

精

讲

gaozhong wuli jingjiang

高中物理精讲

二年级



江苏教育出版社

高中物理精讲

(第二册)

江苏省教育学会 中学物理教学研究会
《高中物理精讲》编委会

编委名单(按姓氏笔画排列)

王溢然 朱文章 吴保让 束炳如
陆明德 胡伯良 贾广善 戴恒志

江苏教育出版社

高中物理精讲

(第二册)

江苏省教育学会中学物理教学研究会

《高中物理精讲》编委会

责任编辑 朱宝栋

出版发行:江苏教育出版社

(南京马家街 31 号, 邮政编码: 210009)

经 销:江苏省新华书店

印 刷:淮阴新华印刷厂

(淮阴市淮海北路 44 号, 邮政编码: 223001)

开本 787×1092 毫米 1/32 印张 10.75 字数 235,200

1992 年 2 月第 1 版 1997 年 8 月第 12 次印刷

ISBN 7-5343-1465-8

G · 1299

定价: 8.50 元

江苏教育版图书若有印刷装订错误, 可向承印厂调换

编者的话

当前,许多学生在学习物理时,注意力往往集中于题海之中,一定程度上将会影响学生智能的健康发展。因此,我们感到有必要为学生提供一套既有益于切实帮助学生理解、消化教材内容,又能在中学物理基础上有所拓宽、提高的参考书,希望把学生的注意力从题海中引导到对基本概念、基本规律的深刻理解的正确轨道上来。本书正是本着这样的宗旨编写的。

本书作者都长期工作在中学的教学教研第一线,对教材内容、教学方法都有较深入的研究,对中学生的现状也比较熟悉,能够较为恰当地把握教学要求和重点所在,也能抓住学生中普遍感到困惑的疑难杂症。我们希望能集中各位作者所在地及其本人长期积累的宝贵教学经验和教研体会,一起奉献给读者。

本书在写法上力求区别于教材又源于教材,即大体上按教学大纲的结构体例分章编写,但并没有面面俱到,而是有所选择,有所侧重。

(1)全书以每章重点内容、核心规律或学生感到困难、作者感到有意义的问题为线索加以追踪、剖析、展开、归纳。这些方面的阐释比课本详细、深入,希望能帮助学生透彻理解、牢固掌握。

(2)在有些知识的关键处恰当地加以扩展,并作详细分析。

(3)本书还有机地渗入若干超过现行教材内容或有较深

难度的问题,希望在有助于领会基础知识、扩展学生认识领域的过程中,也有助于发展学生的思维能力。当然,为了照顾广大学生的可读性,这些内容所占的比重较小。

(4)编写中考虑到学生自我练习的需要,每章也附有少量练习题(本书有答案备查)。

全书共分三册,可供高中各年级学生选用。第二册的执笔者为:第九章赵彦升,第十章李启新,第十一章南冲,第十二章贾广善,第十三章李存禄,第十四章岳燕宁,第十五章孙字民。本书的编写出版工作得到江苏省教育学会、江苏教育出版社以及江苏省中学物理教学研究会会员同志们的许多支持和帮助,书中绝大部分插图由王益林同志绘制,在此一并表示谢忱。

高中物理精讲出版数年来,深受广大师生欢迎,已多次再版。热心的读者给出版社和编委会寄来宝贵的意见。在此基础上由贾广善和周久璘老师对本书进行了修改,特别是对每章的思考与练习进行了全面更新,以提高质量。

由于学会对组织编写书稿缺乏经验,又限于编委的水平,书中难免会有错误和不妥之处,请读者使用后予以指正。

最近,教材中的一些物理量的名称和物理量的单位做了一些修改,因时间关系,本书尚未能及时修改,望读者谅解,当尽快按教材要求加以修改。

江苏省教育学会 中学物理教学研究会

《高中物理精讲》编委会

1997年2月

目 录

九、分子运动论·热和功	1
十、气体性质	20
十一、固体和液体的性质、物态变化	93
十二、电场	116
十三、稳恒电流	175
十四、物质的导电性	238
十五、磁场	271

