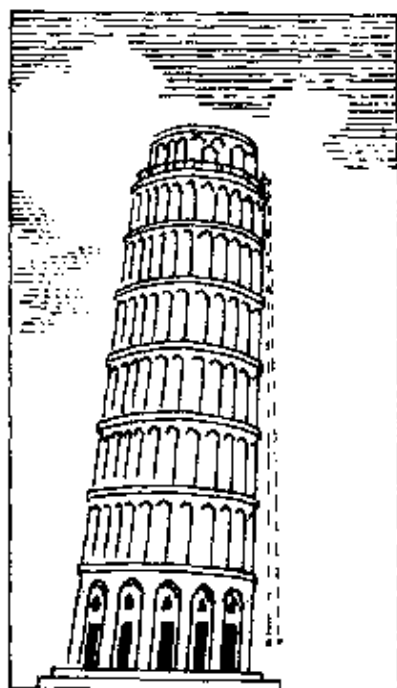


图 3 比萨斜塔

十分巧妙和成功的.他得出的猜测性的结论也是十分明确的.

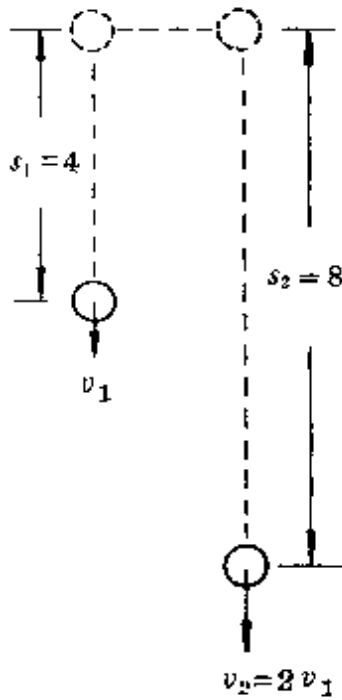


在破除了亚里士多德的错误观点后,伽利略转向对落体运动性质的进一步研究.

伽利略不从运动的原因出发,而是从如何描述运动着手.根据直观的观察,下落的物体总是越来越快,因此,他首先抓住“速度”这一基本特征对运动进行分类.他把物体的运动分成匀速运动和变速运动两大类,并且定义出匀速运动:“我们称运动是均匀的,是指在任何相等的时间间隔内通过同样的距离.”而对于落体运动,他从自然界“总是习惯于运用最简单和最容易的手段”的信念出发,认为落体运动速度的变化也应该以极简单和为人们十分容易理解的方式进行.因此他最初猜想(当时也有人提出

* 关于这段故事,现代科学史研究者大多认为不可信,但也有学者经过论证,认为可能做过.

过):“落体运动的速度和所经过的距离成正比。”但他很快领悟到这一猜想的逻辑错误,因为如果真是这样,物体下落 8 库比特的速度将是它下落前 4 库比特速度的两倍,这样下落前 4 库比特和下落



落 8 库比特用的时间应该相同(图 4). 这显然和实际观察不符合,一个物体下落 8 库比特的时间总比下落最初 4 库比特的时间长. 于是,伽利略紧接着作出一个大胆的猜想:物体下落的速度是均匀增加的. 也就是说,物体下落时速度与它的运动时间成正比,因此,下落物体是一种速度均匀增加的运动. 他根据这个猜想,用速度的增量 Δv 和运动时间 Δt 的比值定义出匀加速运动:“若一个物体从静止状态出发,在相等的时间内获得相等的速度增量,称这个物体的运动为匀加速运动.”现在把加速度的单位厘米/秒² 称为“伽”,正是

图 4 v 正比 s 的猜测
纪念伽利略的意思.

伽利略清楚地认识到,直接从速度的变化去判定运动的性质较为困难,他转向了去寻找物体通过的距离和运动时间的关系,并利用图解法巧妙地证明了:一个从静止出发做匀加速运动的物体,在某段时间内经过的距离和时间的平方成正比,即 $s \propto t^2$ (参见附注). 如果下落物体也做匀加速运动,那么它所通过的距离一定也应和时间平方成正比. 接着,伽利略就设计了“冲淡重力”的斜面实验,成功地验证了他对落体运动所作出的大胆猜想(参见 70 页).

附注:伽利略关于匀加速运动中 $s \propto t^2$ 的证明

假设某一物体由 C 点静止出发匀加速地通过一段距离 CD , 通过这段距离所用的时间用线段 AB 表示. 作垂直于 AB 的线段 EB

表示这段时间的末速度. 连接 AE , 所以从 AB 上等距离的点 ($A_1, A_2, A_3 \dots$) 引出的平行于 BE 而终于 AE 上的线段 ($A_1A_1', A_2A_2', A_3A_3' \dots$) 都表示经相等时间后的速度数值. 这些速度数值是和成正比的, 即

$$\frac{A_1A_1'}{t_1} = \frac{A_2A_2'}{t_2} = \frac{A_3A_3'}{t_3} = \dots$$

或者 $v \propto t$.

①

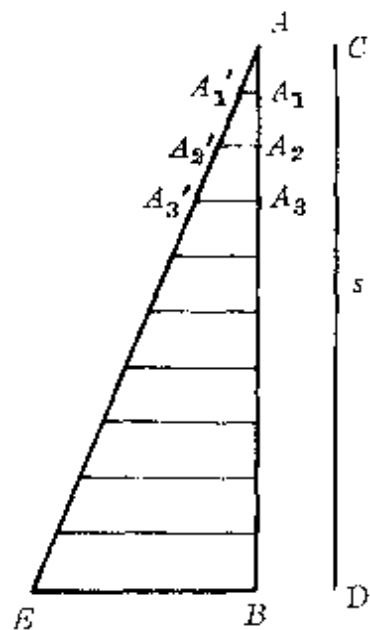


图 5 $v \propto t$ 的图解

由于物体做匀加速运动时, 速度是连续地每时每刻在增大. 要把各不同时刻的速度都表示出来, 必须想象从 AB 上各点引出无限多条逐渐加长的平行线段 (图 6). 这样, 三角形 AEB 的面积就代表了在 AB 这段时间内通过的距离 s . 由图中

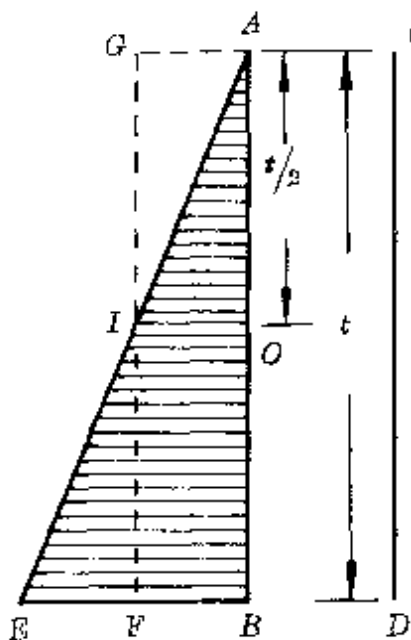


图 6 初速为零的匀加速运动的距离

还很容易看出, 一半运动时间的速度大小 (线段 OI) 正好等于初速度 (为零) 和末速度大小 (线段 BE) 的平均值. 以这个平均值在同样时间内做匀速运动通过的距离 (矩形 $ABFG$ 的面积) 和初速为零的匀加速运动通过的距离 (三角形 ABE 的面积) 相等. 即

$$s = vt = \frac{1}{2} vt. \quad \text{②}$$

由①、②两式于是立即可得到 $s \propto t^2$ 的结论.

2. 天体引力的平方反比假设

天体引力的 早期假设

哥白尼—开普勒的太阳系模型已描绘出一幅众天体环绕太阳运动的壮丽图景,那么,到底是什么原因使众天体如此依依不舍不肯远离太阳呢?在哥白尼(N. Copernicus, 波兰, 1473—1543)提出太阳系模型后不久,英国医生吉尔伯特(W. Gilbert, 1544—1603)根据他对磁体间相互作用力的研究,猜测行星是依靠着从太阳发出的像轮辐一样的磁力维系着绕日运动的,其强度则随着离太阳距离的增大而减弱.这是引力思想的萌芽.后来,开普勒(J. Kepler, 德, 1571—1630)在发现行星运动定律过程中,已清楚地意识到太阳有一种力支配着行星的运动,但他认为这个力的大小和行星与太阳的距离成反比.

从17世纪中期起,普遍萌发出试图从动力学角度解释天体运动的思想,有不少科学家提出过许多假设.其中较有影响的是:

1644年,法国杰出的数学家和哲学家笛卡儿(R. Descartes, 1596—1650)提出“旋涡”假设.他认为,宇宙空间充满着一种稀薄不可见的流质“以太”,它们围绕各个天体形成大小、速度和密度不同的旋涡,从而带动太阳周围的行星转动,并形成—个指向中心的作用,因而表现出引力现象——石块向地球降落、卫星被行星吸引、行星绕太阳旋转都是以太旋涡造成的.正如一根浮在水面的麦草,为水的旋涡所捉住,被带向运动的中心一样.



图7 搅拌水产生旋涡把砂石聚向碗心

牛顿早期也倾向于以太旋涡假设.1669年荷兰物理学家惠更斯(C. Huygens, 1629—1695)以水碗中搅拌起的旋涡把涂蜡的砂石聚向碗心的实验(图7),支

持笛卡儿的假设。

平方反比
假 设

1645年,法国天文学家布里阿德(I. Bulliadus, 1605—1694)提出了一个假设:众天体绕日运动受太阳发出的力的支配,而太阳发出的力跟离开太阳距离的平方成反比而减小.这是科学史上首次提出平方反比关系的假设。

1666年,意大利比萨大学教授伽利略的学生玻列利(A. Borelli, 1608—1678)根据他对行星的运动和木星的四个卫星的运动的观察指出:行星的椭圆轨道是两种相反力量的合成.一种是把行星吸向太阳的引力,另一种是使行星离开太阳的力,就像用绳系着石子旋转起来所受到的力一样.他还提出假设:太阳对行星的引力是行星与太阳间距离的幂的某种函数。

在引力问题的研究上作出重要贡献的是英国物理学家胡克(R. Hooke, 1635—1703)、雷恩(C. Wren, 1632—1732)和哈雷(E. Helley, 1656—1742).胡克在1674年的一次演讲中指出,引力随离吸引中心的距离而变化,“一旦知道了这一关系,天文学家就很容易解决天体运动的规律了.”1680年初,他在给牛顿的信中,提出了引力反比于距离平方的猜想.哈雷和雷恩在1679年按照圆形轨道和开普勒第三定律以及对引力研究有间接影响的惠更斯推证出的向心加速度公式 $(a \propto \frac{v^2}{R})$,* 导出了作用于行星的引力与它们到太阳的距离平方成反比的关系,其过程如下:

假设行星运行的圆轨道半径为 R , 运行周期为 T , 则行星运动

* 牛顿在惠更斯于1673年发表《摆钟》一书提出向心加速度公式前9年,已推得同样的公式。

的速率 $v = \frac{2\pi R}{T}$, 由惠更斯的向心加速度公式 $a_n \propto \frac{v^2}{R}$, 于是得向心加速度

$$a_n \propto \frac{4\pi^2 R}{T^2}.$$

根据开普勒第三定律知 $T^2 = kR^3$, 代入上式, 即得

$$a_n \propto \frac{4\pi^2}{kR^2}, \text{ 或 } a_n \propto \frac{1}{R^2}.$$

所以行星所受的引力 F 也与轨道半径平方 (R^2) 成反比, 即

$$F \propto \frac{1}{R^2}.$$

1684年, 胡克、雷恩、哈雷等人在一次聚会中, 又一次提出对这一问题的研究. 雷恩为此设立了一笔奖金, 奖励在两个月内能得出结果的人.

引力问题的困难

在牛顿之前和同时代的许多科学家虽然作了不少有益的猜测, 为什么不能把引力问题彻底解决呢? 原因是在他们前进的道路上还有着许多难以克服的障碍, 归结起来是:

第一, 行星实际沿椭圆轨道运动, 速度大小不断变化, 如何解决这种变速运动的问题, 当时还一筹莫展, 因此哈雷和雷恩等也无法把从匀速圆周运动得出的平方反比关系, 应用到椭圆轨道的运动中.

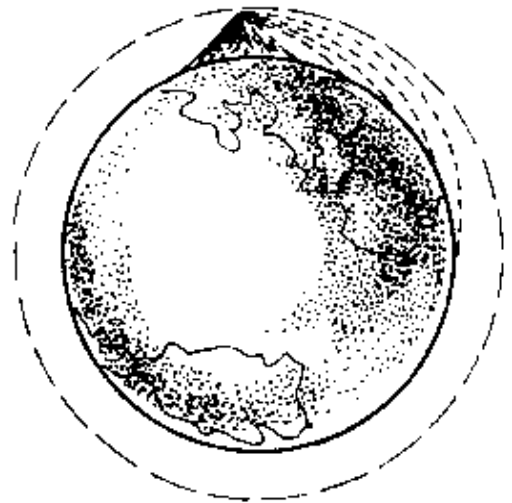
第二, 天体是一个庞大的物体, 如何计算由天体的各个小部分所产生的总效果呢? 1679年胡克写信给牛顿时就说, 困难在于太阳和行星都是广袤物体, 然而在理论上都不得不把它们的质量看作好像是集中在它们各自的中心点来处理. 对此, 当时还缺少理论上的论证.

第三,如果所有天体都是相互吸引的,那么在多个天体共有的太阳系中,如何解决它们之间的相互干扰这一复杂的问题呢?

显然,只有能妥善解决这一系列问题后,才能确定天体引力的平方反比假设.对这一问题作出圆满回答的是牛顿.

◆◆◆◆◆
◆ 牛 顿 的 ◆
◆ 伟 大 贡 献 ◆
◆◆◆◆◆

牛顿(I. Newton, 1643—1727)是近代自然科学发展史上占有里程碑式独特地位的、伟大的英国科学家,一生在自然科学的多种领域作了奠基性的工作.他 1661 年考入著名的剑桥大学,1665 年因避瘟疫回到故乡英格兰林肯郡的沃尔斯索普村.相传他在家乡因偶然看见树上的苹果落地而悟出万有引力,这只能是一个美丽的故事而已.不过,牛顿确是从直觉和猜测开始关于引力的思考的.在《自然哲学的数学原理》一书中,牛顿描述了这样一个思想实验:设想在高山顶上水平抛出一个铅球,由于被地球吸引,铅球沿着一条弯曲的轨道落向地面.抛出的速度越大,铅球落得越远.可以设想,当抛射速度足够大时,铅球将环绕地球运动而不再落回地面(图 8).这个铅球岂不成为一个“小月亮”了吗?由此牛顿联想



到了月球.牛顿认为,月球也可以是由于重力或其它力的作用使其形成围绕地球的运动.

在这段时期,牛顿根据从布里阿德的著作中受到的引力平方反比思想的启发,再结合他自己证得的向心力公式和开普勒行星运动第三定律,开始了他关于引力问题的思考.

首先,牛顿把行星绕太阳运动的椭圆轨道近似为圆轨道,认为

太阳对行星的引力就是行星绕太阳运动的向心力,即

$$F = ma_n = m \frac{4\pi^2}{T^2} R.$$

根据开普勒行星运动第三定律(周期定律) $\frac{R^3}{T^2} = k$, 代入上式后得到太阳对行星的引力

$$F = 4\pi^2 k \frac{m}{R^2},$$

可见 $F \propto \frac{1}{R^2}$, 这就是胡克猜想. 因为开普勒公式中的 k 是一个只与中心天体——太阳有关的恒量, 牛顿认为应与太阳的质量 M 有关, 令上式中的 $4\pi^2 k = GM$, 于是得

$$F = GM \frac{m}{R^2}.$$

即太阳对行星的引力跟太阳、行星质量的乘积成正比, 跟它们的距离平方成反比.

然后, 牛顿把上面推出的引力公式推广, 牛顿认为: 行星与卫星之间的引力、地球作用于物体上的重力和太阳对行星的引力, 都是同样性质的力. 把天体的运动和地球上物体的运动综合起来, 这正是牛顿的伟大功绩. 根据这个引力公式, 对“地—月系统”和地面上的物体可分别得到关系式:

$$G \frac{M_{\text{地}} m_{\text{月}}}{R_{\text{地月}}^2} = m_{\text{月}} a_{\text{月}},$$

$$G \frac{M_{\text{地}} m_{\text{物}}}{R_{\text{地}}^2} = m_{\text{物}} a_{\text{物}} = m_{\text{物}} g.$$

两式相比即可得到月球绕地球运动的向心加速度

$$a_{\text{月}} = \left(\frac{R_{\text{地}}}{R_{\text{地月}}} \right)^2 g.$$

因为地球与月球之间的距离($R_{地月}$)约是地球半径($R_{地}$)的60倍,因此

$$a_{月} = \left(\frac{1}{60}\right)^2 g = \frac{1}{3600} \times 9.8 \text{ 米/秒}^2 = 2.7 \times 10^{-3} \text{ 米/秒}^2.$$

最后,牛顿用对月球运动的观测与计算结果作对照.月球绕地球运动的周期 $T = 27.3$ 天,地、月间距 $R_{地月} = 3.85 \times 10^8$ 千米,因此从运动学直接得到月球的向心加速度为

$$\begin{aligned} a'_{月} &= \frac{4\pi^2}{T^2} R_{地月} = \frac{4\pi^2}{(27.3 \times 86400)^2} \times 3.85 \times 10^8 \text{ 米/秒}^2 \\ &= 2.7 \times 10^{-3} \text{ 米/秒}^2. \end{aligned}$$

两者结果相符.

牛顿的上述结果,是1666年在家乡避瘟疫时完成的,但并未发表.究其原因,一是牛顿当时所知的地球半径数值不精确,计算和观测对照的误差较大(上述相符结果是后来改用较精确的地球半径后得到的);二是牛顿还未能精确证明,在计算距离时可以把月球、地球都看作质量集中于中心的质点;三是牛顿仅得出了圆轨道时引力的平方反比关系,对椭圆轨道是否适用还未能证明.

后来,牛顿借助于微积分运算方法[他和莱布尼兹(G. W. F. V. Leibniz, 德, 1646—1716)发明的],克服了数学上的困难,证明了对球心密度对称分布的球体吸引它外面的物体时,就好像全部质量集中于它的中心一样.这样,就能在引力研究中把太阳、行星、卫星都看作一个质点加以简化.他又在哈雷的催促下,用几何法和求线段比例极限的概念,证明了椭圆轨道上的引力的平方反比关系.牛顿超越前人和同时代人顺利地越过了前面所述的第一、二两大障碍.至于第三个障碍,则是今天要用电子计算机才能近似解决的问题,牛顿抓住了主要矛盾,采取了把其它天体的干扰暂时撇开不

计的办法,只考虑太阳和行星、行星和卫星之间的二体问题,使问题的研究再次得到简化。

1684年8月—10月间,牛顿写了《论天体运动》一文,11月交给哈雷,1685年2月收入英国皇家学会记录。这篇论文是牛顿发现天体引力平方反比普遍规律的关键性文献。后来,牛顿又在哈雷的敦促和帮助下,于1687年出版了划时代的伟大著作《自然哲学的数学原理》一书。在该书的第三卷中研究了引力问题,论证了太阳系中的行星、行星的卫星做曲线运动所需的向心力与其到中心天体的距离平方成反比。这个力就是存在于一切天体间的引力,它与地球上的重力在本质上是相同的,从而得出了著名的万有引力定律。

3. 关于热本质的猜想

热现象的 早期认识

冷和热,与人们的生活十分密切,也较早被人们所认识。据记载,我国至迟在西周初期(约前11世纪)已知道了较冷和较热的物体的区别,并懂得利用与冷的物体接触使热的物体变冷。对热胀冷缩的应用也较早。《蜀志》记载,公元前250年左右,李冰父子在修建著名的都江堰时,因山石坚硬,命民工先在岩石上开一槽线,在槽线里填满干草,点火燃烧,使岩石爆裂。说明当时已懂得热胀冷缩的道理。

那么,热究竟是什么?自古以来,同样早已引起人们的思考。我国古代《五行说》中,把热(火)看作是一种基本的物质元素。唐代柳宗元(773—819)还认为热是一种元气的运动。把冷与热跟元气运动的快慢联系起来,可说是关于热的运动论思想的萌芽。在西方,古希腊亚里士多德提出过“四性说”,暗含着把热的感觉看作是一种物质的概念。诸如此类,古代对热虽然已有过不同看法,但都

只是停留在哲学思辨上,仅是一种很肤浅的猜测.

热质说的产生

热本质的研究与温度计的制作、蒸汽机的发展、量热学的建立是分不开的.

从 1593 年伽利略发明第一个温度计后,经许多人改进,至 18 世纪前半期已能制造出一些实用的温度计,在定量研究热现象方面迈出了重要的一步.又由于蒸汽机的出现和应用,*大大推动了人们对热现象的研究.早期,人们对“热”和“温度”这两个概念是分不清的,人们从常识得来的直觉“天气热、温度高”,“天气冷、温度低”,把“热”与“温度”等同起来.后来,苏格兰物理学家布莱克(J. Black, 1728—1799)首先把“热”和“温度”区分开来.他主张把“热”称为“热的份量”,把“温度”称为“热的强度”,并首次提出“比热”的概念.他在对冰熔化为水、水化为气的热现象实验中发现温度不变,却需要吸收大量的热(图 9),他把这些不表现为温度升高的热称为“潜热”.比热概念和熔化、沸腾过程中的潜热概念构成了量热学的基础.

量热学的实验指出,当温度不同的两个物体放在一起时,最后的温度必定介于两者初始温度之间.由此,布莱克联想到,两个物体之间必定传递着某种“热的东西”,并且,它的传递和流动不会改变原来物质的质量,因此,它应该是一种特殊的、没有质量的、充满整个物体的流体.布莱克把这种“热的东西”称为“热质”,并首先提出“热质说”.布莱克认为,热质存在于一切物体之中,它不生不灭,可以顺着管道流动,也可以从一个容器倒入另一个容器之中,在这些过程中热质的总量保持不变.布莱克的热质说曾得到著名化学

* 第一部活塞式蒸汽机是 1690 年法国人巴本(D. Papin, 1647—1712)发明的,后经许多人特别是英国的瓦特(J. Watt, 1736—1819)作了根本性的改进.

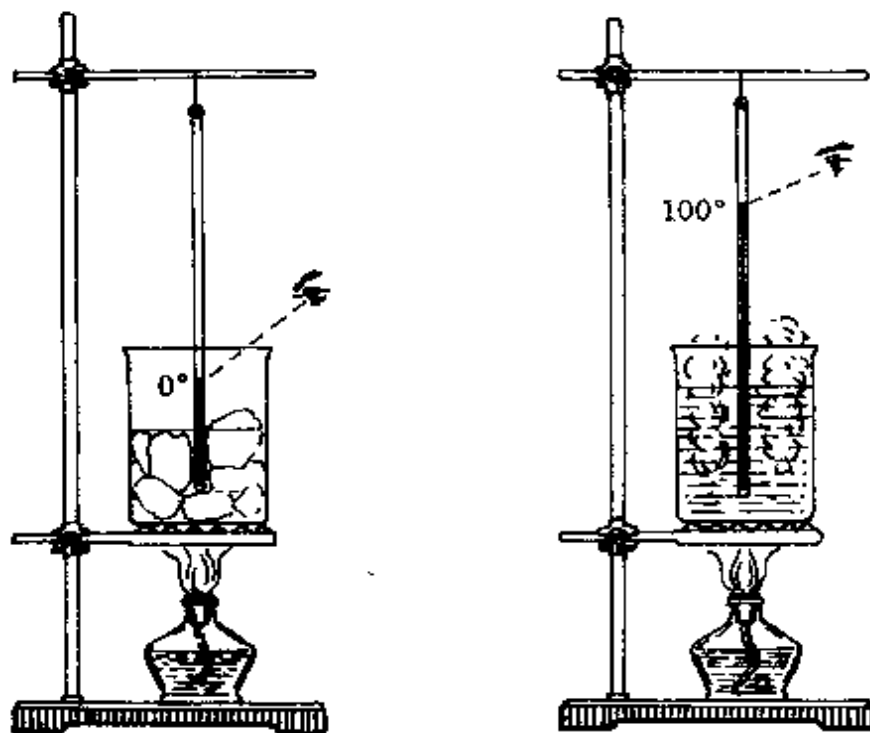


图 9 熔化和沸腾时温度不变

家拉瓦锡(A. L. Lavoisier, 法, 1743—1794)和物理学家拉普拉斯(P. S. Laplace, 法, 1749—1827)的支持。

**热的
唯动说**

与热质说对立的另一种学说是热的唯动说:早在13世纪,英国杰出的思想家培根(R. Bacon, 约1214—1294)从摩擦生热等现象中得出结论:热的本质和精髓只是运动。热是一种在其斗争中作用于物质的较小粒子上的运动。培根是近代史上第一个系统地对热进行科学探索的人,他关于“热是一种运动”的看法影响了很多科学家——法国的波意耳(R. Boyle, 1627—1691)认为,热是物质各部分发生的强烈而杂乱的运动;笛卡儿把热看作是物质粒子的一种旋转运动;胡克用显微镜观察了火花,认为热是物质各个部分的非常活跃和极其猛烈的运动;牛顿也认为热是组成物体的微粒的机械运动,物体各部分的振动是热的活动性质的由来。18世纪俄国的罗蒙诺索夫(M. B. Ломоносов, 1711—1765)根据摩擦、敲击能生热,物体受热熔化以

及物体的发芽、腐烂过程都因受热而加快,受冷而变慢的现象得出结论:热的充分根源在于运动.因为没有物质就无以产生运动,所以热的充分根源在于某种物质的运动.

虽然这些唯动说都包含有合理的成分,但也只是一种猜测,由于缺乏足够的实验根据,还不能形成科学的理论被普遍接受.

热质说的 优势与危机

当时,随着量热学的发展,利用热质说却可以直观地解释已知的大部分热现象:如温度高的物体表示它含有的热质多,温度低的物体表示它含有的热质少;物体温度的变化是由于吸收或放出热质引起的;热传导就是热质从多的物体流向少的物体的现象;对流是载有热质的物体的流动;辐射则是热质的传播;物体受热膨胀是热质粒子间的相互作用.根据热质的物质性,它也遵循物质的守恒定律,因此不同温度的物体接触时如没有热质流失,应该遵循热平衡方程,即 $Q_{放} = Q_{吸}$;……用热质说对各种热现象的解释,人们都认为非常圆满.

由于当时对各种物理现象还处于分门别类的、孤立的研究阶段,还无法沟通相互间的内在联系,人们较习惯于从“热量”与“流体”的类比上去认识、理解各种热现象,必然是较肤浅的.又由于热质说确定了物质不灭、质量守恒为其出发点,也无疑给自己加上一个正确的前提,戴上一顶桂冠,易于赢得人们的信任.所以,在 18 世纪,热质说占了上风.1738 年,法国科学院曾悬赏征集关于热本性的论文,获奖的三个人都是热质说的拥护者,可见当时热质说占有统治地位.

但是,热质说也有一个致命的弱点——对摩擦生热现象无法解释.1798 年,英籍物理学家伦福德(C. Rumford, 即 B. Thompson, 1753—1814)正是从这一点打开缺口,使热质说陷于深渊之中.欲

知详细情况,参见第 79 页伦福德实验.

4. 关于电本质的假设

什么是电?电的本性是什么?人们在发现电现象后就开始了思索.

我国西汉时古书《淮南子》中记载道:“阴阳相薄为雷,激扬为电.”即认为电是一种激荡着的“气”,雷电是阴阳两种气相互作用的结果.可以说,这是建立在观察基础上关于电本性的最早的一种假设.

17 世纪英国医生吉尔伯特通过长期实验研究,积累了许多关于电的知识.他认为,带电物体在摩擦的激发下,向它周围释放出一种类似大气的媒质,正是这种媒质起着传递电的作用.不过这种媒质气极为稀薄,它的放出和转移都不为人们的感官所觉察.

双流质
假设

18 世纪法国物理学家杜菲(C. F. Du—Fay, 1698—1739)从实验中发现摩擦后的玻璃、宝石等物体上带电与琥珀、硬橡胶等物体上的不同, he 把它们分别称为“玻璃电”和“树脂电”.为了解释两种电的吸引和排斥现象,他又假设存在着两种电流质,被称为“双流质”假设.杜菲用双流质假设解释了静电感应现象:用毛皮摩擦一个硬橡胶棒使它带上“树脂电”,

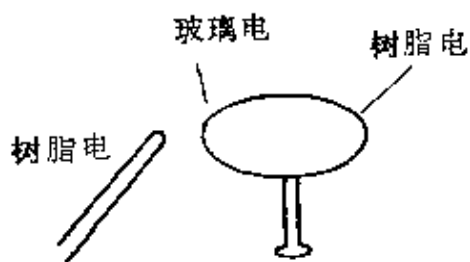


图 10 静电感应现象

这时若把一个不显示电性的小物体放在它的附近,这个小物体中的“树脂电”被排斥到远的一端,而其中的“玻璃电”则被吸引到近的一端(图 10). 因为电的相互作用随距离的增大而减小,所以作用在“玻璃电”上的

吸力将比对“树脂电”的斥力大,总的效果使两物体互相吸引.杜菲根据这个道理,解释了带电体吸引不带电的纸屑、毛发、通草球等轻小物体的现象.

单流质
假 设

美国物理学家富兰克林(B. Franklin, 1706—1790)根据莱顿瓶实验中瓶内外两种电荷抵消的现象,*把杜菲的“玻璃电”和“树脂电”改称为正电和负电,并且提出了单流质假设.富兰克林认为:电是一种没有重量的电流质,而“玻璃电”是惟一存在的一种电流质,它弥漫于整个空间,并且可以毫无阻碍地渗透到一切物质实体之中.如果物体内部的电流质密度与外部的一样,这个物体就表现为电中性.在起电过程中,一定量的电流质由一个物体转移到另一个物体中.如果电流质过多,物体就带正电;如果电流质少了,物体就带负电.当两个物体中有一个具有过剩的电流质,而另一个不足时,两者互相接触就一定有电流质从第一个物体流向第二个物体.富兰克林用单流质假设解释了当时人们已知的绝大部分静电现象.

关于这种电流质的本性,富兰克林也有过微粒说的萌芽.他曾说:“电是由极其微小的粒子组成的,因为它能渗透普通的物质,即使是密度最大的物质,渗透时是那样的自由和容易,以至于不遭受任何明显的阻力.”而当时更多的人主张电是连续的,是一种“流体”.以后,又有人认为电是一种振动;有人认为电与物质是两种不同的东西,彼此可以独立地存在等.总之,对于电的本性,不同时代的人根据当时积累的事实提出过许多猜测,但都没有令人信服的

* 莱顿瓶是德国物理学家克莱斯特(E. G. V. Kleist, 1700后—1748)和荷兰莱顿大学物理学家穆欣布罗克(P. V. Musschenbroek, 1692—1761)于1745、1746年几乎同时发明的有储电功能的瓶子.

实验.

法拉第
的贡献

对揭示电的本性提供重要线索的是法拉第(M. Faraday, 英, 1791—1867)对电解实验的研究.

法拉第从 1832 年开始电化学的研究. 开始时, 他也认为电可能是一种频率极高的振动, 电流就是高频振动传播所形成的波. 为此, 他设计了一个实验, 把一根做高频振荡的金属丝插在蒸馏水里, 想用它分解水, 但失败了. 法拉第在日记中写道: “声音很尖, 振幅很大, 可是并没有气出现.” 法拉第走了不少弯路后, 于 1834 年终于找到了电解的普遍规律, 总结成两条定律(后人称为法拉第电解定律).

根据法拉第电解定律知道, 电解时在极板上析出物质的质量(m)与这种物质的化学当量(摩尔质量 M /化合价 n)及通过电解液的电量(q)成正比, 用公式表示为

$$m = \frac{1}{F} \cdot \frac{M}{n} q.$$

式中 $F = 96500$ 库, 称为法拉第常数. 它等于电解中析出物质的质量与其化学当量相等时所需要通过的电量.

由原子论知, 1 摩尔任何元素的原子数都相同, 等于 $N_0 = 6.02 \times 10^{23}$ 个. 因此, 电解水时要在阴极上析出 1 摩尔氢($n = 1$), 即要求到达阴极板上有 $N_0 = 6.02 \times 10^{23}$ 个氢离子, 通过电解液的电量 $q = F = 96500$ 库, 所以每个氢离子的带电量为

$$e = \frac{F}{N_0} = \frac{96500}{6.02 \times 10^{23}} \text{库} = 1.6 \times 10^{-19} \text{库}.$$

由法拉第电解定律得到的这个结果, 使人们认识到, 电并不是像一些人所说的是一种没有重量的电流质, 而可能是一种带电的物质微粒. 德国物理学家亥姆霍兹(H. Helmholtz, 1821—1894)说:

“法拉第电解定律的最使人惊异的结果或许就是：如果我们接受物质由原子组成的假说，那就不可避免地会得出这样的结论：即电（不论是正电还是负电）都可分成单元，它的一举一动就像电的原子一样。”

可以说，法拉第已接近电本性的大门了，可是他并没有沿着这个方向走下去，直接导致电的本质真相大白的，是人们对阴极射线的研究。

阴极射线的发现与研究

1858年，德国数学家和物理学家普吕克(J. Plücker, 1801—1868)利用盖斯勒(H. Geissler, 德, 1814—1879)在1855年发明的低压气体放电管(俗称真空管)和鲁考夫(H. Ruhmkorff)发明的感应圈产生的高电压对真空放电现象进行研究，发现从铂阴极会发出一种射线，这种射线能激发荧光(图11)。

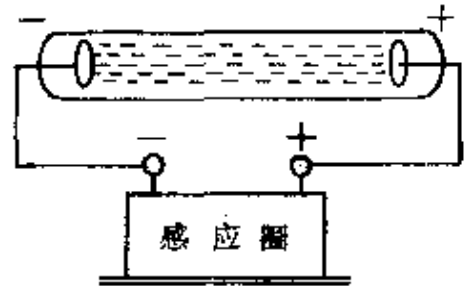


图11 阴极射线

1869年，普吕克的学生希托夫(J. W. Hittorf, 德, 1824—1914)进一步将真空度提高到十万分之一的标准

大气压，并在阴极和阳极之间设置障碍进行试验，发现在障碍物后的壁上能形成一个鲜明的阴影，证明从阴极发射的这种射线是沿直线传播的(图12)。

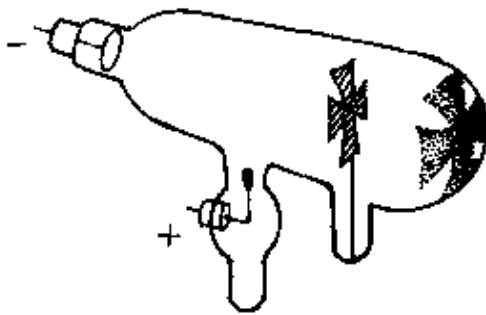


图12 阴极射线直进现象

1871年，瓦莱(C. F. Varley, 1828—1883)根据这种射线在磁场中偏转的事实，提出它是由带负电的“粒子”组成的假设(图13)。

1876年，德国物理学家哥尔德斯坦(E. Goldstein, 1850—1930)对这

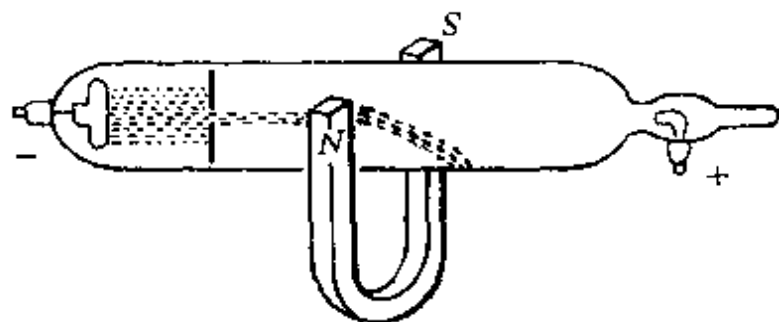


图 13 阴极射线的磁偏转

种射线作了许多研究后,把它称为“阴极射线”,不过,他认为这种射线与紫外线没有什么区别,是一种振动。

1879年,英国物理学家克鲁克斯(W. Crooks, 1832—1919)制成真空度达到百万分之一标准大气压的“克鲁克斯管”,对阴极射线做了一系列实验,确定了两个重要的特点:

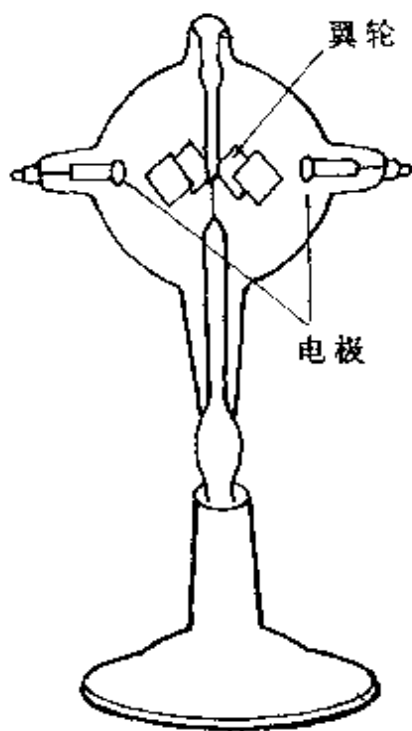


图 14 动轮实验

(1) 阴极射线具有动量,能推动放入管中的叶轮转动(图 14);

(2) 阴极射线具有能量,能产生热效应,如果用磁铁使阴极射线聚焦打在管壁上,用手指接触该处,会被烫起水泡。

因此,克鲁克斯批判了阴极射线是一种振动的观点,并支持和发展瓦莱的带电微粒说,不过,也很快受到赫兹(H. R. Hertz, 德, 1857—1894)等一些著名科学家的反对,因为它与一些事实不符:

① 阴极射线能通过金属膜,而带电的离子是不可能通过的;② 阴极射线在磁场

中的偏转情况与管中气体的种类无关,在一定磁场中,射线的偏转

程度是一定的,而如果是离子,质量不同的离子在磁场中的偏转应该不同;③高速运动的粒子所发射光谱的谱线会发生位移,可是实验中并未有所发现.

所以,当时围绕着阴极射线的性质展开了一场大争论.以德国物理学家赫兹为首的多数德国物理学家认为阴极射线是一种电磁波;以英国物理学家克鲁克斯为主的一批英国和法国物理学家坚持阴极射线是一种带电的粒子流.

这场争论最后被汤姆生(J. J. Thomson, 英, 1856—1940)解决了.他通过实验精确测出了组成阴极射线的粒子的荷质比,发现了自然界中第一个基本粒子——电子,从而彻底揭示了电的本性——一切带电现象,都是由于电子的存在和运动所引起的.

5. 黑体辐射与普朗克量子假设

第二朵乌云

19世纪后期,以经典力学、热学、电磁场理论为主要支柱的经典物理已达到非常完整、系统和成熟的阶段.当时不少物理学家认为,物理学大厦已经基本建成.因此,当进入20世纪的第一个春天的时候,英国著名的物理学家开尔文(威廉·汤姆逊)(L. Kelvin 即 W. Thomson, 1824—1907)在为送别旧世纪而作的长篇讲话中说:“在已经基本建成的科学大厦中,后辈物理学家只能做一些零碎的修补工作了.”德国物理学家基尔霍夫(G. R. Kirchhoff, 1824—1887)也认为:“物理学将无所作为了,至多也只能在已知规律的公式的小数点后面加上几个数字罢了.”不过,开尔文也还承认:“在物理学的晴朗天空的远处,还有两

朵小小的令人不安的乌云。”*然而,谁也没有想到,正当人们为物理学的辉煌成就欢欣鼓舞之际,被称作“紫外灾难”的第二朵乌云——热辐射中的能量分布问题,会引起物理学中一场深刻的革命。

热辐射 的研究

所谓热辐射,就是一个物体受热后向外辐射能量的过程。自从1800年天文学家赫谢尔(F. W. Herschel, 1738—1822)在用滤色片观察太阳光透过的热效应时发现了红外线,次年,李特尔(J. W. Ritter, 1776—1810)和沃拉斯顿发现了紫外线后,许多物理学家对热辐射的性质、辐射能量与辐射源的关系、辐射能量随波长的分布等问题进行了一系列的研究。

1859年,对热辐射性质的研究取得了重大进展的德国物理学家基尔霍夫得到了两个著名的关系:

第一,物体的吸收光谱线与发射光谱线之间存在着严格的对应关系——物体发射光谱中的明线就是它在吸收光谱中的暗线。

第二,物体热辐射时的发射本领越强,它的吸收本领也越强,两者的比值等于物体处于辐射平衡时的表面亮度 E ,并且,这个比值 E 对所有物体都是一样的,用公式表示为:

$$\frac{e(\text{发射本领})}{a(\text{吸收本领})} = E.$$

式中 E 是一个与物体性质无关的普适常数,它是温度(T)和波长(λ)的函数。

绝对 黑体

1860年,基尔霍夫又引入了绝对黑体的概念。这是一个在任何温度下都能全部吸收落到它上面的一切辐射的理想物体,一个内壁涂黑、开有小孔的空腔(图15)就

* 第一朵乌云就是美国两位物理学家迈克尔逊(A. A. Michelson, 1852—1931)——莫雷(E. W. Morley, 1836—1923)实验“以太漂移的零结果”。

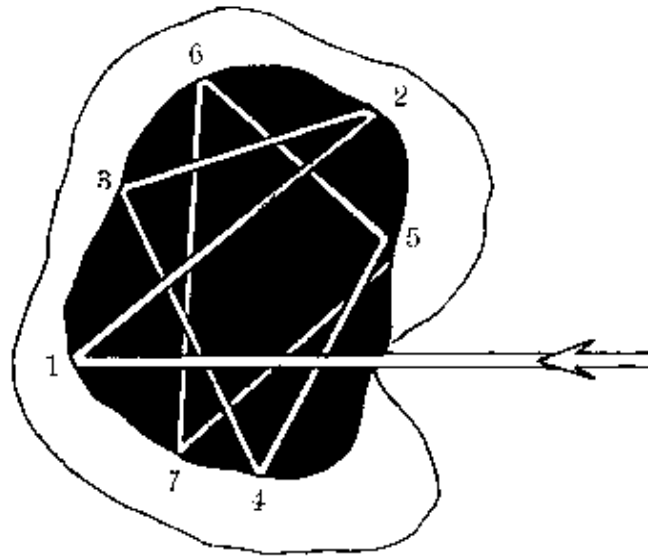


图 15 绝对黑体

可以看成是一个“绝对黑体”。因为射入小孔的辐射在内壁多次反射，几乎全被吸收，很难逸出小孔。基尔霍夫通过对绝对黑体的研究得出结论：绝对黑体的表面亮度 E 与单位体积内辐射能量 ρ 有一定的关系

$$E = \frac{C}{8\pi} \rho.$$

显然，研究这个理想物体（绝对黑体）的普适函数 E （或 ρ ），就可用来代替对其它所有物体的研究。因此，如何从实验和理论上去探求普适函数 E （或 ρ ）的具体形式，就成为物理学家解决热辐射问题的关键了。

1879年，斯忒藩（Stefan，德，1835—1893）从法国物理学家所作的测量中导出了一个公式。后于1884年，玻尔兹曼（L. Boltzmann，奥地利，1844—1906）又从理论上作了推导。现称为斯忒藩——玻尔兹曼公式，即

$$W = \sigma T^4.$$

表示黑体的辐射能力（每秒以电磁波形式辐射的能量）与它的温度

T 的四次方成正比。

1893年,维恩(W. Wien, 德, 1864—1928)找出了一个规律,称为维恩位移定律:辐射最大能量的波长(λ_m)与物体的绝对温度(T)成反比,即有简单的关系:

$$\lambda_m T = \text{常数}.$$

表示随着黑体温度 T 的升高,它所发出的辐射最强的波长将变短,即向光谱的紫区移动.为了进一步确定辐射能量(ρ)随频率(ν)和温度(T)的分布关系,维恩采用半理论半经验的方法,于1896年提出了一个辐射能谱公式(称为维恩辐射定律^{*}).但实验指出,它仅在短波区与实验事实相符,在长波区则有明显偏差.

1900年,瑞利(Lord Rayleigh, 英, 1842—1919)推出一个辐射公式,后经金斯(J. H. Jeans, 英, 1877—1946)修正,被称为瑞利—金斯辐射定律^{**}.不过这个定律仅在波长较长时才与实验结果较好地相符.当波长越短(即频率越高)时,辐射强度会越大,并且随着波长的缩短(即频率的增高),辐射强度会无止境地增大.这显然是荒谬的.这个公式在紫外区出现的发散,被荷兰的埃伦菲斯特(P. Ehrenfest, 1880—1933)称为“紫外灾难”,成为第二朵乌云.

这两个公式的理论值与实验值的比较,如图 16 所示.

普朗克
公式

针对这两个说明辐射能量的公式,一个与长波段的情况相符,不符合短波段的情况;另一个与短波段的情况相符,不符合长波段的情况.那么,能否找到一个

* 维恩辐射定律: $\rho(\nu) = B\nu^3 e^{-A\nu/T}$. 式中 A, B 均为常数, ν 为频率.

** 瑞利—金斯辐射定律: $\rho(\nu) = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} kT$. 式中 ν 为频率, c 为光速, k 为常数. 后来有人考证,这个公式爱因斯坦在金斯以前就已推出,所以这个定律又称瑞利—金斯—爱因斯坦定律.

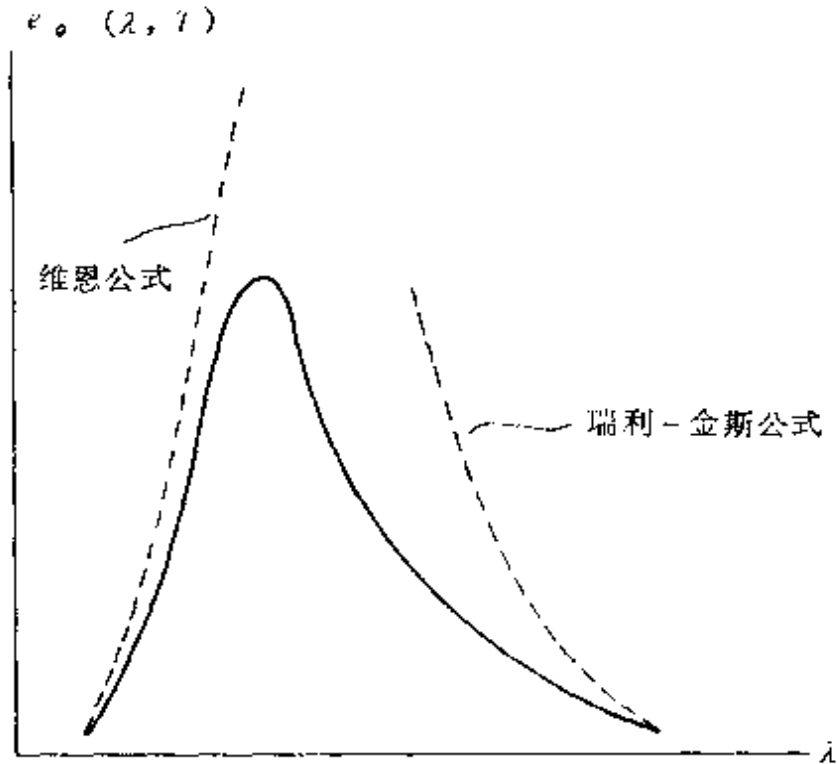


图 16 辐射强度的实验值与理论值

既符合长波段情况又符合短波段情况的公式呢？这确是一个十分诱人的问题。这个问题同样强烈地吸引着德国物理学家普朗克 (M. Planck, 1858—1947)。

1900年10月7日，普朗克用内插法将两个公式结合起来，得到一个新公式，* 于1900年10月19日的德国物理学会议上公开。当晚，鲁本斯 (H. Rubens, 德, 1865—1922) 把自己精确测定的实验结果与这个公式作了仔细的比较，发现无论是长波段还是短波段都惊人地一致 (图 17)。

第二天早晨 (即 10 月 20 日晨)，鲁本斯就兴冲冲地去访问普朗克，并把这一结果告诉他。鲁本斯深信在这个新公式中孕育着极

* 普朗克的新公式为： $\rho(\nu) = \frac{8\pi h\nu^3}{3} \cdot e^{-\frac{h\nu}{kT}}$ ，式中 T 为物体的温度， ν 为辐射频率， k 为玻尔兹曼常数， c 为光速。

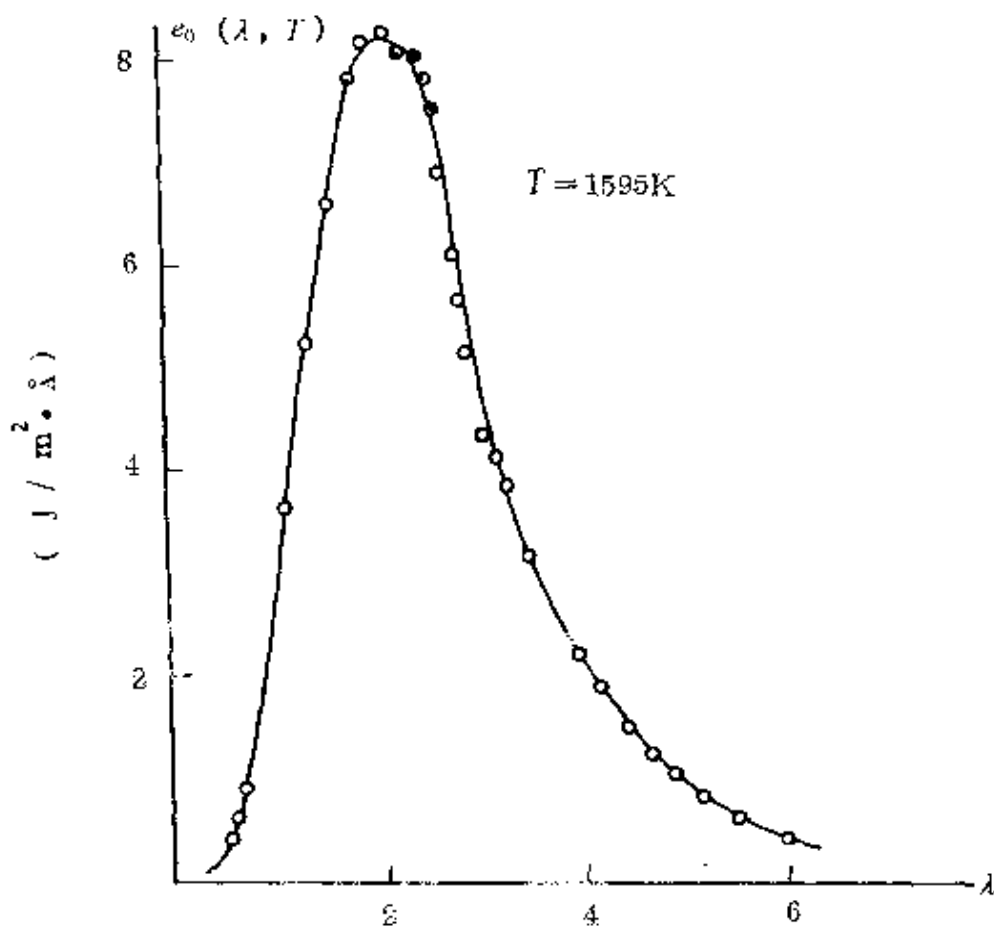


图 17 普朗克公式与实验结果比较

其重要的真理,绝不是—个偶然的巧合.这使普朗克受到很大的鼓舞.然而普朗克认为:“即使这个新的辐射公式真能证明是绝对精确的,但是如果可以把它仅仅看做是一个侥幸揣测出来的内插公式,那么它的价值也只是有限的.”因此从 10 月 19 日他提出新公式后,即开始致力于寻找这个公式的真正物理意义.他连续艰巨地工作了两个月,后来他回忆说:这是他“一生中最困难的时期”.

量子说的诞生

经过艰苦的思索和理论推导,普朗克发现,在这里只有放弃经典物理学的观点,于是他大胆地提出了一个全新的假设:热辐射时存在着以频率 ν 振动的假想“振子”,物体辐射和吸收的能量不再按经典物理理论规定的那样必须是连续的,而是不连续的,是一份一份的,是以一个最小单元

成整数倍跳跃式变化的,这个最小的、不可分的能量单元,普朗克称它为能量子,它的大小为

$$\epsilon = h\nu.$$

式中 ν 是辐射的频率, h 叫做作用量子,它是一个普适常量,后来被称为普朗克常量,其值为 6.625×10^{-34} 焦·秒.

按照普朗克的观点,物体发出辐射,它本身就以 $h\nu$ 的整数倍失去能量;如果有和振子的发射相同频率的辐射落到振子上,这个辐射将被振子一下子吸收.作出这样的假设后,从普朗克的热辐射公式中可以看出:

当 $h\nu \ll kT$ 的极限情况下,普朗克公式就化为瑞利—金斯公式;

当 $h\nu \gg kT$ 的极限情况下,普朗克公式就转化为维恩公式.

这样,普朗克就用他提出的量子假设,化解了长期以来存在着的“紫外灾难”,驱散了物理学上空的一朵乌云.

1900年12月14日,普朗克在德国物理学会上宣读了他的论文《关于正常光谱的能量分布定理的理论》,公开了上述能量子假设,这一天,就被人们看作是量子说的诞生之日而光荣地载入史册.

量子说的意义

量子说的创立是本世纪物理学中最重大的进展.量子概念是近代物理学中最重要、最基本的概念,它的影响绝不仅局限于物理学这一门学科,而且还涉及人类认识本身的种种问题.自从17世纪牛顿和莱布尼兹创立无限小数量的运算(微积分)方法以来,“一切自然过程都是连续的”这条原理,几乎被认为是理所当然的.莱布尼兹有句名言:“自然界无跳跃.”后来,麦克斯韦(J. C. Maxwell, 英, 1831—1879)电磁理论的胜利,更使连续性思想深入人心.人们的传统认识也是这样,一个加

热的物体向外散发热量,总认为热量是从物体上不间断地、连续地向外辐射,谁会想到它竟是分立地、跳跃式地、一份一份地辐射呢(图 18)?这实在是太新奇了!所以,普朗克的能量子假设是划时代的科学丰碑,是物理学上一次大胆的革命.*

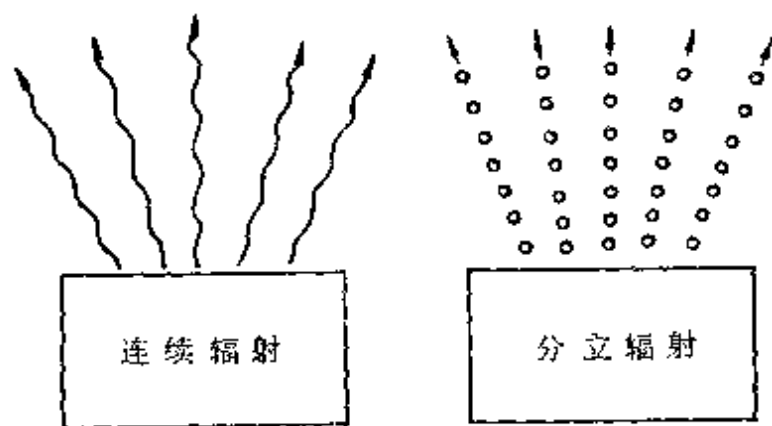


图 18 物体辐射能量的方式

普朗克本人开始时对他的假设所带来的深远影响并没有如此认识.他后来给伍德(R. W. Wood)的信中说:“这纯粹是一个形式上的假设,我实际上并没有对它想得太多,而只是想到,要不惜任何代价得出一个积极的成果来.”也许这是普朗克的一种谦词.因为据他的儿子埃尔温(Erwin)回忆说:1900年,有一天,他们父子在柏林近郊的格吕内瓦尔德密林中散步.普朗克对他说,他做出了一项重要发现,要么是荒诞无稽的,要么也许是牛顿以来物理学最伟

* 普朗克提出量子假设后,曾在量子大门前徘徊了 15 年,还曾企图把量子论纳入经典理论的范畴里.经过痛苦的抉择后,普朗克才最终放弃了倒退的立场.对于这一段经历,普朗克后来回忆说:“企图使基本作用量子与经典理论调和起来的这种徒劳无功的打算,我持续了很多年(直到 1915 年),它使我付出了巨大的精力,我的许多同事们认为这近乎是一个悲剧.但是,我对此有不同的感觉,因为我由此而获得的透彻的启示是更有价值的.我现在知道了这个基本作用量子在物理学中的地位远比我最初所想象的重要得多,并且承认这一点,使我清楚地看到在处理原子问题时引入一套全新的分析方法和推理方法的必要性.”由此也说明了,一个革命性的假设要被人们(包括提出假设的本人)真正承认是多么不容易!

大的发现之一。

当然,普朗克的伟大发现决不是靠某种巧合,他有坚实的理论基础。在读书期间,他就对在热学方面作出重要贡献的克劳修斯(R. J. E. Clausius, 德, 1822—1888)的热力学著作极感兴趣。后来,他把热力学作为科研的主攻方向。他在 1879 年提出的博士论文和 1880 年为取得在大学教理论物理资格的论文都与热力学有关。他在大学任教并有了 20 年的热力学研究经验。因此,当在 1899 年底得知鲁本斯发表的实验报告指出普恩定律在长波段出现了偏差,1900 年 10 月 7 日鲁本斯告诉他瑞利—金斯定律在长波段却与实验结果很好相符后,立即受到启发,当天就用内插法找出了他所要求的新的辐射公式。所以,经典物理大师洛仑兹(H. A. Lorentz, 1853—1928)评论说:“我们一定不要忘记,有这样的灵感观念的好运气,只有那些刻苦工作和深入思考的人才能得到。”普朗克始终很谦逊,在 1918 年 4 月德国物理学会庆贺他 60 寿辰的会议上,他致答词道:“试想有一位矿工,他竭尽全力地进行贵重矿石的勘探。有一次,他找到了天然的金矿脉,而且在进一步研究中发现它是无价之宝,比先前所可能设想的还要贵重到无限的程度。假若不是他自己碰上了这个宝藏,那么,无疑地,他的同事本来也会很快地幸运地碰上它的。”

二、猜想与假设在科学认识中的作用

猜想与假设是人们的认识接近客观真理的一个起点,也是把人们的经验知识发展为理论知识的重要方法.提出猜想与假设的目的,希望用来解释客观事物的原因,提出新的实验或观测方向.即使是后来被证明错误的猜想与假设,也曾在建立正确科学理论的过程中起过可贵的作用.现分别说明如下.

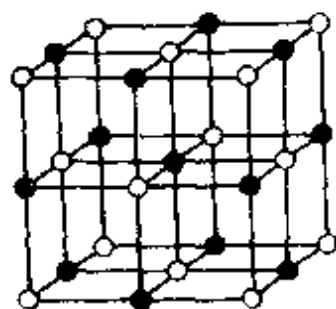
1. 解释物理现象或规律

猜想与假设(或假说、设想等)的一个重要功能,就是揭示客观事物的原因,完成对客观事物的解释,从而帮助人们看清某个事物的重要意义.著名的科学哲学家波普(K. Popper, 奥地利, 1902—)说:“科学研究的目的是寻找令人满意的解释.”这也是提出假设的一个最基本的、最常见的作用.除了前面介绍的这些著名的假设所完成的解释功能外,在物理学发展史上还有许多其它实例.

(1) 空间点阵假设

偶然的发现 我们知道,固体分为晶体和非晶体两类.在外形上晶体是有规则的几何形体,非晶体则没有规则的外形.两者何以有这样的差别呢?原来组成晶体的物质微粒(分子、原子或离子)在空间呈有规则的排列.有趣的是,当初这一假设并不是物理学家提出来的,而是法国的人文科学家奥伊提出

的.1781年,有一次奥伊到他的——位专门收藏矿物标本的朋友家中去参观,不小心失手打碎了一块方解石晶体.奥伊拾起碎块,发现方解石的断裂处都很整齐,由此他想到,方解石及其它晶体内部的物质微粒一定呈整齐的排列,因此外表才有规则.于是他就提出了所谓“空间点阵假设”.



如图 19 画出的是食盐的空间点阵,钠离子和氯离子对称地分布于六面体的各个角顶.

晶体特性的解释

利用空间点阵假设,可以很方便地解释晶体的许多特性:如晶体的各向异性,是由于物质微粒呈整齐排列时,不同方向的等距离上分布的微粒不同(图

20),因此它们的宏观特性(如力学性质、导热性、导电性等)也就不同;同种物质的原子可以形成性质大相径庭的不同晶体,是由于它们的点阵结构不同引起的.如金刚石与石墨,由同一种碳原子形成两种不同的

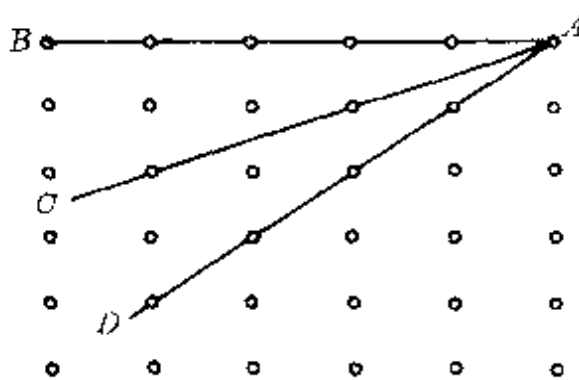


图 20 各向异性原因

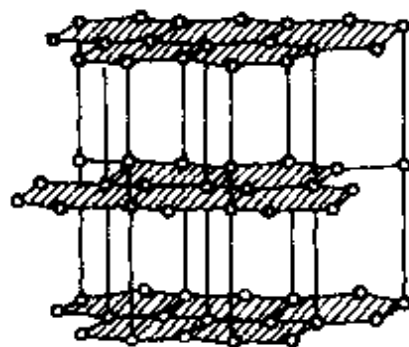
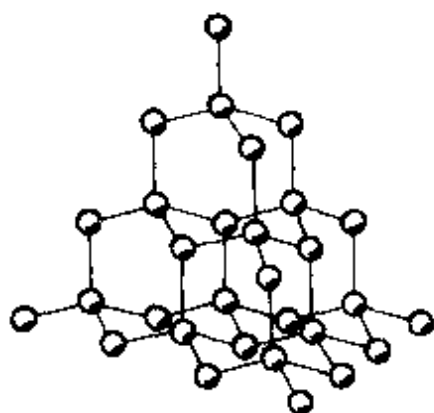


图 21 金刚石(左)和石墨(右)的空间点阵

空间点阵(图 21),宏观上显示出金刚石无比坚硬,石墨则很软滑。

(2)安培磁性起源说

早期的
猜测

关于物质的磁性,我们的祖先远在春秋时期(前 771—前 471)已有所认识.作为四大发明之一的指南针更是我们祖先对人类科学文明的一大贡献.东汉的王充和宋代的陈显微、俞琰等人都曾试图从古代“元气说”去解释磁石吸铁的原因.西方国家对磁的认识和应用比我国晚.关于磁性的起源,罗马诗人卢克莱修(Lucretius,约前 99—前 55)却曾用古代的原子论观点作过解释.他认为:磁体发射出细微的粒子流,撞击、驱散了磁石和铁之间的空气,形成真空,铁原子则力求进入这真空中,因此彼此就紧密地结合起来了。

古代东西方哲人对磁性的起源都只是停留在一些猜测上.直到 1820 年丹麦物理学家奥斯特(H. C. Oersted, 1771—1851)发现了电流的磁效应,才使磁性起源的研究有了实质性的进展。

安培假设

法国物理学家安培(A. M. Ampe're, 1775—1836)在获悉奥斯特的惊人发现后,立即开展了一系列的研究,他在重复奥斯特的实验时,总结出磁针转向与电流方向之间的右手螺旋法则(即安培定则),两个电流元之间的相互作用规律(即安培定律).这些成果使安培认识到磁决不是和电分开的孤立现象,后来在菲涅耳(A. J. Fresnel, 法, 1788—1827)建议的启发下,安培于 1821 年 1 月提出了关于磁性起源著名的分子电流假设:物体内部每个分子会产生一种环绕分子的圆电流,使得每个分子都好像一个个小磁针.这些分子电流的取向有规则排列时,就使物体对外显示出磁性(图 22),所以,物质的磁性都是起源于电流。

利用安培的分子电流假说,很容易解释许多磁现象:如磁化,就是在外加磁体(磁场)的影响下使物体内部分子电流排列整齐的

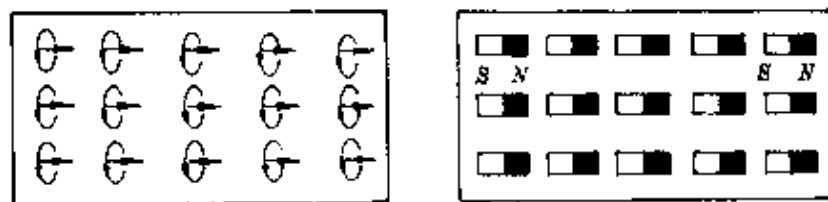


图 22

过程;把一块磁铁加热、敲击,由于温度升高,物体内部分子无规则热运动加剧,分子电流的取向重新变得混乱起来,因此会使磁性减弱或失去磁性;由于每一个分子电流都形成一个小磁体,有 N、S 两极,所以把一根条形磁棒不论怎样分割,每一部分总是会显示出两个不同的磁极。

安培的磁性起源说,揭示了磁现象的电本质.此外,安培还得出电流元之间的相互作用规律,奠定了电磁理论的基础.麦克斯韦(J. C. Maxwell, 英, 1831—1879)对安培有很高的评价,把安培誉为“电学中的牛顿”。

(3) 爱因斯坦光子说

对光的本性的认识,微粒说与波动说之争,由来已久.经过托马斯·杨(T. Young, 英, 1773—1829)、菲涅耳、马吕斯(E. L. Malus, 法, 1775—1812)、阿拉果(D. F. J. Arago, 法, 1786—1853)和夫琅和费(J. V. Fraunhofer, 德, 1787—1826)等许多物理学家对光的干涉、衍射、偏振等有关波动性特征的一系列研究,确立并逐步完善了光的波动理论,并为人们所承认.后来,又经麦克斯韦的发展,于 1868 年创立了光的电磁说,从此,人们对光是一种波已深信无疑,对光的波动特性已有了非常深刻和具体的了解。

正当人们以为对光的本性已充分认识清楚的时候,德国物理学家赫兹(H. R. Hertz, 1857—1894)于 1887 年发现的光电效应现象对光的波动性提出了挑战。

光电效应的
实验研究

赫兹在研究电磁波的发射与接收的实验中,无意中发现在紫外光照射火花间隙的负极时会发生放电现象.

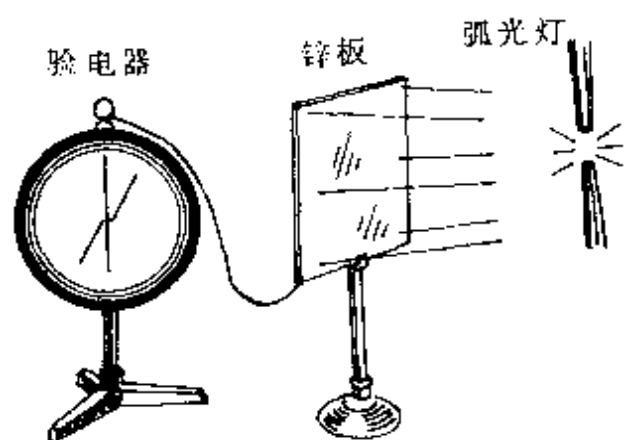


图 23

赫兹的这一发现促使了许多人开展研究.1889年,海华兹(W. Hallwachs, 1859—1922)用两根碳棒发生弧光放电时产生的紫外线照射带负电的锌板,跟锌板相连的验电器中原来张开的金箔立即合拢,锌板会迅速失去电荷

(图 23).如果锌板原来带正电,碳弧照射后,与锌板相连的验电器金箔张角不变.说明经紫外光照射后从锌板上放出来的是负电荷.

1899年,J.J.汤姆生测定了从锌板放出的电荷的荷质比,肯定了它们就是组成阴极射线的这种粒子.

1902年,赫兹的助手勒纳德(P. Lenard, 德, 1862—1947)证明了光照后从金属表面逸出的是电子,并首先将金属受光照后发射电子的现象称为光电效应.还用图 24 装置做了一系列实验,总结出了如下的实验规律:

①只有当入射光的频率高于某一定值时,才能从金属表面打出电子;

②被打出的电子(称光电子)的动能(或速度)只与入射光的频率有关,与光的强度无关,光电子的动能随着入射光的频率增高而增大;

③单位时间内被打出的光电子的数目只与光的强度有关,与

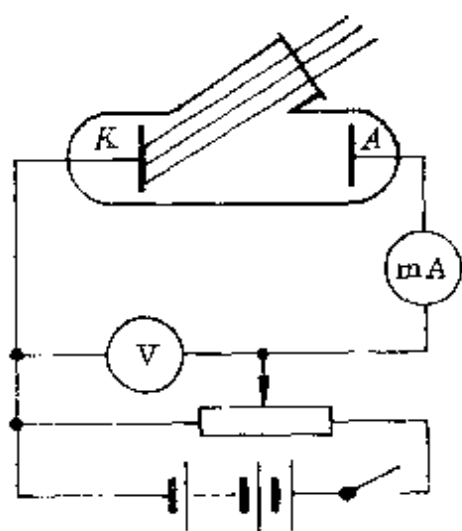


图 24

光的频率无关。

勒纳德总结的光电效应实验规律却使经典物理学深深地陷入了困境,不啻是对刚完善的光的波动说沉重的一击.因为按照波动理论,光的能量由光的强度决定,而光的强度又是由光波的振幅决定的,跟频率无关.因此,不论光的频率如何,只要光的强度足够大或照射时间足够长,都应该有足够的能量产生光电效应.而这跟实验结果是直接矛盾的.经典物理学上空仿佛又飘来了一朵乌云.

◆◆◆◆◆
◆ 爱因斯坦 ◆
◆ 光子说 ◆
◆◆◆◆◆

1905年,爱因斯坦(A. Einstein, 德, 1879—1955)根据普朗克的能量子假设,提出了崭新的光量子假设:光是不连续的,它由一份一份的光子组成,每一份光子的能量为 $\epsilon = h\nu$ (h 为普朗克常量).光子与物质作用时(如光照射到金属表面),能把整个能量传递出去.爱因斯坦认为光电效应中,光子与电子的相互作用同样遵循能的转化和守恒定律.光子的能量被电子吸收后,一部分消耗于逸出金属表面所需要做的功(称逸出功,用 W_0 表示),余下部分转化为光电子的初动能 $\left(\frac{1}{2}mv^2\right)$,即

$$h\nu = W_0 + \frac{1}{2}mv^2.$$

这个式子称为爱因斯坦光电效应方程。

根据爱因斯坦的光子说和由此得到的光电效应方程,很容易完成对勒纳德光电效应实验规律的解释:

①由于电子飞出金属表面时,必须克服逸出功 W_0 ,因此每一种金属发生光电效应都有一个最低的极限频率 ν_0 ,其值为

$$\nu_0 = \frac{W_0}{h}.$$

如果入射光的频率低于 ν_0 ,光子的能量被金属表面的电子吸

收后仍不足以克服逸出表面所需要的功 W_0 , 金属表面就不会发射电子产生光电效应.

②根据爱因斯坦光电效应方程, 从金属表面逸出的光电子的动能和对应的速度分别为

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 = h\nu - W_0,$$

$$v = \sqrt{\frac{2(h\nu - W_0)}{m}}.$$

对一定的金属, W_0 是个定值, 所以光电子的动能(或速度)只与入射光的频率有关, 且随着入射光频率的增高而增大.

③入射光频率一定时, 光强增大, 只表示每单位时间内到达金属表面的光子数增加, 但每个光子的能量不变. 由于在金属表面光电效应中, 一个电子一次只能吸收一个光子, 只有入射光频率 $\nu > \nu_0$ 时, 光强增大, 每单位时间内发射的光电子数才会增加, 如果入射光频率 $\nu < \nu_0$, 一个电子吸收一个光子后不足以克服逸出功飞出金属表面, 光强增大也无济于事, 仍不会发生光电效应.

爱因斯坦的光子说, 不仅圆满地解释了光电效应, 也进一步拓宽了人们对光本性的认识. 爱因斯坦说: “……我认为, 在理论物理发展的下一个阶段, 将会出现一种关于光的理论, 根据这种理论, 光可以被看作是波动说和微粒说的融合; 我们关于光的本性和光的结构的看法有一个深刻的改变是不可避免的了.” 爱因斯坦第一次提出了光的波粒二象性的概念, 在自然科学史上首次深刻地揭示了微观客体的波动性和粒子性的对立统一关系, 对物理学理论的发展起了很大的推动作用. 爱因斯坦因此荣获了诺贝尔物理奖.

2. 提出新的实验和观测方向

在物理学史上, 有些新发现是偶然的机遇, 但更多的发现是在

科学假设指导下,通过坚持不懈的实验探索的结果,爱因斯坦和英费尔德(L. Infeld)在《物理学的进化》一书中写道:“任何一个理论的目的是指导我们理解新的情况、启发我们做新的实验从而发现新的现象和定律。”中子的发现和镭的发现就是生动的两例。

(1) 镭的发现

放射性的发现 与居里夫人猜想

1896年,法国物理学家贝克勒尔(H. A. Becquerel, 1852--1908)在研究一种铀盐(硫酸铀酸钾)的荧光作用时,无意中发现铀盐自身能发出一种射线,被称为“贝克勒尔射线”。这个发现虽然不像伦琴发现X射线那样引起整个科学界的注意,却引起新婚不久的居里夫人(玛丽·居里, M. S. Curie, 波兰, 1867—1934)浓厚的兴趣。

居里夫人猜想,一定还可能存在着其它一些像铀一样的元素。在这种猜想的指导下,她把实验室里的许多化合物一个个进行测试,结果发现钍也有与铀类似的辐射,她建议把这种现象称为“放射性”。她又根据这种辐射能使空气电离的方法,通过比较各种不同的铀或钍的化合物的放射性强度,得到一个重要的结果:铀或钍的化合物的放射性强度只与化合物中铀或钍的含量成正比,与它的化合情况与物理状态无关。这意味着,放射性是原子自身的一种特性,是由原子内部产生的。

接着,居里夫人将研究从铀和钍的化合物扩大到对各种自然矿石的测试,发现一些沥青铀矿石的放射性比纯的氧化铀强许多倍,于是她作出一个大胆的猜想:沥青铀中存在着一种新的放射性元素。

居里夫妇的 探索与成功

居里夫人的猜想一提出,立即遭到一些科学家的攻击和嘲笑,不过,这丝毫也没有动摇她坚定的信念。她的丈夫皮埃尔·居里(P. Curie, 法,

1859—1906)意识到这项工作的重要意义,立即放下对晶体的研究,一起投入到寻找新元素的工作中去。

从此,居里夫妇便开始了艰苦的探索。他们在一间破旧的棚内,在极为简陋的实验条件下,通过对放射性强度的测定,把矿物中无放射性的部分一次次滤去。在1898年7月首先找到了一种比铀的放射性强400多倍的新元素。为纪念居里夫人的祖国波兰,他们建议把这种新元素称为钋(Polonium)。

钋的发现并没有使居里夫人感到满足,因为它的放射性还不够强,于是,他们继续在未知世界中寻找。同年12月,他们又分离出与钋伴存的新的放射性元素镭。为了消除当时科学家的怀疑,居里夫妇又开始了艰巨的提纯工作。

当时的人们常可以看到,居里夫人在院子里亲自用一根与她身高差不多长的铁棒搅拌一锅沸腾着的液体。居里夫人忍受着加热时释放的有害气体和烟雾的强烈刺激,日复一日地工作着。经过近四年的繁重而艰辛的劳动,终于在1902年3月,他们从数以吨计的沥青铀矿渣中提炼出0.12克氯化镭,并测得了镭的原子量为225,其放射性强度为铀的200万倍。居里夫人的猜想终于变成了现实。

镭的发现不仅迅速促进了人们对放射性现象的研究,而且很快发现镭的生理效用。利用镭发射的 γ 射线能有效地杀死癌细胞,使它成为现今治疗恶性肿瘤、造福人类的一个有力武器。

1903年,居里夫妇和贝克勒尔一起分享了这个年度的诺贝尔物理奖。居里夫人成为有史以来第一个获得诺贝尔奖的妇女。

居里夫人不仅在科学上为人类作出了巨大的贡献(1911年再

度获得诺贝尔奖,成为世界上第一个两次获得此项殊荣的科学家*),尤其使人崇敬的是居里夫人高尚的品德.她一生热爱科学,为科学献身.她是镭的母亲,也是研究放射性的鼻祖,为人类探求放射性的奥秘,长期忍受着镭及其它放射性物质不断的伤害.在她提纯镭的四年里,她的双手就被镭射线强烈照射而变得十分粗糙,有时还裂口出血,可是她全然不顾个人安危,坚持着亲自实验,最后终因放射性伤害过量,过早地离开了人间.居里夫人淡泊名利,她放弃了镭的研究成果专利.她说:“镭不应当成为任何个人发财致富的工具,镭是元素,它属于全世界.”居里夫人一生获得许多荣誉——除诺贝尔奖外的其它奖 8 次,各种奖章 16 次,各种荣誉称号和学位称号 107 个.然而这一切都未阻止她前进.爱因斯坦盛赞居里夫人:“在所有著名人物中,居里夫人是惟一不为荣誉所颠倒的人.”

(2) 中子的发现

现在我们都知道,原子核内含有质子和中子,质子带一份正电荷,中子不带电,原子核内的质子数等于它核外电子数(原子序数),原子的质量数等于质子数和中子数之和……在物理学发展史上,对原子核内中子的发现曾是经历了一段复杂而曲折的过程的.

1914 年,提出原子核式结构的英国著名物理学家卢瑟福(E. Rutherford, 1871—1937)用阴极射线轰击氢原子,把氢原子的核外电子打掉得到了氢原子核,卢瑟福把它称为质子(${}^1_1\text{H}$).卢瑟福根据氢原子的组成提出了原子结构假设:各种元素的原子由一个带正电的质子组成的核和核外一群

* 迄今为止,两次荣获诺贝尔奖的科学家共四位,第一位弗利德力克·桑格(1958, 1980);第二位约翰·巴丁(1956, 1972);第四位莱纳斯·鲍林(1954, 1963).

绕核旋转的电子组成,但很快他就发现这个假设不正确.例如氦原子核,它带有两个单位正电荷,它的质量却是氢原子核的4倍.为了解决这个矛盾,他以阿斯顿(F. W. Aston, 1877—1949)在1920年夏所做的实验为依据,于1920年6月3日在贝克利讲座的著名报告中提出了一个大胆的假设:在原子核中还存在有一种不带电的中性粒子.*卢瑟福说:“在某些条件下,一个电子有可能更紧密地同氦核相结合,从而形成一个中性偶极子.这样一个原子将具有很异常的特性……”他又说:“这种原子(指中子——作者)的存在对于解释重元素的原子核的组成看来是必不可少的.”

查德威克
初探失败

当时绝大多数的物理学家对卢瑟福这一假设都持怀疑态度,但在卢瑟福领导的卡文迪许实验室中的同事们却坚信卢瑟福的这一假设.查德威克(J. Chadwick, 英, 1891—1971)向卢瑟福提出:“我认为,我们应该对这不带电荷的中性粒子作一番认真的探索,现在我已拟订了一个研究计划,请您审定.”从此,查德威克就在卢瑟福存在有中子假设思想的指导下,不断提出新的实验,展开了一系列有目的的探测工作.

1921年,查德威克企图在氢气放电实验中,直接验证中性粒子的存在,但没有成功.后来,他又试图在气体放电管中、在天然放射性元素的衰变中、在用 α 粒子轰击原子产生原子核人工衰变中……反复实验寻找这种中性粒子,经过十年的努力还是毫无结果.

波特的发现与
小居里夫妇的遗憾

1930年,德国物理学家波特(W. W. G. Bothe, 1891—1957)和他的学生贝克(H. Becker)用 α 粒子轰击铍时,意外发现从铍

* 实际上,在1920年美国化学家哈金斯(W. D. Harkins, 1873—1951)发表的论文中已提出了有关中子的思想.

中会发射一种贯穿力很强、不带电的射线(图 25). 波特认为这是一种高能电磁辐射, 即“高能 γ 射线”.

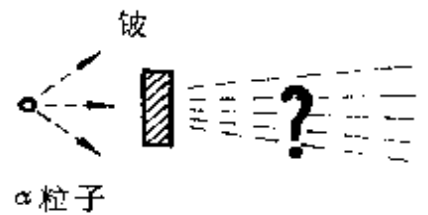


图 25

波特的的工作引起了许多物理学家的兴趣, 许多人都在重复他们的实验. 1931

年, 约里奥—居里夫妇 (J. F. Joliot, 1900—1958, I. Curie, 1897—1956) 进一步用来自铍的新射线去轰击石蜡, 发现能从石蜡中打出质子来(图 26). 这真是不可思议. 因为 γ 射线是由质量几乎为零

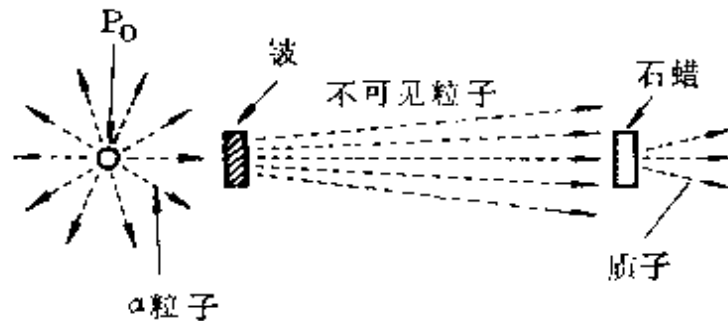


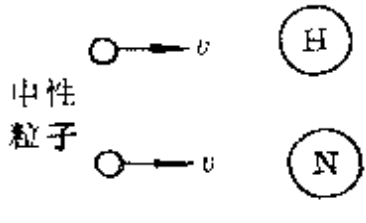
图 26

的光子组成, 用它竟能打出质量是电子质量 1836 倍的质子, 犹如用一个乒乓球从车库中撞出一辆汽车来. 小居里夫妇已经走到了一个伟大发现的门口, 遗憾的是他们继续沿着波特的错误思路走下去, 认为这是一种具有新作用的 γ 射线. 1932 年 1 月 18 日, 他们把这一实验结果发表了出来.

查德威克
的成功

当查德威克看到小居里夫妇的论文时, 几乎立即想到这就是他寻找十来年的中性粒子, 他马上利用卡文迪许实验室优越的条件, 重复了波特和小居里夫妇的实验, 得出了同样的结果. 并从实验中查明: 这种射线确是中性的, 在磁场中不会偏转; 它的速度不足光速的 $\frac{1}{10}$. 从而排除了是 γ 射线的可能性.

为了进一步确定这种中性粒子的性质,查德威克用两个速度相等的中性粒子分别轰击静止的氢核和氮核.根据弹性碰撞原理,静止的氢核和氮核碰后速度大小分别为



$$v_H = \frac{2m_{\text{中}}}{m_{\text{中}} + m_H} v_{\text{中}},$$

$$v_N = \frac{2m_{\text{中}}}{m_{\text{中}} + m_N} v_{\text{中}}.$$

图 27 两式相比

$$\frac{v_H}{v_N} = \frac{m_{\text{中}} + m_N}{m_{\text{中}} + m_H}.$$

查德威克从实验中测得 $\frac{v_H}{v_N} = 7.5$, 因 $m_N = 7m_H$, 代入上式得

$$m_{\text{中}} \approx m_H,$$

即这种中性粒子质量与质子质量几乎相等.

1932年2月17日,即在小居里夫妇的实验报告发表刚满一个月时,查德威克发表了自己的实验报告及结论.从而,12年前卢瑟福的假设终于被证实,又一个基本粒子——中子诞生了.

查德威克所以能如此迅速地在小居里夫妇实验报告后取得成功,并不是偶然的.卢瑟福的中子假设使他早就有了精神上的准备是一个很重要的因素.现代著名理论物理学家赛格雷(E. Segre, 1905—)说:“一般说来,人们只对自己有思想准备的东西能认识,如同我们在X射线、中子和正电子的例子中所看到的那样.”约里奥夫妇正是由于根本不知道卢瑟福关于中子的假设,缺乏作出这一重大发现的敏感性而失之交臂.正如约里奥所说:“中子这个词早就由卢瑟福这位天才在1920年在一次会议上用来指一个假设的中性粒子,这个粒子和质子一起组成原子核,大多数物理学家包括我在内,没有注意到这个假设.但是它一直存在于查德威克工

作所在的卡文迪许实验室的空气里,因此最后在那儿发现了中子,这是合乎情理的,同时也是公道的……”

3. 构成通往正确道路的桥梁

一个正确的假设会引出合乎真理的结果或理论,得出正确的预言或发现,这固然是十分可喜的事,但既然是一种猜测,它最初常是以有限数量的事实和观察为基础的,必然可能带有极大的不可靠性,因此物理学上常常会出现许多后来被事实证明是错误的假设,不过这些错误假设对形成正确认识也有极可贵的作用,因为这些错误假设中往往也会包含着某些合理的因素或成分,例如,亚里士多德——托勒密的“地球中心说”,承认人类居住的大地是个悬空的球体,月亮绕着地球运动是合乎实际的,热质说虽被实验证明是错误的,但它提出的热容量、比热等科学概念,对量热学的发展却有着很大的促进作用,并且一直沿用至今,而且,证明这些假设是错误的,发现着一条“走不通的路”,为未来的探索者在歧途前亮出“黄牌”,本身就是对科学真理的一大贡献,更为耐人寻味的是在证明某些假设错误的过程中,有时还常会有意外的收获,由迈克尔逊——莫雷实验得出“以太漂移”的零结果对爱因斯坦狭义相对论的诞生和费米超铀元素假设引出重核裂变的发现,是其中很有说服力的两个事例。

(一) 迈克尔逊——莫雷实验

神秘的以太

对光本性的认识,从惠更斯的波动说发展到麦克斯韦的电磁说,人们始终有一个问题弄不明白:波需要有弹性介质传播,那么光是靠什么来传播呢?为了解

释光的传播,于是就假设出一种介质称为“以太”(Aether)*,并且赋予它许多很难协调的特性:它无所不在,充满包括真空在内的整个空间(因为光能在真空中传播),它的密度极其稀薄(因为它不应当阻碍天体的运动,万物能从中穿透而毫无阻碍),但其弹性又足够大(因为它能使光以极大的速度传播).这种看不见、摸不着像幽灵般虚玄的东西,究竟是否存在呢?许多物理学家都试图通过实验来检验“以太”的存在和它的属性.其中美国物理学家迈克尔逊(A. A. Michelson, 1852—1931)和莫雷(E. W. Morley, 1836—1923)所做的希望测出地球相对于“以太”的速度——即所谓“以太漂移”速度的实验,就是其中最为有名的一个.

运动合成原理 在力学中我们学过运动的合成法则.如果在一条流速恒定为 u 的河中,有一艘相对于水流速度恒为 v 运动的小船,分别垂直河岸和沿着河岸往返同样的距离 l ,则

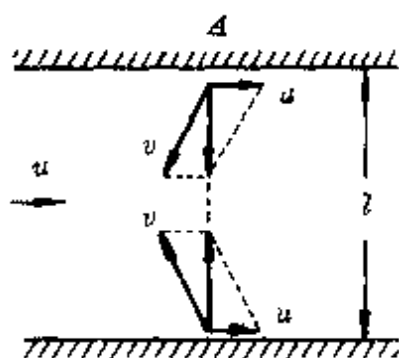


图 28

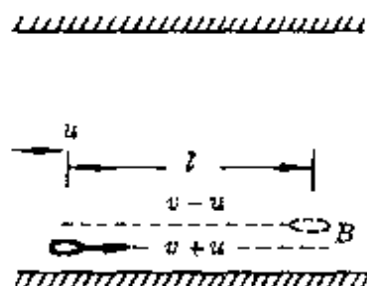


图 29

垂直河岸往返距离 l 时小船运动时间(图 28)

* “以太”这个名词古希腊已出现,表示充满天体间的物质.17世纪初,法国数学物理学家笛卡儿把它用到物理中来.

$$t_1 = \frac{l}{\sqrt{v^2 - u^2}} + \frac{l}{\sqrt{v^2 - u^2}} = \frac{2l}{v\sqrt{1 - \frac{u^2}{v^2}}}$$

沿河岸往返距离 l 时小船运动时间(图 29)

$$t_2 = \frac{l}{v+u} + \frac{l}{v-u} = \frac{2l}{v\left(1 - \frac{u^2}{v^2}\right)}$$

两式相比,有

$$\frac{t_1}{t_2} = \sqrt{1 - \frac{u^2}{v^2}}$$

因此,如果已知小船对水的速度 v ,并测出运动时间 t_1 和 t_2 ,就可算出水速 u 。

**意外的
零结果**

迈克尔逊和莫雷根据上述运动合成原理,于 1881 年设计了一个极为精密的实验,其实验装置原理如图 30 所示。

假设地球在“以太”中以速度 u 穿行,就好像有一股以速度为 u 的“以太风”相对地球吹来,它相当于上面的水速。

从光源 S 发出的一束单色平行光射到一块半镀银的镜子 G 上,形成两束互相垂直的光束:一束沿垂直于以太风的速度方向射向镜子 A ,另一束沿平行于以

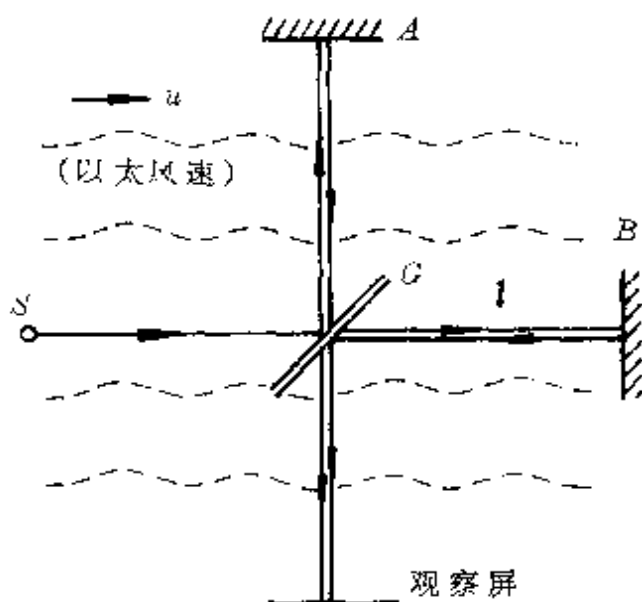
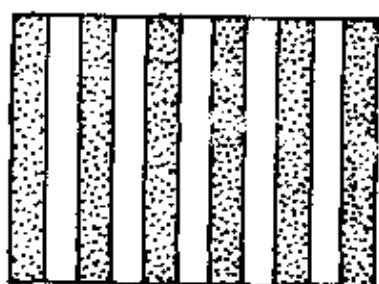


图 30 迈克尔逊—莫雷实验原理

太风的速度方向射向镜子 B , 这两束光就相当于上面的小船. 两束光再经 C 透射和反射到达观察屏. 若以 c 表示光速, 这两束光到达观察屏的时间差为

$$\Delta t = t_1 - t_2 = \frac{2l}{c\sqrt{1-\frac{u^2}{c^2}}} - \frac{2l}{c\left(1-\frac{u^2}{c^2}\right)}$$

这个时间差对应着这两束光到达观察屏时一定的光程差. 由光的干涉原理知道: 如果两束频率相同、相位差恒定的光(相干光)



对于某处的光程相同或相差等于半波长的偶数倍, 它们就同相到达, 相干结果出现亮条; 如果两束光对于某处的光程差等于半波长的奇数倍, 它们就反相到达, 相干结果出现暗条(图 31).

图 31 干涉条纹

当把整个装置相对于“以太”旋转 90°

后, 相应的两束光的光程互换, 屏上的干涉条纹也应发生移动.

可是, 实验结果表明, 没有发现根据计算所期望得到的条纹的移动.

后来, 迈克尔逊和莫雷又改进了实验的装置, 把整个仪器安装在很重的石板上, 并使石板悬浮于水银液面上, 可以平稳地绕中心轴转动. 仪器已达到极高的精度. 他们在白天和夜晚(考虑地球绕自转轴自转的因素)、在一年的各个季节(考虑地球绕太阳公转的因素)反复进行观测, 可是结果始终未发现预计中的条纹移动, 或者说, 实验结果始终为零, 没有探测到“以太风”的存在. 1887年11月, 他们将这一结果公诸于世.

迈克尔逊——莫雷实验“以太漂移”的“零结果”, 使“以太”假设陷入严重的困境, 开尔文把它称为物理学晴朗天空远处的第一

朵“乌云”，而且是一朵“非常稠密的乌云”。

迈克尔逊后来虽然因在“精密光学仪器和用这些仪器进行光谱学的基本长度测量”的方面，荣获了1907年度诺贝尔物理奖，但他一直深为自己对“以太漂移”实验的“零结果”大失所望。

“零结果” 的意义

实际上，迈克尔逊的“以太漂移”的“零结果”有着极为重要的意义。第一，它虽然还不足以充分否定“以太”，*但从实验已证明了即使真的存在“以太”，也不可测出相对于它的速度，即不可能用“以太”作为参照系；第二，实验结果暗示着一个重要的事实，真空中的光速对任何惯性参照系的测量都一样，与观察者的运动无关。

不过，当时绝大多数物理学家都束缚在经典物理的框架中，对迈克尔逊实验感到一片惊慌。只有具有革命性的爱因斯坦以其超人的才智、敏锐的洞察力，看透了迈克尔逊实验的深刻内涵，从而促进了狭义相对论的创立。1922年，爱因斯坦在日本京都大学所做的“我是怎样创立相对论的？”演讲中说，当“我知道迈克尔逊的实验结果，我很快得出结论，如果我们承认迈克尔逊的零结果是事实，那么地球相对以太运动的想法就是错的，这是引导我走向狭义相对论的最早想法”。

尽管迈克尔逊一生钟情于“可爱的以太”，但他缺乏接受新思想的敏感性，直到相对论已被普遍接受时还抱怀疑态度。1931年，迈克尔逊去世前爱因斯坦与他仅有的一次会见中，他还亲自向爱因斯坦表示了对自己实验的遗憾之情，可是爱因斯坦对迈克尔逊极为崇敬，那次会见中他十分真诚地对这位物理学史上杰出的实

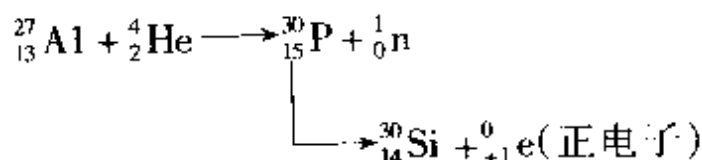
* 后来人们认识到光本身也是物质，它的传播不需要其它媒质，才彻底放弃“以太”假设。

验物理学前辈说：“我尊敬的迈克尔逊博士，您开始工作时，我还是一个小孩子，只有一米高。正是您，将物理学家引向新的道路，通过您的精湛的实验工作，铺开了相对论发展的道路。您揭示了以太理论的隐患，激发了洛仑兹和菲茨杰拉德的思想，* 狭义相对论正是由此发展而来。没有您的工作，这个理论今天顶多也只是一个有趣的猜想。您的验证使之得到了最初的实际基础。”

爱因斯坦相对论的创立使人类对时空观发生了一次巨大的变革，对物理学的发展有着深远的意义。也许这正是否定一个错误假设所带来的最大的额外收获了。

(2) 重核裂变的发现

1934年1月，约里奥—居里夫妇用天然放射性元素钋放射的 α 粒子轰击铝箔，首次得到具有放射性的人工同位素磷($^{30}_{15}\text{P}$)，还放出正电子。其反应过程为



费米的
成功

人工放射现象的发现引起物理学家们极大的兴趣，世界上许多实验室都用 α 粒子作炮弹轰击各种元素，但发现只有周期表中那些较轻的元素才会发生反应。当时被戏称为罗马物理界中“教皇”的费米(E. Fermi, 1901—1954)认为，这是由于带正电的 α 粒子受到来自原子核的强大斥力

* 菲茨杰拉德(G. Fitzgerald, 英, 1851--1901), 为了解释迈克尔逊实验于1889年提出了“收缩假设”, 认为物体在以太中运动时, 长度方向会发生收缩。洛仑兹(H. A. Lorentz, 1853—1928)于1902年也独立地提出了“收缩假设”, 并进一步得出了两个相对运动参照系中一组时空变换式, 他们都对狭义相对论的诞生有一定的奠基性作用。

而不容易靠近核的缘故,他大胆地提出一个新的想法:用中子作为炮弹轰击原子核.

费米说:“与 α 粒子相比,中子有明显的缺点,可供利用的中子源所发射的中子数比较少……然而,下面的这个事实弥补了它的缺点:中子不带电,它们不需要克服由核周围的库仑场形成的势垒,所以能够到达所有的原子核.此外,中子实际上与电子没有相互作用,所以它们的射程很长,核碰撞的机会要比 α 粒子或质子多.”

于是,费米在他的同事阿迈第(E. Amaldi)、达高斯蒂诺(O. D'agostino)、拉瑟蒂(F. Rasetti)、赛格雷(E. Segre)等人的协助下,从1934年3月起,开始了用中子轰击元素的实验.他们从最轻的元素氢开始逐个试验.然而非常不幸,从氢到氮都没有出现预料中的放射现象.直到轰击氟时,才获得了强烈的放射性同位素.这使费米与他年轻的同事们非常兴奋,他们继续试验.在短短几个月中,他们用中子轰击的63种元素中得到了37种放射性同位素.费米也因用中子轰击原子核所取得的重大成果及其实验方法所具有的重要意义,荣获1938年度诺贝尔物理奖,并无疑地已使他成为中子方面的最高权威.

◆ 费米的
◆ 遗 憾 ◆

不过,费米用中子轰击当时元素周期表中最后的第92号元素作出的一次错误假设,却成为他终生的一大遗憾.

费米用中子轰击周期表中前面一系列元素所得到的实验结果大致形成两种情况:

一种情况是元素被中子轰击后,中子被核吸收,形成该元素稳定的同位素——原子序数不变,质量数增加1个单位.例如用中子轰击氢时得到氘,多余的能量以 γ 射线形式放出,至此反应便宜

子闯进铀核引起了核分裂,费米认为假设决不可能,因为一个中子轰击时只能提供 6 兆电子伏特的能量(1 电子伏特 = 1.6×10^{-19} 焦),而当时许多物理学家从实验推算,要使核发生变化,需要几亿电子伏特的能量.这真像需用重磅炸弹才能攻破的堡垒,居然被人用一个棒球就砸开了,怎能令人相信?其实这里正蕴藏着一个伟大的发现,遗憾的是诺达特夫人没有动手去做一下实验.

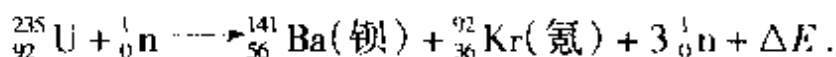
看来,要检验费米实验中是否真的得到超铀元素,必须弄清楚核反应中的产物.

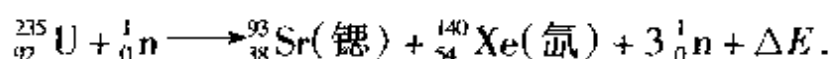
1938 年夏,约里奥—居里夫妇和他们的合作者、南斯拉夫的萨维奇(Savitch)重复费米的实验,发现一种比铀轻的类似于钨的物质,其化学性质与稀土族元素相似,因此他们认为费米实验中根本没有得到超铀元素,约里奥—居里夫妇的实验已接近一个伟大发现的边缘,可惜他们也因没有进一步思考而错过了.

**哈恩的
假设**

德国著名分析化学家哈恩(O. Hahn, 1879—1968)起初证明了费米实验中得到的不是他所发现的 91 号元素镤,也支持费米“超铀元素”的假设,后来当他的助手施特拉斯曼(F. Strassman)介绍了约里奥—居里夫妇第三篇文章所报道的实验结果时,就像一声晴天霹雳把哈恩惊呆了,他急忙与施特拉斯曼按约里奥—居里夫妇的方法进行实验.哈恩不愧为欧洲最有名的分析化学家,他很快就确定了费米实验中的产物是钡,并提出了一个大胆的假设:最重的一些元素吸收中子后直接分裂成两个差不多互等的部分,从而产生一些位于周期表中间的元素.

后来的事实很快证明了哈恩的假设.铀核在中子轰击下能分裂成多种中等质量的原子核,它们可能是:钡和氙,铯和铷,氙和锶,锡和铜等.其中一些核反应方程式为:





重核裂变的发现是一件具有划时代意义的大事,哈恩也因这一发现荣获 1944 年诺贝尔化学奖。

重核裂变的发现为人类开辟了一种新的能源——核能。1942 年 12 月 2 日,在费米的领导下,美国芝加哥大学建成了世界上第一座原子反应堆,人类从此进入了利用原子能的新纪元。

留下的思考 有趣的是,93 号元素后来确实按费米的设想,被美国物理学家 E.M. 麦克米伦和 P.H. 艾贝尔森在 1939 年用中子轰击铀原子核产生了,被命名为镎。镎还会发射一个 β 粒子变成 94 号元素钚。原来给费米实验中造成困难的是铀元素中含有三种同位素(${}_{92}^{234}\text{U}$ 、 ${}_{92}^{235}\text{U}$ 、 ${}_{92}^{238}\text{U}$),如果当年费米有幸像开普勒恰好选中偏心率最大的火星开始研究一样,*用的是铀 238,确实会被他首先在实验中制造出新元素。只是费米万没有料到的是铀 235 竟然会核分裂。费米曾谦逊地谈起这件憾事:“我们当初没有足够的想象力来设想铀会发生一种与任何其它元素都不一样的转变过程。况且,我们没有足够的化学知识去一个一个地分离铀的转变产物。”

重核裂变的发现终于从一个错误假设开始到诞生一个正确的假设宣告结束了,然而它留给人们的思考却是连绵不断的!

* 参本丛书《模型》一册。

三、猜想的萌发 假设的形成

任何一个科学猜想或假设,都是以一定的经验材料、实验事实和理论知识为出发点的,都是生产实践和科学实验发展的需要.当新的实验事实超出了原有理论的适用范围,当发现原有的理论系统有某些方面缺陷或根本无法对新的物理事实解释时,往往就需要提出新的猜想,创立新的假设.恩格斯说:“……一个新的事实被观察到了,它使得过去用来说明和它同类的事实的方式不中用了,从这一瞬间起,就需要新的说明方式了……”

由于背景不同,产生猜想和假设的思维方法大致可分为以下几方面.

1. 类比推理法

自然界中有许多对象和过程,都具有很好的对应性和相似性,科学研究中常常借助于类比的方法,把陌生的对象与熟悉的对象类比,把未知的东西与已知的东西类比,从中得到启迪而提出猜想,形成假设.

(一) 静电力的平方反比猜想

普利斯特利
猜 想

库仑定律是静电学中第一个定量的基本规律,它是由法国物理学家库仑(C. A. Coulomb, 1736—1806)建立起来的.实际上,在库仑之前已

有许多人开始探讨这个问题。

1750年前后,埃皮努斯(F. Aepinus, 俄, 1724—1802)在实验中发现:当发生相互作用的电荷之间的距离缩短时,两者间的吸引力或排斥力便增加。

1766年,美国物理学家富兰克林(B. Franklin, 1706—1790)写信给他的朋友普利斯特利(J. Priestley, 德, 1733—1804),请他验证一些现象——放在金属杯中的软木球是否完全不受金属杯电性的影响。当年12月21日普利斯特利从一系列实验中证明:中空的金属容器带电时,金属容器内表面没有电荷,它对空腔内部的电荷没有作用力。联想到牛顿在发现万有引力定律时已经证明:如果引力符合与距离成平方反比的话(即 $F \propto \frac{1}{r^2}$),那么中空的球体对球内物体就没有引力作用(见57页注)。普利斯特利根据电荷跟质点的类比(图32),提出一个猜想:电荷之间作用力也遵守与距离成平方反比的关系。

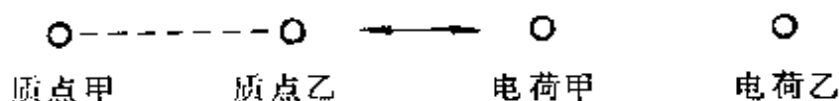


图 32

库仑的 实验

1785年法国物理学家库仑运用卡文迪许扭秤的原理,自制了一台精巧的扭秤,证明了牛顿的平方反比关系律也在电的吸引和排斥中适用,并证明了电的作用跟电量的乘积成正比,得到了库仑定律。*

把库仑定律所揭示的电荷之间的相互作用规律跟牛顿的万有

* 实际上,在库仑之前,英国爱丁堡大学的约翰·罗比森(J. Robison, 1739—1805)和后来在剑桥大学的卡文迪许(H. Cavendish, 1731—1810)已先后于1769年和1772年用实验作出证明,只是很晚才被人们发现。

引力定律再作一类比,更会惊叹普利斯特利由类比得出的猜想十分成功.

库仑定律

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

电量 q

电荷间作用力

适用于点电荷

万有引力定律

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

质量 m

质点间吸引力

适用于质点

(2) 惠更斯波动说和杨氏干涉实验

17世纪后半期,关于光的本性开始了一场激烈的争论,争论的双方都是当时科学界的名流,一方以牛顿为代表,另一方以笛卡儿、胡克、惠更斯为代表,尤以惠更斯最为有力.

牛顿的微粒说 牛顿从光的直进、反射、折射等现象提出微粒说,认为光是由发光体发出的一种具有弹性的、直线传播的微粒子流,不同颜色的光有不同颜色的微粒,它们在棱镜中的速度各不一样,紫色微粒的速度最低,红色微粒的速度最高.牛顿用微粒说很成功地解释了光的直进、反射、折射、色散等现象.由于这种学说与当时建立的经典力学体系可以形成一个统一的整体,加上牛顿在科学界的威望,所以很容易被人们接受.

但是微粒说也存在很大的困难.胡克曾责问牛顿:如果你给光以微粒这样有形的性质,那么这些微粒在光束相交时为什么不发生碰撞(即光为什么不为光本身所散射),而仍像没有发生任何力学事件一样,照原样继续前进呢?牛顿对此无法解释.

惠更斯的波动说 惠更斯不迷信牛顿的权威,他说:“尽管我们仰慕牛顿的大名,但我并不因此非得认为他是万无一失的……”他从光与水波、声音的类比中提出了波动

说,又根据光速的有限性,论证了光是从介质的一部分依次向其它部分传播的一种运动,它和声波一样是球面波.惠更斯说:“我们对声音在空气中传播所知道的一切,可能会导致我们理解光传播的方式.”他进一步解释:“我们知道,声音是借助看不见摸不着的空气向声源周围的整个空间传播的,这是一个空气粒子向下一个空气粒子逐步推进的一种运动,而因为这一运动的传播在各个方向是以相同的速度进行的,所以必定形成了球面波,它们向外越传越远,最后到达我们的耳朵.现在,光无疑也是从发光体通过某种传递媒介物体的运动而到达我们的……像声音一样,它也一定是以球面波的形式来传播的;我们把它们称为波,是因为它们类似于我们把石头投入水中时所看到的水波,我们能看到水波好像在一圈圈逐渐向外传播出去……”

惠更斯从光是波动的传播这一观念出发,提出了后来以他的名字命名的原理——惠更斯原理:波在其中传播的物质的每一粒子……也必须把一部分运动给与跟它接触的一切其它粒子,于是围绕着每一粒子都形成一个以这个粒子为中心的波.换句话说,在某个瞬间,波所传到的各个质点(如图 33 中质点 a 、 b 、 c 、 d 、 e ……),它们都可作为发出一个新的波(子波)的波源,各个子波面的包迹形成的球面称为波前,波就如此向前一圈圈推进.这一原理

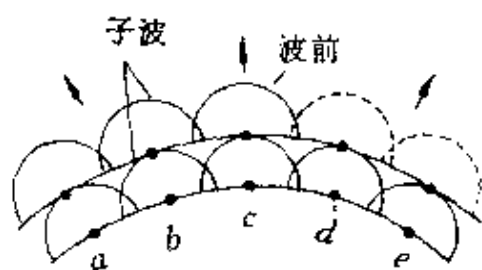


图 33

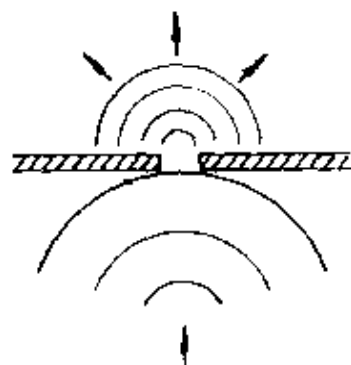


图 34

也正是从水波传播过程中遇到开有小孔的障碍物的类比中得出来的(图 34)。

惠更斯根据与水波、声波的类比,“无疑”地确信光也是“像声音一样”是以“波的形式来传播的”,他用波动说很成功地解释了光的反射、折射等现象.1678年,在法国科学院的一次会议上,惠更斯公开向牛顿发起了挑战.爱因斯坦称颂惠更斯是“第一个提出一个全新的光的理论的人”.后来,托马斯·杨(T. Young, 英,1773—1829)成功地设计了双缝干涉实验,为波动说奠定了坚实的基础。

2. 归纳推理法

把在特殊情况下已经证明无误的规律,或对部分对象(或过程)研究所得的结论,运用归纳推理的方法,提高到一般情况中去,也是提出猜想、形成假设的一种比较重要的方法.氮的发现就是很成功的一例。

[注]中空球体对球内质点引力为零的简单证明:设有一质量分布均匀的薄壁球壳,在球内某处 P 有一质量为 m 的质点.以 P 为顶点作两个相对的立体角,顶面积分别为 S_1 、 S_2 ,其质量为 m_1 、 m_2 ,则

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{S_1}{S_2} = \frac{R_1^2}{R_2^2}.$$

所以这对顶的两个球面对质点 m 的引力之比为

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{m_1}{m_2} \cdot \frac{R_2^2}{R_1^2} = 1.$$

即 $F_1 = F_2$, 或 $F_{\text{合}} = F_1 - F_2 = 0$.

表明球内质点 m 受两顶面的引力的合力为零.对球面其它部分可同理类推,由此即得:中空球体对球内物体无引力作用。

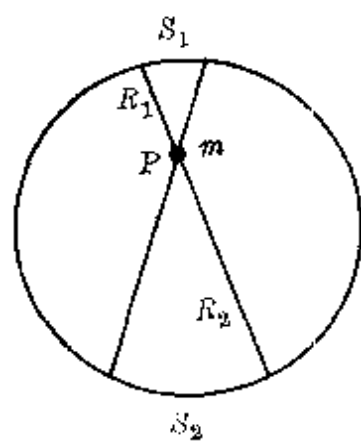


图 35

一条新的谱线

1868年,在一次发生日全食的时候,法国天文学家让逊和英国的洛克尔把分光镜对准太阳时,发现在平时属于钠D线附近出现另外一条明亮的黄色谱线,波长为 5876×10^{-10} 米.太阳大气光谱中这条黄色的谱线是什么元素产生的呢?把当时在地球实验室中能够找到的元素所做的光谱对照一遍,也没有发现一种元素的光谱在这个位置上出现黄色的谱线.

物理学家认为,这一定是太阳中有一种在地球上尚未发现的新元素产生的.

为什么物理学家敢于作出这样的预言呢?这得归功于归纳推理的结果.

夫琅和费暗线的启示

自从1666年牛顿偶然发现太阳光经三棱镜后能形成彩色光谱后,人们对光谱的研究有了浓厚的兴趣.德国物理学家夫琅和费(J. V. Frahofer, 1787—1826)偶然发现,在含有微量钠的各种物质中总会出现两条靠近的橙黄色的亮线,以后称为钠双线(或钠D线).如图36上所示.1814年,他又发现在太阳光谱的彩色本底上出现约有700多条暗线(后来人们称它们为“夫琅和费暗线”).夫琅和费用大写英文字母A、B、C、D等8个字母标记其中8条较黑的线.如图36下所示.

后来,密勒(W. A. Miller)和傅科(J. L. Foucault, 法, 1819—1868)证明了钠的明线和太阳光谱中的D黑线是严格相符的.

前面已经说过,德国物理学家基尔霍夫(G. R. Kirchhoff, 1824—1887)通过实验发现光谱的一个对应关系:每种元素的原子吸收光谱中的每一条暗线都跟这种原子发射光谱中的一条明线相对应.也就是说,低温气体原子吸收的光恰好是这种原子高温时发

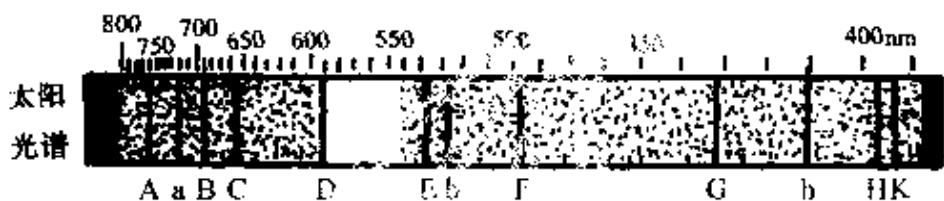
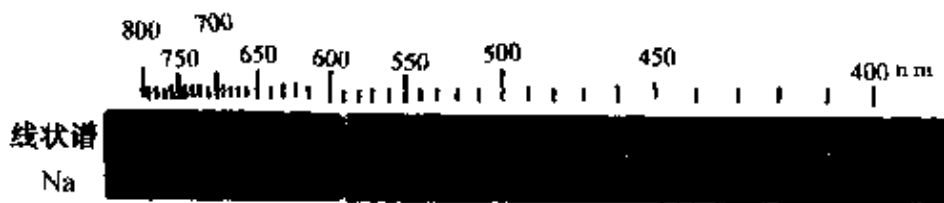


图 36

出的光. 如果我们在酒精灯火焰上洒些食盐, 它受热分解产生钠蒸气, 再让从弧光灯发出的白光通过温度较低的钠蒸气, 就会在原来钠双线的地方出现两条暗线, 这就是钠的吸收光谱(图 37).

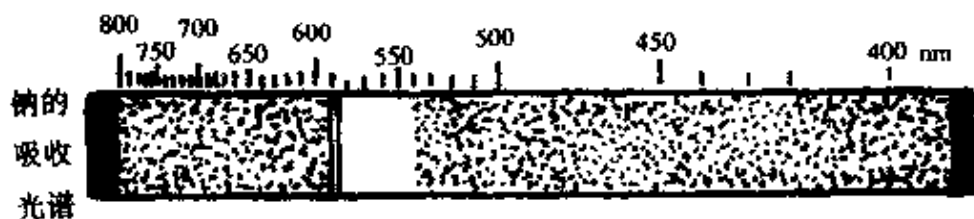


图 37 钠的吸收光谱

根据这个对应关系, 基尔霍夫得出结论: 太阳光谱中的暗线(夫琅和费暗线)是由于太阳火球发出的高温光辐射通过温度较低的太阳大气时, 有一部分颜色的光被太阳大气中相应的物质吸收掉了, 因此在我们接收到的太阳光谱图上就留下了许多暗线. 利用基尔霍夫所找出的线状谱中的明线跟吸收光谱中的暗线一一对应的关系, 已成功地判定了太阳大气中存在有钠、镁、铜、锌、钡、镍等元素.

既然对上面部分对象的判定是正确的, 于是物理学家们把这一结论提高到一般情况, 大胆作出太阳大气中还存在着一种地球上

尚未发现的新元素的预言，并把这种未知元素命名为“氦”，按希腊文，“氦”就是“太阳上的”意思。

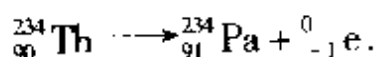
约 30 年后，即在 1895 年，人们在地球上找到了氦元素，它也是惟一的一种不是先在地球上发现的新元素。

3. 演绎推理法

演绎推理是把已知的一般原理(理论)运用于某一特殊的具体的场合或对象上，并由此作出对未知事件的猜测或假设的一种方法。中微子的发现是成功地运用演绎推理作出假设而后被实验证实的一个精彩的例子。

**β衰变中的
能量失窃案**

本世纪 20 年代，核物理学家发现某些原子核会自发地放射出电子而变成另一种元素的原子核。例如钍原子核(${}_{90}^{234}\text{Th}$)放出一个电子(${}_{-1}^0\text{e}$)变成镤原子核(${}_{91}^{234}\text{Pa}$)。这种衰变称为 β 衰变。上面这个衰变过程在中学物理课本中表示为：



众所周知，在原子核内不可能有电子，因此只能认为 β 衰变中所放出的电子一定是临时产生的，但这里又存在着新的问题：

例如，实验中对某些原子核的 β 衰变通过在云室中观察后发现，电子飞行的方向与剩余核的反冲方向并不严格相反，这就是说，原子核发生 β 衰变时似乎不遵从动量守恒定律。

更为严峻的事实是出现了能量亏损现象。因为在 β 衰变中所辐射出来的电子，可以根据它在已知强度的电场或磁场中留下的痕迹，准确地推算出它的能量。如图 38 所

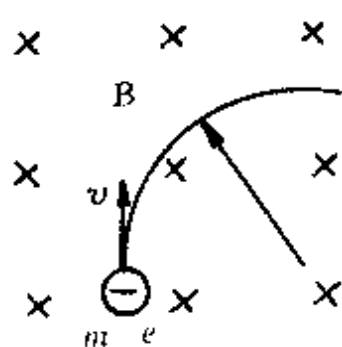


图 38

示,使一个电子(设质量为 m 、电量为 e)垂直射入磁感强度为 B 的匀强磁场,在洛仑兹力作用下电子沿圆弧轨道运动.若测得轨道半径为 r ,则由

$$F_n = evB = m \frac{v^2}{r},$$

得电子的动能

$$E_k = \frac{1}{2} mv^2 = \frac{m}{2} \left(\frac{eBr}{m} \right)^2 = \frac{e^2 B^2 r^2}{2m}.$$

这个能量不算则可,一算竟使物理学家们惊呆了——电子从原子核带走的能量竟比原子核损失的能量少.实验中每次测定,这短少的数值也不相等,即每次 β 射线的能量并不相同,而且呈一种连续分布的形式,如图 39 所示.

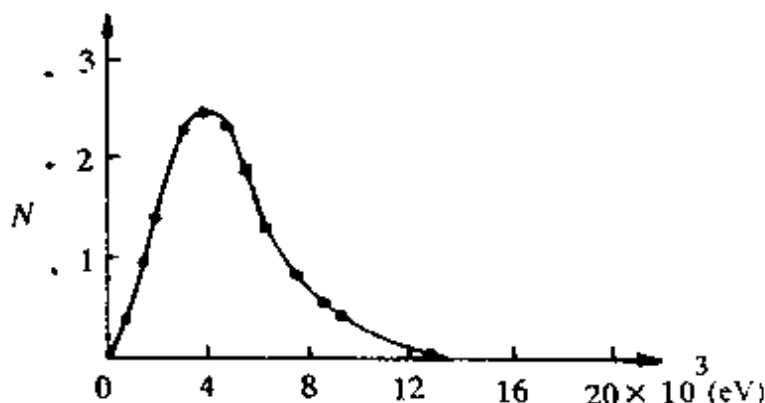


图 39 $^{210}_{83}\text{Bi}$ 放射的 β 射线的能谱

β 衰变中能量的“失窃案”使许多物理学家感到困惑不解.因为在两个具有确定的能量状态的系统之间发生跃迁时所释放出来的能量,也应当具有确定的数值.

调和这种矛盾的一个办法是:放弃能量守恒定律和动量守恒定律,至少在细致的微观水平上放弃它们.当时著名的原子物理学家玻尔(N. Bohr, 丹麦, 1885—1962)一度也曾这样主张,认为守恒定律仅仅在平均的意义上才成立,对于每一个单独的过程未必成

立。

泡里的 假设

玻尔的学生泡里(W. Pauli, 奥地利, 1900—1958)却与他老师的看法相左, 他根据演绎推理方法, 坚信已在许多领域中被证明正确的动量守恒定律、能量守恒定律、角动量守恒定律*等在微观领域内同样适用。尤其是能量守恒定律, 更是不可动摇的, 它反映了物质不灭这一基本原理, 物质可以从一种运动状态变为另一种运动状态, 但物质不能创造, 也不会消灭, 它是物理大厦的坚实基础。泡里根据这三条基本守恒定律和电荷守恒等规律, 决定冒一下风险, 大胆地提出一个假设: 在 β 衰变中不仅仅只放出了电子, 还放出另一种未知粒子。他根据各种守恒定律运用演绎推理得出这种未知粒子一定是中性的, 它的能量应该等于原子核所亏损的能量, 而且这个粒子一定只具有运动质量, 静止质量几乎为零, 有着极强的穿透力。

1930年12月泡里写给正在杜平根(Tübingen)参加会议(泡里当时才30岁, 为了参加一个舞会未出席)的学者的信中说: “……我偶然想到一个挽救守恒的非同寻常的办法……这就是可能有一种电中性的粒子存在, 我将它称为中子**……如果假定在 β 衰变过程中每放出一个电子也同时放出一个中子, 而电子和中子的能量总和不变, 那么连续的 β 能谱变得可以理解了。”

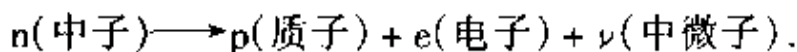
1931年6月, 泡里在美国物理学会的帕萨迪纳会议上公开提出了这一假设。意大利物理学家费米非常赞同泡里这一科学的演绎假设, 欣然把这种中性的、质量几乎为零的未知粒子称做“中性

* 角动量守恒是指不受外力矩作用时, 物体的动量(mv)与其到旋转中心的距离(r)的乘积恒定。在中子转变成质子和电子的 β 衰变中, 质子与电子的自旋角动量之和不等于中子的自旋角动量, 明显不遵守角动量守恒。

** 在查德威克发现中子以前, 曾把中微子称为中子。

小家伙”，并根据这个意思，命名为“中微子”。

根据中微子的假设，原子核内的中子转变成质子和电子的 β 衰变应该表示为



同样，前面的钍核经 β 衰变成为镤核的核反应方程应表示为



中微子假设的提出，使得经典物理学的三条守恒定律挣脱重围，一个小家伙可以挽救三条守恒定律，这实在太诱人了。

**中微子的
实验验证**

在泡里提出中微子假设的以后几年里，人们测量了 β 衰变过程中所形成的剩余原子核的反冲方向和速率，于是，关于中微子存在的进一步间接证据开始逐步地积累起来。然而，中微子是一种难以捉摸的粒子。由于它不带电，不会引起电离效应；它的静质量几乎为零，引力效应也极微弱，并且中微子大概又是稳定的粒子，因此也无法通过其衰变产物对它进行测量。泡里自己也深知要验证它的直观存在是很难做到的。据说，在泡里构想中微子假设的当天，他与著名天文学家巴德共进晚餐。泡里很神气地说：“今天，我为理论物理学家们出了一大难题，我发现一种实验上永远无法检验的东西。”巴德并不认为泡里的话是永远正确的，他立即提议以两打香槟酒作为赌注，他

* $\bar{\nu}$ 为反中微子，于 1953 年从质子的一种反应中发现。它的自旋与中微子相反：中微子的速度方向与自旋方向符合左手螺旋法则，反中微子的速度方向与自旋方向符合右手螺旋法则。如图 40 所示。

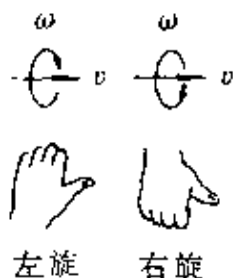


图 40

认为这种难以捉摸的小家伙总有一天会被实验证实的。1941年，我国物理学家王淦昌曾提出过一个探测中微子的建议。1956年，美国新墨西哥州洛斯——阿拉莫实验室的柯万（C. L. Cowan, 1919—）和雷乃斯（F. Reines, 1918—）终于利用核反应堆直接俘获到了中微子。

泡里的假设被证实了。他信守诺言，买了两打香槟酒送给了巴德，当然也使在场的朋友们一饱口福。

太阳辐射的 中微子失窃案

现在了解到，太阳和许多天体都会放出中微子。太阳内部时刻在进行着激烈的热核反应，放出的能量提供了巨大的太阳能。在这种反应中产生的大量中微子穿出太阳，向四面八方辐射，有一些就来到了地球。人们根据对太阳能量的测量，估算出正对太阳的地球表面每平方厘米上、每秒内应接收到 7×10^{10} 个太阳中微子。然而近年来的实验结果表明，每秒钟到达地球的中微子数远比这个估计数少。这一件“中微子失窃案”也许又要通过新的假设才会揭破。

4. 经验公式法

根据已有的实验或观测数据，运用数学方法处理后，可以找出（或凑出）经验公式。这种经验公式由于只是根据有限次数的实验或观测取得的，往往会带有很大的局限性。但是，可以在此基础上作出进一步的猜想或假设，以便为更宽广的实验研究或观测试验，提供新的线索或探测方向。关于氢光谱规律的巴尔末公式就是经验公式法的产物。

氢光谱 之谜

19世纪末期，对气体放电中原子或火焰中原子的光谱进行研究时，发现每种元素都能辐射一系列分立的谱线，它的每条谱线的波长（或频率）都固定不变。这

种谱线能表征某种元素的特征,好像是人手上的指纹一样,所以又称这种元素的特征谱线.例如,氢气放电管放电时用摄谱仪可摄得氢原子在可见光区域和近紫外区域的特征谱线,如图 41 所示.谱线的间隔和强度都朝短波方向递减,具有鲜明的阶梯形,一条接一条,非常有规律.

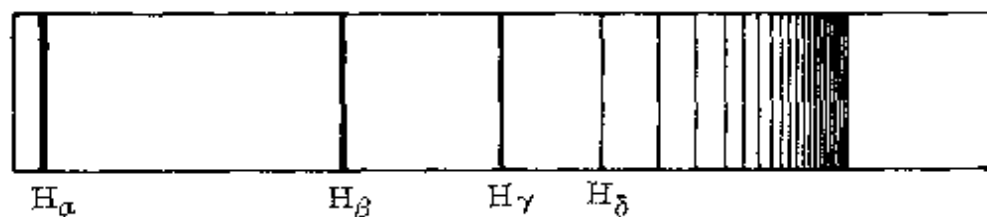


图 41 氢光谱

对于氢光谱这种有规律性的排列,当时是一个谜.因此,摆在物理学家面前的任务就是从中找出规律,进而对光谱的成因作出理论的解释.

巴尔末的发现

当时,有不少物理学家都致力于这个工作,但由于往往习惯于用力学方法系统来处理,摆脱不了传统观念的束缚.因此在光谱规律的研究上首先打开突破口的不是物理学家,而是瑞士的一位中学教师巴尔末(J. J. Balmer, 1825—1898).他在贝塞尔大学的物理教授哈根拜希的鼓励下得到了氢光谱谱线数据,凭借自己对几何知识特有的素养,借助几何图形领悟到谱线波长趋于某一极限.他把可见光区域内四条光谱线的波长作了拼凑:

$$H_{\alpha} \quad 6562.8 \times 10^{-10} \text{ 米} = 3645.6 \times 10^{-10} \times \frac{9}{5} \text{ 米}$$

$$H_{\beta} \quad 4861.3 \times 10^{-10} \text{ 米} = 3645.6 \times 10^{-10} \times \frac{4}{3} \text{ 米}$$

$$H_{\gamma} \quad 4340.5 \times 10^{-10} \text{ 米} = 3645.6 \times 10^{-10} \times \frac{25}{21} \text{ 米}$$

$$H_{\delta} \quad 4101.7 \times 10^{-10} \text{米} = 3645.6 \times 10^{-10} \times \frac{8}{9} \text{米}$$

从中找出一个公因子 $b = 3645.6 \times 10^{-10}$ 米. 接着他又仔细分析上面的分数, 发现存在一种平方关系, 可分别表示为

$$\frac{9}{5} = \frac{3^2}{3^2 - 4}, \quad \frac{4}{3} = \frac{4^2}{4^2 - 4}, \quad \frac{25}{21} = \frac{5^2}{5^2 - 4}, \quad \frac{8}{9} = \frac{6^2}{6^2 - 4},$$

于是氢光谱在可见光区域内四条谱线的波长可依次表示为

$$\frac{3^2}{3^2 - 4} b, \quad \frac{4^2}{4^2 - 4} b, \quad \frac{5^2}{5^2 - 4} b, \quad \frac{6^2}{6^2 - 4} b.$$

并统一归纳成一个经验公式: 将氢光谱波长表示为

$$\lambda = b \frac{m^2}{m^2 - 2^2}, \quad b = 3645.6 \times 10^{-10} \text{米}.$$

当 m 依次用 3、4、5、6 代入时即得 H_{α} 、 H_{β} 、 H_{γ} 、 H_{δ} 四条谱线的波长. 与实验测定值比较如下:

公式计算值	实验测定值	差 值
$H_{\alpha} = 6562.08 \times 10^{-10} \text{米}$	$6562.10 \times 10^{-10} \text{米}$	$+0.02 \times 10^{-10} \text{米}$
$H_{\beta} = 4860.80 \times 10^{-10} \text{米}$	$4860.74 \times 10^{-10} \text{米}$	$-0.06 \times 10^{-10} \text{米}$
$H_{\gamma} = 4340.00 \times 10^{-10} \text{米}$	$4340.10 \times 10^{-10} \text{米}$	$+0.10 \times 10^{-10} \text{米}$
$H_{\delta} = 4101.30 \times 10^{-10} \text{米}$	$4101.20 \times 10^{-10} \text{米}$	$+0.10 \times 10^{-10} \text{米}$

由此可见, 巴尔末公式与实验测定值的偏差最大不超过四万分之一. 这个偏差很可能是观测误差所引起的. 可以说, 巴尔末公式与实验已取得完全吻合的理想结果.

巴尔末公式是纯属经验性的凑合出来的结果, 但它对原子光谱理论和量子物理的发展有很大的影响. 这个公式打开了光谱奥秘的大门, 找到了译解原子密码的金钥匙. 玻尔正是在巴尔末公式的启发下, 创造性地提出两个假定, 成功地解释了氢光谱的分布规

律。

5. 直觉思维法

千古
绝对

所谓直觉,或者称为灵感,就是偶尔在头脑中闪过的对问题的某种特别具有独创性的设想.它往往是人们对某个问题研究已久,绞尽脑汁,冥思苦想不得其解,就在处于“山重水复疑无路”的困境中时,突然因某种刺激而引起联想,得到启发,茅塞顿开,发现端倪或使问题迅速得到解决.文学艺术上常有许多脍炙人口的例子.相传宋代著名文人秦少游结婚时,新娘苏小妹(大文学家苏东坡之妹)出的上联“闭门推出窗前月”,一时难倒了新郎,在庭院里来回踱步低头沉思.苏东坡见状,从地上拾起一颗小石子丢入庭院里的水池中,秦少游立即受到启发,吟出了千古传诵的绝对:“投石冲开水底天”.在物理学上也不乏这种例子.常常被人津津乐道的阿基米德巧称金王冠就是生动的一例.

智测
体积

据传说,叙拉古希罗大帝(King Hiero,前 269—前 216 在位)在锡拉丘兹称王以后,为了标榜自己的功绩,决定在一座圣庙内安放一顶金王冠.金匠根据国王的命令,按时做好一顶精美的王冠.但有人告发,说金匠贪污了部分金子,掺进了等量的白银或铜.希罗感到自己受了骗,是奇耻大辱,但又苦于没有办法查出来,于是就请阿基米德(Archimedes of Syracuse,约前 287—前 213)想办法.阿基米德虽然经过苦思冥想,也没有想出一个好办法来,困难的是难以测出金冠的体积.一天,阿基米德去洗澡,由于澡盆的水放得太满,他一进澡盆水就溢出.他发现身体浸入水中越多,溢出的水也越多,并且感到水对他身体的托力也越大.他好像发现什么秘密似的,把身子在澡盆里沉下浮起,浮起沉下,使他顿时领悟到:一个不规则形状的物体的体积可用它排开的

水的体积来测定.他想到这里,高兴地跳了起来,竟然忘记了自己是赤身而冲出浴室,跑上街去,边跑边喊:“攸勒加!攸勒加!”意思是“我想出来了!我想出来了!”

阿基米德用排水法巧妙地测出了金王冠的体积,再根据它的重量,终于证实了金匠确在王冠中掺入了白银,并在此基础上进一步实验研究,发现了以他的名字命名的浮力定律.

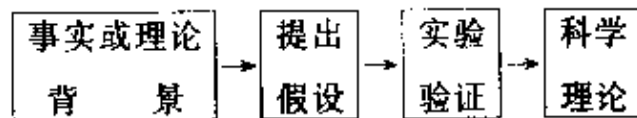
杨振宁说:“‘灵感’当然不是凭空而来,往往是经过一番苦思冥想后而出现的‘顿悟’现象.”阿基米德洗澡时的“灵感”正是在他长期思考后才会突然迸发出来.

直觉对科学研究极为有用,许多猜想和假设就是在直觉思维支配下,“灵机一动”提出来的.

上面结合物理学史上的实例介绍了提出猜想与假设的一般方法,并不能包罗万象.譬如,对称推理,也是提出假设的一种极为有效的方法(详见本丛书《对称》一册).其实,所有这些方法都是不能绝对区分的,其间也没有不可逾越的鸿沟,而是互相渗透,互相影响的.在探索科学真理的道路上从来不会有刻板的、统一的模式.

四、实践是检验和发展猜想与假设的惟一途径

猜想与假设,作为人们的认识接近客观真理的一种方法.一方面,它常常以现有的(或正在创新的)知识作为基础,决不是一种任意的胡思乱想;另一方面,由于所猜想或假设的基本观念的真实性尚未判定,属于一种有胆识的猜测性(或探索性)的见解.因此,任何一个假设的真理性都不依赖于人们主观的愿望,必须经过实验的检验.一个假设提出或形成之后,接着便是设计实验.如果得到验证,并且是可重复的实验的验证,这个假设的科学地位就得到确认.所以,科学真理的形成所经历的几个阶段大致可表示如下:



当然,由于人们的认识及实验条件的局限性,实验验证也只是从一定的方面、一定的确切程度上对假设的真理性所作的检验.为了保证物理理论的纯洁性,物理假设的验证往往不是一次完成的,要不断地接受历史的考验.

下面,我们通过一些假设的实验验证,进一步体会一下从假设到形成理论的历程.

1. 伽利略的斜面实验

伽利略提出“落体做匀加速运动”的猜测后,就着手考虑实验验证.由于物体下落的速度太快,不易观测,他就设法“冲淡重力”——利用物体沿斜面下降的现象进行研究.他详细地描述了著名的斜面实验:

**实验
装置**

“取一块长约 12 库比特、宽约半库比特、厚 3 指宽的木板,在上面刻一条一指多一点宽的直而光滑的槽,槽内用羊皮纸贴衬,也尽可能弄得光滑.再准备一个硬的、光滑而且非常圆的黄铜球.将木板的一端抬起 1 或 2 库比特,使之倾斜,然后使黄铜球沿整个长槽下滚,同时测出下滚的时间.”

这里时间的测量是一个很困难的问题,伽利略巧妙地用了一台简陋的“水钟”,犹如我国古代的铜壶滴漏.他写道:“为了测定时间,我用了一个大的水桶,并把它架在高处,在桶底安一个小管,使有一细小水流从中流出,在每次铜球滚下的时间内都用一个小杯

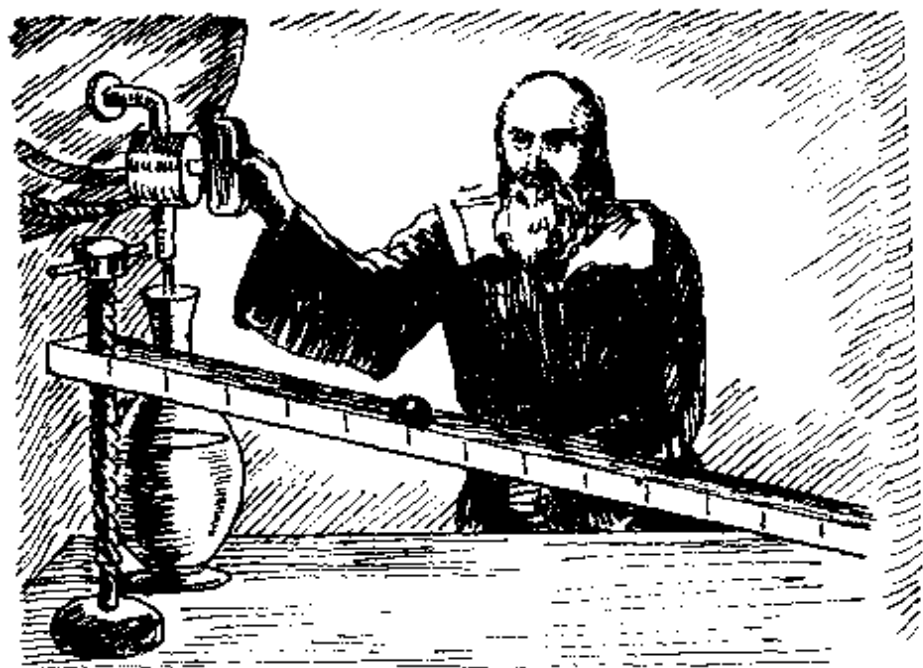
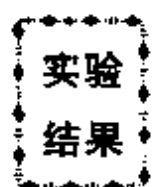


图 42 伽利略的斜面实验

子接下流出的水,然后用一个非常精确的秤称出杯内水的重量,各次水的重量的差别或倍数就给出了各次铜球滚下所用时间的差别或倍数。”整个实验装置如图 42 所示。



伽利略通过反复实验后发现,在同一倾角下,铜球只滚下整个槽长的 $\frac{1}{4}$ 测得的时间都是滚下整个槽长所用时间的一半.改变铜球滚下的距离,如为整个槽长的 $\frac{1}{2}$ 、 $\frac{2}{3}$ 、 $\frac{3}{4}$ …或任意分数,再将铜球下滚的时间和滚下整个槽长的时间相比较,发现铜球滚下的距离总是与时间的平方成正比,即

$$\frac{s_1}{t_1^2} = \frac{s_2}{t_2^2} = \frac{s_3}{t_3^2} = \cdots = \text{常数},$$

或者写成 $s \propto t^2$ 。

同时发现,如果铜球通过槽长的距离成 1:3:5:7… 的连续奇数比,那么通过相应各段的时间都相同.或者说成,铜球沿斜槽由静止滚下时,在连续各相等的时间间隔内通过的距离之比等于从 1 开始的连续奇数比.现在课本中常表示为

$$s_{\text{I}} : s_{\text{II}} : s_{\text{III}} \cdots = 1 : 3 : 5 \cdots$$

接着伽利略又改变斜面的倾角,发现距离与时间平方成正比的关系仍然成立,仅是比例常数 $\frac{s}{t^2}$ 的数值发生了变化:斜面倾角逐渐增大时,比例常数的数值也逐渐增大。

伽利略在验证了不同倾角时 $s \propto t^2$ 的关系后,用外推法作出判断:当倾角 $\alpha = 90^\circ$,物体竖直下落时,这个关系也应成立,并且此时 $\frac{s}{t^2}$ 的值最大.由此他导出了自由落体定律:

下落的物体不论其轻重如何,从相同高度落下时,下落的时间

均相等。

这样,伽利略就彻底否定了亚里士多德关于轻重不同的物体以不同速度下落的说法,成功地验证了他所作出的猜想。

实验的 意义

伽利略斜面实验的成功,不仅导出了落体定律和惯性定律,更重要的是使物理学有了一个良好的开端。在中世纪以前,整个自然科学(包括物理学)和哲学融为一体,使自然科学的研究受着经院哲学的巨大影响,被涂上了迷信和清谈的色彩。尽管中世纪的实验科学先声培根(F. Bacon, 英, 1561—1626)曾谆谆告诫:“证明前人说法的惟一方法只有观察和实验,实验科学胜过各种依靠论证的科学。”但是,人们对自然科学的研究仍然习惯于仅通过观察、思考和空洞的辩论,很少有目的地进行实验。伽利略开创了实验和科学推理之先风,爱因斯坦给予伽利略高度的评价:“伽利略的发现以及他所用的科学推理方法,是人类思想史上最伟大的成就之一,而且标志着物理学的真正开端。”

2. 万有引力定律的验证

“许多自然科学的理论之所以被称为真理,不但在于自然科学家们创立这些学说的时候,而且在于为尔后的科学实践所证实的时候。”牛顿证明了行星沿椭圆轨道运动时,太阳对行星的引力符合“平方反比”规律并得出万有引力定律,开始时也只能是一个假设,也是在其后一百多年间,由于不断被科学实践所证实,才逐渐得到普遍承认的。

对于万有引力定律最有效的实验验证有以下四方面:

(1) 地球形状的预测

对地球形状的揣测

我们生活的地球是什么形状的？自古以来人们就很感兴趣。我国古代的浑天说认为：“天如鸡子，地如卵中黄，孤居于天内，天大而地小，半覆地上，半绕地下”。表明浑天学家已有地如球形的观念。西方哲学家认为宇宙万物中以圆(球)形最完美，所以地球也应当是一个圆球形。16世纪初麦哲伦(F. de. Magellan, 约 1480—1521)率船队费时三年环球航行成功，足以证明地球为一球体。那么地球是不是一个半径处处相同的圆球体呢？在无法从地球外(如人造卫星上)观看地球的全貌和没有在地面上进行实际测量前，只能借助某些现象作一些预测。

橘子与柠檬之争

天文观测指出，地球有一种特有的天文现象——岁差。这就是说，地球沿公转轨道运动时两次经过春分点的时间(365日5时48分46秒，称回归年)与地球公转 360° 所需要的时间(365日6时9分9秒，称恒星年)相差20分23秒(图43)。这种现象我国晋代天文学家虞喜，在公元330年前后首先发现。牛顿在用万有引力定律解释“岁差”现象时，大胆预言，由于地球绕轴的自转运动，赤道部分的物质应该向外隆起，使地球成为两极稍扁的扁球体，犹如一个绕轴自转的弹

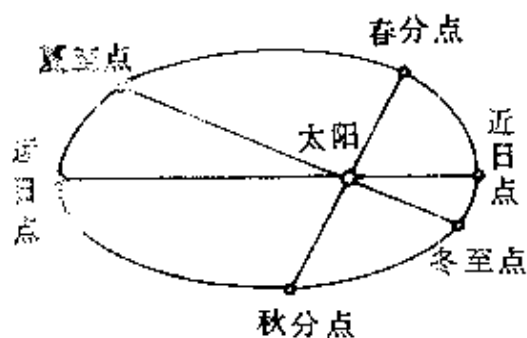


图 43 地球的公转轨道

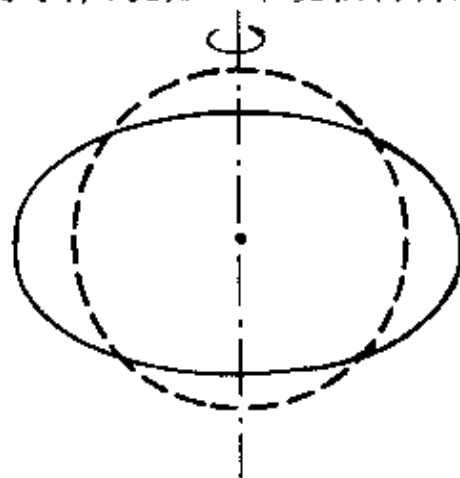


图 44 旋转的圆环会形成椭圆状

性圆环会形成椭圆状一样(图 44)。1671 年,法国人里切爾(J. Richer, 1630—1696)到赤道附近的卡因島作天文观测时,发现从巴黎带去的摆钟变慢。牛顿认为,这是由于赤道处引力场变小,正可作为地球赤道处的半径大于两极半径、地球呈扁球状的一个证据。

牛顿通过引力理论计算后断定,由于地球赤道隆起部分将使地球有一部分接近太阳和月亮,另有一部分远离太阳和月亮,它们受到的引力作用不同,使太阳和月亮的引力作用不通过地球中心,从而使地球的轴做一种缓慢的圆锥运动,才造成二分点的岁差现象。牛顿还近似地估算出,地球的扁率为 $1/230$ 。*

如果地球并不如牛顿所说的是一个扁球体,则岁差现象来源于引力的判断就不正确。因此,地球是否为两极稍扁的扁球体,就成为检验万有引力定律正确与否的一块试金石。

与牛顿的结论相反,笛卡儿根据旋涡假设作出的预言,地球应该是两极伸长的扁球体。

如果把牛顿预言的地球形状比喻为一个橘子的话,那么笛卡儿预言的地球形状就像个柠檬。这里的孰是孰非曾争论了几十年,只能由实际的大地测量作出裁决。



1735 年,法国科学院派出两个测量远征队,分赴赤道地区的秘鲁(纬度 $\varphi = -2^\circ$)和高纬度处的拉普兰德($\varphi = 66^\circ$),1744 年测得两地 1° 纬度之长为:赤道处是 110600 米,两极处是 111900 米,两者相差约 1500 米。1810 年,又测得法国附近纬度 1° 的长度和地球扁率为 $\frac{1}{334}$ 。

* 扁率:是描述地球形状的一个参数。研究地球形状时,常先确定一个和它最逼近的旋转椭球体(扁球体)。这个扁球体的半长轴(a)与半短轴(b)之差与半长轴的比值 $e = \frac{a-b}{a}$,称为扁率。

经过大地测量,基本证实了牛顿的预言和引力理论的计算.从此,地球为两极扁平、赤道隆起的扁球状才为人们所普遍接受,牛顿的万有引力定律胜利地度过了一次考验.*

(2)哈雷彗星的预报

牛顿的引力理论刚提出时,几乎无人问津,连剑桥大学也不讲牛顿的理论.牛顿的理论得以为人们所接受要归功于哈雷.

哈雷的 预言

哈雷是英国的天文学家,他重点研究彗星.当时人们视这种“有头有尾有发”的彗星为上天的凶兆(图45).**我国古代也流传所谓“扫帚星”的出现为不祥之兆的说法.1682年出现大彗星时,哈雷发现它与1607年、1531年出现的大彗星的轨道基本重合,哈雷大胆断言,这三次彗星实际上是同一颗彗星.他根据万有引力计算出这颗彗星的椭圆轨道,算出它的周期是76年,并预言将在1758年再次光临地球.哈雷本人虽然没有希望目睹未来的盛况,他希望那时的天文学家不要失去这次宝贵的观测机会.后来,法国数学家克雷洛(A. C. Clairault, 1713—1765)于1743年计算了遥远的木星和土星对这颗彗星引力作用的影响后指出,这颗彗星将推迟至1759年4



图 45 彗星的形状

* 1967年世界大地测量协会会议确定以卫星资料推算的地球参数是:赤道半径长6378.160千米,扁率 $1/298.25$.近年来,通过卫星资料的进一步研究结果表明,地球的形状在一个扁的椭球体上略呈“梨形”,北极部分高出球面约10米,南极部分陷下去约20多米.

** 彗星通常分为“彗头”和“彗尾”两大部分.彗头中密集明亮部分叫“彗核”,包围着彗核外层那部分云雾状称“彗发”.

月中旬才到达近日点。

于是,预报彗星的回归又一次作为对牛顿引力理论的严峻考验。

彗星终于
按时回归

到了 1758 年底,天文观测仍不见有这颗彗星访问地球的信息,有的天文学家动摇了对哈雷的信任,并对牛顿引力理论的正确性表示了怀疑,但不久,哈雷最初的预言和克雷洛更精密的推算终于被证实了。德国的一个名叫约翰帕尼茨的农民、业余的天文观察者在 1758 年圣诞之夜看到了这颗彗星,成为天文学史上根据预测的回归时间发现周期彗星的第一个人。翌年 3 月 13 日——与预算日期仅差一个月,这颗彗星通过近日点,光耀夺目。5 月 15 日,它向世人展现出的彗尾长达 45 度,从而使它成为人类确认的第一颗周期性彗星,被称为哈雷彗星。

哈雷彗星的按时回归,成为当时破天荒的奇观。人们难以设想,神出鬼没的彗星居然也有稳定的轨道(图 46),而且还能被预测到。仅此一点,就可说是思想史上的一次革命了。从此学术界也终于在事实面前接受牛顿的万有引力理论。

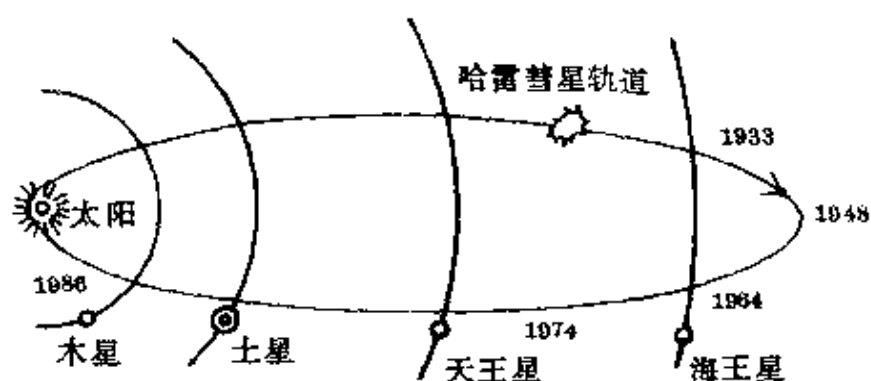


图 46 哈雷彗星的轨道

哈雷彗星自那次历史性的回归以来,1835年、1910年又出现过.*最近的一次哈雷回归是1986年,作者是荣幸者,也目睹了这颗著名的哈雷彗星的动人风采.

(3) 万有引力恒量的测定

通过地面上的实验对牛顿引力理论提供直接证明的,是牛顿提出引力理论100多年后,英国物理学家卡文迪许(H. Cavendish, 1731—1810)于1798年首次完成的万有引力恒量的实验测定.

牛顿的设想

牛顿提出了万有引力定律后,曾经设想过两种测定引力恒量的方法:第一个方法是测定悬挂在大山旁的铅垂线下系的重球由于受到大山的吸引使铅垂线发生偏斜的角度,以此来测定山的质量和地球质量的比值,从而计算出引力恒量.第二个方法是直接测定两个不大的物体间的引力.由于当时仪器的精密度不高和一般物体间引力的微小,牛顿及同时代许多科学家的探索都没有成功.

巧妙的扭秤

直到1798年,卡文迪许巧妙地采用了扭秤方法,才完成了万有引力恒量的实验测定.他的实验装置如图47所示.

实验装置的主要部分是一个长6英尺的T形架,倒悬在石英丝下端.T形架水平部分两端各装一个直径约2英寸的铅球 m ,旁边等距离放上两个质量是 m' 的大球.由于 m 受到 m' 的吸

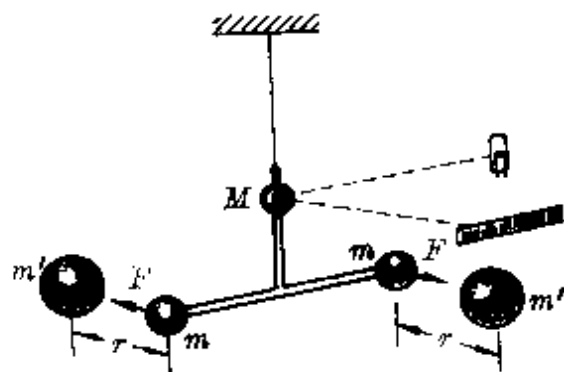


图 47 卡文迪许扭秤实验

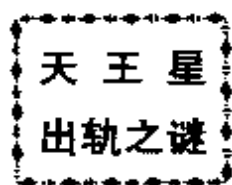
* 我们的祖先对这颗彗星有着世界上最早和最完整的记录:公元前611年记录到第1次;公元1759年记录到第29次.可惜没有从理论上进行推算.

引,石英丝扭转.当引力对 T 形架的扭转力矩跟石英丝形变产生的扭转力矩相平衡时,T 形架静止不动.石英丝的扭转角度可从小平面镜 M 的反射光在标尺上移动的距离求出.再根据预先测得的石英丝扭转力矩跟扭转角度的关系,就可算出 m' 对 m 的扭转力矩,进而算出 m' 对 m 的引力,确定引力常数.

卡文迪许的实验仪器极其灵敏,测得的引力常数是 6.754×10^{-11} 牛·米/千克²,现在的公认值取作 $G = 6.67 \times 10^{-11}$ 牛·米²/千克².引力常数的测得无疑是对牛顿引力理论的一大直接证明.

(4)海王星的发现*

海王星的发现是牛顿万有引力理论的一个辉煌成就.



1781 年英国天文学家赫舍尔 (J. Herschel, 1791—1871) 发现了天王星,曾经被认为是太阳系的最后一个成员.后来,人们发现天王星的实际运动轨道总与理论计算轨道不一致,于是,又有一些人对万有引力有了怀疑.因此,解释天王星出轨的原因成了对牛顿引力理论的一次关键性的考验.

1843 年至 1845 年间,英国青年亚当斯 (J. C. Adams, 1819—1892) 和法国青年勒维烈 (U. J. J. Leverier, 1811—1877) 各自独立地根据牛顿引力理论和运动定律进行了复杂而困难的计算,预言天王星外有一颗未知行星.接着,德国柏林天文台的伽勒 (J. G. Galle, 1812—1910) 根据勒维烈指示的方位,发现了海王星,从而使引力理论威名大震,使那些最顽固的保守派也不得不在事实面前信服了.

* 有关海王星发现较详细的阐述参本丛书《模型》一书.

恩格斯 的评价

恩格斯对这一发现作出了高度的评价：“哥白尼的太阳系学说有三百年之久，一直是一种假设。这个假设尽管有百分之九十九、百分之九十九点九、百分之九十九点九九的可靠性，但毕竟是一种假设。而当勒维烈从这个太阳系学说所提供的数据，不仅推算出一定还有一个尚未知道的行星，而且还推算出这个行星在太空中的位置的时候，当后来伽勒确实发现了这个新行星的时候，哥白尼的学说就被证实了。”

3. 伦福德实验与焦耳热功当量的测定

热质真像一个幽灵，它既“是物质而没有质量”，这确是使人很不可思议的！究竟物体中是否含有这种“热质”呢？18世纪末伦福德——戴维的实验对这个幽灵发起了严重的挑战。

伦福德 实验

1798年英籍美国物理学家伦福德（C. Rumford，1753—1814）* 在慕尼黑兵工厂视察炮筒钻孔时，发现炮筒变得非常热，特别是当钻头变钝的时候。这种情况用热质说无法解释。因为热质说认为摩擦生热是两个物体的“潜热”被挤压出来、物质比热变小的结果，切削下来的碎屑越多，放出的潜热应该越多。按此推理，钻头锋利的时候切削下来的碎屑多，应该比钻头变钝时放出的热量多，但伦福德的观察结果恰好相反。

伦福德还进行了试验。他把炮筒固定在水里，用几匹马带动一个很钝的钻头，使钻头在炮筒内转动钻孔。结果发现，这个钝钻头经过2小时45分钟切削下来的铁屑只有50多克，仅相当于炮筒质量的千分之一，然而却可使18磅（1磅=0.3732千克）水由0℃上升到沸点。这么一小部分铁屑竟能放出那么多的潜热，使人难以

* 伦福德原名本·汤姆逊（B. Thompson），加入英国籍后获“伦福德”伯爵的爵位。

理解.伦福德在发表该实验报告时说:“在看到这么大量的凉水($18\frac{3}{4}$ 磅)在没有任何火加热的情况下被加热并实际上沸腾起来,那些旁观者的面目上表现出来的惊讶诧异是难以形容的……而我也坦率承认,它使我感到孩童般的喜悦……”

这些热究竟是哪里来的呢?后来,伦福德又设计了一系列钻孔的实验.他设法将仪器与外界绝热,然后测量钻孔前后金属的比热.实验结果表明,金属炮筒的比热和切削出来的碎屑的比热完全一样,并没有变化,与热质说的解释产生了严重的矛盾.

伦福德在笔记中写道:“在这些实验中被激发出来的热,除了把它看作是运动以外,似乎很难把它看作其它任何东西.”

伦福德还在实验中发现,只要钻头不停地转动,热可以不断地产生,像是无穷无尽的.对此,热质说也无法解释.伦福德又写道:“任何与外界隔热的一个物体或一组物体所能无限地连续供给出某种东西,那么这种东西不可能是一种具体的东西;任何东西如果它能够像热在这些实验中那样被激发并传递,那么除非它就是运动……”伦福德的这段话已否认了热质的存在,充分支持了热是运动的观点.

然而,持热质说观点的人仍然站在自己的立场上,对伦福德用“钝钻头实验”揭示的事实又用“热质从外面跑进来了”去解释.

戴维 实验

1799年,英国化学家戴维(H. Davy, 1778—1829)作了一个极精彩的实验:利用钟摆装置使放在真空中的金属轮子和盘子间发生摩擦,在周围温度 0°C 以下的情况下,盘上事先涂上的蜡却熔化了.他又在温度是 0°C 的露天用两块冰互相摩擦,结果冰也被融化成水.因为水的比热比冰高,这里“热质守恒”完全被破坏了.由此,戴维断言,热质是不存在的.他认为冰

的熔化是“摩擦引起了物质微粒的振动,这种振动就是热”。

这两个实验,已都能证明了热的唯动说假设的正确性,但由于这两个实验还比较粗糙,当时还无法确定机械运动转化为热运动的定量关系,所以还不足击破人们头脑中根深蒂固的热质说的观念,以致当伦福德宣布其实验结果时,人们嗤之以鼻,认为违反了常理,但伦福德坚信着热质说的不正确,1804年他在给日内瓦的朋友的信中说道:“我相信,我将活到足够长的时间,直到高兴地看到热质与燃素一起埋葬在同一个坟墓之中”,可惜他的愿望没能实现,热质说又延续了半个多世纪。

热功当量的测定

使热质说受到致命打击,把它送进坟墓的是焦耳和迈耶等人的工作,尤其是对热功当量的测定。

迈耶(J. R. Von. Mayer, 德, 1814—1878)是位医生,他首先比较具体地研究热和功的联系,从1840年起连续发表几篇探讨热的来源的文章,最早提出热功当量的概念,并得出“物体从365米的地方落下相当于把等重的水升高1度”的关系,但他由于工作繁忙,未能进一步沿着这条思路继续进行实验研究。

完成精确测定热功当量工作的是英国物理学家焦耳(J. P. Joule, 1818—1889)。他从1840年起到1875年的近40年时间里,进行了大约400多次各种不同的实验,先后采用了从磁电机产生的电流通入导体以产生热量;压缩一定量的空气所需的功与压缩所产生的热量作比较;使水通过细管运动而放出热量;划水轮推动流体摩擦等办法。常在中学物理课本中介绍的实验,是焦耳在1849年完成的测定热功当量的最著名的实验,其装置如图48所示。

在金属量热器内装一转轴,轴上带有与轴垂直的叶片,各叶片间互成 45° 角,共8对。在侧壁上成辐射状方向固结着四行金属片,其作用是阻碍水的流动。为了隔绝热的传导,在露出外面的金属轴

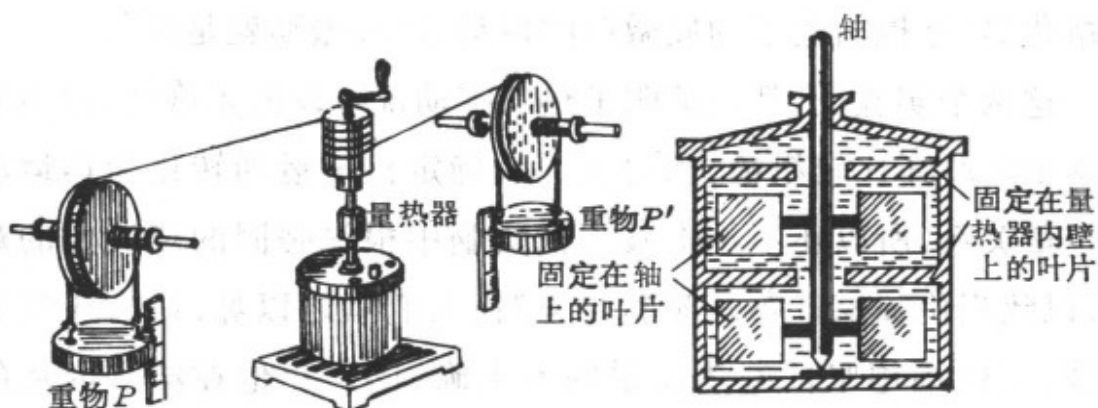


图 48 焦耳热功当量实验装置

的上端装一木筒,并将两根绳子从相反方向绕在上面,并分别向相反方向引出,绳端分别绕在两个定滑轮上,滑轮的轴搁在很轻的小轮上,轴上带着挂有重物的绳索,旁边有测杆可测得重物下落的高度.

设每个重物的质量为 m 、落下的高度为 h ,一共下落 n 次,则重物做功

$$W = 2nmgh.$$

重物下落带动量热器中的轴转动,轴上的叶片带动周围的水随着转动.使水的温度由 t_1 升高到 t_2 ,以 m_1 、 m_2 、 c_1 、 c_2 分别表示水和量热器的质量和比热,则共需吸热

$$Q = (c_1 m_1 + c_2 m_2)(t_2 - t_1).$$

于是得热功当量

$$J = W/Q.$$

焦耳用水做实验时测得的热功当量值为 $J = 424.3$ 千克力米/千卡(1千克力米/千卡 = 9.8 焦/千卡).将水银灌入量热器内进行实验时,测得的数据为 425.8 千克力米/千卡.今天的公认值是 $J = 427$ 千克力米/千卡 = 4.18 焦/卡.

焦耳在 1850 年写的论文《论热功当量》中写道:能使 1 磅水的

温度升高1卡的热量,需要消耗相当于使 772 磅重物下落 1 英尺(1 英尺 = 0.305 米)距离的功。

焦耳热功当量的实验雄辩地证明了热不是一种物质流,而是一种传递的能量,热和机械功之间有确定的关系。根据焦耳的结论,不仅可以很好地解释摩擦生热等现象,从而使得延续一个多世纪以来的热质说终于在实验事实面前被彻底地否定了,而且还奠定了能的转化和守恒定律的基础,一定热量的产生(或消失)总是伴随着等量的其它形式的能量的消失(或产生);某种形式的能量向其它形式的能量转化中在数量上是守恒的,而并不存在单独守恒的热质。

虽然热质说由于它所包含的某些合理的成分也曾促进了量热学的发展,但这一假设终究经受不了实验事实的检验,并被证明是一个错误的假设而退出历史舞台。

4. 汤姆生巧测阴极射线

围绕着阴极射线究竟是波还是粒子之争持续了几十年,最后由英国物理学家汤姆生(J. J. Thomson, 1856—1940)一锤定音作出肯定回答:阴极射线是由带负电的粒子组成的,并测出了阴极射线的荷质比(e/m)。

在查明阴极射线性质的过程中,汤姆生做了一系列实验。

(1) 否定阴极射线是电磁波

汤姆生在一个长 15 米的真空管内,用旋转镜测时间差的方法,测得阴极射线在低压气体中的传播速度是 1.9×10^8 米/秒,远小于光速。由此他否定了阴极射线是电磁波的说法,也更坚定了自己认为阴极射线是粒子流的观点。

(2) 确定阴极射线粒子的电性

佩兰
实验

1895年,法国物理学家佩兰(J. B. Perrin, 1870—1942)设计了一个支持阴极射线是粒子流的实验(图49).他在阴极射线管内,用金属圆筒F对着阴极C,从阴极发

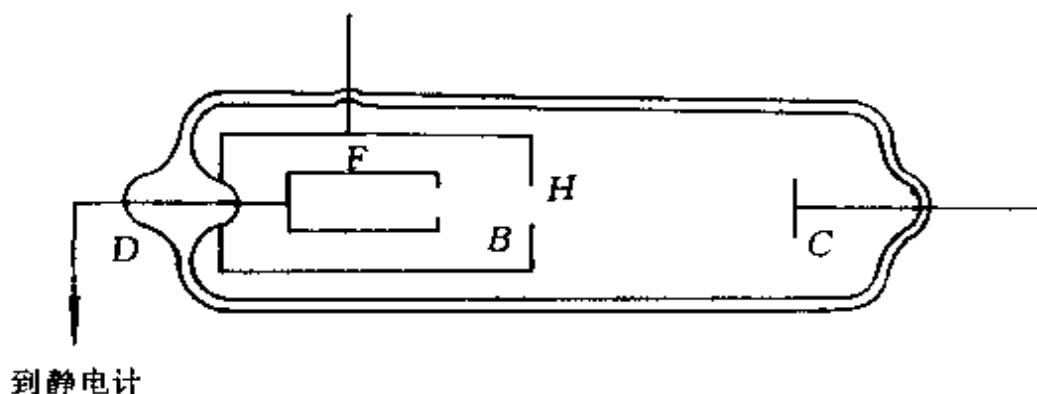


图49 佩兰设计的实验

出的阴极射线经小孔H进入到阳极的金属筒F内,由它收集阴极射线,再用静电计检测电量和电性.实验结果发现这时的金属筒呈负电性.接着,佩兰把阴极射线管放在磁场之间,结果阴极射线发生偏转,无法再进入小孔H,收集器F仍保持中性.佩兰的实验虽为阴极射线是带负电的粒子流提供了证据,但持“振动说”观点的人认为,即使从阴极发出的是带负电的微粒,但它同阴极射线路径重合的证据并不充分.言下之意就是还不足以证明在磁场中发生偏转的就是阴极射线.

汤姆生
的改进

为此,汤姆生对佩兰的实验作了巧妙的改进.他把阴极和金属筒分别放在各自的管内,只在两个玻璃管的接合处留一狭缝(图50).不加磁场时,根据阴极射线直进的性质,没有射线进入金属筒;当加上磁场至适当值时,把射线引进金属筒,静电计检测到的电荷会猛增.这个实验无可辩驳地证明了阴极射线和带负电的粒子在磁场作用下遵循同样路径,可见阴极射线确由带负电的粒子组成,从而结束了振动说和粒子说之争.

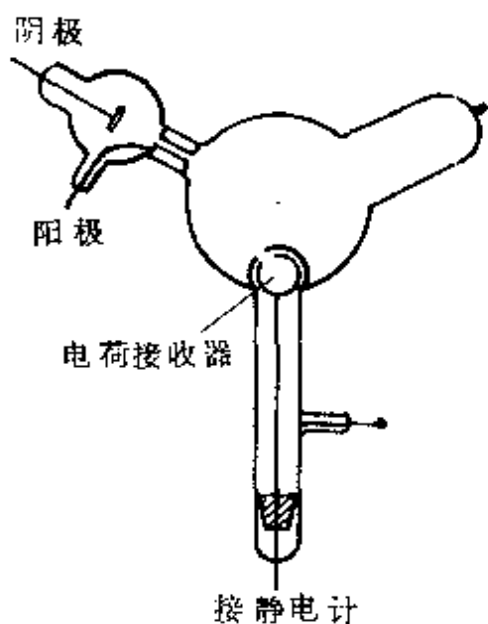


图 50 汤姆生改进佩兰实验

实验装置 如图 51 所示,射线从阴极 C 发出,穿过阳极 A 的狭缝和另一接地的金属塞 B 的第二道狭缝后,从两块长 5 厘米、宽 2 厘米、相距 1.5 厘米的平行铝板 D 、 E 间通过,然后到达管端,产生一条狭窄的轮廓清晰的荧光斑.通过贴在管外的刻度尺可测出荧光斑的偏转.

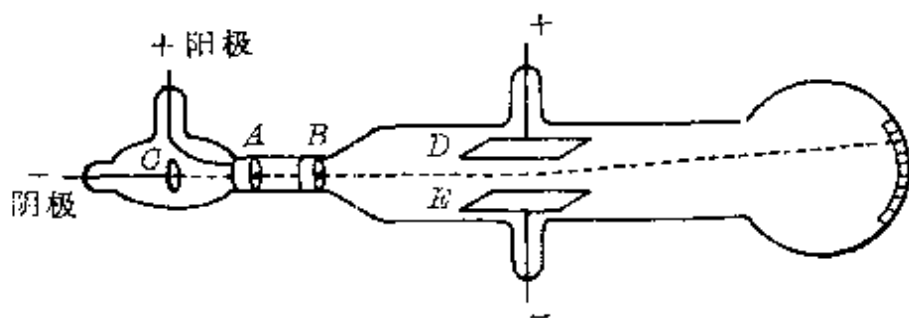


图 51 阴极射线在静电场中偏转实验装置

实验结果 实验中发现,当管内抽到高真空时,下极板 E 接电源负极,射线就向上偏;上极板 D 接电源负极时,射线就向下偏.并且,偏转的多少与两平行板 D 、 E 间的电压成正比.

这一实验结果用中学的静电场知识已很容易解释.

(3)用静电场使阴极射线偏转

德国物理学家赫兹曾做过使阴极射线在电场中偏转的实验,但没有成功.汤姆生认为,其失败原因是真空度不够高,引起残余的气体电离,使静电场建立不起来.后来,汤姆生在一名技术精湛的工艺师埃佛勒特(E. Everett)协助下,提高了真空度,重复了赫兹的构想,实现了用静电场使阴极射线发生偏转.

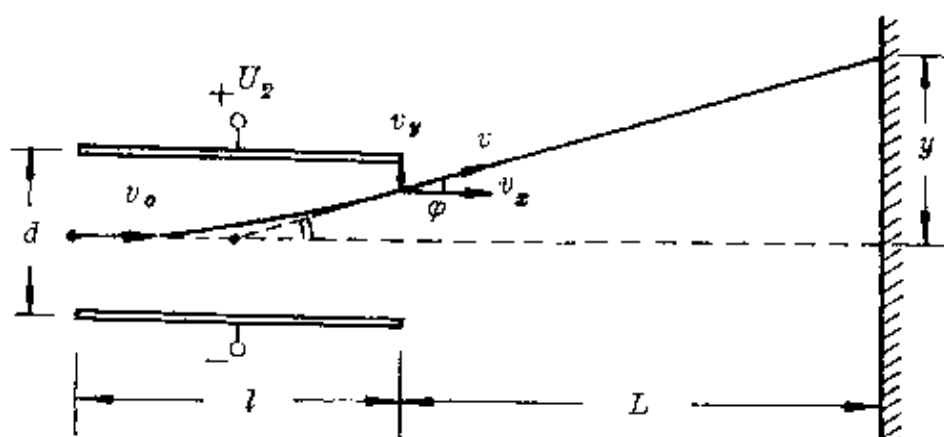


图 52 阴极射线静电偏转原理

设阴极射线粒子的质量为 m 、电量为 e ，经阳极 A 与阴极 C 之间电压 U_1 加速后入射速度

$$v_0 = \sqrt{\frac{2eU_1}{m}}.$$

它进入两平行铝板间的偏转电场后(图 52)，水平方向做匀速直线运动，竖直方向受恒定的电场力作用做匀加速运动，设出射时的速度为 v ，对入射方向的偏角为 φ ，则由

$$v_x = v_0,$$

$$v_y = at = \frac{U_2 e}{dm} \cdot \frac{l}{v_0},$$

得
$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{v_y}{v_0} = \frac{el}{dmv_0^2} U_2 = \frac{l}{2dU_1} U_2,$$

因为从偏转板中射出的粒子都好像是从两板中央直接射出的，由图 52 可知

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{y}{\frac{l}{2} + L}.$$

联立两式得射线在荧光屏上对入射方向的偏距

$$y = \frac{\left(\frac{l}{2} + L\right)l}{2dU_1} U_2.$$

当 $L \gg l$ 时, 上式可写成

$$y = \frac{Ll}{2dU_1} U_2.$$

即 $y \propto U_2$.

(4) 测定阴极射线粒子的荷质比

为了进一步确定阴极射线粒子的性质, 汤姆生又设法算出粒子所带的电荷 e 与其质量 m 的比值(即荷质比), 并由此推算出粒子的速度.

汤姆生在《阴极射线》的论文中写道:“……既然阴极射线带的是负电荷, 所受静电力的偏转跟带负电的物体受磁力作用运动的路径是一样的. 我可以得出结论: 阴极射线也是物质的粒子. 其次的问题就是: 这些粒子是什么? 它们是原子还是分子, 还是更小的物质微粒? 我对这些带电粒子的质量与电荷之比进行了一系列的测量. 我用了两个独立的方法……”

热学方法 第一个方法是热学方法: 考虑一束均匀的阴极射线, 令 m 为每个粒子的质量, e 为粒子所带电量, v 为粒子的速度. 设在一定时间内穿过某截面的粒子数为 N , 则这些粒子所带的总电量

$$q = Ne.$$

如果将阴极射线注入与静电计相连的容器, 就能测出 q .

因为射线撞击固体时, 运动粒子的动能就转变为热, 固体温度会升高. 假定运动粒子的动能全部变为热, 则测出固体的温升 Δt , 又由已知固体的热容 C (热容 C 等于物体质量与比热的乘积), 就可以测出粒子的动能 E_k , 即

$$Q = C\Delta t = N \cdot \frac{1}{2} mv^2 = NE_K.$$

再使射线在匀强磁场中偏转, 依靠洛伦兹力作为向心力, 由

$$evB = m \frac{v^2}{r}, \text{ 得 } v = \frac{eBr}{m}.$$

联立上述三式得

$$Q = N \cdot \frac{1}{2} mv^2 = \frac{q}{e} \cdot \frac{1}{2} m \cdot \left(\frac{eBr}{m} \right)^2 = \frac{qeB^2 r^2}{2m}.$$

则

$$\frac{e}{m} = \frac{2Q}{qB^2 r^2} = \frac{2C\Delta t}{qB^2 r^2}.$$

所以, 只需根据实验测出一束阴极射线的电量 q , 射线粒子在磁场中的偏转半径 r , 固体的温升 Δt , 已知固体的热容 C 和磁感应强度 B , 即可得到阴极射线粒子的荷质比 $\left(\frac{e}{m} \right)$.

**电场、磁场
偏转法**

第二个方法是电场、磁场偏转法: 即测出阴极射线在均匀电场下穿过一定距离时的偏转和在均匀磁场下穿过一定距离的偏转.

如图 53 所示, 设均匀电场的强度为 E , 阴极射线以速度 v 垂直穿过电场距离为 l 后的偏角为 θ .

由

$$v_x = v, v_y = at = \frac{Ee}{m} \cdot \frac{l}{v},$$

得

$$\operatorname{tg}\theta = \frac{v_y}{v_x} = \frac{Eel}{mv^2}.$$

当偏角 θ 不大时, $\operatorname{tg}\theta \approx \theta$, 因此

$$\theta = \frac{Eel}{mv^2}.$$

①

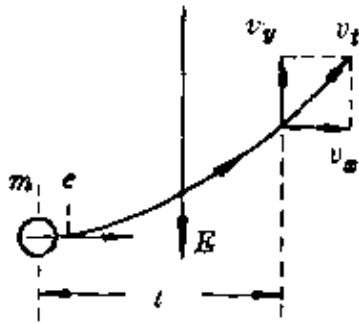


图 53

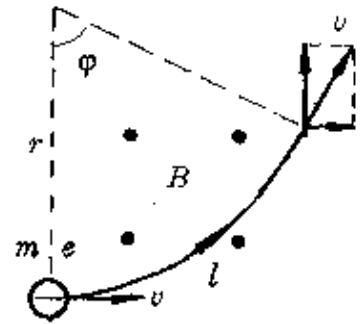


图 54

再以磁场代替电场, 设它在磁场中受洛仑兹力作用偏转, 经过一段弧长 l , 出射速度方向对入射方向的偏角为 φ (图 54). 则

$$\varphi = \frac{l}{r} = \frac{l}{\frac{mv}{eB}} = \frac{eBl}{mv} \quad (2)$$

将①、②两式联立得

$$v = \frac{\varphi}{\theta} \cdot \frac{E}{B} \quad (3)$$

再将它代入②式, 则

$$\varphi = \frac{eBl}{m \frac{\varphi E}{\theta B}} = \frac{eB^2 l \theta}{m \varphi E}$$

得

$$\frac{e}{m} = \frac{E \varphi^2}{B^2 l \theta} \quad (4)$$

在实际实验中, 常是调整 B , 使得 $\varphi = \theta$, 于是③、④两式变为

$$v = \frac{E}{B} \text{ 和 } \frac{e}{m} = \frac{E \theta}{B^2 l}$$

因此, 已知电场强度 E 和磁感强度 B , 偏转路径 (或电场区域宽度) l , 测出偏角 θ , 即可算出阴极射线粒子的速度及其荷质比.

汤姆生用第一种方法测得值 $\frac{e}{m} = (1.7 \sim 2.5) \times 10^{11}$ 库仑/千

克;用第二种方法测得值 $\frac{e}{m} = 0.7 \times 10^{11}$ 库仑/千克.与后来的公认

$\frac{e}{m} = 1.76 \times 10^{11}$ 库仑/千克相比,还是第一种方法较准确.第二种方

法误差较大的原因主要是忽略了平行板以外的场的影响.

汤姆生再将各种不同气体充入管内,并以多种不同金属作阴极,运用第二种方法容易实现的重复性作了多次测量,结果都大致相同.

由此汤姆生作出结论:所有这些情况下的阴极射线都由同样的带电粒子组成.

电子的
诞生

汤姆生将测得的阴极射线的 $\frac{e}{m}$ 值,与当时已由电
解中得到的氢离子的 $\frac{e}{m}$ 值相比较,发现前者比后者大

得多.这只能有三种可能:一是阴极射线粒子的质量 m 极小;二是阴极射线粒子的电量 e 很大;三是上面的两种因素兼而有之.汤姆生联想到过去勒纳德(P. Lenard, 德, 1862—1947)的实验发现:阴极射线能穿透一层薄铝箔(0.000265厘米厚),可见它不可能是原子或分子;阴极射线在一般大气压的空气中也能穿透约半厘米,比气体分子在大气中能自由运动的平均路程长得多.于是汤姆生断定阴极射线一定是一种远比氢离子小得多的微粒,它的质量还不到氢离子质量的千分之一.

1897年4月30日,汤姆生向英国皇家研究院报告了这一成果,证明在物质内部有比分子小得多的带电粒子存在.以后人们就把组成阴极射线的粒子称为电子*.

* 电子这个名词是1891年爱尔兰物理学家斯托尼(C. T. Stoney, 1826—1911)提出来的,当时只用来表示电荷的最小单位(基元).

(5) 证明电子存在的普遍性

汤姆生从阴极射线中测出电子的荷质比后,为了进一步确证电子存在的普遍性,他又广泛研究了许多现象.

1899年,为测定光电效应产生的带电粒子的荷质比 $\frac{e}{m}$,汤姆生设计了一个非常巧妙的实验.如图55所示,用一块锌板作光阴极,相距1厘米平行放置一块阳极.两板与静电计及电池相连,板间形成一竖直向下的匀强电场.整个装置处于匀强磁场中.

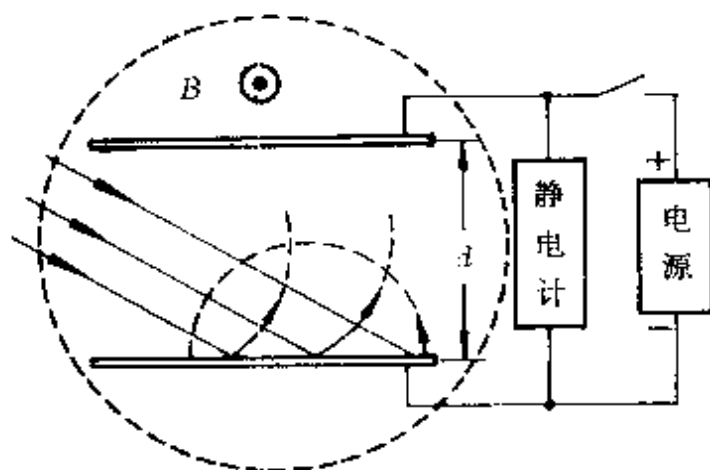


图 55 测定光电粒子的荷质比

锌板在紫外线照射下发射光电粒子,经电场加速向正极板运动,由于受到磁场力的作用使它做圆弧运动.当磁场足够强时,可使光电粒子返回阴极,极间电流降为零.

当忽略光电粒子发射的初速度时,由电场加速

$$eU = \frac{1}{2}mv^2,$$

得光电粒子射入磁场的速度

$$v = \sqrt{\frac{2eU}{m}}.$$

以后若撤去电场的作用,只考虑在磁场力作用下的偏转,则由

$$evB = m \frac{v^2}{r},$$

得圆弧轨道的半径

$$r = \frac{mv}{eB}.$$

要求粒子不碰到正极板,需满足条件 $2r \leq d$. 在极限情况下,

$$d = 2r = \frac{2m}{eB} \sqrt{\frac{2eU}{m}} = \frac{2}{B} \sqrt{\frac{2mU}{e}}.$$

于是得 $\frac{e}{m} = \frac{8U}{d^2 B^2}$.

所以,只要测出极板间电压 U 、磁感强度 B 、两板间距 d ,即可算出光电粒子的荷质比 $\left(\frac{e}{m}\right)$. 汤姆生的实验结果 $\frac{e}{m} \sim 0.76 \times 10^{11}$ 库/千克,也与阴极射线用电场、磁场偏转法测得的 $\frac{e}{m}$ 值相近,从而证明光电效应中发出的也是电子.

汤姆生以大量实验证明了不论是阴极射线、 β 射线,还是光电流或是炽热金属发出的带电粒子,它们都是同一种粒子——电子. 可见电子是比原子更基本的物质组成单元. 至此,电本性才真相大白于天下——所有电现象都是由于电子的重新分布或是电子的运动产生的.

在探索电子存在的过程中,虽然前后有许多物理学家作了不同努力,也取得了不少可喜的成绩,但汤姆生的成就是最大的,被公认为“电子的发现者”.

5. 劳厄一箭双雕

德国物理学家伦琴 (W. K. Röntgen, 1845—1923) 于 1895 年发现伦琴射线后,虽曾经过多次试验,但始终未搞清这一射线的性

质,因此用数学中的“X”表示,称为 X 射线.由于 X 射线的奇妙特性,几个月以内就被应用到医疗诊断和金属铸件的检查等方面,同时人们也加紧了对其性质的研究.

几种
猜测

当时科学界对伦琴射线有几种猜测,譬如:

德国物理学家勒纳德(他在伦琴公布 X 射线前两年曾错过了发现 X 射线的一次良机)和英国物理学家布拉格(W. H. Bragg, 1862—1942)根据 X 射线能使原子电离,在电场和磁场中不受偏转及穿透力极强等事实,猜测 X 射线和 γ 射线一样,是由一种中性粒子组成的.

德国的索末菲(A. J. W. Sommerfeld, 1868—1951)和英国的巴克拉(C. G. Barkla, 1874—1944)根据 X 射线的直进等行为猜测 X 射线是具有类似波的特性的横波,伦琴本人则倾向于认为是某种纵波.

困难在于,X 射线的已知性质和它所产生的效应,同这些猜测中的任何一种都不完全相似.当 X 射线射到物质上时会被散射,就像光被细小的雾珠散射一样,但它却又不像光波一样会发生反射、折射.许多科学家认识到,正像在一个世纪前,杨氏对可见光所认识的,说明 X 射线是波的真正试金石是检查它的干涉、衍射效应.

1899年,哈加(H. Haga,)和温德(C. Wind)曾用一个制作精良的三角形缝隙*放在 X 射线管面前,他们认为,如 X 射线确是波,它就会在缝隙边缘发生衍射,从而在缝后的照相底片上形成一个比缝本身更宽的像,可是结果并不充分.不过他们从这个实验作出推断,如果真的存在衍射现象,X 射线的波长必在 10^{-9} 厘米以下.

总之,在伦琴发现 X 射线后的 17 年中,许多科学家虽不遗余

* 选用三角形缝隙有两个原因:第一,由于不知道波长,难以选用合适宽度的直缝;第二,像的变宽在三角形顶点附近比在三角形底部附近更大,容易测定.

力地探讨 X 射线的本性,却始终未找到判决性的实验证据,有关 X 射线的性质之谜成了当时科学界的难题之一,对 X 射线是波还是粒子引起激烈的争论.

合 适
的 缝 隙

1912 年,德国物理学家劳厄(M. V. Laue, 1879—1960)出人意料地提出一种巧妙的新方法——用晶体作天然光栅,他所作的一箭双雕的著名实验,才对波与粒子之争作出回答.

根据晶体的空间点阵说,组成晶体的物质微粒(分子、原子或离子)在空间构成有规则的排列,然而这毕竟只是一种假设,虽被一些物理学家所接受,却一直没有为实验所验证,以致某些哲学家始终否认原子的存在.

劳厄原是普朗克的助手,1909 年回到慕尼黑大学后,受到伦琴的影响,把注意力放在对 X 射线本性的研究上.正好此时索末菲把编纂《数学科学百科全书》中“波动光学”条目的任务交给他,促使劳厄去研究光波通过寻常光栅和立体光栅的干涉和衍射理论.这也直接启发劳厄去分析 X 射线为何不出现通常光线所具有的干涉、衍射等波动性的缘故——实验中所用的狭缝比 X 射线的波长大得多,既然哈加等人已推算出 X 射线如果是波的话,其波长不会大于 10^{-9} 厘米,那么产生干涉、衍射的缝隙必小于 10^{-9} 厘米.显然,这是用机械方法无法制作出的精细光栅.因此,要设法实现 X 射线的干涉与衍射现象,首先需要像杨氏那样找到一个合适的缝隙.

当时的慕尼黑大学很早就陈列着许多晶体模型,这所大学的格罗特(P. H. V. Groth)教授是著名的晶体学家,他领导的矿物学与晶体学研究所学术上处于领先地位,当时正在倡导晶体的空间点阵理论,劳厄也对晶体结构产生了浓厚的兴趣.

由于劳厄对晶体的空间点阵有着很坚定和深刻的认识,因此当 1912 年 2 月索末菲的博士生厄瓦尔德(Ewald)偶然与他讨论晶体的光学问题时,提到晶格点阵的距离约为可见光波长的 $\frac{1}{1000}$,即 10^{-10} 米,他敏感地抓住了晶格间距的数量级,认为可以用它做光栅,进行 X 射线的衍射实验.

劳厄的这一想法,把毫无联系的两件事联系在一起,提出以后,竟然显得那么简单、明了,正如哥伦布(C. Columbus, 意大利, 1451—1506)直立鸡蛋一样.可是,困难的就是不容易首先想到.普朗克说得对:“劳厄这种创造性是一种思维逻辑必然产生的结果.”

劳厄在两位年轻的博士生弗里德里克(W. Friedrich)和克尼平(P. Knipping)的协助下完成了用晶体的空间点阵做 X 射线衍射光栅的著名实验.

一箭
双雕

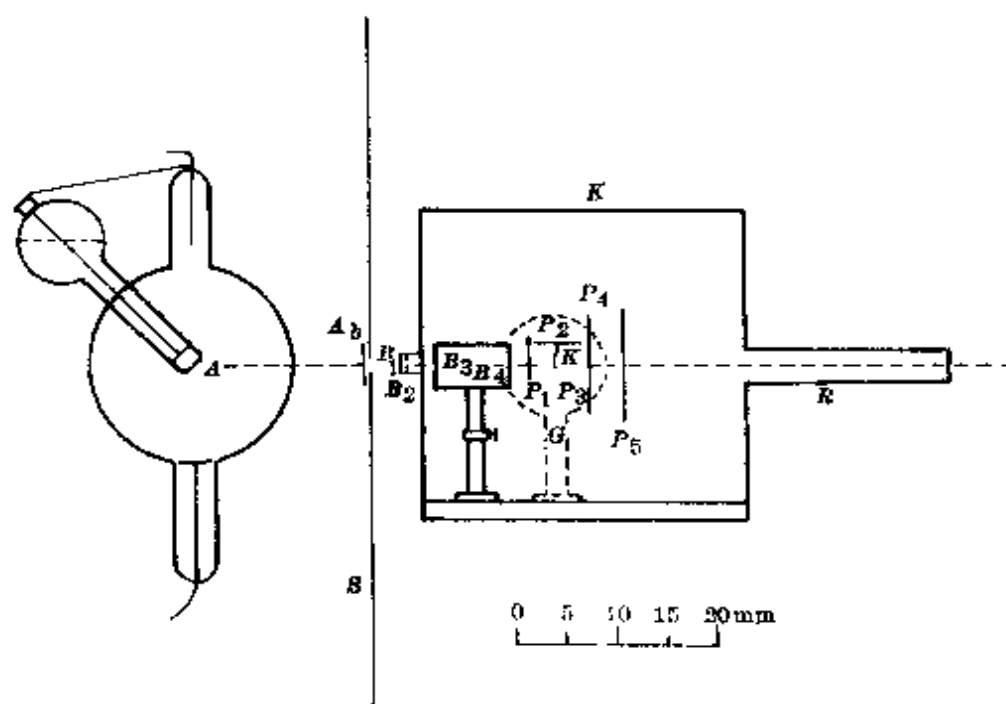


图 56 劳厄 X 射线衍射实验

他们的实验装置如图 56 所示.从 X 射线管对阴极发出的 X

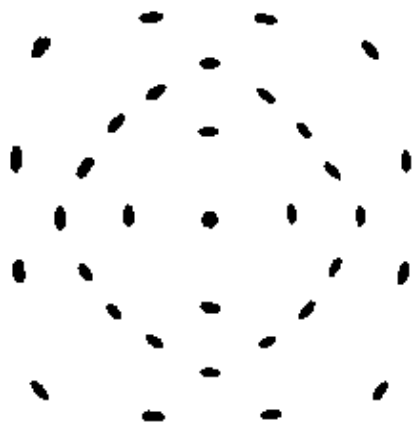


图 57 X 射线衍射图样

射线被光栏 $B_1 - B_4$ 阻挡, 只让直径约为 1 毫米的细射束通过. 这束射线透射过置于测角器 C 上的晶体 (实验中选用的是硫化铜晶体), 围绕着晶体在不同方向和不同距离处安放照相底片 P . 整个装置用铅屏 S 和铅盒 K 保护起来, 可以很好地防止外来辐射的进入. 管子 R 的作用是尽可能避免落在盒子

后壁的辐射所产生的次级辐射的影响. 实验结果显示出来, 除了 X 射线直接射到底片而形成的黑点以外, 还有许多不规则的小斑点, 如图 57 所示.

接着劳厄推导出一系列衍射方程, 很好地解释了这些斑点的成因.

1912 年 5 月 4 日, 劳厄、弗里德里克和克尼平联合宣布他们的实验取得了成功. 这些图后来被称为劳厄图.

劳厄在自传中深刻地概括了自己的体会, 他说: “X 射线干涉的发现史漂亮地阐明了科学假设的价值.” 因为在他们之前, 也有许多人做过用 X 射线照射晶体的实验, 可是这些人除了显示晶体对 X 射线造成的减弱外, 没有别的明显特点. 劳厄认为: “只有空间点阵的理论才会启发出探讨邻近部位的思想.” 这里再一次说明了科学假设的作用, 但也只有被实验证明了的科学假设才能成为真理.

劳厄的实验不仅证明了 X 射线是波, 是一种波长极短的电磁波, 从而结束了 17 年来关于 X 射线性质的波—粒之争; 而且也肯定了晶体空间点阵理论的正确性. 他在报告中写道: “次级斑点完全对称地分布在未散射束位置的周围……无疑是晶体空间点阵的

最美妙的证据,而在这里除了空间点阵以外没有任何别的性质在起作用。”劳厄的实验一箭双雕,令人拍案称绝,从而为晶体学的研究开辟了新的途径,使 X 射线衍射方法成为分析晶体结构、揭开物质世界奥秘的锐利武器。劳厄也因此荣获 1914 年度诺贝尔物理学奖。

劳厄是一个十分谦逊的人,他曾说:“当 X 射线管发展得越来越强时,总会有这样或那样的机遇,最终还是会发现衍射射线的。”

五、中学物理中常见的几种假设

中学物理中,在揭示现象的因果关系或探索物理规律时,在分析研究具体的物理问题或实验结果时,也常常需要采用假设.虽然从含义上说,这也带有某种猜测性的成分,但它与前面介绍的有所不同.科学研究中的假设,往往是针对某种未知事件或未知规律而言的,是作为理论的先导,是对未知世界的一种粗线条的描绘.中学物理中的假设,只是用前人已总结得出的规律而采用的一些解决具体问题的手段.它的知识层次浅,适用面狭,是以思维训练为主的.掌握这种较低层次上的猜想与假设,有利于今后作出较高层次的猜想与假设.

中学物理中的假设,大体可以分为这么几种情况:

1. 物理条件的假设

对研究对象假设一些外部的或内部的条件,设想某些状态,这是常用的一种假设法.如假设是均质物体、不计摩擦、物体受恒力作用、悬线不可伸长、气体的质量一定等等.可以说,物理学的所有规律实际上都是通过对有关条件作了某些假设后取得的.例如,在重力场中的抛体运动,我们把物体运动的外部空间看作是一个大小、方向均匀的重力场,且不考虑运动过程中空气的阻力,于是得出结论:物体在重力场中的斜抛运动是一种匀变速运动,其轨迹是

抛物线,并由此得到斜抛物体的射程和射高公式.

$$X = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}, \quad Y = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}.$$

我们常根据这两个公式计算炮弹的运动.实际情况中,由于空气阻力的影响,炮弹的实际轨迹不是抛物线,而是一条弹道曲线,如图 58 所示.不过,这并不影响我们对假设条件后所得结论的“信任感”.因为从理想条件下得到的结论,再结合实际因素作出修正,正是运用物理学基本规律指导实践的一个准则.



图 58

在分析研究具体物理问题时,也可以对研究对象先假设某些条件,然后通过对这个假设条件下得到的结果的分析,或与假设原来的条件对照比较,就可以较方便地作出正确的判断.

这种假设法的主要作用有两个方面:

(1)通过假设的条件,使问题中描述的现象明朗化或使问题中互相牵制的因素简单化,便于找到解题的入口,迅速得出结果.

例 1 在倾角为 α 的斜面上,放有用细杆相连的两木块 A、B,它们与斜面间的动摩擦因数分别为 μ_A 与 μ_B (图 59).当他们一起沿斜面下滑时,杆中是否会有弹力?

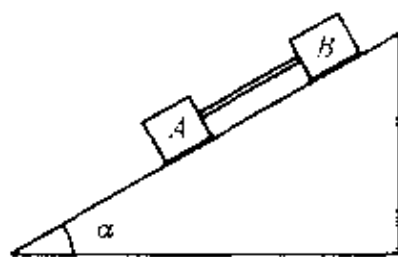


图 59

分析 杆中是否有弹力,决定于杆

在运动过程中是否发生形变.在无法直接观察到杆的形变时,就得根据两木块运动情况的分析,通过比较它们加速度的大小,确定杆

是否处于被挤压状态还是拉伸状态,从而判断弹力的有无及受到的是拉力还是压力.由于两木块的运动情况又与杆中的受力情况有关,相互牵连,给问题的判断带来困难.采用条件假设法,就可突破难点.

解答 假设杆中无弹力, A 、 B 两木块就像两个独立下滑的物体.由牛顿第二定律

$$mgsin\alpha - \mu mg\cos\alpha = ma.$$

得两物体的加速度分别为

$$a_A = g(\sin\alpha - \mu_A \cos\alpha),$$

$$a_B = g(\sin\alpha - \mu_B \cos\alpha).$$

分析两物体加速度的大小可知:

当 $\mu_A = \mu_B$ 时, $a_A = a_B$, 两木块以相同的加速度下滑, 杆既不会受压也不被拉, 杆中不会产生弹力;

当 $\mu_A > \mu_B$ 时, $a_A < a_B$, 木块 B 有推着 A 下滑的趋势, 细杆处于被挤压状态, 会产生弹力;

当 $\mu_A < \mu_B$ 时, $a_A > a_B$, 木块 A 有拉着 B 下滑的趋势, 细杆处于被拉伸状态, 也会产生弹力.

(2)通过假设的条件,使问题中的物理状态发生转化,便于应用物理规律.

例 2 两个相同的线圈从同一高度自由下落,途中在不同高度处通过两个宽度相同、磁感强度相等的匀强磁场区域后落到水平地面上(图 60),则两线圈着地时动能 E_{K_a} 、 E_{K_b} 的大小和运动时间 t_a 、 t_b 的长短关系是:

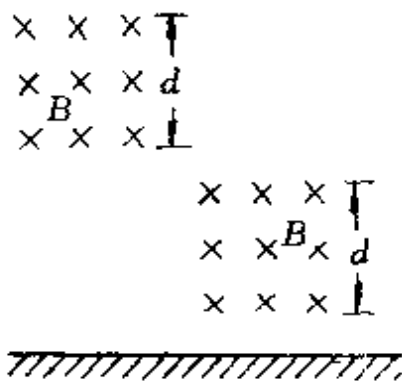
A. $E_{K_a} = E_{K_b}$, $t_a = t_b$;

B. $E_{K_a} > E_{K_b}$, $t_a > t_b$;

C. $E_{ka} > E_{kb}, t_a < t_b$;

D. $E_{ka} < E_{kb}, t_a < t_b$;

E. $E_{ka} < E_{kb}, t_a > t_b$.



分析 线圈进入磁场后,下底边切割磁感线产生感应电流,使线圈除受到重力外,还受到一个向上的磁场力(安培力).由于两线圈通过磁场区域时的运动情况未知,因此,从动态特性上作一般讨论,已超出中学物理知识范畴.为此,我们可给它假设一些条件,把进入磁场后的运动状态转化,从而选出正确答案.

图 60

解答 两线圈进入磁场时的速度 $v_a < v_b$. 假设进入磁场后由于受到安培力的作用,线圈做匀速运动,则通过磁场区域时,克服磁场力的功

$$W_B = F_B s = I l B s = \frac{Blv}{R} l B s = \frac{B^2 l^2 s}{R} v.$$

在磁感强度 B 、线圈边长 l 、电阻 R 和通过磁场区域时安培力作用的位移 s 一定时,克服磁场力的功与线圈进入磁场的速度大小成正比,可见, b 线圈克服磁场力所做的功多些.

由能的转化和守恒知,线圈落地时的动能

$$E_K = E_P - W_B.$$

因此 $E_{Ka} > E_{Kb}$.

为了比较两线圈的运动时间,可定性画出它们的 $v-t$ 图(图 61). 两线圈在磁场外时,都只受重力作用,加速度为 g , 在 $v-t$ 图上的斜率相同. 由于 b 线圈进入磁场时的速度较大, b 线圈 $v-t$ 图的水平部分在上面, 其末速度(即着地速度) $v_a' > v_b'$. 由于两线圈的

位移相同,因此速度图线下方与 t 轴间的面积大小应该相等,必然要求运动时间 $t_b < t_a$. 所以,正确答案为 B.

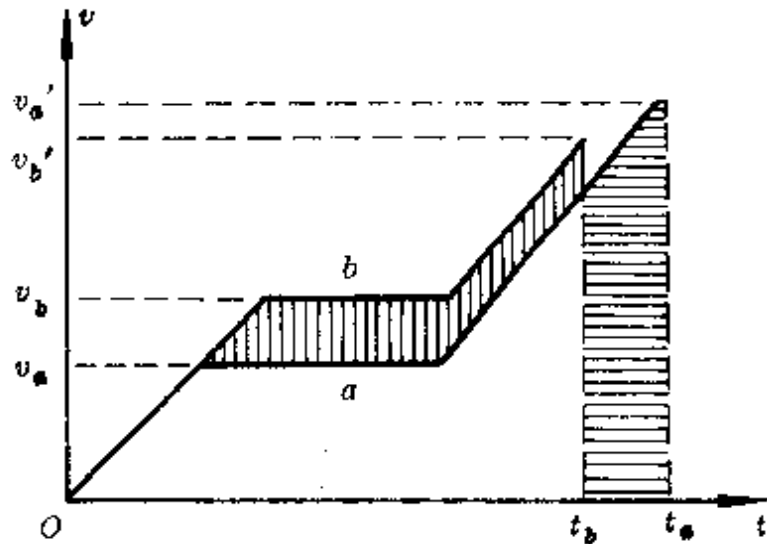


图 61

必须注意,对具体问题作出物理条件的假设时,不应违背物理原理,否则,会得出错误的结果.

例 3 一个质量为 m 的车厢,质心 C 在对称轴上离轨道水平面高 h 处,两轨间距为 l (图 62). 当这节车厢以速度 v 沿半径为 R 的水平圆弧形轨道运动时,两轨对车厢的支持力多大?

解答 车厢沿圆弧轨道运动时,它有一种离开中心的倾向,使

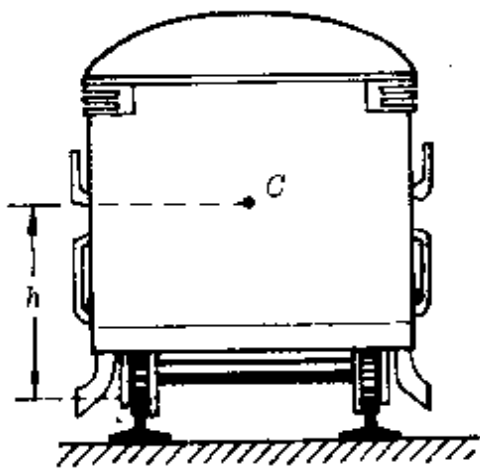


图 62

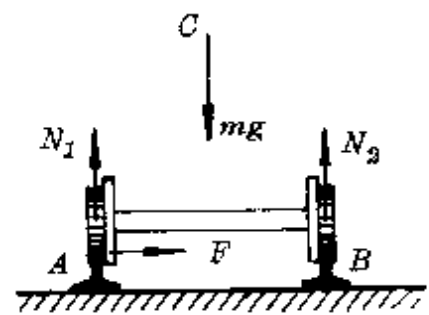


图 63

外轮压紧外轨,于是由外轨对车厢产生一个水平方向的侧压力 F , 提供车厢作圆弧运动的向心力,其受力情况如图 63 所示.

假设以通过外侧车轮与外轨接触处的 A 为转动轴,由车厢的力矩平衡方程

$$mg \cdot \frac{1}{2} - N_2 l = 0,$$

得
$$N_2 = \frac{1}{2} mg.$$

又由车厢竖直方向力平衡条件

$$N_1 + N_2 = mg,$$

得
$$N_1 = mg - N_2 = \frac{1}{2} mg.$$

所以,转弯时两轨对车厢的支持力大小相等,均为 $\frac{1}{2} mg$.

分析 上面解答过程,把车厢看成绕假想的转动轴 A 的力矩平衡违背了物理原理.因为做圆运动的车厢,处于加速运动状态,不是处于平衡状态.车厢的运动不能单纯看作一个绕固定转动轴的平衡问题,而应该看作质心 C 的匀速圆周运动和绕质心的力矩平衡问题.正确的运动方程应是

$$N_1 + N_2 - mg = 0,$$

$$F = m \frac{v^2}{R},$$

$$N_1 \cdot \frac{l}{2} - N_2 \cdot \frac{l}{2} - Fh = 0.$$

联立三式得

$$N_1 = \frac{1}{2} mg + \frac{mv^2 h}{Rl},$$

$$N_2 = \frac{1}{2} mg - \frac{mv^2 h}{Rl}.$$

即转弯时外轨的支持力增大(车厢对外轨的压力增大),内轨的支持力减小(车厢对内轨的压力减小).

2. 物理过程的假设

物理过程是指研究对象(一个或几个物体,某部分液体或气体等)从一个状态到另一个状态所经历的变化.对一定对象确定的始末两状态所经历的中间过程,往往不是惟一的.我们不妨做一个小实验:取两根相同的铁棒,一根用酒精灯烘烤,另一根用绳子缠绕后快速牵引(图 64),使两根铁棒的温升差不多.如果你事先没有看见哪一根铁棒是被烘烤升温的,哪一根铁棒是被绳子牵引升温的,你能把它们区分出来吗?

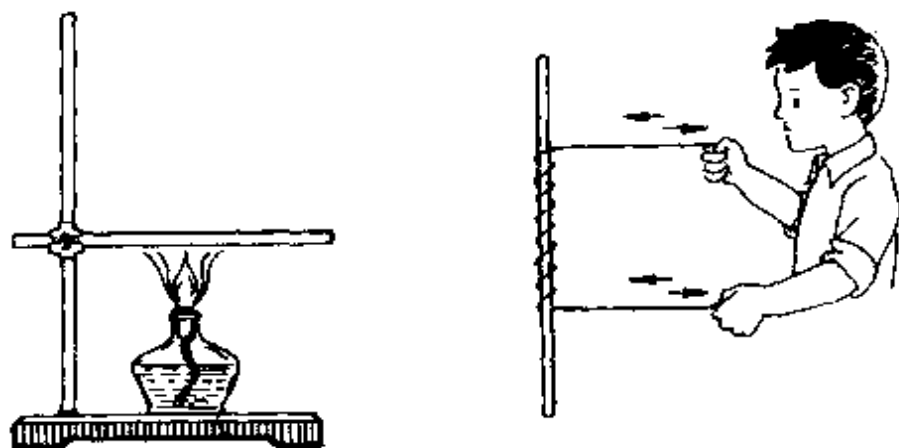


图 64

物理学作为最公正的裁判会告诉你,无法分辨.因为两根相同的铁棒,无论是通过热传递或是做功,在引起铁棒内能的改变上(主要表现为升温)完全是等效的,所以,我们将难以从物体的最终状态判断它们是经过怎样的物理过程从初始状态变化来的.

这个事实也启发了我们,既然研究对象从一个确定的状态变化到另一个确定的状态时,中间过程可以有不同的形式,因此,为了研究问题的需要,我们也可以对物体所经历的过程作不同的假

设.譬如,在研究一定质量理想气体从初态 (T_1, p_1, V_1) 变化到终态 (T_2, p_2, V_2) 的状态变化规律时,可以假设它经历不同的中间过程.反映在 $p-V$ 图(或 $p-T$ 图、 $V-T$ 图)上,相当于从一个点过渡到另一个点可以走不同的路径.如图 65 所示,从状态 A 变化到状态 B 的过程可以是: $A-C-B$ 、 $A-D-B$ 、 $A-C_1-B$ 、 $A-D_1-B$ ……推导状态方程时,较方便的是选取两个等值过程.

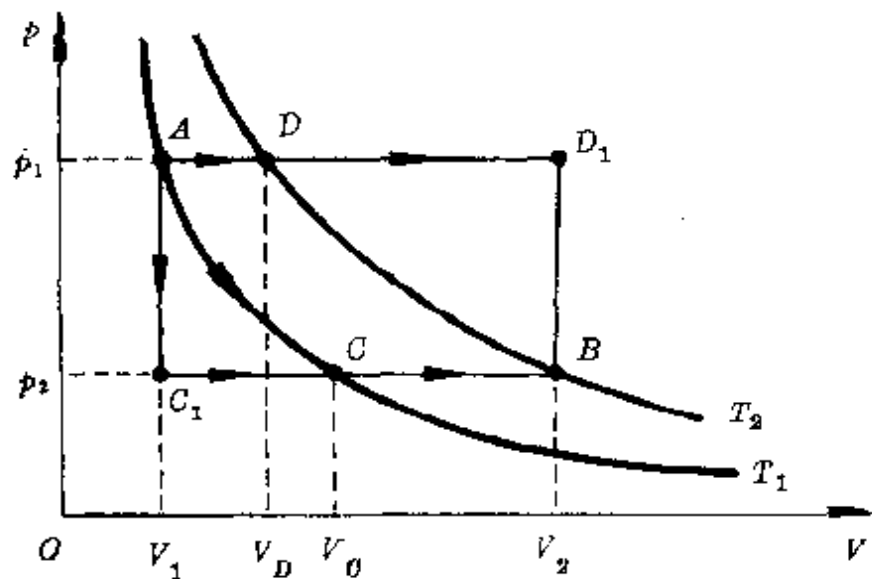


图 65

对 $A-C-B$ 过程,设中间态 C 的状态是 (T_1, p_2, V_c) ,由玻意耳定律和盖·吕萨克定律

$$p_1 V_1 = p_2 V_c, \frac{V_c}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}.$$

联立得 $\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$.

对 $A-C_1-B$ 过程,设中间态 C_1 的状态是 (T', p_2, V_1) ,由查理定律和盖·吕萨克定律

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T'}, \frac{V_1}{V_2} = \frac{T'}{T_2}.$$

联立后同样得到状态方程。

物理过程的假设,常会给许多问题的研究带来方便.它的具体表现形式主要有这样两方面.

(1)并合、肢解物理过程——把物体所经历的客观过程并合起来,使原来连续发生的物理过程看成一个分立的过程;反过来也可以把某一个过程肢解成几个过程,把原来瞬息间完成的过程分解、延缓、放大,宛如电影特技中的“慢动作”。

例 1 在水龙头上,用橡皮管接头连接一根玻璃管,玻璃管长 $l=1$ 米,内截面 $S=0.3$ 厘米²,下端弯成直角(长度略去不计),如图 66 所示.若水流速度 $v=2$ 米/秒,玻璃管质量 $m=80$ 克,求玻璃管偏离竖直方向的角度(不计橡皮管弹力)。

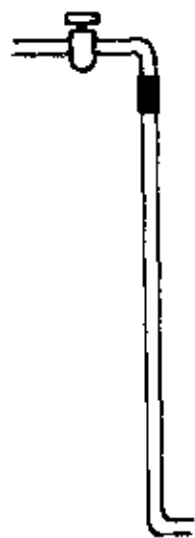


图 66

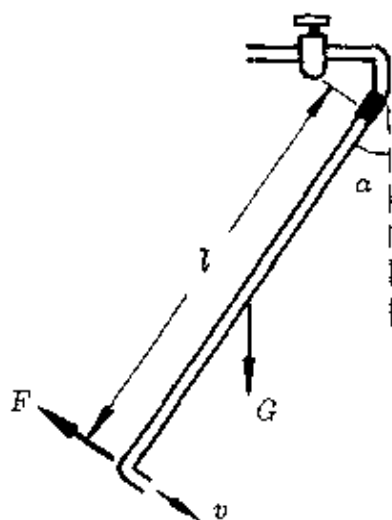


图 67

分析 水的流动是一个连续的过程,水从管口喷出时,由于反冲作用,持续对管形成一个垂直于管长方向的推力 F ,使管偏离竖直方向,设其夹角为 α ,如图 67 所示.为了便于研究这种连续过程的作用,可采用假设法,把某段时间 Δt 内连续流出的水看作是同样时间内一次完成的。

解答 设在时间 Δt 内一次流出的水的质量

$$m = \rho \Delta V = \rho v S \Delta t .$$

这部分水在垂直管长方向的动量变化

$$\Delta p = \Delta mv = \rho v S \Delta t \cdot v = \rho v^2 S \Delta t .$$

这部分水喷出时对管的推力

$$F = \frac{\Delta p}{\Delta t} = \rho v^2 S .$$

玻璃管连同管内的水的重力

$$G = (m + \rho Sl) g .$$

稳定时,推力 F 和重力 G 对以玻璃管上端为固定轴的力矩互相平衡,即满足条件

$$Fl = G \cdot \frac{l}{2} \sin \alpha .$$

得

$$\sin \alpha = \frac{2Sv^2 \rho}{(m + \rho Sl) g} .$$

$$\begin{aligned} \text{即 } \alpha &= \sin^{-1} \frac{2Sv^2 \rho}{(m + \rho Sl) g} \\ &= \sin^{-1} \frac{2 \times 0.3 \times 10^{-4} \times 2 \times 2 \times 1 \times 10^3}{(80 \times 10^{-3} + 1 \times 10^3 \times 0.3 \times 10^{-4} \times 1) \times 9.8} \\ &= 12.85^\circ . \end{aligned}$$

(2)调整、变换物理过程——对物体所经历的客观过程,根据需要重新组合或设想一些其它过程.

例2 总质量为 M 的列车沿平直轨道匀速前进.途中,尾部质量为 m 的一节车厢脱钩,司机发现时,前部列车已行驶时间 t_0 ,于是立即关闭汽阀,撤去牵引力.设列车运动过程中所受阻力跟车重成正比,机车的牵引力保持不变,则前、后两部分列车完全停止相隔多少时间?

分析 原来匀速运动时机车的牵引力等于全部列车所受的阻力,即 $F = kMg$ (式中 k 为比例系数), 设匀速运动的速度为 v .

脱钩后, 尾部列车匀减速滑行, 速度从 v 降为零所需时间设为 t_2 , 由动量定理

$$-kmg t_2 = 0 - mv,$$

得
$$t_2 = \frac{v}{kg}.$$

脱钩后, 前部列车做匀加速运动, 经时间 t_0 后速度从 v 增为 v' , 由动量定理

$$[F - k(M - m)g] t_0 = (M - m)(v' - v),$$

得
$$v' = v + \frac{F - k(M - m)g}{M - m} t_0$$

$$= v + \frac{kmg}{M - m} t_0,$$

关闭汽阀、撤去牵引力后做匀减速滑行, 速度从 v' 降为零所需时间设为 t_1 , 同理得

$$t_1 = \frac{v'}{kg} = \frac{1}{kg} \left(v + \frac{kmg}{M - m} t_0 \right).$$

所以, 两部分列车完全停止相隔的时间为

$$\Delta t = t_0 + t_1 - t_2 = \frac{M}{M - m} t_0.$$

其示意图如图 68 所示.

这个问题的物理过程比较复杂. 现在我们采取假设法, 将物理过程重新安排, 解题过程可大为简化.

解答 假设脱钩时同时撤去牵引力, 则两部分列车同时做匀减速滑行, 一起停止. 然后再假设对前部列车施以原来的牵引力 F , 作用时间为 t_0 后任其滑至停止, 这个过程中对前部列车摩擦

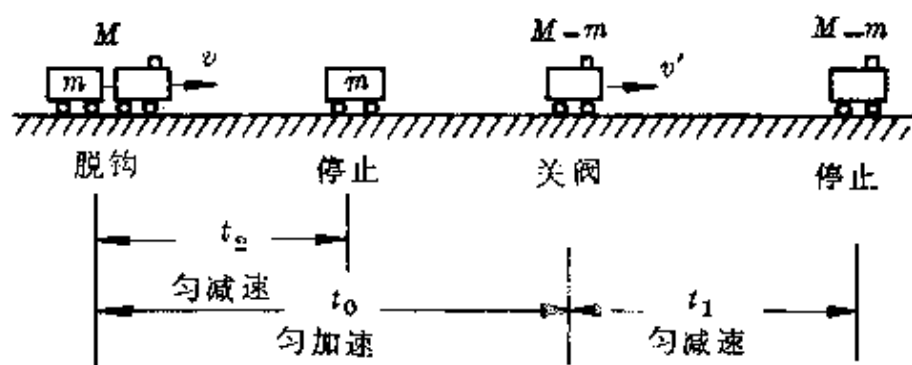


图 63

力作用时间(也就是前后两部分运动时间差)为 Δt , 其示意图如图 69 所示.

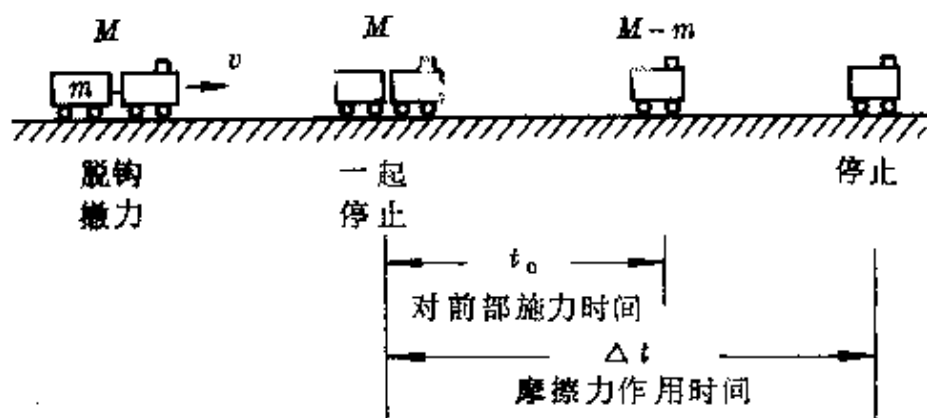


图 69

显然, 牵引力 F 对前部列车后来施加的冲量, 必须被前部列车所受的摩擦力 f_1 在时间 Δt 内的冲量相抵消, 于是由

$$Ft_0 = f_1 \Delta t,$$

即
$$kMgt_0 = k(M - m)g\Delta t.$$

所以
$$\Delta t = \frac{M}{M - m}t_0.$$

对此题还可作些变化. 若脱钩后前部列车驶过距离 s_0 后才关阀撤去牵引力, 要求前、后两部分列车完全停止时相隔多远时, 可根据同样的道理对物理过程重新安排. 牵引力 F 在距离 s_0 中对前

部列车做的功,应该被前部列车所受的摩擦力 f_1 在距离差 Δs 内的功所抵消(图 70),即由

$$Fs_0 = f_1 \Delta s,$$

或 $kMgs_0 = k(M - m)g\Delta s,$

得 $\Delta s = \frac{M}{M - m}s_0.$

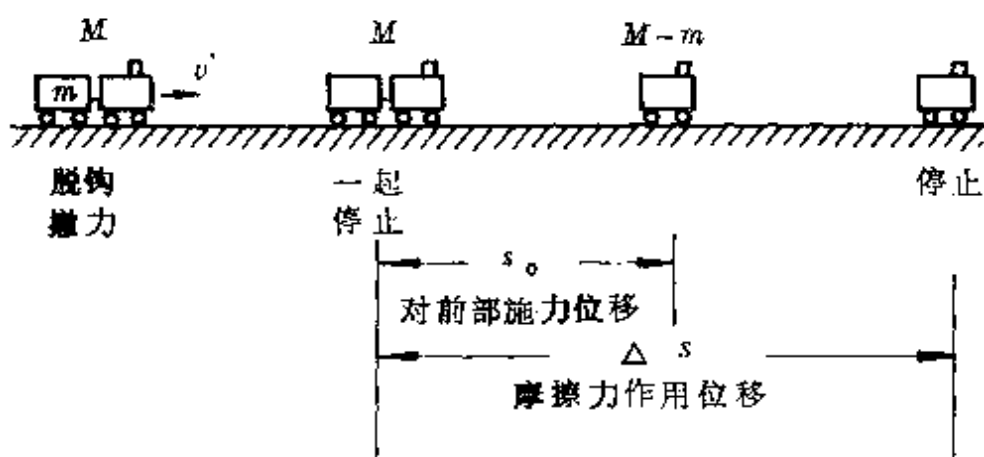


图 70

例 3 在一根粗细均匀、两端封闭的细玻璃管中有一段长 h 的水银柱,管与水平面成倾角 α 时,上、下两段封闭空气柱长分别为 l_1 、 l_2 (图 71).则当整个管子的温度升高时,水银柱将会

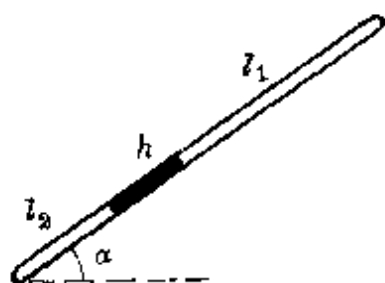


图 71

- A. 向上移; B. 向下移;
C. 保持不动.

分析 温度升高时,上下两部分气体的压强和体积会同时发生变化,而它们的变化又涉及到水银柱的移动,因此,要同时考虑两部分气体 T 、 p 、 V 的变化后确定水银柱的移动方向,各个因素互相牵制,比较困难.为此,可从物理过程假设上另辟蹊径.

解答 假设温度升高后,上下两部分气体的体积不变,即上、

下两部分气体都作等容变化,设温度从 T 升高到 T' 后,上、下两部分的压强分别从 p_1 、 p_2 增至 p_1' 、 p_2' .由查理定律

$$\frac{p_1'}{p_1} = \frac{T'}{T}, \frac{p_2'}{p_2} = \frac{T'}{T}.$$

或
$$\frac{p_1' - p_1}{p_1} = \frac{T' - T}{T}, \frac{p_2' - p_2}{p_2} = \frac{T' - T}{T}.$$

即
$$\frac{\Delta p_1}{p_1} = \frac{\Delta T}{T}, \frac{\Delta p_2}{p_2} = \frac{\Delta T}{T},$$

所以
$$\frac{\Delta p_1}{\Delta p_2} = \frac{p_1}{p_2} = \frac{p_1}{p_1 + h \sin \alpha} < 1.$$

上式表示:上、下两部分气体作等容变化时,它们压强的增加量与它们原来压强的大小成正比,显然 $\Delta p_1 < \Delta p_2$,因此水银柱会向上移动.

应该指出,实际应用中并不需要对上述两个方面严格区分.假设,本是一种设想,通过对物理过程的假设或虚拟一些过程,希望能有利于问题的解决或解决得更顺利些.但任何过程的假设都必须遵循一个原则:符合物理原理.

3. 矢量方向的假设

我们先来研究这样一个问题:有人说,匀加速运动中,速度的大小随时间均匀增加, $v_t > v_0$,加速度 a 一定是正值;匀减速运动中,速度的大小随时间均匀减小, $v_t < v_0$,加速度 a 一定是负值.这种说法对不对?

回答是不一定.

速度和加速度都是矢量,对某个确定的运动物体来说,它们在空间有客观的方向.但速度和加速度的正负却与人为假设的正方

向有关.

如图 72 所示,甲车从车站出发沿平直公路向右行驶,速度逐渐增加.乙车经过车站继续右行,速度逐渐减小.

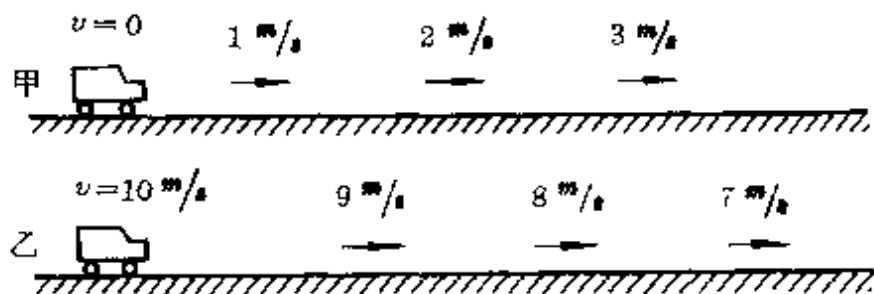


图 72

若规定向右的方向为正方向,甲车速度为正($v_{甲} > 0$),且 $v_t - v_0 > 0$,加速度 $a_{甲} = \frac{v_t - v_0}{t} > 0$,即 $a_{甲}$ 也为正;乙车速度为正($v_{乙} > 0$),但 $v_t - v_0 < 0$,加速度 $a_{乙} = \frac{v_t - v_0}{t} < 0$,即 $a_{乙}$ 为负.

若规定向左的方向为正方向,甲车速度为负($v_{甲} < 0$),且 $v_t - v_0 < 0$,加速度 $a_{甲} = \frac{v_t - v_0}{t} < 0$,即 $a_{甲}$ 也为负;乙车速度为负($v_{乙} < 0$),但 $v_t - v_0 > 0$,加速度 $a_{乙} = \frac{v_t - v_0}{t} > 0$,即 $a_{乙}$ 为正.

由此可见,仅从加速度的正负上是无法判定物体做加速运动还是减速运动,必须联系了正方向的规定后才有意义.但不论正方向的规定如何,加速运动中,加速度的方向一定与速度方向相同;减速运动中,加速度的方向一定与速度方向相反.

在实际物理问题中,涉及到矢量(位移、速度、加速度、力、动量、冲量、电场强度、磁感强度等)及其规律(如 $s = v_0 t + \frac{1}{2} at^2$, $v_t = v_0 + at$, $F = ma$, $Ft = \Delta mv$ 等)时,必须先规定一个正方向.对于

在同一直线上的矢量,就可冠以正负号后按代数方法运算.如解得结果为正,表示这个未知矢量的方向与规定的正方向同向;反之,如解得结果为负,表示这个未知矢量的方向与规定的正方向反向.

物理问题中关于矢量方向的假设,主要有这样几种情况.

(1)以物体的运动方向(速度方向)或某阶段的运动方向假设为矢量的正方向.

这种情况多数用于直线运动中.如物体沿水平路面运动或做竖直上抛、下抛;两物体沿平直轨道运动发生正碰或沿直线往返运动等.

(2)以物体的加速度方向或受力方向假设为矢量的正方向.

对于能直观判断出加速度方向的问题,常取加速度方向为正方向,这样可避免在牛顿第二定律公式 $F = ma$ 的右方出现负号,会有利于减少解题中的某些失误.对于加速度方向不明显的情况,常改取某个力的方向作正方向.

(3)对于几个矢量的方向互相牵制时(如洛仑兹力中的 v 、 B 、 F 等),可先任意假设某一个矢量的方向为正方向.

下面,通过两个具体例题,说明不同情况下矢量方向的假设方法.

例 1 一根长 $l = 1$ 米的细直轻杆,一端固定一个质量 $m = 1$ 千克的小球,并可以另一端为轴在竖直平面内转动.当杆竖直悬挂时给球一个冲量,使它获得初速度 $v_0 = 10$ 米/秒开始转动.试求

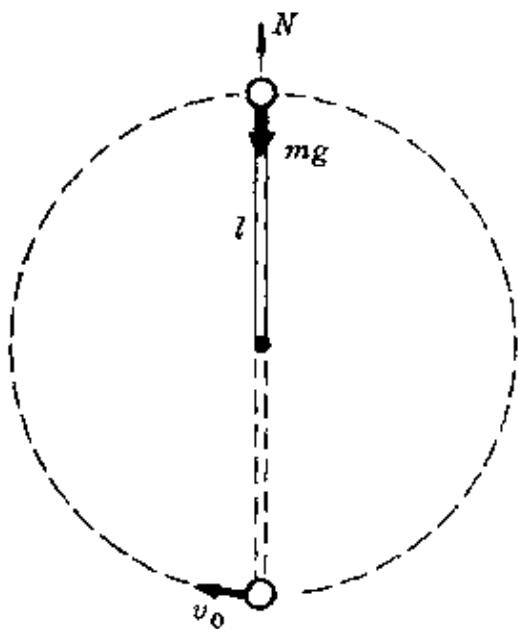


图 73

小球转到最高点时杆对球的作用力, $g = 10$ 米/秒².

分析 球在最高点共受两个力:重力和杆的作用力,并由这两个力提供小球做圆运动的向心力.重力的方向竖直向下,杆对球的作用力方向未知,因此需对它作一假设.

解答 设球在最高点时速度为 v ,由于球在转动过程中,只有重力做功,机械能守恒,取最低点为重力势能的零位置,由

$$\frac{1}{2}mv_0^2 = \frac{1}{2}mv^2 + mg \cdot 2l,$$

得
$$v = \sqrt{v_0^2 - 4gl} = \sqrt{10 \times 10 - 4 \times 10 \times 1} \text{米/秒}$$

$$= \sqrt{60} \text{米/秒}.$$

假设球在最高点时杆对球的作用力竖直向上(图 73),在该位置时以向心加速度方向为正方向,则由圆运动的特性知

$$mg - N = m \frac{v^2}{l}.$$

得
$$N = mg - m \frac{v^2}{l} = \left(1 \times 10 - 1 \times \frac{60}{1} \right) \text{牛}$$

$$= -50 \text{牛}.$$

解得结果为负值,表示最高点杆对球的作用力的方向与假设的正方向相反,即沿杆指向中心.也就是说,在最高点杆对球施以拉力,此时由球的重力和杆的拉力共同提供球的向心力.

例 2 A、B 为两个原子序数大于 83 的原子核,原来都静止于同一个匀强磁场中,其中一个核放出一个 α 粒子,另一个核放出一个 β 粒子, α 粒子与 β 粒子的运动方向都跟磁场方向垂直.以图 74 中 a 、

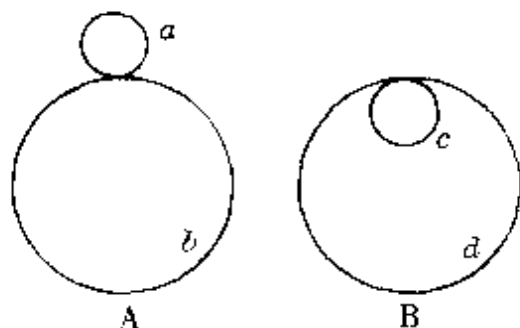


图 74

b 、 c 、 d 四个圆,表示 α 粒子、 β 粒子以及两个剩余核的运动轨迹的某一个,试找出 α 粒子、 β 粒子的运动轨迹并确定磁场方向、粒子发射方向.

分析 原子核发生衰变,放出 α 粒子或 β 粒子时,剩余核发生反冲.核反冲时获得的动量与放出的 α 粒子或 β 粒子的动量必等值反向.当速度方向与磁场垂直时,两者都做匀速圆周运动,其轨迹都是圆.由于放射方向与磁场方向均未知,因此需对这些矢量的方向作多种假设方能确定.

解答 放出 α 粒子或 β 粒子使核反冲时,在磁场中的洛仑兹力作向心力,即

$$qvB = m \frac{v^2}{R}.$$

得圆半径 $R = \frac{mv}{qB}$.

因为 α 粒子、 β 粒子与它们对应的剩余核的动量相等,而剩余核的电量较多,剩余核做圆运动的半径较小,所以图 74 中两个小圆 a 、 c 为剩余核的轨迹.

设磁场垂直纸面向里, α 粒子与 β 粒子向右方发出,根据它们

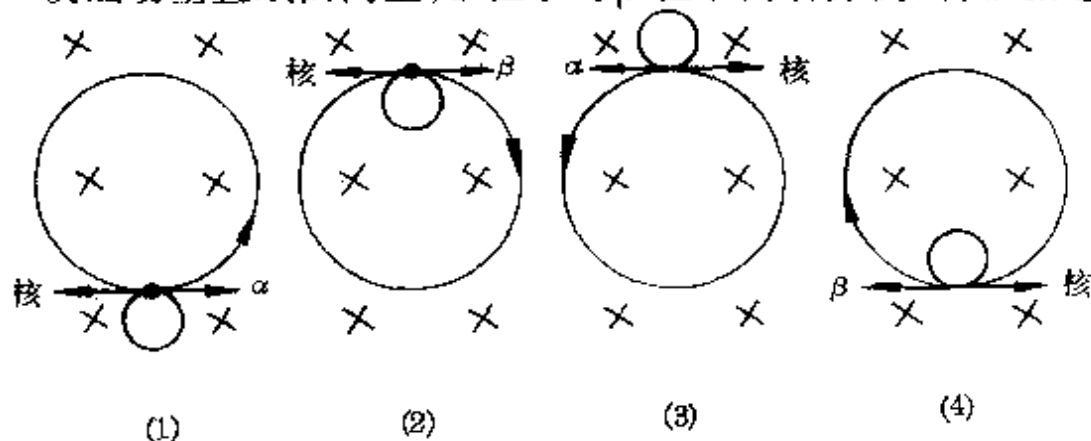


图 75

不同的电性所受洛仑兹力的方向,它们与反冲核的轨迹如图 75 中(1)、(2)所示.

若 α 粒子与 β 粒子向左方发射,同理得它们与反冲核的轨迹如图 75 中(3)、(4)所示.

设磁场垂直纸面向外, α 粒子与 β 粒子向右方发出,则它们与反冲核的轨迹如图 76 中(1)、(2)所示. α 、 β 粒子向左方发出时轨迹如图 76 中(3)、(4)所示.

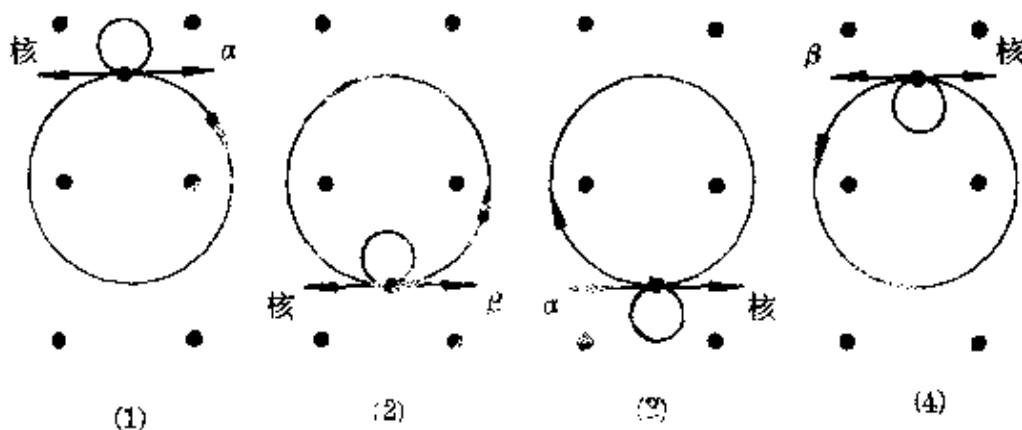


图 76

比较上述图形可知,符合题意的情况是

(1)当磁场垂直纸面向里时, α 粒子向左发出, β 粒子向右发出, b 为 α 粒子轨迹, d 为 β 粒子轨迹;

(2)当磁场垂直纸面向外时, α 粒子向右发出, β 粒子向左发出, b 为 α 粒子轨迹, d 为 β 粒子轨迹.

4. 临界状态的假设

什么叫临界状态?我们先举一个例子说明.大家知道,用一个慢中子去轰击铀 235 原子核(${}_{92}^{235}\text{U}$)时,铀核会裂变成两块,同时放出 2~3 个中子.这些中子可以作为新的“炮弹”再引起其它铀核裂变.这样,就可使裂变不断进行下去,在极短时间内放出巨大的能

量.这种反应称为链式反应(图 77).

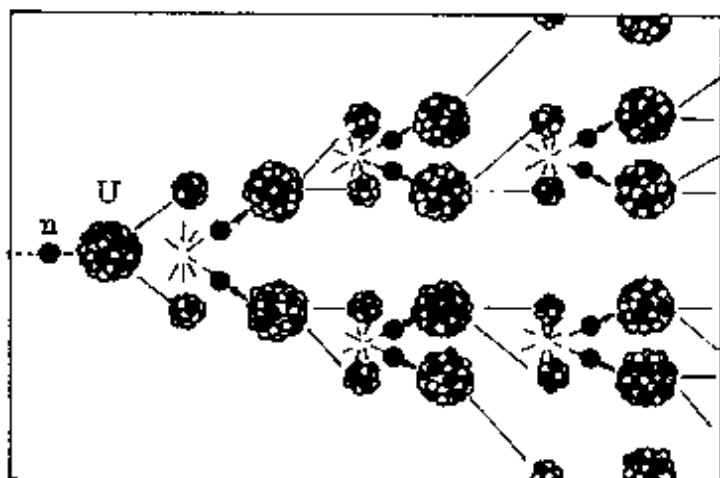


图 77

物理学家研究中发现:要使链式反应进行下去,铀块必须有一定的大小.如铀块不够大,铀核裂变放出的中子会逸出铀块,从而中断反应.能够使铀块发生链式反应的最小体积(或对应的最小质量)就称为它的临界体积(或临界质量).制造原子弹时,需要设计一种装置,把平时分成两小块、小于临界体积的铀块在投掷时会自动合成一块大于临界体积的铀块.历史上还曾发生过一起极为惊险的事.

1945年春,美国研制原子弹的工作已进入最后的阶段.由一位年轻的加拿大物理学家斯罗廷承担投掷装置和引爆机构的试验任务.那时,没有机械手,没有电子计算机,更没有代替人作业的机器人,一切都靠物理学家双手操作.斯罗廷用两把螺丝刀在导轨上拨弄两块半球形铀块,使它对合起来刚好达到临界质量,观察链式反应.这工作十分危险,无异于“虎口拔牙”.1946年5月,斯罗廷到比基尼岛参加第二次水下原子弹爆炸试验.他再次拿起螺丝刀做引爆机构实验时,不幸偶尔失手,螺丝刀滑掉了,两个半球形铀块滑到一起达到了临界质量.眼看一场灾难性的核爆炸事故就要

发生了.在这千钧一发之时,斯罗廷以惊人的镇定和大无畏的勇气,用双手掰开了临界质量的铀块.一场核灾难避免了,可是斯罗廷已受到了致命的核辐射,九天之后就为核试验捐献了年轻的生命.

从铀核裂变的临界质量可以知道,临界概念是指事物发展变化过程中的某一关节点,当到达这个关节点时会引起物质的物理状态或某些物理性质发生质的变化.例如,每种气体都有一个临界温度,在这个温度以上,无论怎样增大压强,气体也不会液化.要使气体液化,必须设法使气体的温度低于临界温度.如氮气、氢气、氦气的临界温度分别为 -147°C 、 -240°C 、 -268°C .所以在低温技术不够发达时,曾被认为是无法液化的“永久气体”.后来随着低温技术的发展,到1908年,氦气也最后被液化了.

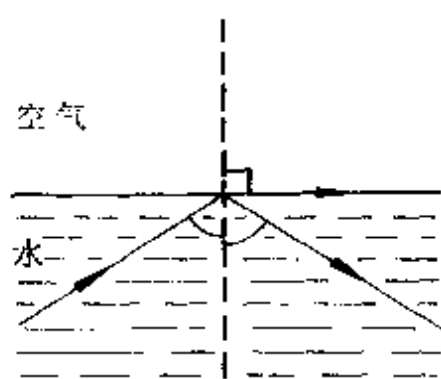


图 78

又如光从光密介质射向光疏介质时存在一个临界角.当入射角等于临界角时,折射角恰为 90° ,入射角超过临界角,就发生了全反射现象(图78).

某些金属、合金和化合物,当温度低于某个值时,它们的电阻率会突然减小为零.这种现象就是超导现象.使

这些材料电阻率突变为零的温度也是一种临界温度,通常称为转变温度.

有些物理概念前面虽然未冠以“临界”两字,但它们都包含有临界的意义.例如热学中的熔点(或凝固点)、沸点;电容器的耐压值;晶体二极管的反向击穿电压等.它们都是使物质的状态或某些物理性质发生突变的关节点.

临界状态的含义还可延伸到各种临界问题——凡是在物体的

运动变化过程中存在着能使它发生突变、或使某些物理量取特殊值的关节点,我们都称为属于临界问题.如使两物体保持相对静止的最大加速度、火车沿弯道安全行驶的最大车速、发生状态变化中的最低温度、能使电子穿过平行板的最大电压等,在物理中广泛存在着各种临界问题.

由于临界状态是物体运动变化过程中的一个关节点,在这个点前后往往会形成两个明显的阶段,物体的运动状态、受力特征、某些物理性质或某个物理量都会发生突变.因此,处理可能存在有临界状态的问题,关键是分析清楚物理过程,注意临界前后的不同特征.

例 1 在倾角为 α 的斜面上叠放着 A 、 B 两木块, A 、 B 一起沿斜面加速下滑. 已知木块 A 与斜面间的动摩擦因数为 μ , 则木块 B 在下滑时 (图 79)

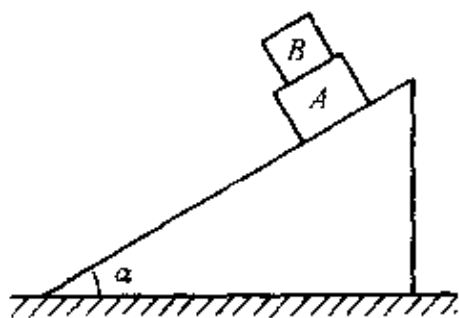


图 79

- A. 不受木块 A 的摩擦力;
- B. 受到木块 A 沿斜面向下的摩擦力;
- C. 受到木块 A 沿斜面向上的摩擦力.

分析 木块 A 对 B 没有摩擦力时, B 沿 A 下滑的加速度 $a_0 = g \sin \alpha$. 如果 A 对 B 施以沿斜面向下的摩擦力, 则 B 下滑的加速度 $a > a_0$; 如果 A 对 B 施以沿斜面向上的摩擦力, 则 B 下滑的加速度 $a < a_0$. 因此, $a_0 = g \sin \alpha$ 就是 B 是否会受到 A 的摩擦力以及它的方向的临界加速度.

解答 根据题意, A 、 B 两木块沿斜面一起加速下滑, 相当于一个整体. 由于 A 与斜面间有摩擦, 因此对 $(A + B)$ 这一整体, 由

牛顿第二定律

$$(m_A + m_B)g\sin\alpha - \mu(m_A + m_B)g\cos\alpha = (m_A + m_B)a,$$

得 $a = g\sin\alpha - \mu g\cos\alpha < a_0.$

也就是说, B 沿 A 下滑的加速度小于 $g\sin\alpha$. 可见, A 、 B 一起下滑过程中 B 受到 A 沿斜面向上的摩擦力, 所以正确答案为 C .

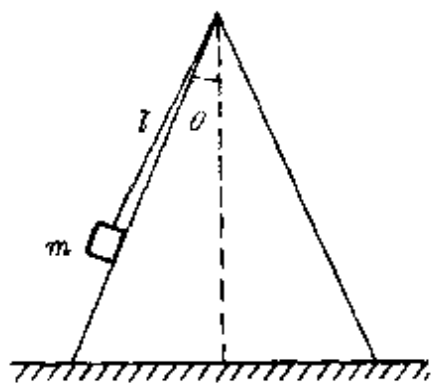


图 80

例 2 一个光滑的圆锥体固定在水平桌面上, 其轴线沿竖直方向, 母线与轴线之间的夹角 $\theta = 30^\circ$, 如图 80 所示. 一条长 l 的绳 (质量不计), 一端固定在圆锥体的顶点 O 处, 另一端拴着一个质量为 m 的小物体 (物体可看作质点). 物体以速率 v 绕圆锥体的轴线做水平匀速圆周运动.

(1) 当 $v = \sqrt{\frac{1}{6}gl}$ 时, 绳对物体的拉力;

(2) 当 $v = \sqrt{\frac{3}{2}gl}$ 时, 绳对物体的拉力.

分析 物体绕圆锥体轴线做匀速圆周运动时, 除受到重力、绳子的拉力外, 还会受到斜面的支持力. 随着转速的加大, 斜面的支持力逐渐减小, 当转速增大到某个值时, 斜面的支持力为零, 以后, 物体将脱离斜面抛起, 在重力和绳子拉力作用下做圆锥摆运动. 因此, 对小物体做圆周运动时的受力分析在脱离斜面前后不同. 斜面对小物体支持力为零就是一个临界状态.

解答 设斜面对小物体的支持力为零时小物体的转速为 v_0 (临界速度), 由图 81(1) 受力情况并根据牛顿运动定律得

$$T\sin\theta = m \frac{v_0^2}{l\sin\theta},$$

$$T \cos \theta = mg.$$

联立得临界速度

$$v_0 = \sqrt{\frac{gl \sin^2 \theta}{\cos \theta}} = \sqrt{\frac{\sqrt{3} gl}{2}}.$$

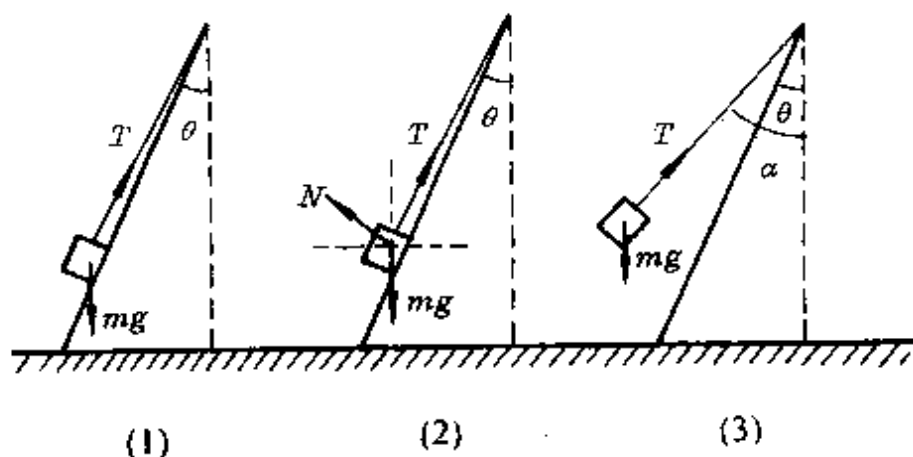


图 81

(1) 当 $v = \sqrt{\frac{1}{6} gl} < v_0$ 时, 小物体紧贴在斜面上, 设斜面支持力为 N [图 81(2)], 由

$$T \sin \theta - N \cos \theta = m \frac{v^2}{l \sin \theta},$$

$$T \cos \theta + N \sin \theta = mg.$$

联立得 $T = m \frac{v^2}{l} + mg \cos \theta = 1.03 mg.$

(2) 当 $v = \sqrt{\frac{3}{2} gl} > v_0$ 时, 小物体已抛离斜面做圆锥摆运动, 设绳子与轴线夹角为 α [图 81(3)], 由

$$T \sin \alpha = m \frac{v^2}{l \sin \alpha},$$

$$T \cos \alpha = mg.$$

联立得 $T = 2mg.$

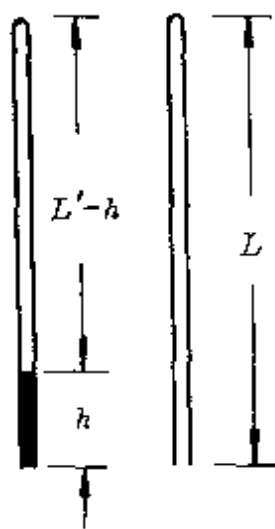
例 3 长 $L = 100$ 厘米的均匀细玻璃管中, 有一段长 $h = 15$ 厘米的水银柱, 开口向上竖直放置时, 封闭在管内的空气柱长 $l = 60$ 厘米(图 82). 外界大气压 $p_0 = 75$ 厘米水银柱高. 当将玻璃管缓缓倒转开口向下竖直放置时, 管内水银



图 82

- A. 不会流出; B. 全部流出;
C. 部分流出.

分析 管子倒转时, 管内水银只能是上述三种情况的某一种. 为了作出正确的选择, 可以跟两种临界状态相比较.



(a) (b)

图 83

解答 假设管子倒转后水银恰好流至管口, 所需管长为 L' (图 83a). 管内气体在这个等温变化前后的状态分别为

$$p_1 = (75 + 15) \text{ 厘米汞柱,}$$

$$V_1 = 60S \text{ 厘米}^3;$$

$$p_2 = (75 - 15) \text{ 厘米汞柱,}$$

$$V_2 = (L' - 15)S \text{ 厘米}^3.$$

由玻意耳定律 $p_1 V_1 = p_2 V_2$, 得

$$90 \times 60S = 60 \times (L' - 15)S.$$

$$\therefore L' = 105 \text{ 厘米.}$$

因为 $L' > L$, 所以原来的玻璃管倒转后一定有水银溢出, 答案 A 可排除.

再假设管子倒转后水银恰好全部溢出时, 所对应的大气压为 p_0' (图 83b). 在这倒转前后管内气体的两状态分别为

$$p_1 = (75 + 15) \text{ 厘米汞柱, } V_1 = 60S \text{ 厘米}^3;$$

$$p_2 = p_0' \text{ 厘米汞柱}, V_2 = 100S \text{ 厘米}^3.$$

同理由玻意耳定律得

$$90 \times 60S = p_0' \times 100S.$$

得 $p_0' = 54 \text{ 厘米汞柱}.$

因为 $p_0' < p_0$, 所以管内水银不可能全部流出.

由此可见, 管内水银只有部分流出. 正确答案为 C.

例 4 在垂直纸面向里的匀强磁场 (磁感强度为 B) 中固定一个倾角为 θ 的光滑斜面, 一个质量为 m 、电量为 q 、带负电的小球, 从斜面顶端由静止下滑 (图 84), 它能在斜面上滑行的最大距离是多少? 设斜面足够长.

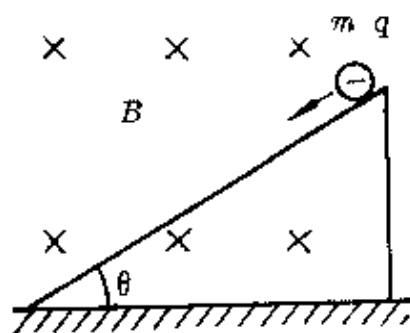


图 84

分析 小球刚释放时受到两个力:

重力 mg 、斜面支持力 N ($N = mg \cos \theta$), 在这两个力的合力作用下加速下滑. 一经滑动获得沿斜面向下的速度, 立即受到一个垂直斜面向上的洛伦兹力, 从而减小了球对斜面的压力, 斜面的支持力相应减小. 随着小球下滑速度的增大, 洛伦兹力增大, 球对斜面的压力进一步减小, 斜面的支持力跟着减小. 当小球下滑的速度增大到使斜面的支持力为零时, 小球就会脱离斜面.

解答 小球在斜面上滑行的最大距离对应着斜面支持力为零的临界条件, 由

$$N = mg \cos \theta - qvB = 0,$$

得小球脱离斜面时的下滑速度为

$$v = \frac{mg \cos \theta}{qB}.$$

因为小球沿斜面下滑的加速度恒定, 恒为

$$a = g \sin \theta .$$

由 $v^2 = 2as$,

得小球沿斜面滑行的最大距离

$$s_m = \frac{v^2}{2a} = \frac{m^2 g \cos^2 \theta}{2q^2 B^2 \sin \theta} .$$

5. 极端情况的假设

什么叫极端情况的假设？我们先从一个生活事例说起。某星期天，几位学生到老师家去做客，大家一起包饺子。老师一边和学生说笑，一边指着已和好的面粉和一大盆肉馅，提出了这样一个问题：在面粉和肉馅都已确定时，饺子皮儿小些用去的肉馅总量多，还是皮儿大些用去的肉馅总量多？学生们争论开了：皮儿小时，只数多，每只能包的馅却少；皮儿大时，只数虽少，不过每只能包的馅多。双方似乎都有道理，可都又没有充分的理由说服对方。于是大家向老师求助。老师没有直接回答，只是启发学生从饺子皮儿的大小向两头延伸——一种是把饺子皮儿切得小些再小些，做成许许多多极小极小（无限小）的饺子，试想它能包多少馅？另一种是把饺子皮儿擀得薄些再薄些，皮儿增大再增大，可以把和好的面粉只擀成一个极大极大（无限大）的皮儿，它又能包进多少馅？老师的话音刚落，学生们很快得出结果：“大肚能容天下”，饺子皮儿越大，用去的肉馅总量越多。

一般地说，当研究物理问题时，将其中的某些物理量取它们的极端值或对这个问题作一些极端情况（包括物理条件、状态或过程等）的设想，这样的思维方法，就称为极端假设法。

极端假设法在研究物理问题中有很重要的价值，现作较详细的说明如下。

(1) 极端假设法的作用

极端假设法的主要作用可概括为两个方面:

第一,利用极端假设法可以化难为易,便于判断变化趋势或找出有关结果.尤其是当某些问题中从自变量和应变量的函数出发考虑比较困难、关系比较隐蔽,难以判断或需要通过计算(有时还是较复杂的计算)时,采用极端假设法往往具有神奇的作用.

例 1 一根轻弹簧上端固定,下端挂一个质量为 m_0 的平盘,盘中有一质量为 m 的物体,当盘静止时,弹簧的长度比其自然长度伸长了 l .今向下拉盘使弹簧再伸长 Δl 后停止,然后松开(图 85).设弹簧总处于弹性限度内,则刚松开时盘对物体的支持力等于

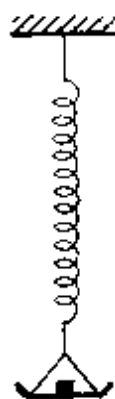


图 85

- A. $\left(1 + \frac{\Delta l}{l}\right)mg$; B. $\left(1 + \frac{\Delta l}{l}\right)(m + m_0)g$;
C. $\frac{\Delta l}{l}mg$; D. $\frac{\Delta l}{l}(m + m_0)g$.

分析 常规的方法是:设弹簧的劲度系数为 k ,未用手拉时,由题意知

$$(m_0 + m)g = kl.$$

得
$$k = \frac{(m_0 + m)}{l}g.$$

用手向下拉盘使弹簧再伸长 Δl 后放手,平盘(包括盘中物体)将以原来静止时的位置为平衡位置上下振动,其振幅 $A = \Delta l$,刚放手时,盘(包括盘中物体)向上的加速度最大,其值为

$$a_m = \frac{kA}{m_0 + m} = \frac{m_0 + m}{l}g \cdot \frac{\Delta l}{m_0 + m} = \frac{\Delta l}{l}g.$$

以盘中物体为研究对象,刚放手时设受到盘向上的支持力为 N (图 86).根据牛顿第二定律

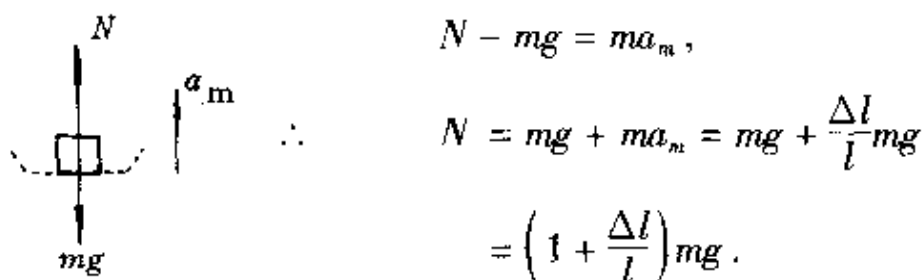


图 86 正确答案为 A.

上述答案的得出颇不容易,不仅综合了几部分知识(静力平衡、牛顿第二定律、简谐运动等),而且还很容易发生错误.

由于这是一个单选题,且在弹性限度内向下拉伸的不同长度 Δl 都应该符合同一个表达式,因此可采用极端假设法判断.

解答 假设向下拉盘使弹簧再伸长的长度 Δl 减小到零,即不再拉盘,盘仍处于静力平衡状态,则盘子对物体的支持力应等于物体的重力 mg . 在给出的四个选项中, $\Delta l = 0$ 时,只有选项 A 才能得到 mg 的结果,所以正确答案为 A.

第二,利用极端假设法可以对计算结果(或一般表达式)作初步检验.方法是对计算结果(或一般表达式)取自变量的极端值(或特殊值)代入检验,如结果是合理的,可初步判断所得结果(或一般表达式)是准确的.

例 2 一根两端开口、长 $2l$ 的均匀细玻璃管,一半插入水银中(图 87a),然后用手指按住上端缓缓向上竖直提出水银槽(图 87b).则留在管中的水银柱长度为多少? 设大气压为 H 厘米汞柱.

解答 用手指按住玻璃管上端后,管上部被封闭着一定质量的气体,其压强和体积分别为

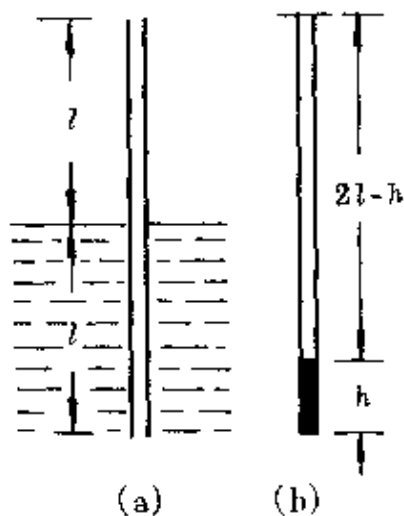


图 87

$$p_1 = H \text{ 厘米汞柱}, V_1 = lS \text{ 厘米}^3;$$

把玻璃管缓缓提出水银槽后竖直放置时,设留在管中水银柱长为 h ,上端空气柱长 $2l - h$,气体的压强和体积分别为

$$p_2 = (H - h) \text{ 厘米汞柱}, V_2 = (2l - h)S \text{ 厘米}^3.$$

根据玻意耳定律 $p_1 V_1 = p_2 V_2$, 即

$$HlS = (H - h)(2l - h)S.$$

或
$$h^2 - (2l + H)h + Hl = 0.$$

得两个解

$$h_1 = \frac{2l + H}{2} + \frac{1}{2}\sqrt{4l^2 + H^2},$$

$$h_2 = \frac{2l + H}{2} - \frac{1}{2}\sqrt{4l^2 + H^2}.$$

检验 这两个解是否都合理? 可用极端假设法作初步检验:

(1) 因为外界大气压 $H = 0$ 时, 玻璃管提出水面后管中水银必然全部流出, $h = 0$. 所以可将 $H = 0$ 作为一个极端值代入上面两式, 得 $h_1 = 2l \neq 0$, $h_2 = 0$, 可见 h_1 不合理.

(2) 因为留在管内的水银柱长度 h 一定小于 $2l$, 当玻璃管长度 ($2l$) 越来越短时, 留在管内的水银柱长 h 也越短, 当管长 ($2l$) $\rightarrow 0$ 时, 必然有结果 $h \rightarrow 0$. 所以可将 ($2l$) $= 0$ 作为另一个极端值代入上面两式, 得 $h_1 = H \neq 0$, $h_2 = 0$.

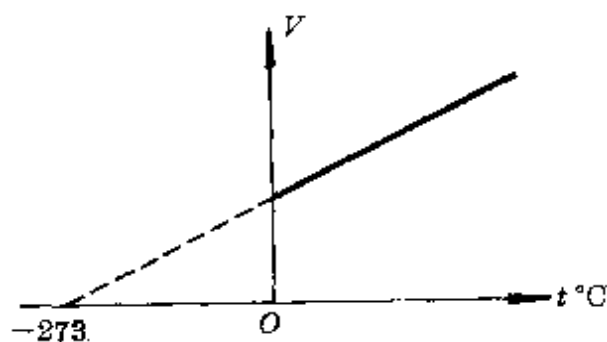
这两个极端值检验的结果是一致的, 可见 h_1 是不合理的, 只能取 h_2 作为解答结果 (有时, 还需再作其它检验).

第三, 利用极端假设法可得出某些条件较难实现或根本无法实现时的客观结果.

例如, 伽利略通过斜面实验得到小球沿光滑斜面滚下做匀加速运动的结论后, 把它外推到斜面倾角 $\theta = 90^\circ$ 的极端情况, 从而

断言当时难以直接实验验证的自由落体运动规律。

1802年,盖·吕萨克(J. L. Gay-Lussac, 1778—1850)对一定质量气体保持压强不变时的热膨胀现象进行研究,得到一个规律:每升高 1°C ,气体体积的增加是 0°C 时体积的 $\frac{1}{273}$ *.用公式表示为



$$\frac{V_t - V_0}{t} = \frac{1}{273} V_0,$$

$$\text{或 } V_t = V_0 \left(1 + \frac{1}{273} t \right).$$

这就是盖·吕萨克定律,其图象如图88所示。

图 88

如果我们把这个结果向

低温的极端情况外推,就可得到永远无法实现的气体体积为零的温度——绝对零度(-273.15°C)**.

在全电路欧姆定律实验研究中,用图89(a)的电路,改变滑动变阻器的阻值可得到一组 U 、 I 值,作出 U - I 图线(伏安特性线)后把它向两个极端外推,即可得到用电压表难以准确测得的电源电动势 \mathcal{E} 和实验中不允许发生的短路电流值 I_s [图89(b)].

(2) 极端假设法的取值原则

在许多情况下,利用极端假设法是为了较快地作出判断,因此

* 盖·吕萨克当初测得的气体膨胀系数是 $\frac{1}{266.66}$.50年后,雷诺(H. V. Regnault,

1801—1878)测得为 $\frac{1}{273.15}$,使用它取代盖·吕萨克的数值.通常取为 $\frac{1}{273}$.

** 绝对零度的概念早在1702年法国的阿蒙顿(G. Amontons, 1663—1705)已经提出.盖·吕萨克定律提出后,得到物理学家的普遍承认.1848年,威廉·汤姆逊(W. Thomson, 1824—1907)即开尔文勋爵(L. Kelvin)建立热力学温标时,重新提出绝对零度是温度下限的观点.

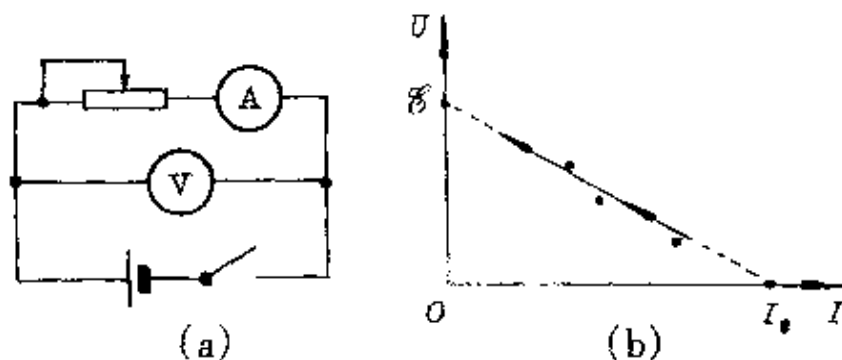


图 89

对极端值取法的基本原则是能使问题的处理简化,代入极端值后的结果应该是熟知的,以便一目了然地作出判断.一般情况下,对于数值中的 0 、 ∞ ,角度中的 0° 、 90° 、 180° ,加速运动时 $a=0$ 、 $a=g$,电路中断路($R \rightarrow \infty$)、短路($R=0$),研究光的传播时入射角 $i=0^\circ$ 、 $i=90^\circ$,凸透镜成像中 $u=f$ 、 $u \rightarrow \infty$ 等,都是较常选取的极端值或极端情况.

例 3 在天花板上悬挂一根重力为 G 的均质木棒,现用水平外力 F 把它逐渐拉起(图 90),在这过程中拉力 F 的大小

- A. 逐渐增大;
- B. 逐渐变小;
- C. 保持不变;
- D. 条件不足无法确定.

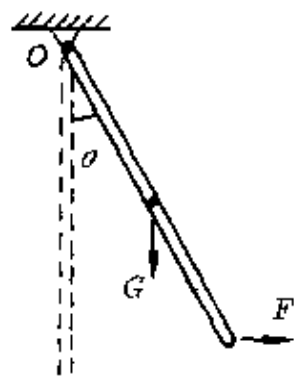


图 90

解答 拉起木棒的过程中,拉力 F 对悬点 O 的力矩应平衡重力 G 对 O 的力矩.取极端情况,棒拉至水平,拉力的力臂 $\rightarrow 0$,拉力极大,可见在拉起过程中拉力是逐渐增大的.正确答案为 A.

例 4 用照相机给某人拍照,已经调焦合适时,这个人又向后退了两步,为了在底片上得到清晰的像,应该采取的办法是

- A. 摄影师也向后退两步;
- B. 缩短暗箱长度(即减小镜头到底片的距离);

C. 增大暗箱长度;

D. 增加曝光时间.

解答 照相机成清晰像,属于透镜成像中物距 $u > 2f$ 、像距 $f < v < 2f$ 的情况,假设人后退至离镜无穷远处,经镜头折射的光会聚于焦点,由此可见,人后退时暗箱长度应缩短,正确答案为 B.

(3) 极端假设法的适用条件

极端假设法是通过自变量取某些极端值时,比较应变量的大小确定其变化趋势或得出变化规律的.它只有在一定条件下才适用.从物理意义上说,所研究的问题应该有“终极”或“始端”可觅,也就是说,所研究物理现象的条件或所显现的程度存在有一定的边界或存在有几种可能的极端值.从数学上说,只有当某个函数在自变量给定的区间内呈连续、单调变化(单调递增或单调递减)时,才能通过极端假设法对变化趋势作出正确的判断.否则,会造成误判.

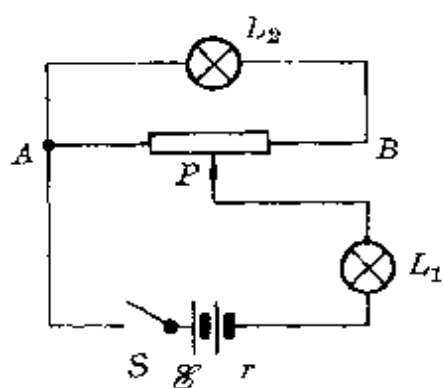


图 91

例 5 图 91 所示电路中,电源电动势 $\mathcal{E} = 6$ 伏,内阻 $r = 1$ 欧, L_1 、 L_2 是两个相同的小灯,每灯电阻 $R = 10$ 欧.滑线变阻器的最大阻值 $R_0 = 100$ 欧.试问:当合上 S 、滑动触头 P 从 A 向 B 滑动的过程中,小灯 L_1 的亮度

A. 变亮; B. 变暗;

C. 先由暗变亮再由亮变暗;

D. 先由亮变暗再由暗变亮.

一些学生机械地照搬极端假设法,把滑动头 P 在 A 、 B 两端的电路等效成图 92 和图 93 的电路.

在图 92 中小灯 L_1 两端电压

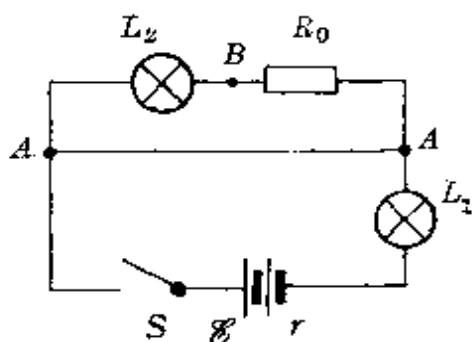


图 92

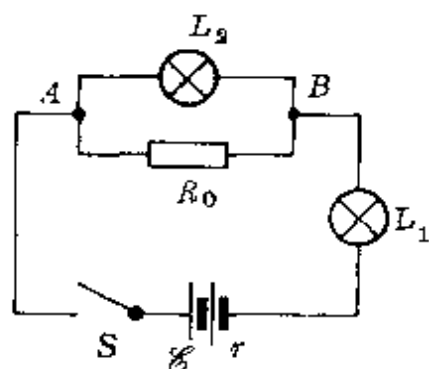


图 93

$$U_1 = \frac{R}{R+r} \mathcal{E} = \frac{10}{10+1} \times 6 \text{ 伏} = 5.45 \text{ 伏},$$

在图 93 中小灯 L_1 两端电压

$$U_1' = \frac{R}{r+R+\frac{R_0 R}{R_0+R}} \mathcal{E} = \frac{10}{1+10+\frac{100 \times 10}{100+10}} \times 6 \text{ 伏}$$

$$= 2.99 \text{ 伏}.$$

说明滑动头 P 从 A 滑向 B 时, 小灯 L_1 两端电压在减小, 所以小灯 L_1 变暗, 于是选择答案 B.

实际上, 这个答案是错的. 因为滑动头 P 从 A 滑向 B 时外电阻不是单调变化的. 设 P 滑到某位置时 AP 段电阻为 R_x , 电路可简化为图 94. 外电路 AP 部分的电阻为

$$R_{AP} = \frac{R_x [(R_0 - R_x) + R]}{R_x + (R_0 - R_x) + R}$$

$$= R_x \left(1 - \frac{R_x}{R_0 + R} \right).$$

当 $R_x = 0$ (滑动头 P 在 A 端) 时,

$R_{AP} = 0$, $U_1 = \frac{R}{R+r} \mathcal{E}$, 小灯 L_1 两端电压

最大, L_1 最亮.

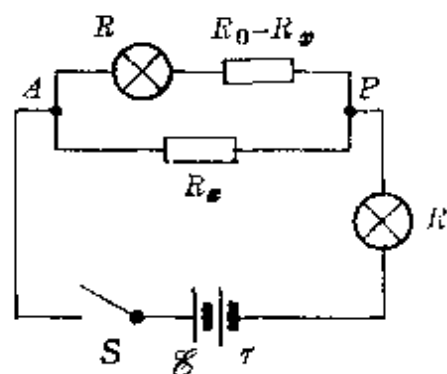


图 94

当 $0 < R_x < \frac{R_0 + R}{2}$ 时, R_{AP} 随 R_x 的增大逐步增大, U_1 随着减小, 小灯 L_1 逐渐变暗.

当 $R_x = \frac{R_0 + R}{2}$ 时, R_{AP} 增大到最大值 $\frac{R_0 + R}{4}$, 电压 U_1 达最小值, L_1 最暗.

当 $\frac{R_0 + R}{2} < R_x < R_0 + R$ 时, R_{AP} 随 R_x 的增大而减小, U_1 逐渐增大, L_1 由暗变亮.

当 $R_x = R_0$ 时, 滑动头 P 在 B 端, 电压 U_1 继续增大, L_1 继续变亮.

所以, 当滑动头 P 从 A 滑向 B 端时, 小灯 L_1 先由亮变暗, 再由暗变亮. 正确答案为 D .

必须注意, 极端假设法虽然是一种很有用的思维方法, 但并不是万能的, 更不要因此把思路引向“极端化”. 解决问题的最终裁判还是客观物理规律.

六、猜想与假设在中学物理中的应用

1. 猜想与假设对学习和运用物理知识的指导作用

猜想与假设是一种重要的思维方法.从前面所介绍的许多物理学史实中可以体会到,它往往会给科学研究工作注入新的活力.正当“山重水复疑无路”之际,一个新的假设,便使研究工作峰回路转,出现一片新的曙光,进入“柳暗花明又一村”的境界.而如果拘泥于旧模式,便会陷入更大的困难.普朗克突破传统的连续性框架,提出了分立的量子假设,终于敲开了量子世界大门.小居里夫妇束缚于一时的定见,缺乏提出新的假设的敏感性,三次走到了伟大发现的门口而错失良机.这正如牛顿所说的:“没有大胆的猜测,就作不出伟大的发现.”

了解和领会猜想与假设这一种重要的思维方法,对学习和运用物理学知识同样很有意义.它不仅为解题、论证提供了一种有效方法,更重要的是通过猜想与假设,有利于发展想象力.

科学离不开想象.科学上的任何一种学说、一种理论,技术上的任何一项发明,它们的萌芽过程无不滋润着想象的雨露.科学家面对着从实际观察或实验中发现的问题,为了解决问题和寻求答案,必须展开无拘无束的想象.从奔放的思潮中捕捉到某些智慧的

火花,形成猜想或提出假设.因此,猜想与假设跟科学家的想象力有着密切的联系,它们是想象的结晶,想象力又赋予它们勃勃生机,使它们活跃于科学的舞台上.爱因斯坦说:“想象力比知识更重要,因为知识是有限的,而想象力概括着世界上的一切,推动着进步,并且是知识进化的源泉.严格说,想象力是科学研究中的实在因素.”爱因斯坦的话对今天的科学家是很有益的,对于明天的科学家、对于明天改造世界的建设者——今天的中学生更为迫切.因为要想有所发现、有所发明、有所创造、有所进步,敢于走前人没有走过的路,敢于做前人没有做过的事,就离不开想象.

猜想与假设,正是丰富和发展想象力的有效途径.

譬如,在学习中常可设想让“时光倒流”,把自己置身于历史上的各个时期,针对当时涌现的种种问题,也展示一下自己的猜想——看到落体的运动猜测它的快慢跟什么因素有关?它应该是怎样的一种运动?地面上空落体的运动和挂在高空的月球的运动、乃至茫茫太空中天体的运动可能会有什么样的本质联系?看到食盐、雪花的晶粒所呈现的美丽规则的外形,猜测它内部物质微粒的分布;一个铁针放在磁体附近被磁化,又能对它的内部结构作怎样的猜测?……尽管这里有许多问题前辈们已作出了定论,仍然够我们去作种种“历史性的猜想”,从而可培养自己思考的习惯,丰富想象的内容.

而对于广袤无垠的未知世界,更是想象力可自由驰骋的天地,能令人沉醉于构思自己独特的猜想与假设的喜悦之中——地球和其它的天体是如何演化来的?宇宙有边吗?是否存在引力波或“引力子”?有分数电荷和单独的磁荷吗?某些物体为什么会产生超导现象?物质是无限可分的吗?是否存在外星人世界?……

爱因斯坦回忆发现相对论的过程时曾说起,他从16岁(1895

年)起就开始思考这样一个问题:“如果我以光速追踪光波,将会看到什么?”正是由于爱因斯坦的这种超于常人习惯思想的惊人的想象力,才促使他能大胆地提出光速不变的假设,导致他于26岁时完成了相对论的开创性工作。

我们面前永远有一个未知世界,而未知世界规律的探求同样也得从猜想与假设起步。

2. 猜想与假设在中学物理解题中的应用

物理学规律具有高度的概括性和简洁性,有着丰富的内涵和极大的灵活性.一个 $F = ma$ 的公式,可以综合着动力学(包括带电粒子在电场、磁场中的运动)的许多问题.不少初学者往往发出感慨:“物理学有趣,可是题目难做。”究其原因,除了对物理学的基本概念、物理规律没有真正理解外,思维方法上的僵化是其中一个重要因素.比较起他们学习的热情来说,他们普遍缺少的是对物理问题作多种假设的勇气和方法,以致常会找不到入口,不知从何突破。

利用假设法,在主导思想上主张读者把思维的触角尽量向各个方向延伸,鼓励读者大胆地做出多种可能的猜测和假设.其具体方法是:通常先根据题意从某一假设着手,然后根据物理规律得出结果,再跟原来的条件或原来的物理过程对照比较,从而确定正确的结果.这样就易于找到入口,突破难点,许多时候还能有效地提高解题速度,并对结果作出检验。

下面,通过多方面的具体例题的分析、演解,希望读者有所领会。

(1) 物理条件假设的应用

例 1 图 95(a)中,用细线悬挂的一均质球刚好与斜面接触;

图95(b)中,用一根固定于斜面上的细线拉住一个均质小球,试分析两情况下小球的受力情况.

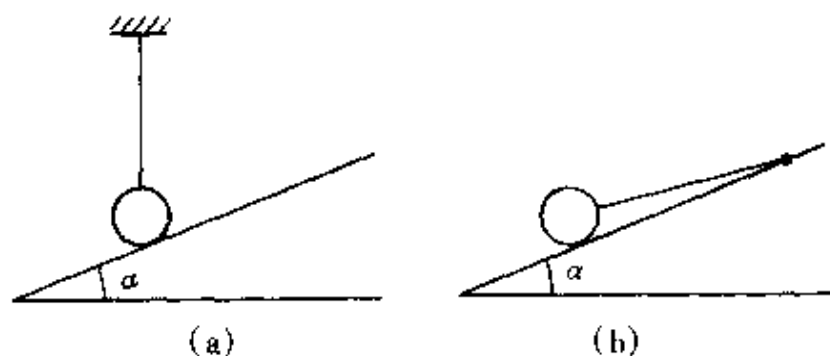


图 95

分析 两情况中小球受到重力和线的弹力是容易判知的,容易错的是斜面的弹力.现介绍用假设法判断.

解答 假设两情况中都受到斜面弹力,画出受力图如图 96 所示.

由力平衡条件易知,图 96(a)中小球在水平方向受力不平衡,可见 N_a 不存在,即斜面不产生弹力.图 96(b)中小球能满足各个方向力平衡的条件,表示 N_b 是存在的,即斜面能产生弹力.

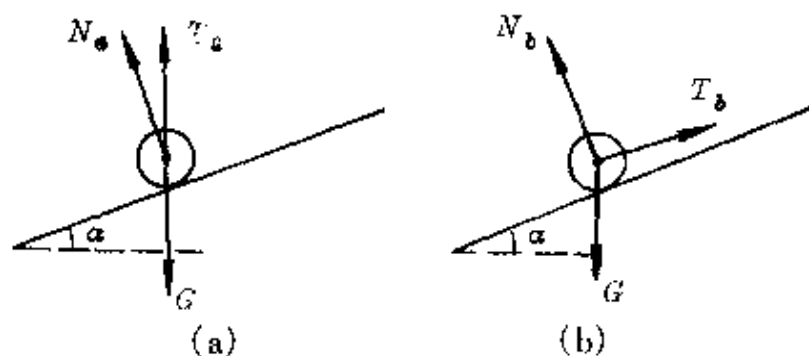


图 96

或者,将所假设的力突然取消.图 96(a)中取消 N_a 后小球仍能平衡,可见原来就不存在 N_a ;图 96(b)中取消 N_b 后,小球将向着斜面方向运动,不再保持平衡,表示 N_b 是必然存在的.

例 2 在倾角 $\alpha = 30^\circ$ 的斜面上,放一块质量 $m = 2$ 千克的物体,物体与斜面间的动摩擦因数 $\mu = 0.2$. 当对物体作用一个大小

$F = 20$ 牛、沿水平方向的外力后,求物体的加速度(图 97). $g = 10$ 米/秒².

分析 由于物体向哪个方向运动不明确,将影响到滑动摩擦力方向的确定.为此,可先通过假设,比较受力确定物体的加速运动方向.

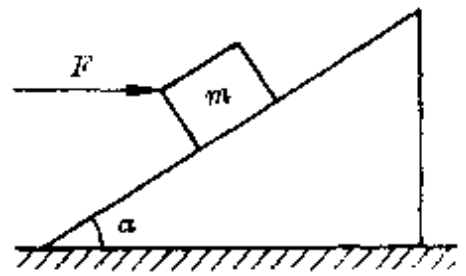


图 97

解答 假设物体与斜面间无摩擦,比较推力 F 和重力 G 沿斜面方向的分力(图 98):

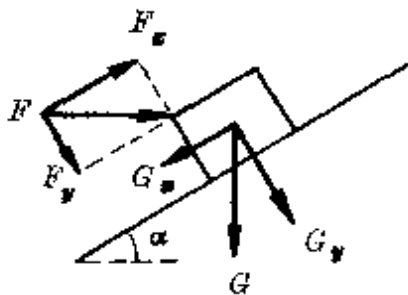


图 98

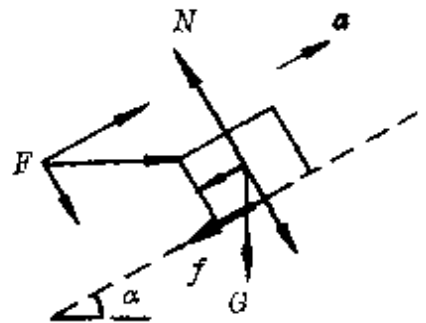


图 99

$$F_x = F \cos \alpha = 20 \times \frac{\sqrt{3}}{2} \text{ 牛} = 17.3 \text{ 牛},$$

$$G_x = G \sin \alpha = 2 \times 10 \times \frac{1}{2} \text{ 牛} = 10 \text{ 牛}.$$

因 $F_x > G_x$, 物体在推力作用下将沿斜面上滑, 滑动摩擦力 f 的方向沿斜面向下. 物体上所受各力如图 99 所示. 根据牛顿第二定律写出物体的运动方程

$$F \cos \alpha - mg \sin \alpha - f = ma,$$

$$N - F \sin \alpha - mg \cos \alpha = 0.$$

又 $f = \mu N,$

联立得
$$a = \frac{F \cos \alpha - mg \sin \alpha - \mu (F \sin \alpha + mg \cos \alpha)}{m}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{F(\cos\alpha - \mu\sin\alpha) - mg(\sin\alpha + \mu\cos\alpha)}{m} \\
&= \frac{20\left(\frac{\sqrt{3}}{2} - 0.2 \times \frac{1}{2}\right) - 2 \times 10\left(\frac{1}{2} + 0.2 \times \frac{\sqrt{3}}{2}\right)}{2} \text{米/秒}^2 \\
&= 0.93 \text{米/秒}^2.
\end{aligned}$$

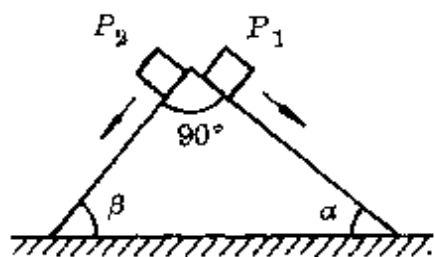


图 100

例 3 光滑水平地面上放有一块顶角为 90° 的光滑的斜面体, 两底角分别为 α 、 β , 且 $\alpha < \beta$. 在斜面体的两个侧面上分别放有质量相同的两木块 P_1 、 P_2 , 木块由静止起从顶端开始下滑 (图 100), 则斜面体将会

A. 向右滑; B. 向左滑; C. 保持静止.

分析 斜面体是否会滑动和向那个方向滑动, 决定于斜面体的速度. 这个速度可由动量守恒定律确定. 因为两木块下滑时, 整个系统 (斜面体与两木块) 水平方向不受外力, 水平方向动量守恒. 当斜面体静止时, 两木块下滑经时间 t 的瞬时速度分别为

$$v_1 = g\sin\alpha \cdot t, \quad v_2 = g\sin\beta \cdot t.$$

若此瞬间斜面体向右运动的瞬时速度为 v , 则两木块对地水平方向的瞬时速度分别为

$$v_{1x} = v_1 \cos\alpha + v = g t \sin\alpha \cos\alpha + v,$$

$$v_{2x} = v - v_2 \cos\beta = v - g t \sin\beta \cos\beta.$$

于是由 $0 = m v_{1x} + m v_{2x} + M v$ 和 $\alpha + \beta = \frac{\pi}{2}$,

得
$$v = \frac{mgt(\sin\beta\cos\beta - \sin\alpha\cos\alpha)}{M + 2m}$$

$$= \frac{mgt}{2(M + 2m)} (\sin 2\beta - \sin 2\alpha)$$

= 0.

表示两木块下滑时,斜面体在任何时刻的水平速度恒为零,斜面体仍保持静止.

这个结果的确定并非容易,不仅需要深刻理解动量守恒定律中的速度应为同一时刻的瞬时速度,还应用了速度的合成法则,如采用假设一个物理条件的方法,就可以避开这些难点.

解答 假设先用力按住斜面,两木块下滑时对斜面的压力分别为

$$N_1 = mg \cos \alpha,$$

$$N_2 = mg \cos \beta.$$

其水平分力分别为(图 101)

$$N_{1x} = N_1 \cos(90^\circ - \alpha)$$

$$= mg \cos \alpha \cdot \cos \beta,$$

$$N_{2x} = N_2 \cos(90^\circ - \beta) = mg \cos \beta \cdot \cos \alpha.$$

因为 $N_{1x} = N_{2x}$,表示两木块下滑时对斜面体两侧的水平压力等值反向,斜面体水平方向处于力平衡状态,可见不用力按住斜面,斜面体也不会滑动.这样,就把原来属于动量守恒的问题转化为一个静力学的力分解问题,很快可选出正确答案 C.

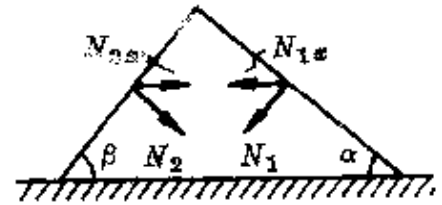


图 101

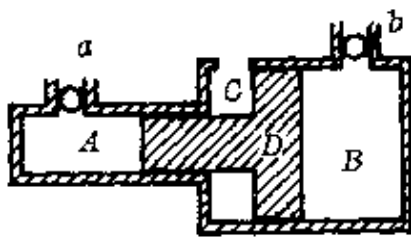


图 102

例 4 如图 102 所示, A、B 是两个气缸,分别通过阀门 a 和 b 与压强为 1 标准大气压的大气相通,气缸的截面积之比 $\frac{S_A}{S_B} = \frac{1}{10}$,中间水平放置的活塞 D 可

无摩擦地左右滑动.先关闭阀门 a,通过阀门 b 给气缸 B 充气至 10 大气压,然后关闭阀门 b,区域 C 始终与大气相通.试问:当使整个系统都升高到相同的温度时,活塞的

移动方向是:

A. 向左移; B. 向右移; C. 保持静止.

分析 给气缸 B 充气到 10 大气压时, 由活塞的受力平衡条件, 得

$$p_A S_A + p_C S_C = p_B S_B.$$

式中 $S_B = 10S_A$, $S_C = S_B - S_A = 9S_A$, $p_C = 1$ 大气压, 易知气缸 A 中气体的压强 $p_A = 91$ 大气压.

当整个系统温度升高时, A、B 两气缸内气体的压强、体积都要变化, 给判断活塞 D 的移动方向带来困难. 为此, 可采用假设一个外加条件的方法.

解答 假设用外力把活塞按住, 温度升高时活塞不动, 两气缸内的气体都发生一次等容变化.

由查理定律得

$$\frac{p_A'}{p_A} = \frac{T'}{T} = k, \quad \frac{p_B'}{p_B} = \frac{T'}{T} = k.$$

$$\therefore p_A' = kp_A = 91k \text{ 大气压,}$$

$$p_B' = kp_B = 10k \text{ 大气压.}$$

温度升高后, 活塞受到 B 中气体向左的压力

$$F_1 = p_B' S_B = 10k \times 10S_A = 100kS_A.$$

活塞受到 A 中气体和 C 部分空气向右的压力为

$$\begin{aligned} F_2 &= p_A' S_A + p_C S_C = 91kS_A + 1 \times 9S_A \\ &= 91kS_A + 9S_A. \end{aligned}$$

因为 $T' > T$, 故 $k > 1$, 可见 $F_1 > F_2$, 所以当不用外力按住活塞时, 温度升高后活塞会向左方移动. 正确答案为 A.

例 5 两块面积为 S 的平行金属板间依次充满两种电介质,

其中介电常数为 ϵ_1 的介质厚为 d_1 , 介电常数为 ϵ_2 的介质厚为 d_2 (图 103). 由这两金属块和介质所组成的电容器的电容量为多少?

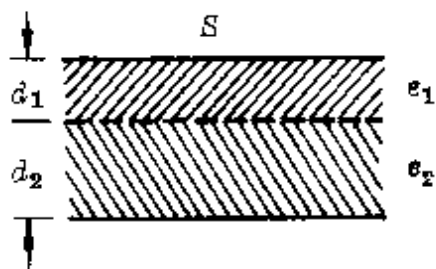


图 103

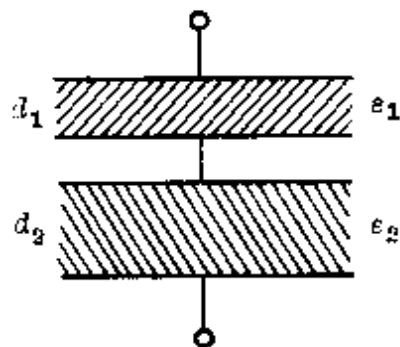


图 104

分析 设想在两种介质的交界面处有一块面积与极板相同的薄金属片, 两侧分别带有等量异号的电荷, 它的两侧与原来的两金属板组成两个串联电容器, 如图 104 所示, 即可得到总电容.

解答 根据平行板电容器的公式 $C = \frac{\epsilon S}{4\pi k d}$, 充有介质 ϵ_1 的这个电容器的电容量

$$C_1 = \frac{\epsilon_1 S}{4\pi k d_1},$$

充有介质 ϵ_2 的这个电容器的电容量

$$C_2 = \frac{\epsilon_2 S}{4\pi k d_2}$$

根据串联电容器的总电容的公式, 得

$$C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} = \frac{S}{4\pi k} \left(\frac{\epsilon_1 \epsilon_2}{\epsilon_1 d_2 + \epsilon_2 d_1} \right).$$

例 6 根据图 105 中射到凸透镜上的人射光线 AB , 画出它的折射光线.

分析 这不是一条特殊光线, 通常需借助副光轴才能画出它

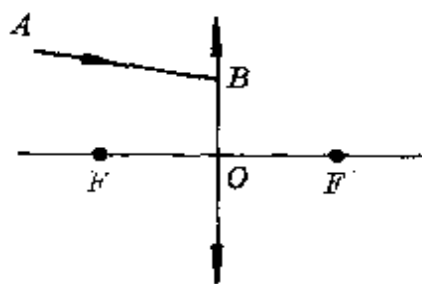


图 105

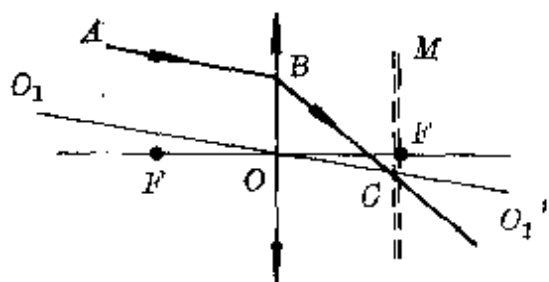


图 106

的折射线,其作图步骤是

- (1)过光心 O 作出平行于入射线 AB 的副光轴 O_1O_1' ;
- (2)过后焦点作垂直于主光轴的平面 M (称焦平面), 设它与副光轴 O_1O_1' 的交点为 C ;
- (3)连结 BC , 即为所求之折射线(图 106). 其理由是: 平行于某一副光轴的入射线, 经折射后都会聚于该副光轴与焦平面的交点.

这种作法须补充有关概念, 并且, 在没有对副光轴的特性通过实验验证时, 不少学生并不信服. 我们如果给它假设一个条件, 把原来的人射光转化为点光源中的一条光线, 就可以不必用副光轴作图法了.

解答 假设入射线 AB 上有一个点光源 S , AB 就是 S 所发出光线中的某一条. 再取其中的两条特殊光线——平行于主光轴的光线 SB' 、通过光心的光线 SO , 按特殊光线作图法作出它们的折射线, 得像点 S' . 连结 BS' 就是所求的折射线(图 107).

(2) 物理过程假设的应用

例 1 M 、 N 两车以相同的速度 v 沿平直公路行驶, 两车相距 s_0 (N 在前, M 在后). M 为了超车, 开始加速, 速度最多能增加 Δv . 要求超车后 M 在 N 前方相隔 s_0 处, 则完成超车过程中 M 的位移至少多大?

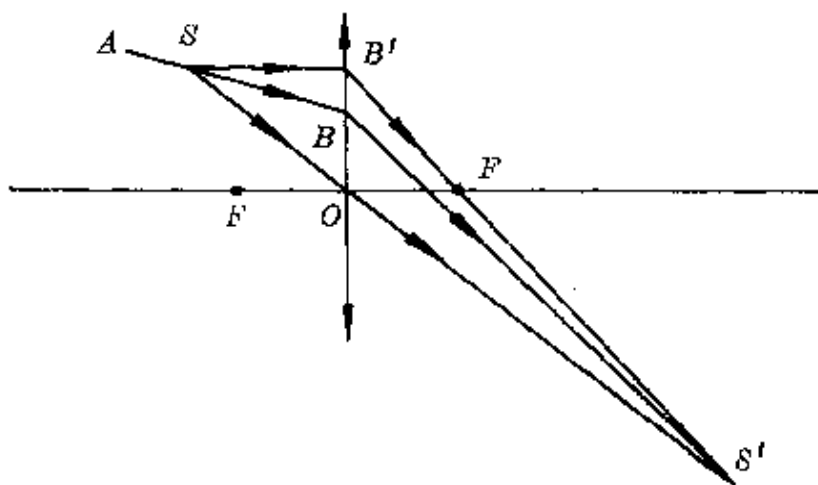


图 107

分析 超车过程的运动示意图如图 108 所示。

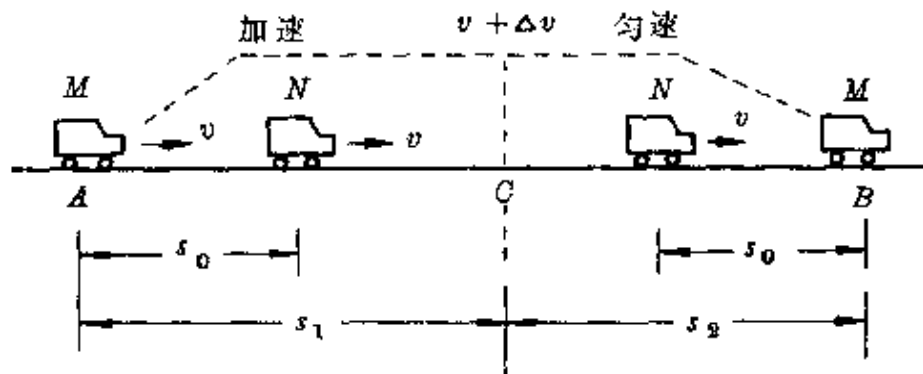


图 108

假设把整个超车过程分为两个阶段：先加速、后匀速。设 M 车从位置 A 开始加速超车，至位置 C 时达最大车速 $v + \Delta v$ ，接着便以 $v + \Delta v$ 匀速行驶，完成超车并使它位于 N 前方 s_0 处。

解答 设 M 车加速运动时间为 t_1 、通过的位移为 s_1 ，则在 t_1 时间内

$$\text{对 } M \text{ 车} \quad s_1 = vt_1 + \frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta v}{t_1} t_1^2,$$

$$\text{对 } N \text{ 车} \quad s_1 = vt_1 + s_0.$$

$$\text{联立两式得} \quad t_1 = \frac{2s_0}{\Delta v}.$$

设 M 车匀速运动时间为 t_2 , 通过的位移为 s_2 , 则在 t_2 时间内
 对 M 车 $s_2 = (v + \Delta v)t_2$,
 对 N 车 $s_2 = vt_2 + s_0$.

联立两式得 $t_2 = \frac{s_0}{\Delta v}$.

所以, 完成超前过程 M 车的总位移为

$$\begin{aligned} s &= s_1 + s_2 = v(t_1 + t_2) + 2s_0 \\ &= v\left(\frac{2s_0}{\Delta v} + \frac{s_0}{\Delta v}\right) + 2s_0 \\ &= \frac{3s_0 v}{\Delta v} + 2s_0. \end{aligned}$$

我们可以用具体数字计算一下: 设原来两车车速 $v = 15$ 米/秒 (54 千米/时), M 在 N 后面 $s_0 = 20$ 米, M 超车时发动机能使车增加的速度 $\Delta v = 5$ 米/秒 (即超车时速度最大达 72 千米/时). 由计算式得

$$s = \frac{3 \times 20 \times 15}{5} \text{米} + 2 \times 20 \text{米} = 220 \text{米}.$$

例 2 一个氧气瓶的容积 $V = 32$ 升, 贮有压强为 130×10^5 帕的氧气. 某厂吹玻璃需要, 每天耗去 1×10^5 帕的氧气 400 升. 当氧气瓶内氧气的压强降到 10×10^5 帕时需重新充气. 试问: 一瓶氧气可供该厂使用几天? 设温度不变.

分析 氧气瓶内前、后的压强和吹玻璃耗氧的压强各不相同. 为了便于比较, 可假设它们发生一个等温变化过程, 变成同样的压强. 如图 109 所示使瓶中氧气的压强都变为 1×10^5 帕.

解答 将压强为 $p = 130 \times 10^5$ 帕、体积 $V = 32$ 升的氧气经等温变化后, 由玻意耳定律, 得变成压强 $p_1 = 1 \times 10^5$ 帕时的体积

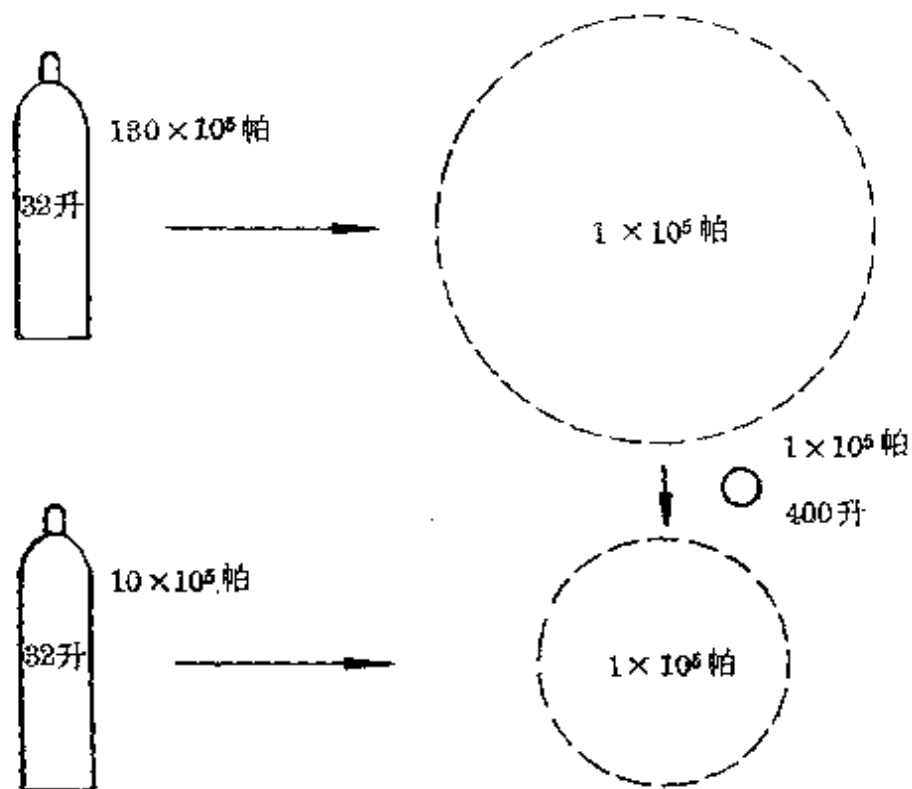


图 109

$$V_1 = \frac{pV}{p_1} = \frac{130 \times 10^5 \times 32}{1 \times 10^5} \text{升} = 130 \times 32 \text{升}.$$

使用后压强为 $p' = 10 \times 10^5$ 帕, 也使它经等温变化后变成压强 $p_2 = 1 \times 10^5$ 帕时的体积为

$$V_2 = \frac{p'V}{p_2} = \frac{10 \times 10^5 \times 32}{1 \times 10^5} \text{升} = 10 \times 32 \text{升}.$$

所以, 可以使用的天数为

$$n = \frac{V_1 - V_2}{V_0} = \frac{(130 - 10) \times 32}{400} (\text{天}) = 9.6 (\text{天}).$$

例 3 一个学生画出了一组平行不等间距的电场线(图 110), 试问: 是否存在这种静电场?

分析 由于无法从实验上加以验证, 只能根据物理原理采用假设一个物理过程的方法.

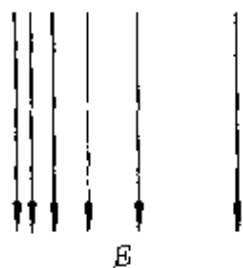


图 110

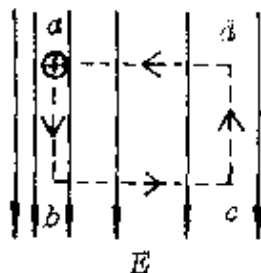


图 111

解答 设想一个正电荷在电场中沿闭合矩形路线移动一周(图 111).

根据电场线的意义,在电场线密的地方,场强大;在电场线稀的地方,场强小.因此,这个正电荷沿 ab 边移动时受到的电场力比它沿 cd 边移动时受到的电场力大,在 ab 段电场力的功比 cd 段电场力的功大.由于在 bc 段和 da 段电场力与位移方向垂直,不做功.所以,这个正电荷沿整个闭合路径 $abcd$ 移动一周时电场力的功不等于零.

因为电场力的功 $W_{AB} = qU_{AB}$,在静电场中沿任何闭合路径回

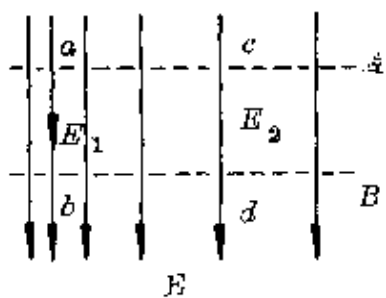


图 112

到原来位置时,电势不变,电场力的功一定等于零.这是静电场的一个基本特性.在上述电场中使电荷移动一周时,电场力的功不等于零,所以,这种静电场实际上是不可能存在的.

更简单些,本题也可采用条件假设法.

在图 112 的电场中设想两个等势面 A 、 B (图 112).根据等势面与电场线的关系,它们都垂直电场线.然后在这两个等势面间取两条电场线 ab 、 cd ,则

$$U_{ab} = U_{cd} \quad \text{或} \quad E_1 \overline{ab} = E_2 \overline{cd}.$$

因为 $A // B, \overline{ab} = \overline{cd}$,

所以 $E_1 = E_2$.

这表示 ab 与 cd 处的电场强度相同.

根据电场线的特性,电场线越密集的地方,电场强度越大.上述结论与这个特性相悖,可见,这种电场是不存在的.

例 4 一个带正电的绝缘球壳 a , 顶部开有小孔, 两个原来不带电的金属球 b 、 c 用细导线相连后, 把 b 放进球壳 a 的空腔中与内表面接触一下后又提起仍处于 a 的空腔中, c 球始终放在球壳外面不动(图 113). 当电荷分布稳定后, 则

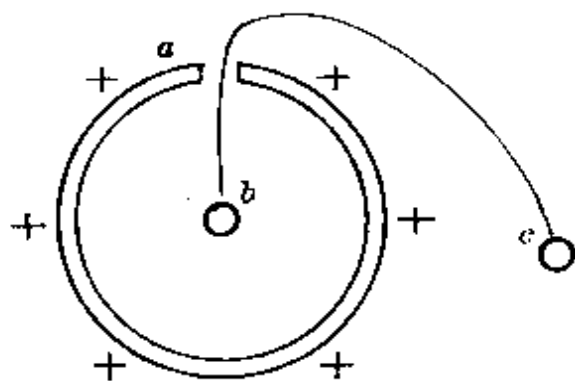


图 113

- A. b 、 c 两球都不带电;
- B. b 不带电, c 带正电;
- C. 把 c 球接地后, b 带负电;
- D. 把 c 球接地后, a 的空腔内场强仍为零.

分析 静电平衡过程是一个在极短时间内完成的电荷重新分布的微观过程, 判断时可采用将物理过程分解和延缓的办法.

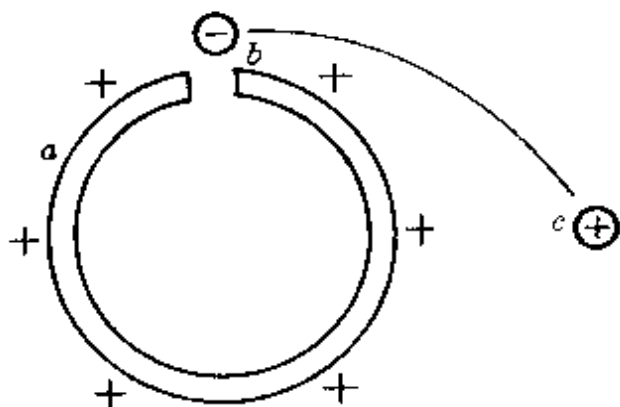


图 114

解答 原来球壳 a 的正电荷都分布在外表面, 空腔内部场强为零. b 移近 a 还未放进空腔内时, 由于静电感应 b 带负电、 c 带正电(图 114), 达静电平衡时三者电势关系 $U_c = U_b < U_a$.

b 球放入 a 的空腔内就

在腔口与内表面接触, a 、 b 、 c 作为一个整体, b 球的负电荷转移到 a 的外表面中和部分正电荷, 达静电平衡时, b 不带电, c 仍带正电荷, 三者电势相等, $U_a = U_b = U_c$.

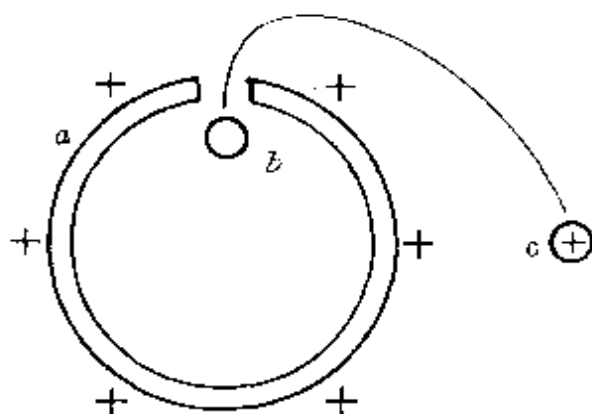


图 115

然后, b 在腔口与 a 内表面脱开(图 115). c 处在 a 球外表面正电荷的电场中, c 球上正电荷无法向 b 移动, 所以 b 仍不带电, c 带正电, b 、 c 两球电势相等, 且都高于地面的电势.

把 c 接地后, 地上的自由电子从低电势的地面移向高电势的

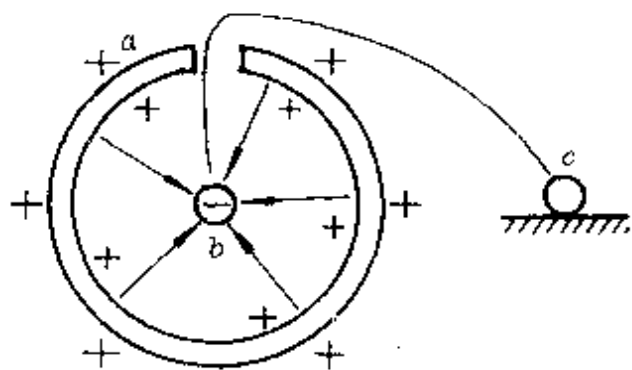


图 116

b 、 c 两球, 由于 b 球带上负电荷的影响, 使 a 球外表面部分正电荷转移到内表面, 腔内建立了从 a 内表面指向 b 球的电场. 达静电平衡时, c 球上的正电荷全被中和, 不带电; b 球上的负电荷

由于被 a 球内表面正电荷束缚, 使 b 被带上负电. 空腔内部场强已不再为零(图 116).

所以, 正确答案为 B、C.

例 5 ${}_{92}^{238}\text{U}$ 原子核经过几次 α 衰变、几次 β 衰变后可变成稳定的 ${}_{82}^{206}\text{Pb}$?

分析 原子核的衰变过程往往是同时发生 α 衰变和 β 衰变. 为了研究方便, 可把实际情况中同时发生的过程分解为依次发生 α 衰变(或 β 衰变)、 β 衰变(或 α 衰变)两个过程.

解答 假设 ${}_{92}^{238}\text{U}$ 核先发生 x 次 α 衰变,再发生 y 次 β 衰变.因为每发生一次 α 衰变(即放出一个 α 粒子),使原子核的质量数减少4个单位,核电荷数减少2个单位.每发生一次 β 衰变(即放出一个电子),原子核的质量数不变,核电荷数增加一个单位.由 ${}_{92}^{238}\text{U}$ 核与 ${}_{82}^{206}\text{Pb}$ 核的质量数及核电荷数比较后可知,应满足关系

$$238 - 206 = 4x,$$

$$92 - 82 + y = 2x.$$

联立得 $x = 8$ (次)、 $y = 6$ (次).

所以, ${}_{92}^{238}\text{U}$ 核变成 ${}_{82}^{206}\text{Pb}$ 核需经过8次 α 衰变,6次 β 衰变.

(3) 矢量方向假设的应用

例 1 如图 117 所示,质量分别为 $m_A = 20$ 千克、 $m_B = 10$ 千克的两物体 A、B 用绳子连结后绕过滑轮放在水平面上,当用竖直向上的拉力 F 提起滑轮时,求下列四情况下两物体的加速度($g = 10$ 米/秒²).

(1) $F = 100$ 牛; (2) $F = 200$ 牛;

(3) $F = 400$ 牛; (4) $F = 800$ 牛.

分析 用不同的力向上提起滑轮时,两物体的运动情况也不同,可通过假设正方向后由计算

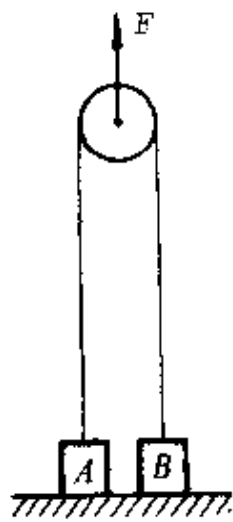


图 117

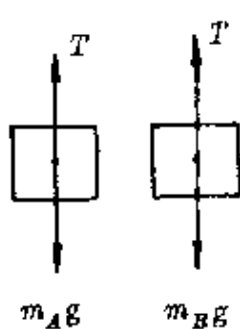


图 118

结果确定其运动情况.

解答 设绳中的张力为 T ,两物体的加速度分别为 a_A 、 a_B .假设竖直向上为矢量的正方向,由两物体的受力图(图 118)列出牛顿第二定律的表达式

$$T - m_A g = m_A a_A,$$

$$T - m_B g = m_B a_B.$$

又 $T = \frac{F}{2},$

联立三式得

$$a_A = \frac{F}{2m_A} - g, \quad a_B = \frac{F}{2m_B} - g.$$

(1) 当 $F = 100$ 牛时,

$$a_A = \frac{100}{2 \times 20} \text{米/秒}^2 - 10 \text{米/秒}^2 = -7.5 \text{米/秒}^2,$$

$$a_B = \frac{100}{2 \times 10} \text{米/秒}^2 - 10 \text{米/秒}^2 = -5 \text{米/秒}^2.$$

表示两物体都向下做加速运动,与实际情况相悖,说明 A 、 B 都没有被提起, $a_A = a_B = 0$.

(2) 当 $F = 200$ 牛时,

$$a_A = \frac{200}{2 \times 20} \text{米/秒}^2 - 10 \text{米/秒}^2 = -5 \text{米/秒}^2,$$

$$a_B = \frac{200}{2 \times 10} \text{米/秒}^2 - 10 \text{米/秒}^2 = 0.$$

表示 A 向下做加速运动, B 没有被提起.这也与实际情况相悖,说明 A 、 B 仍然都没有被提起, $a_A = a_B = 0$.

(3) 当 $F = 400$ 牛时,

$$a_A = \frac{400}{2 \times 20} \text{米/秒}^2 - 10 \text{米/秒}^2 = 0,$$

$$a_B = \frac{400}{2 \times 10} \text{米/秒}^2 - 10 \text{米/秒}^2 = 10 \text{米/秒}^2.$$

表示 A 没有被提起, B 以 10米/秒^2 加速上升.

(4) 当 $F = 800$ 牛时,

$$a_A = \frac{800}{2 \times 20} \text{米/秒}^2 - 10 \text{米/秒}^2 = 10 \text{米/秒}^2,$$

$$a_R = \frac{800}{2 \times 10} \text{米/秒}^2 - 10 \text{米/秒}^2 = 30 \text{米/秒}^2.$$

表示 A 、 B 两物体以不同的加速度向上运动。

例 2 一架飞机以速度 $v = 150$ 米/秒在竖直平面内沿“ ∞ ”字做特技飞行,两个圆周的半径均为 $R = 1000$ 米,当飞机处于图中 a 、 b 、 c 、 d 四位置上时(图 119),求飞机中质量 $m = 60$ 千克的飞行员受到的座椅或皮带的作用力, $g = 10$ 米/秒²。

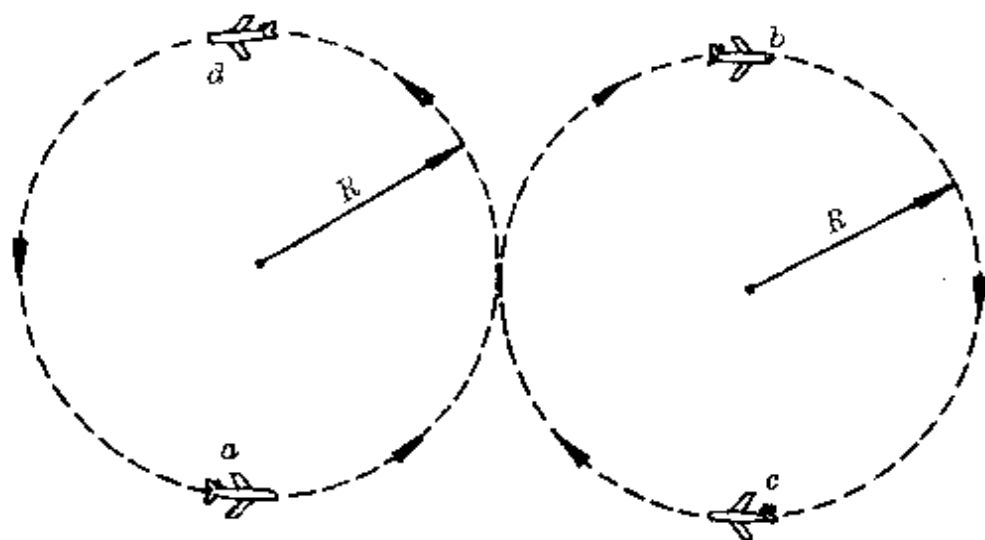


图 119

分析 对质量一定的飞行员来说,他以一定的速度沿一定的圆半径做匀速圆周运动时所需的向心力恒定,即 $F_n = m \frac{v^2}{R}$,而提供这个向心力的外力除重力外,还可能来自座椅或皮带的作用力,它们的方向不明显,可先作一假设后由题解结果确定。

解答 假设沿半径指向圆心的方向为正方向,把飞行员在特技飞行中的状态简化为图 120 所示.在 a 、 b 、 c 、 d 四位置上座椅或皮带对飞行员的作用力分别用 N_a 、 N_b 、 N_c 、 N_d 表示。

在位置 a :

$$N_a - mg = F_n = m \frac{v^2}{R}.$$

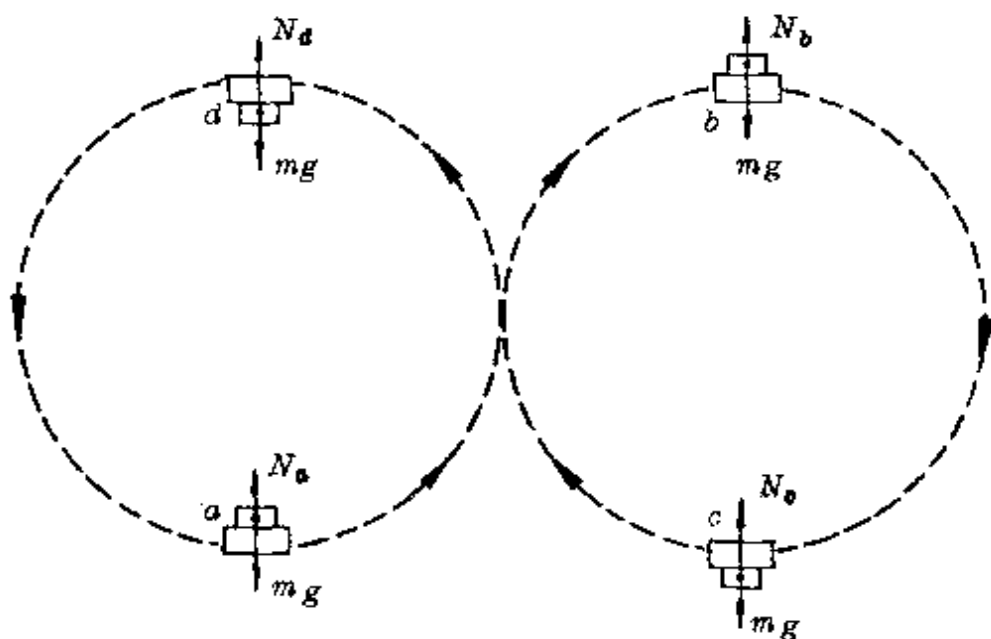


图 120

得
$$N_a = mg + m \frac{v^2}{R} = 60 \times 10 \text{ 牛} + 60 \times \frac{150^2}{1000} \text{ 牛}$$

$$= 1950 \text{ 牛}.$$

这个力的方向与题设一致,是由座椅产生的.根据牛顿第三定律,在位置 a 时飞行员对座椅的压力 $N_a' = N_a = 1950 \text{ 牛}$,方向竖直向下.

在位置 b :

$$mg - N_b = m \frac{v^2}{R}.$$

得
$$N_b = mg - m \frac{v^2}{R} = 60 \times 10 \text{ 牛} - 60 \times \frac{150^2}{1000} \text{ 牛}$$

$$= -750 \text{ 牛}.$$

这个力的方向与题设方向相反,是指向圆心的,由于座椅无法产生吸飞行员的拉力,所以这个力只能是由皮带对飞行员的拉力产生的.同理,飞行员对皮带的压力 $N_b' = N_b = 750 \text{ 牛}$,方向沿半径向外.

在位置 c :

$$N_c = mg + m \frac{v^2}{R} = 1950 \text{ 牛} .$$

这个力的方向与题设方向相同,此时飞行员在座椅下面,座椅同样不会产生对飞行员的拉力,所以这个力也是皮带产生的.飞行员对皮带的压力 $N_c' = N_c = 1950 \text{ 牛}$,方向向下.

在位置 d :

$$N_d = mg - m \frac{v^2}{R} = -750 \text{ 牛} .$$

这个力的方向与题设方向相反,这个力可以由座椅产生,所以飞行员对座椅的压力 $N_d' = N_d = 750 \text{ 牛}$,方向向上.

例 3 一根光滑的绝缘细直杆与水平面成 $\alpha = 30^\circ$ 角倾斜放置,其中有一部分在水平向右的匀强电场中,电场强度 $E = 2 \times 10^4 \text{ 牛/库}$,在细杆上套一个带负电的小球,质量 $m = 3 \times 10^{-2} \text{ 千克}$,电量 $q = \sqrt{3} \times 10^{-5} \text{ 库}$.今使小球从 A 点静止下滑,

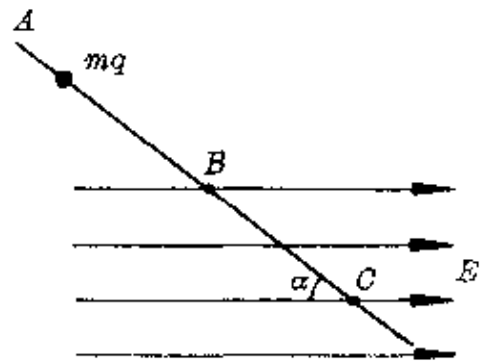


图 121

经 $s_1 = 1 \text{ 米}$ 后从 B 点起进入电场(图 121).试画出小球从运动开始后的速度—时间图象. $g = 10 \text{ 米/秒}^2$.

分析 释放后小球在电场外 AB 部分滑动时,受到两个恒力的作用:重力和杆的弹力,其合力 $mg \sin \alpha$ 沿杆向下,小球做匀加速运动.进入电场后,又受到一个恒定的电场力 Eq ,其方向水平向左,一方面增加了对杆的压力,同时形成一个沿杆向上的分力 $Eq \cos \alpha$,它大于重力的分力 $mg \sin \alpha$.将使小球做匀减速运动.可见, B 点就是下行过程中加速运动变为减速运动的转折点,沿杆匀

减速至速度为零处(设 C 点),就是小球能在电场中滑行的最远处.在 C 点小球的瞬时速度 $v_C = 0$,但加速度不等于零.因为电场力沿杆向上的分力大于重力沿杆向下的分力,于是小球又沿杆向上做匀加速运动,至 B 点速度又达最大值,然后离开电场,速度又逐渐减小.这样, B 点又是上行过程中由加速运动变为减速运动的转折点.至速度减为零后,小球又沿杆下滑.以后又如此往复下去.小球在这往复运动中速度、加速度都有变化,它们的正方向必须有统一规定.

解答 假设沿杆向下的方向为正方向.小球在电场外 AB 段的加速度

$$a_1 = g \sin \alpha = 10 \times \frac{1}{2} \text{ 米/秒}^2 = 5 \text{ 米/秒}^2.$$

小球滑至 B 点的速度

$$v_B = \sqrt{2a_1 s_1} = \sqrt{2 \times 5 \times 1} \text{ 米/秒} = \sqrt{10} \text{ 米/秒}.$$

进入电场后的加速度设为 a_2 ,由

$$mg \sin \alpha - Eq \cos \alpha = ma_2,$$

得

$$\begin{aligned} a_2 &= g \sin \alpha - \frac{Eq}{m} \cos \alpha \\ &= 5 \text{ 米/秒}^2 - \frac{2 \times 10^4 \times \sqrt{3} \times 10^{-5}}{3 \times 10^{-2}} \times \frac{\sqrt{3}}{2} \text{ 米/秒}^2 \\ &= -5 \text{ 米/秒}^2. \end{aligned}$$

表示它的加速度方向沿杆向上.

设滑至 C 点时 $BC = s_2$,由

$$v_C^2 - v_B^2 = 2a_2 s_2,$$

得
$$s_2 = \frac{-v_B^2}{2a_2} = \frac{-10}{2 \times (-5)} \text{ 米} = 1 \text{ 米}.$$

由于小球在电场内外两部分杆上滑行的加速度等值反向,在电场内外滑行的距离相等,所以小球从 A 滑到 B 的时间等于它从 B 滑到 C 的时间,也等于从 C 滑到 B 的时间或从 B 滑到 A 的时间,即均为

$$t = \sqrt{\frac{2s_1}{a_1}} = \sqrt{\frac{2 \times 1}{5}} \text{ 秒} = 0.63 \text{ 秒}.$$

它的运动情况和 $v-t$ 图如图 122 所示.

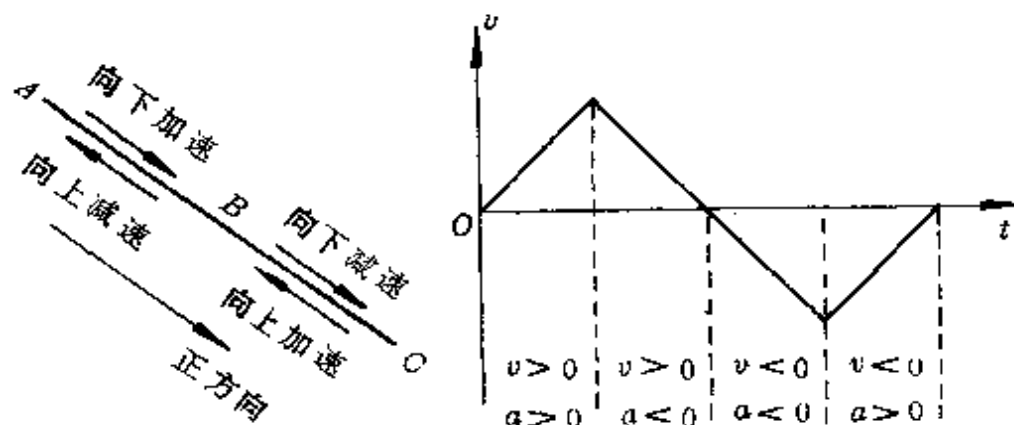


图 122

(4) 临界状态假设的应用

例 1 一台塔式起重机,自重 $W = 6 \times 10^5$ 牛,重心在 O 点,最大起重量是 $P_m = 3 \times 10^5$ 牛,其结构尺寸如图 123 所示.为了使起重机在运货时和不运货时都不翻倒,所需的平衡重物(配重) Q 应当是多少?

分析 由于重心位置 O 在起重机底座外,即使不运货时,也会绕门脚 A 顺时针倾倒,因此必须加配重 Q. 配重数量的确定,必须保证起重机在运货和不运货时以两门脚为转轴处于临界平衡状态.

解答 运货时,货物对起重机的拉力和起重机的重力都有使起重机绕门脚 A 顺时针向转动的趋势.当起重量达最大值时,绕

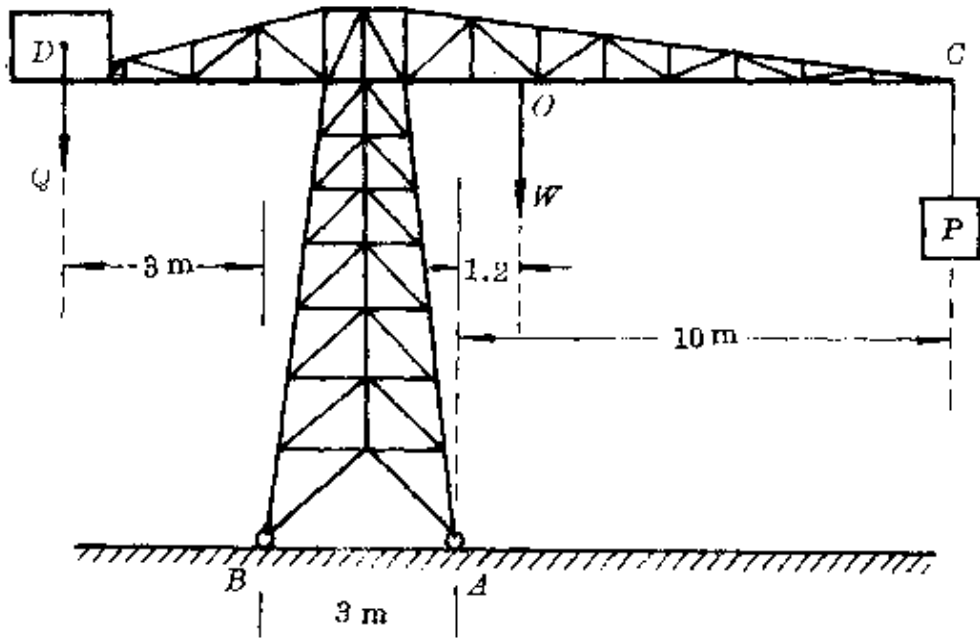


图 123

门脚 A 顺时针向的力矩最大,因此,最小配重必须以配重使起重机绕门脚 A 逆时针向转动的力矩能平衡上述顺时针向力矩为临界条件,由力矩平衡方程

$$W \cdot AO + P \cdot AC = Q_{\min} \cdot AD,$$

即 $6 \times 10^5 \times 1.2 + 3 \times 10^5 \times 10 = Q_{\min} \times (3 + 3),$

得 $Q_{\min} = 6.2 \times 10^5 \text{ 牛}.$

为了保证不运货时起重机不翻倒,最大配重又必须以它使起重机绕门脚 B 逆时针向转动的力矩恰平衡起重机的重力绕门脚 B 顺时针向的力矩为临界条件,同理由力矩平衡方程

$$Q_{\max} \cdot BD = W \cdot BO,$$

即 $3 \times Q_{\max} = 6 \times 10^5 \times (3 + 1.2).$

得 $Q_{\max} = 8.4 \times 10^5 \text{ 牛}.$

所以,起重机安全运行时配重的取值范围是

$$6.2 \times 10^5 \text{ 牛} < Q < 8.4 \times 10^5 \text{ 牛}.$$

例2 质量 $m_1 = 10$ 千克、 $m_2 = 5$ 千克的两木块通过滑轮放在小车的顶面和靠在侧面上, 它们和顶面及侧面间的摩擦因数均为 $\mu = 0.4$, 取 $g = 10$ 米/秒². 当小车以加速度 $a = 5$ 米/秒² 沿水平轨道右行时, 下列判断中正确的是(图 124)

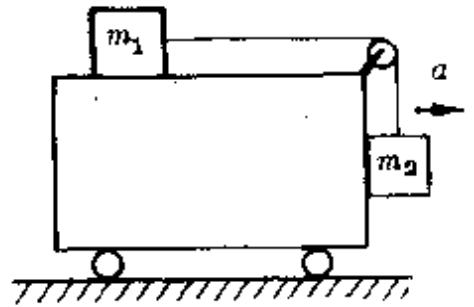


图 124

- A. m_1 不受摩擦力作用;
- B. m_2 受到摩擦力作用;
- C. 绳中张力等于 50 牛;
- D. m_1 的加速度不等于 5 米/秒²;
- E. m_2 的加速度等于 5 米/秒².

分析 如果分别对 m_1 、 m_2 列出牛顿第二定律的方程式, 通过直接计算后去选择, 会有较大的困难. 由于小车自身的加速运动, 须把 m_1 、 m_2 相对于车的运动转化为对地面的运动, 计算很复杂, 为此可采用临界假设法.

解答 假设两物体相对于小车静止时, 小车的加速度为 a' . 设此时绳中的张力为 T , 由 m_2 的平衡条件得

$$T = m_2 g = 5 \times 10 \text{ 牛} = 50 \text{ 牛}.$$

对 m_1 而言, 由绳中张力产生水平向右的加速度, 根据牛顿第二定律

$$T = m_1 a',$$

得
$$a' = \frac{T}{m_1} = \frac{50}{10} \text{ 米/秒}^2 = 5 \text{ 米/秒}^2.$$

即
$$a' = a.$$

可见,当小车以 $a = 5 \text{ 米/秒}^2$ 加速度右行时,两物体确与小车处于相对静止状态,两物体都不受摩擦力作用,绳中张力为 50 牛,所以正确答案为 A、C、E.

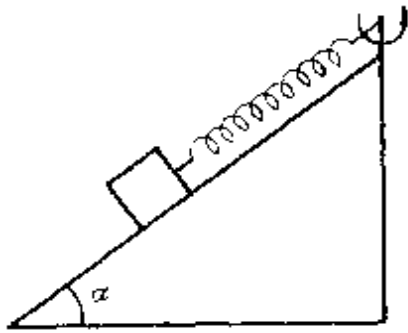


图 125

例 3 如图 125 所示,在倾角 $\alpha = 30^\circ$ 的光滑斜面体顶点处固定一长 $l_0 = 20$ 厘米的轻弹簧.当弹簧另一端与放在光滑斜面体上质量 $m = 2$ 千克的物体相连后,弹簧的长度变为 $l_1 = 25$ 厘米,现使斜面体带着物体一起绕竖直轴旋转,试问,当转速 $n = 70$ 转/分时,弹簧的长度

为多少? 取 $g = 10 \text{ 米/秒}^2$. 设弹簧始终在弹性限度内.

分析 物体与斜面体一起转动时,斜面体对物体的支持力会随着转速的增大而减小,当转速超过某一限值时,物体会脱离斜面体.为了正确确定物体做圆运动时的受力情况,必须先找出使斜面支持力为零时的临界转速.

解答 物体静放于斜面上时,由力平衡条件

$$mg \sin \alpha = k(l_1 - l_0),$$

得弹簧的劲度系数

$$k = \frac{mg \sin \alpha}{l_1 - l_0} = \frac{2 \times 10 \times \frac{1}{2}}{0.25 - 0.20} \text{ 牛/米} = 200 \text{ 牛/米}.$$

假设斜面支持力为零的转速为 n_0 ,角速度为 ω_0 .物体仅受重力和弹力作用做匀速圆周运动(图 126).设此时弹力为 T_2 ,弹簧长 l_2 ,由

$$T_2 \sin \alpha = mg,$$

$$T_2 \cos \alpha = m \omega_0^2 l_2 \cos \alpha,$$

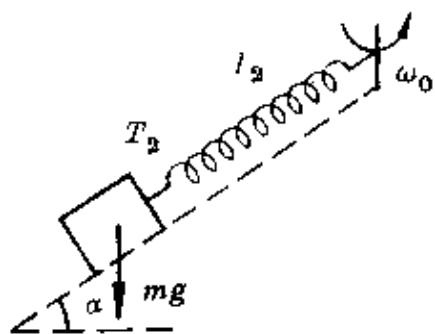


图 126

$$l_2 = \frac{T_2}{k} + l_0.$$

联立得

$$\begin{aligned} \omega_0 &= \sqrt{\frac{kg}{mg + kl_0 \sin \alpha}} \\ &= \sqrt{\frac{200 \times 10}{2 \times 10 + 200 \times 0.2 \times \frac{1}{2}}} \text{秒}^{-1} = \sqrt{50} \text{秒}^{-1}. \end{aligned}$$

对应的转速

$$n_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{\sqrt{50}}{2 \times 3.14} \times 60 \text{ 转/分} = 67.5 \text{ 转/分}.$$

因为 $n > n_0$, 所以题中物体在运动过程中已脱离斜面体做圆锥摆运动. 设物体运动时所受弹力为 T , 弹簧长 l , 弹簧与转轴间夹角为 β (图 127). 同理由

$$\begin{aligned} T \cos \beta &= mg, \\ T \sin \beta &= m\omega^2 l \sin \beta, \\ l &= \frac{T}{k} + l_0. \end{aligned}$$

联立得弹簧长度为

$$l = \frac{kl_0}{k - m\omega^2} = \frac{kl_0}{k - 4\pi^2 n^2 m}$$

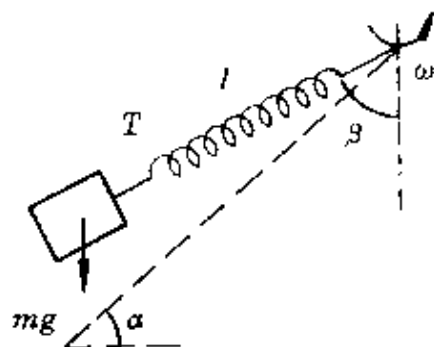


图 127

$$= \frac{200 \times 0.2}{200 - 4\pi^2 \times \left(\frac{70}{60}\right)^2 \times 2} \text{ 米}$$

$$= 0.43 \text{ 米.}$$

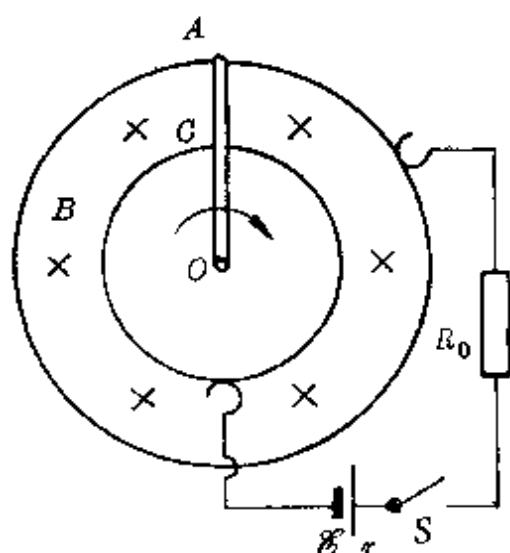


图 128

例 4 在磁感强度为 $B = 1$ 特的匀强磁场中放置两个同心金属圆环, 内、外圆的半径 r_1 、 r_2 分别为 10 厘米和 20 厘米. 用导线把它们与一个电池及保险电阻 R_0 连接, 已知电池电动势 $\mathcal{E} = 2$ 伏, 内阻 $r = 0.5$ 欧, $R_0 = 0.3$ 欧, 电路中最大允许电流 $I_m = 1$ 安, 另有电阻率 $\rho = 1 \times 10^{-6}$ 欧·米的镍铬合金棒 OCA 沿半径方向

向放置在两圆环上, 棒的截面积 $S = 1$ 毫米², 外力驱使该棒以 O 为圆心沿顺时针方向转动并接通电键(图 128), 要使保险电阻不致熔断, 棒的角速度应有何要求?

分析 棒顺时针方向转动时, 产生感应电动势, 相当于一个电源, 由右手定则知 A 点电势比 C 点高, 它与外电路中的电池反串联后共同提供电流, 且必须满足条件 $I < I_m$.

解答 两圆环间 CA 部分的电阻

$$R = \rho \frac{l}{S} = 1 \times 10^{-6} \times \frac{(0.3 - 0.1)}{1 \times 10^{-6}} \text{ 欧} = 0.2 \text{ 欧.}$$

当 OA 棒顺时针向以角速度 ω 转动时, 夹于两圆环之间的导线 CA 产生的感应电动势为

$$\mathcal{E}' = Bl\bar{v} = B(r_2 - r_1) \cdot \frac{\omega(r_2 + r_1)}{2}$$

$$= \frac{1}{2} B\omega(r_2^2 - r_1^2).$$

若棒的转速较小,产生的感应电动势也较小,电路中电流方向由外电路中电源决定,转速临界值(最小值)应满足条件

$$I = \frac{\mathcal{E} - \mathcal{E}'}{R + r + R_0} = I_m,$$

或
$$\mathcal{E} - \frac{1}{2} B\omega_{\min}(r_2^2 - r_1^2) = I_m(R + r + R_0).$$

得
$$\omega_{\min} = \frac{2[\mathcal{E} - I_m(R + r + R_0)]}{B(r_2^2 - r_1^2)}$$

$$= \frac{2[2 - 1 \times (0.2 + 0.5 + 0.3)]}{1 \times (0.3^2 - 0.1^2)} \text{秒}^{-1}$$

$$= 25 \text{秒}^{-1}.$$

若棒的转速较大,产生的感应电动势也较大,电路中电流方向由感应电动势决定,转速的另一个临界值(最大值)应满足条件

$$I = \frac{\mathcal{E}' - \mathcal{E}}{R + r + R_0} = I_m,$$

或
$$\frac{1}{2} B\omega_{\max}(r_2^2 - r_1^2) - \mathcal{E} = I_m(R + r + R_0).$$

得
$$\omega_{\max} = \frac{2[\mathcal{E} + I_m(R + r + R_0)]}{B(r_2^2 - r_1^2)}$$

$$= \frac{2[2 + 1 \times (0.2 + 0.5 + 0.3)]}{1 \times (0.3^2 - 0.1^2)} \text{秒}^{-1}$$

$$= 75 \text{秒}^{-1}.$$

所以,为不使保险电阻熔断,棒的角速度必须满足条件

$$25 \text{秒}^{-1} \leq \omega \leq 75 \text{秒}^{-1}.$$

例 5 用折射率 $n = 2$ 的透明材料做成一个直角棱镜,如图 129 所示.要求垂直于任一直角边的人射光线都能在斜边上发生

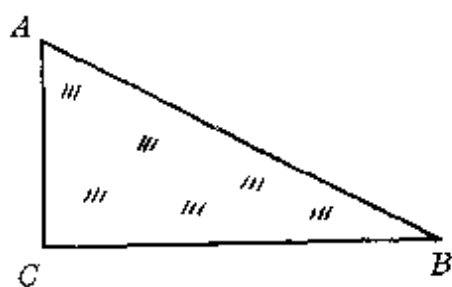


图 129

全反射,角 B 的大小为多少?

分析 垂直 AC 、 BC 的入射光线射至斜边时的入射角分别为 $(90^\circ - B)$ 和 B ,如图 130 所示.要求发生全反射,对应的入射角至少必须等于临界角.

解答 垂直 AC 面入射的光射至

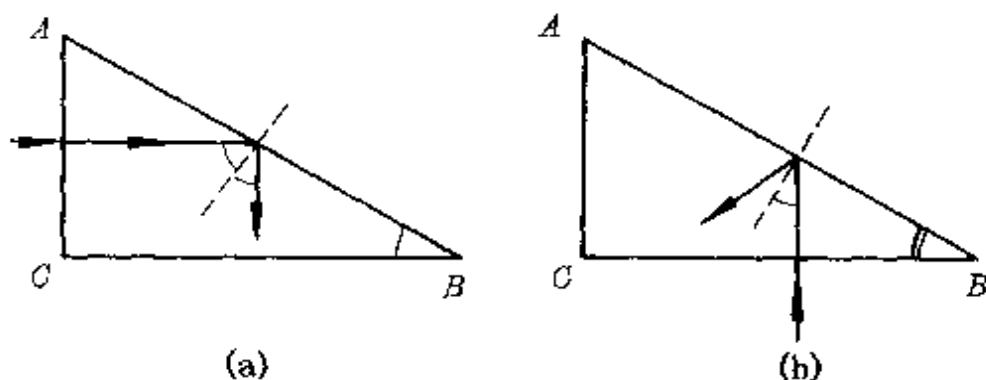


图 130

斜边 AB 时的入射角为 $(90^\circ - B)$.要求恰发生全反射,由折射定律结合光路可逆原理得

$$\sin(90^\circ - B) = \frac{1}{n} = \frac{1}{2},$$

或 $\cos B = \frac{1}{2}.$

得临界角 $B = 60^\circ.$

如果 B 角大于 60° ,在 AB 边的入射角小于 30° ,不能发生全反射.因此 B 角必须小于或等于 60° ,从 AC 边垂直入射的光才能在 AB 边发生全反射.

垂直 BC 面入射的光射至斜面 AB 时的入射角为 B ,同理由

$$\sin B = \frac{1}{n} = \frac{1}{2},$$

得临界角 $B = 30^\circ.$

如果 B 角小于 30° , 在 AB 边的入射角小于 30° , 也不能发生全反射.

所以, 从任一直角边垂直入射的光都能在斜面上发生全反射, B 角的大小应满足条件

$$30^\circ \leq B \leq 60^\circ.$$

(5) 极端情况假设的应用

例 1 如图 131 所示, 用三根细线 AO 、 BO 、 CO 悬挂一个电灯. 现保持 BO 处于水平状态不变, 使 AO 线跟竖直方向间夹角 θ 从很小变到 90° 的过程中, AO 、 BO 两线中的拉力 T_1 、 T_2 的变化情况是

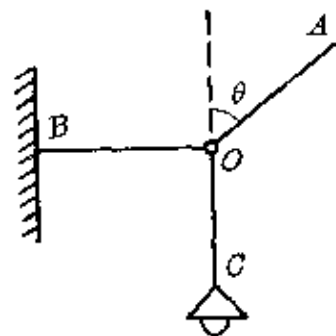


图 131

- A. 都增大; B. 都减小;
- C. T_1 由小增大, T_2 由大减小;
- D. T_1 由大减小, T_2 由小增大.

分析 常规的方法是找出 T_1 、 T_2 跟 θ 的函数关系. 设灯重为 G . 由共点力平衡条件

$$T_1 \cos \theta = T_3 = G,$$

$$T_1 \sin \theta = T_2.$$

得
$$T_1 = \frac{G}{\cos \theta}, T_2 = G \tan \theta.$$

因为当 θ 增大时, $\cos \theta$ 减小, $\tan \theta$ 增大, 所以 T_1 和 T_2 都增大.

若采用极端假设法, 不必列式就可直接判知.

解答 假设 θ 取极端值 0° , 则 $T_1 = G$ 、 $T_2 = 0$. 再假设 $\theta \rightarrow 90^\circ$, 为平衡小灯的拉力, T_1 、 T_2 都必须很大 (仿佛体操运动员作十字悬垂). 可见, θ 从 0° 增至 90° 过程中, T_1 、 T_2 都增大. 正确答案为 A.

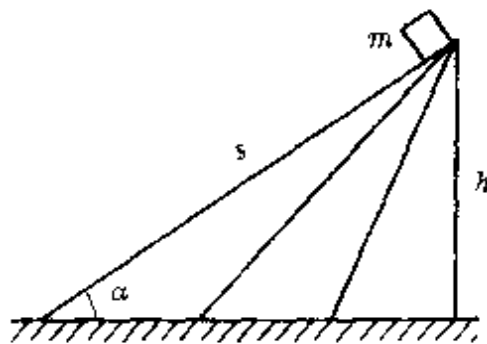


图 132

例 2 一个质量为 m 的物体由静止开始从斜面顶端下滑, 物体与斜面间的动摩擦因数为 μ . 保持斜面高 h 一定, 改变倾角 α (图 132). 在下列三情况下滑到底端时间最短的是

A. $\alpha = 30^\circ$; B. $\alpha = 45^\circ$; C. $\alpha = 60^\circ$.

分析 常规的方法是先根据牛

顿第二定律求出物体沿任意倾角 α 的斜面下滑的加速度

$$a = g \sin \alpha - \mu g \cos \alpha.$$

然后由运动学公式得物体的下滑时间

$$t = \sqrt{\frac{2s}{a}} = \sqrt{\frac{2h/\sin \alpha}{g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha)}}.$$

由于上式中 t 随 α 的变化关系难作直观判断, 可分别以 $\alpha = 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ 代入计算后选出正确答案为 C.

上面的方法较麻烦, 可改用极端假设法.

解答 题中 α 角的取值范围是 $0^\circ \sim 90^\circ$. 假设 α 取极端值 90° , 物体变成自由下落, 时间 $t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$. 再假设 $\alpha \rightarrow 0^\circ$, 斜面将无限延伸, 下滑时间 $t \rightarrow \infty$. 可见, 物体的下滑时间随 α 角的增大而减少, 题中情况是 $\alpha = 60^\circ$ 时滑行时间最短, 所以正确答案为 C.

例 3 一冰块中含有部分泥砂, 冰块浮在盆中水面上, 当温度升高冰熔化后, 盆中水面的高度

A. 升高; B. 降低; C. 不变.

分析 冰块浮在水面上, 冰块受到的浮力 F 一定等于冰和泥砂的总重力. 用 $V_{\text{冰}}$ 、 $V_{\text{砂}}$ 、 $V_{\text{排}}$ 分别表示冰的体积、泥砂的体积和浮在水面时的排水体积, 用 $\rho_{\text{冰}}$ 、 $\rho_{\text{砂}}$ 、 $\rho_{\text{水}}$ 分别表示冰、砂和水的密度.

由浮体平衡条件

$$\rho_{\text{水}} g V_{\text{排}} = \rho_{\text{冰}} g V_{\text{冰}} + \rho_{\text{砂}} g V_{\text{砂}},$$

得

$$V_{\text{排}} - \frac{\rho_{\text{冰}}}{\rho_{\text{水}}} V_{\text{冰}} = \frac{\rho_{\text{砂}}}{\rho_{\text{水}}} V_{\text{砂}}.$$

上式中 $\frac{\rho_{\text{冰}}}{\rho_{\text{水}}} V_{\text{冰}}$ 就是冰熔化后变成水的体积,因此等式左方表示冰块原来没入水中部分的体积跟冰块熔化成水的体积之差,等式右方 $\frac{\rho_{\text{砂}}}{\rho_{\text{水}}} V_{\text{砂}} > V_{\text{砂}}$,所以等式左边的体积差大于冰块中所包含的砂石的体积,冰块熔化后,砂石下沉,盆中水面也将下降一些.答案为 B.

上面的结果是通过计算得出的.如果运用极端假设法可以不必计算而立即选出正确答案.

解答 因为泥砂在冰的内部,它所处的位置并不影响排水体积的多少,所以可取一个极端情况.假设泥砂集中在冰块的最下部,并仅被极薄的一层冰所包围或设想用一根极细的线悬挂在冰块下面,如图 133 所示.显然,由于含有泥砂,上部冰所沉入水中的体积比不含泥砂时会多一些.

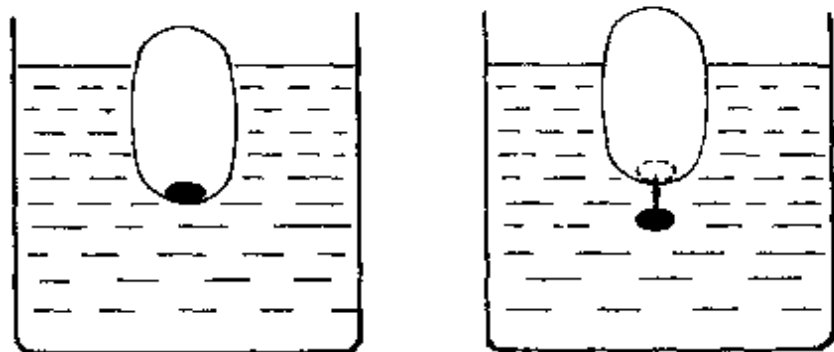


图 133

温度升高时,不含泥砂的冰块融化成的水的体积恰好跟原来冰块的排水体积相同.含有泥砂后,冰融化后,泥砂下沉,冰融化成水的体积却将比原来的排水体积小,所以容器中的水面会下降,立即可得正确答案为 B.

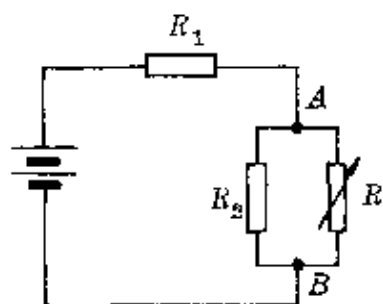


图 134

例 4 在图 134 所示的电路中,当可变电阻 R 的阻值增大时,

- A. AB 两点间的电压 U 增大;
- B. AB 两点间的电压 U 减小;
- C. 通过 R 的电流 I 增大;
- D. 通过 R 的电流 I 减小;
- E. 通过 R 的电流 I 不变.

分析 常规的推理方法如下:

R 的阻值增大—— AB 间并联总电阻增大——整个电路的外电阻增大——根据闭合电路欧姆定律,总电流 I 减小—— AB 部分分配的电压增加 ($U_{AB} = \mathcal{E} - Ir - IR_1$)——通过 R_2 的电流强度增大 ($I_{R_2} = \frac{U_{AB}}{R_2}$)——通过 R 中电流减小 ($I_R = I - I_{R_2}$).

正确答案为 A、D.

这个方法的关键是:抓住各部分之间的相互影响.因为全电路中某一部分发生了变化,会使各部分的电流、电压都发生变化,可谓“牵一发而动全身”.因此在判断上很严谨,但往往较麻烦.现改用极端情况假设法进行判断.

解答 假设 R 的阻值增到无穷大, R_{AB} 达最大, U_{AB} 也达最大,而 R 中电流趋于零.立即可选得 A、D.

例 5 根据光在真空(或空气)和介质间的折射定律,试证光在两种介质间发生折射时,满足条件

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 .$$

式中 n_1 、 n_2 、 θ_1 、 θ_2 分别为两种介质的折射率和入射角或折射角 (图 135).

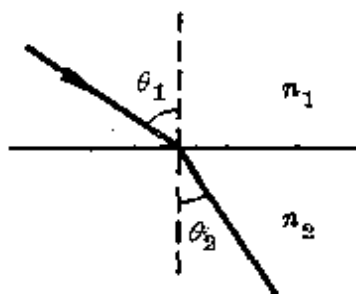


图 135

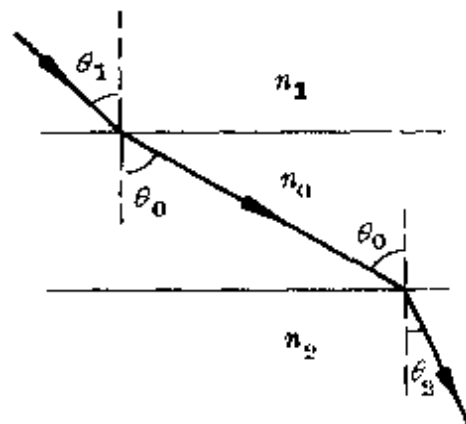


图 136

分析 为了利用光在介质和真空(或空气)间的折射定律寻找出光在两种介质间的折射规律,可设想在两透明介质间有一层空气,然后从空气层的厚度趋于零的极端情况得出结论.

解答 设光从一种介质(折射率为 n_1)透过空气层(折射率为 n_0)进入另一种介质(折射率为 n_2)时的入射角、折射角依次为 θ_1 、 θ_0 、 θ_0 、 θ_2 (图 136).

由折射定律和光路可逆原理得

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_0} = \frac{n_0}{n_1}, \quad \frac{\sin \theta_0}{\sin \theta_2} = \frac{n_2}{n_0} .$$

两式相乘得 $\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{n_2}{n_1} .$

即 $n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 .$

由于上述关系与空气层的厚度无关,因此在空气层厚度趋向于零的极端情况下,即当光从一种透明介质直接折射进另一种透明介质时,上述关系同样成立.

这个关系称为折射定律的斯涅耳形式,它比用比例形式更容易记忆.

例6 一圆环的半径是 R , 均匀分布着电量为 Q 的正电荷, 试求圆环轴线上离环心距离为 d 的 P 处的电场强度(图 137).

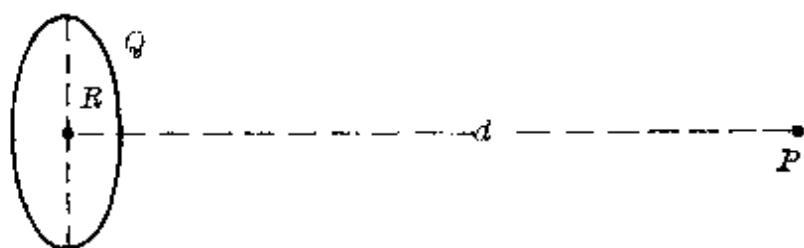


图 137

解答 假设将圆环分成 n 个很小的等分, 每一等分的电量 $q = \frac{Q}{n}$. 当 n 足够大时, 每一等分小段可以看作一个点电荷. 它们在 P 点产生的电场强度都可分解成沿着轴线和垂直轴线的两个分量, 如图 138 所示.

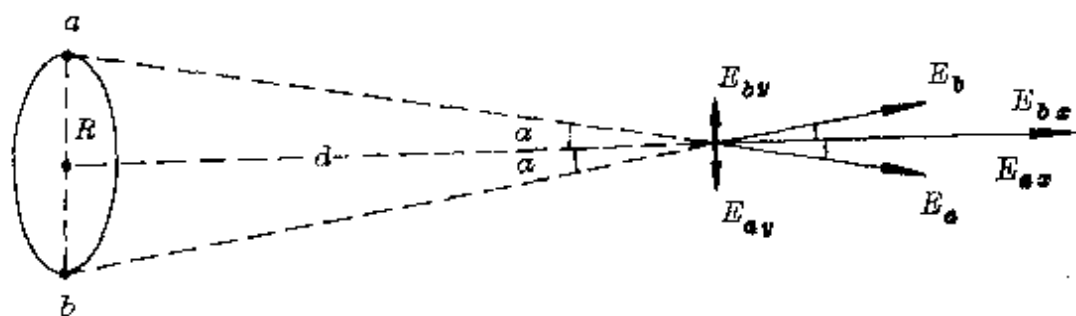


图 138

因为每一条直径两端的两个等分小段的电荷在 P 点产生的电场强度的垂直分量都成对地互相抵消, 所以在 P 点的电场强度就等于各等分小段水平分量之和, 即

$$\begin{aligned} E_p &= E_{ax} + E_{bx} + E_{cx} + \dots \\ &= E_a \cos \alpha + E_b \cos \alpha + E_c \cos \alpha + \dots \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= n \cdot k \frac{q}{(R^2 + d^2)} \cdot \frac{d}{\sqrt{R^2 + d^2}} \\
 &= k \frac{dQ}{(R^2 + d^2)^{3/2}}.
 \end{aligned}$$

检验 上面的计算结果是否正确,可用极端假设法作一检验.

(1)取极端值 $R \rightarrow 0$, 上式变为 $E_p = k \frac{Q}{d^2}$. 这就是点电荷场强公式. $R \rightarrow 0$ 时, 整个圆环收缩成一个点电荷, 完全合理.

(2)取极端值 $d = 0$, 由上式得 $E_p = 0$. 这个结果也是显而易见的. 因为 $d = 0$ 处就是圆环的中心, 每一条直径两端的电荷在中心形成的场强正好等值反向, 叠加的结果为零.

通过对这个极端值的讨论, 已基本可判定上面解得的结果是合理的.

(6) 黑盒问题的猜想

物理学中的“黑盒”是指一个内部结构未知或没有完全确定的系统. 如这个系统都是由一些电学元件(电池、电阻器、电容器、电感器, 二极管、电灯、开关、导线等)组合的, 称为电学黑盒, 它通常有几个外接引线. 如这个系统都是由一些光学元件(平面镜、凹面镜、凸面镜、全反射棱镜、三棱镜、平行透明板、凸透镜、凹透镜等)组成的, 称为光学黑盒. 这是中学物理中最为常见的两类黑盒.

由于黑盒的内部结构不清楚, 在无法打开或不允许打开黑盒的情况下, 我们只能通过它表现的外部特征, 对黑盒的内部结构作一些猜想、假设, 然后通过校正, 加以完善、确定. 因此求解黑盒问题的基本思路是:

①有目的地向黑盒输送一定的信息(如接入一个电表, 送入一

个电信号,输入一束光等),观察黑盒对输入信息的反应,收集黑盒的输出信息;

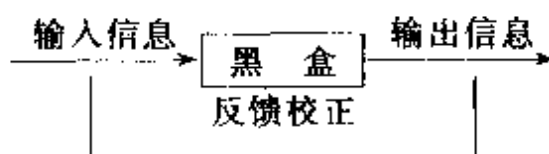
②根据各有关元件(如电学元件或光学元件)的特性,对黑盒(或盒中某一部分)的结构作出初步猜想;

③改变输入的信息,根据收集到的输出信息,校正初步的猜想;

④通过输入、输出信息多次的反馈校正,直到对黑盒内部结构所作出的判断完全符合黑盒所表现的特性为止,最后确定内部结构.

由于根据黑盒的输出信息作出的判断与猜测方向有关,因此许多情况下黑盒问题的解不是惟一的.

上述过程概括起来可简单表示如下:



显然,黑盒问题带有一定的猜想性,但这种猜想必须是在符合一定外部特性下所作出的有方向的猜想,决不是胡猜乱想.

下面,通过几个黑盒问题的研究,说明猜想在黑盒问题中的应用.



图 139

例 1 有一个电学黑盒,内部只有几个电阻,外部有 A 、 B 、 C 、 D 四个接线柱(图 139).用多用表欧姆挡测量各接线柱间电阻值的结果如下表所示.试判断盒内的最简结构.

步骤	两表笔接入的接线柱	表针偏转情况
(1)	A、B	满偏
(2)	A、C	半偏
(3)	C、D	偏转 $\frac{1}{4}$

分析 因为多用表的电阻挡由表内电池提供一个测试电流, 所以接入多用表相当于输入一个信息, 所对应的输出信息就是表针的偏转情况.

步骤 1 多用表两表笔接 A、B 两端, 表针满偏, 表示 $R_{AB} = 0$, AB 间必有导线直接相连. 对 A、B 间的情况可初步判断如图 140 所示.

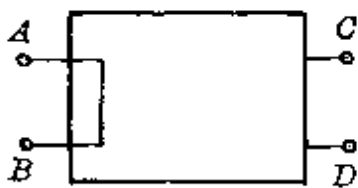


图 140

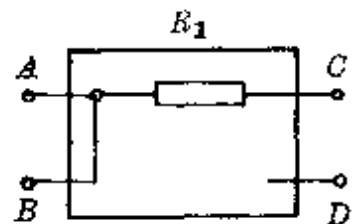


图 141

步骤 2 两表笔接 A、C 两端, 表针半偏, 由多用表原理知, 此时通过电表电流

$$I_{AC} = \frac{\mathcal{E}}{R_{\text{中}} + R_{AC}} = \frac{1}{2} I_g,$$

式中 \mathcal{E} 为表内电池电动势, $R_{\text{中}}$ 为中值电阻 (即该挡时调零电阻、表头内阻、电池内阻之和), I_g 为满偏电流. 因为 $I_g = \frac{\mathcal{E}}{R_{\text{中}}}$, 代入上

式知

$$R_{AC} = R_{\text{中}}.$$

表示 A、C 间应接入一个等于多用表该挡位时中值电阻阻值的电阻, 设为 R_1 , 于是盒内结构又可猜想为如图 141 所示.

步骤3 两表笔接 C 、 D 两端, 表针偏转 $1/4$, 同理由

$$I_{CD} = \frac{\mathcal{E}}{R_{\text{中}} + R_{CD}} = \frac{1}{4} I_g = \frac{1}{4} \frac{\mathcal{E}}{R_{\text{中}}},$$

得

$$R_{CD} = 3R_{\text{中}}.$$

表示 C 、 D 间应接入一个等于多用表该挡时中值电阻值 3 倍的电阻, 设为 R_2 . 所以, 最后得出盒中的最简结构应如图 142 所示或如图 143 所示. 此时 $R_2' = 2R_{\text{中}}$.

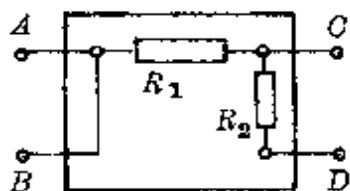


图 142

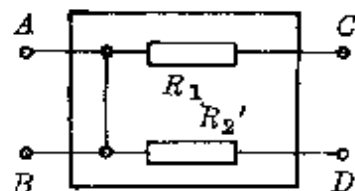


图 143

如果已知多用表测量时的挡位(如 $R \times 10$ 欧)和面板中心刻度值(如中心值为 6), 则上面算得的 $R_1 = 6 \times 10$ 欧 = 60 欧, $R_2 = 3 \times 60$ 欧 = 180 欧(或 $R_2' = 120$ 欧). 如判断时直接给出阻值, 则不必计算.

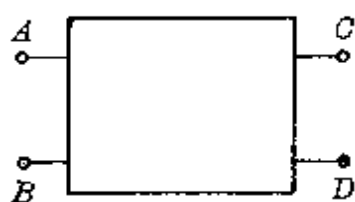


图 144

例 2 一个电学黑盒内有三节相同的干电池和导线, 外面有四个接线柱 A 、 B 、 C 、 D (图 144). 用电压表测量任意两点间电压的结果如下: $U_{AC} = 0$, $U_{BD} = U_{AB} = U_{CB} = 1.5$ 伏, $U_{AD} = U_{CD} = 3$ 伏. 试画出盒内电池的结构方式.

分析 接入一个电压表也可看作输入一个信息, 其输出信息就是电压示数.

由测量结果 $U_{AC} = 0$, 表示 A 、 C 两接线柱间可能有三种情况:

(1) A、C 两接线柱间被导线短路；

(2) A、C 两接线柱间断开；

(3) A、C 两接线柱间接入两节反串连的电池. 对应这三种猜想的电路如图 145 中(a)、(b)、(c)所示.

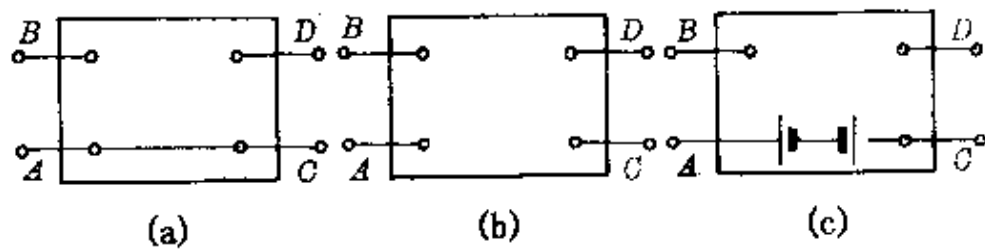


图 145

由测量结果 $U_{BD} = U_{AB} = U_{CB} = 1.5$ 伏, 表示这里的每两端间只能有单独的一节电池或并联的几节电池. 且 B 点电势比 D 点高, A 点电势比 B 点高, C 点电势比 B 点高, 猜想的可能排列如图 146 所示.

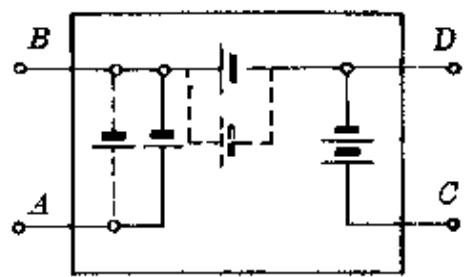


图 146

考虑到只有三个电池, 结合测量结果(1), 校正原来的猜想得方案如图 147 中(a)、(b)、(c)所示.

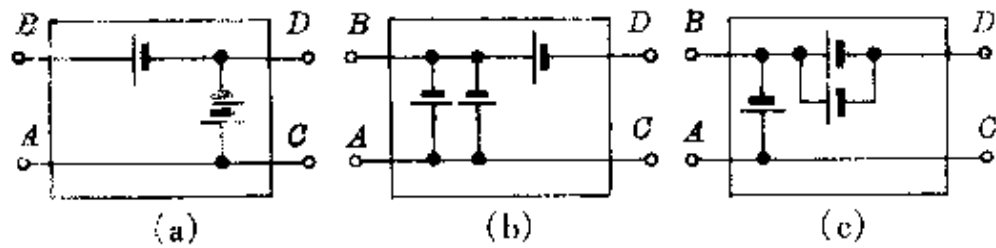


图 147

由测量结果 $U_{AD} = U_{CD} = 3$ 伏, 对图 147 的结果检验合理. 所以, 这个黑盒中三个电池的结构方式如图 147 所示有三种可能(如不考虑电势差的正负时还可以有其它可能).

例 3 一个电学黑盒, 有 A、B、C、D 四个接线端(图 148). 用

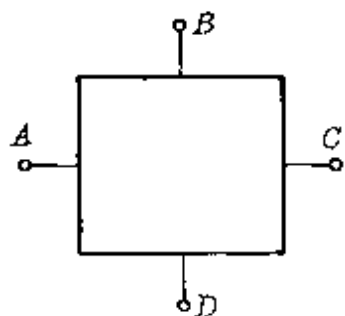


图 148

多用表电压挡和电阻挡作三次测量,结果如下: $U_{AB} = U_{AC} = U_{AD} = 1.5$ 伏; $U_{BC} = U_{BD} = U_{CD} = 0$, $R_{BC} = 3$ 欧、 $R_{BD} = 4$ 欧、 $R_{CD} = 5$ 欧.试判断盒内最简结构.

分析 根据输入、输出的信息,推理如下:

(1)由电压测量 $U_{AB} = U_{AC} = U_{AD} = 1.5$ 伏, $U_{BC} = U_{BD} = U_{CD} = 0$. 表示 B 、 C 、 D 三点等电势, A 点电势比它们均高出 1.5 伏. 最简情况下, 盒内只有一节电池, 其正极端接到接线柱 A , 在 B 、 C 、 D 三点间没有电池. 盒中部分结构如图 149 所示.

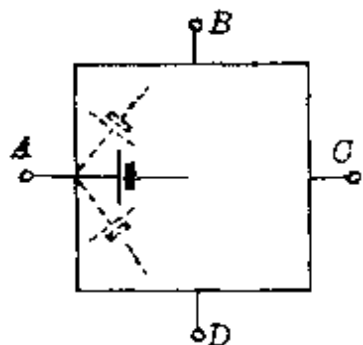
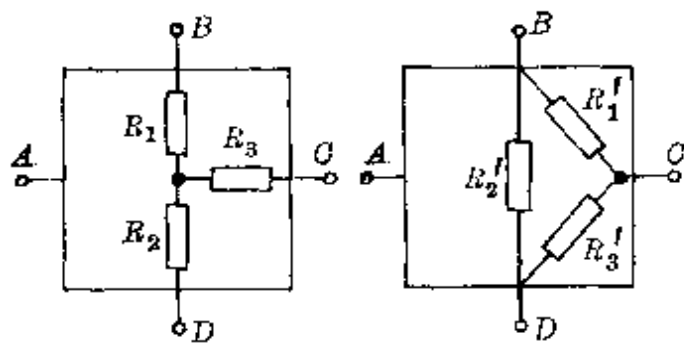


图 149



(a)

(b)

图 150

(2)由电阻测量知, B 、 C 、 D 三接线端间都有电阻, 其可能最简结构只能如图 150 中(a)、(b)两情况. 根据测量数值可列出关系式.

对图 150 中(a)为:

$$R_1 + R_3 = 3 \text{ 欧},$$

$$R_1 + R_2 = 4 \text{ 欧},$$

$$R_2 + R_3 = 5 \text{ 欧}.$$

联立解得 $R_1 = 1$ 欧, $R_2 = 3$ 欧, $R_3 = 2$ 欧.

对图 150 中(b)为:

$$\frac{R_1'(R_2' + R_3')}{R_1' + (R_2' + R_3')} = 3 \text{ 欧},$$

$$\frac{(R_1' + R_3')R_2'}{(R_1' + R_3') + R_2'} = 4 \text{ 欧},$$

$$\frac{(R_1' + R_2')R_3'}{(R_1' + R_2') + R_3'} = 5 \text{ 欧}.$$

联立解得 $R_1' = \frac{11}{3}$ 欧, $R_2' = \frac{11}{2}$ 欧, $R_3' = 11$ 欧.

所以, 盒中的最后结构应如图 151 中几种结构所示.

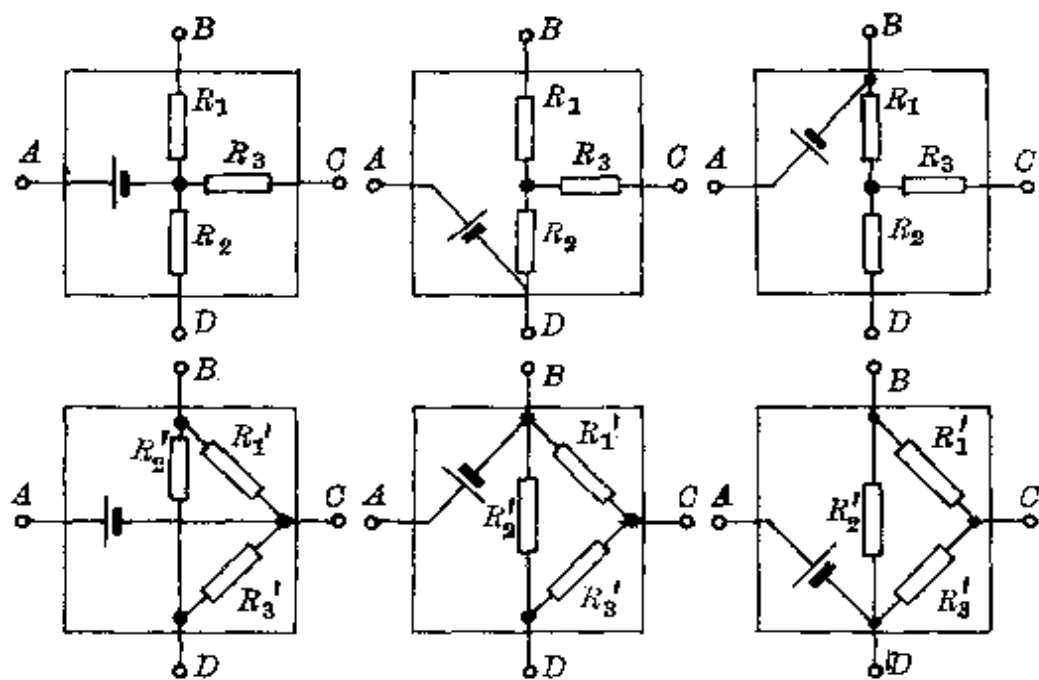


图 151

例 4 一个光学黑盒, 能使入射光束变成如图 152 中(a)、(b)所示的出射光束, 其对应光线分别用 A—A'、B—B' 表示, 试确定黑盒内的光学元件.

分析 这里的人射光束、出射光束就是对黑盒的输入、输出信息.

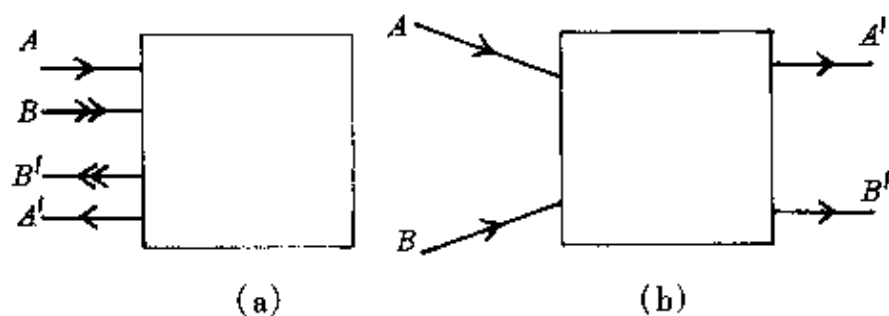


图 152

对图(a), 出射光束位于入射光束同侧, 可猜想其中必有反射光的元件, 如平面镜、球面镜、全反射棱镜等. 根据 A 、 B 两边缘光位置互换的特性, 可推知必经两次反射. 黑盒内可能为两块成 45° 角放置的平面镜或一块全反射棱镜, 如图 153 所示.

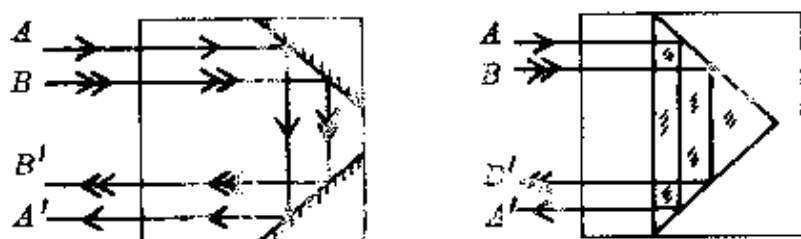


图 153

根据这个道理还可推知, 如入射的平行光在同侧形成一束会聚或发散的光束, 盒中应有凹面镜或凸面镜.

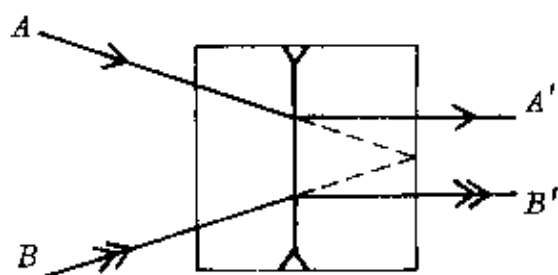


图 154

对图(b), 出射光束位于入射光束另一侧, 盒内必是透光元件. 因为它能使原来的会聚光束变得发散一些(平行光), 最简单情况是盒内有一块凹透镜, 原来的光束恰会聚在它的焦点 F 上, 如图 154 所示.

例 5 一光学黑盒, 其入射光和出射光的对应关系如图 155 所示, 试确定盒内结构.

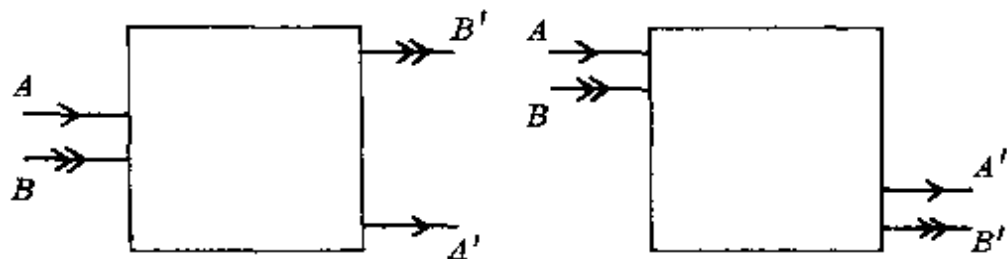


图 155

分析 图(a)中出射光束与入射光束相比的特点是:形成一束上、下位置颠倒,扩展了的平行光束.

如果仅是形成扩展的平行光,利用上题中的结果,根据光路可逆原理,使人射光依次经凹透镜、凸透镜且使两透镜共轴、焦点重合,即可满足条件,如图 156 所示.

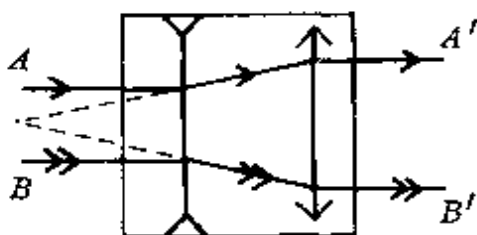


图 156

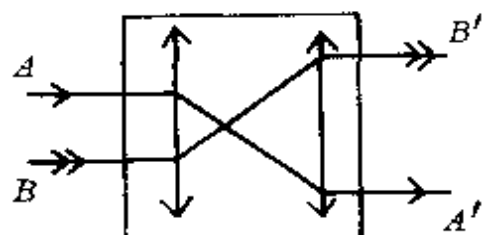


图 157

由于还要求两边缘光位置颠倒,它符合凸透镜成实像的情况,因此可把图 156 中的凹透镜换成凸透镜,即在盒中放两块凸透镜,使它们共轴,并且第一块的后焦点与第二块的前焦点重合,即可满足条件.最后结果如图 157 中所示.

图(b)中的出射光束与入射光束相比,相当于发生平移,根据光学元件的特点,可猜想到其中可能是一块平行透明板,也可能是两块互成 45° 角的平面镜,最后结果如图 158 所示.

黑盒问题的解决很灵活,这里的猜想方向有至关重要的作用.要求能根据黑盒的输出信息,猜想出可靠的判断方向,必须对有关

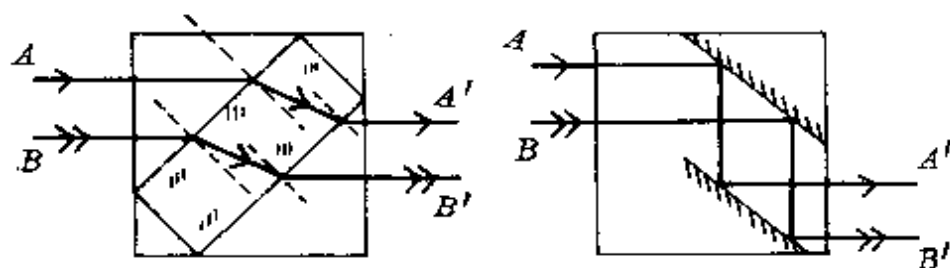


图 158

的电学和光学元件的特性及其规律掌握得较为熟练。

黑盒(或称黑箱)问题的解决有很重要的普遍意义,未知世界就相当一个巨大的黑盒,对未知世界的结构及其规律的探求同样得通过输入的信息,由它作出的反应(输出信息),才能作出种种猜想与假设,并通过不断的反馈校正,揭示出它的真正奥秘。著名的控制论专家艾什比在《控制论导论》一书中说:“所有的事物实际上都是黑箱,并且我们从小到老一辈子都在跟黑箱打交道。”

让我们对未来世界大胆地去猜想、假设吧!

结 束 语

酝酿这个总课题的时候,还在1985年春.多年来,结合教学实践,经过对众多材料的筛选、整理、加工、开掘,并融入了个人的一些体会,写成其中的这本小册子,献给读者.希望能被喜欢,并能逐渐领会猜想与假设这一种重要的思维方法.也借此机会,感谢老一辈物理学家、物理教育家的巨大关怀和热情指导,感谢被引用的参考资料的原作者们.

当代著名的科学哲学家卡尔·波普(Karl Popper, 1902)断言,任何科学理论实质上都是猜想,对猜想与假设的检验,其实是一个“证伪”或否定的过程.被证伪了的就淘汰,取而代之的是一个新的猜想与假设.波普的观点十分精辟地道出了猜想与假设的科学地位.也是本书作者希望把这一种思维方法介绍给读者的动机之一.

把物理学史料与科学研究方法引入到中学物理教学中去,有很大的意义,还有很多工作可做,本书仅是一个方面.愿与广大中学物理教学界的同行们一起努力,希望能得到广大物理教学工作者、中学物理教师与读者们的指正.

作 者

1992年定稿于苏州烟雾楼

主要参考资料

- [1] W. I. B. 贝弗里奇著, 陈捷译《科学研究的艺术》 科学出版社, 1979年2月第1版.
- [2] 陈衡编著《科学研究的方法论》 科学出版社, 1982年5月第1版.
- [3] 栾玉广编著《自然科学研究方法》 中国科技大学出版社, 1986年9月第1版.
- [4] 章士嵘《科学发现的逻辑》 人民出版社, 1986年12月第1版.
- [5] 周昌忠《科学研究的方法》 福建人民出版社, 1983年版.
- [6] 申先甲主编《物理学史教程》 湖南教育出版社, 1987年1月第1版.
- [7] G. L. 特里格《二十世纪物理学的重要实验》 科学出版社, 1982年2月第1版.
- [8] 谭树杰、王华编著《物理学的重大实验》 科技文献出版社, 1987年2月第1版.
- [9] 北京物理学会《物理学史专题讲座汇编》.
- [10] 杨建邨、止戈编著《杰出物理学家的失误》 华中师大出版社, 1986年5月第1版.
- [11] 郑庆璋、崔世治编著《狭义相对论初步》 上海教育出版社, 1981年12月第1版.

[12]雷仕湛编著《漫话光谱》 科学出版社,1985年10月第1版.

[13]徐登里编著《彗星漫谈》 科学出版社,1975年7月第1版.

[14]张维善《原子和原子核物理》 北京教育出版社,1987年11月第1版.

[15]阎康年著《牛顿的科学发现与科学思想》 湖南教育出版社,1989年12月第1版.

[16][美]库珀著,杨基方、汲长松译《物理世界》 海洋出版社,1983年6月第1版.

[17]郭奕玲等编著《近代物理发展中的著名实验》 湖南教育出版社,1990年12月第1版.

[18]张三慧《从伽利略到牛顿》 北京出版社,1988年1月第1版.

[19]肖尚征、刘佳寿著《从古代物理到现代物理》 四川教育出版社,1987年10月第1版.

[20]傅承义编著《地球十讲》 科学出版社,1976年9月第1版.