九、分子运动论·热和功

热学研究的是热现象的规律。主要内容有分子运动论、热及能的转化和守恒定律,气体、液体和固体的热学性质。

研究热现象有两种方法:一是从能量的观点来研究,确认热是能的一种形式,叫做热能,并把热能跟其它形式的能联系起来,建立了能的转化和守恒定律;另一种是从物质微观结构的角度来研究,总结出分子运动论规律,从而建立了大量无规则分子运动与宏观热现象的联系,阐明了各种热现象的微观本质。这部分内容还扩展了能的概念,从与物体的宏观运动相联系的机械能扩展到由分子动能和势能决定的物体的内能,并把过去学过的机械能守恒定律扩展到包括内能在内的普遍的能量转化和守恒定律。这部分内容虽然基本上只是作了定性的阐述,但所涉及的物理概念、规律和物理学研究方法,对于进一步学好高中物理,都是十分重要的。

(一)分子运动论的建立

关于物质组成的奥秘,自古以来就是人们探索的重大物理课题。大约在 2500 年前,古希腊的著名思想家德谟克利特,首先提出了物质的微粒结构假设。德谟克利特是一位非常善于观察又肯动脑筋的哲学家,他看到鱼在水中游泳,就考虑到水为什么那么不坚实,可以任鱼游来游去?为什么冰容易打碎,难道冰也不坚实吗?为什么湿衣服晾在室外水容易跑掉?

他想了很久没能想出圆满的答案。据说有一次他在海边散步，看到海岸的沙滩都是由一粒粒微小的沙子组成，于是他就推想到自然界的物质都是由最微小的粒子组成的。他把这些不可分割的粒子称为原子，并认为原子在不停地运动。现在世界上通用原子(Atom)一词就是沿袭古希腊的 Azom (原意为“不可分割”)，这就是古原子论的提出。古原子论的奠基者，除了古希腊的德谟克利特之外，还有印度的耆那教，中国的墨家和公孙龙。这些古代唯物主义哲学思想由于教会、封建势力的干扰和禁锢，曾一度停滞下来。

18 世纪以后，在物理学和化学方面，发现许多事实和定律，例如物理学上的玻意耳-马略特定律，焦耳热功当量实验以及化学上的定比定律和倍比定律等，对于建立物质分子原子结构的观念和分子热运动的概念，提供了科学的基础。物质原子论的学说，又重新被提出来。1658 年，伽森以分子运动的观点，解释了物质的气、液、固三态的区别。1678 年胡克又以气体分子不断碰击器壁的结果，解释了产生气体压强的原因。1738 年物理学家伯努利从胡克的基本假说，算出了气体压强和体积成反比的玻意耳定律，并且根据推导结果指出，这个定律在必须考虑分子本身所占体积的情况下是需要加以修正的，这些结果显示了分子运动假说的正确性。此后罗蒙诺索夫、拉瓦锡、拉普拉斯等提出了热的动力假说，认为物质中的分子处于永不停息的不规则运动之中，物体的热能就是分子不规则运动的动能，所以分子的不规则运动又叫做分子的热运动。热的动力假说是与焦耳实验，能量守恒定律相互支持的。19 世纪初叶，道尔顿和阿伏伽德罗在原子-分子论假说的基础上阐明了化学上的定比定律和倍比定律。上述几方面的工作奠定了物质分子原子结构的基本理论，总结起来，可以认

为：(1)物质是由许多极小的微粒所组成的，这些微粒叫做分子，分子是物质保持其化学性质的最小粒子，分子还可以用化学方法分成更小的微粒，叫做原子。(2)物质中的原子和分子都在作永不停息的热运动。物质的三态主要是以分子力和分子运动状态来区分的。

19世纪60年代，麦克斯韦、克劳修斯、玻耳兹曼等在前人成就的基础上，把物质分子结构理论又发展了一步，开始在物质分子运动论中应用统计的方法。物质是数目巨大的分子的集合。从本质上说，热现象并不是一个分子的表现，而是大量分子集体的表现。所以，尽管我们无法描述气体中每个分子的运动，但运用统计的方法，却能探索有关物质大量分子集体性质的一般统计规律，从而阐明热现象的本质。在分子假说、热的动力假说、统计假说等的基础上，物质分子运动论的内容比较系统化了。根据分子运动论，对于物质的某些现象或性质例如压强、温度、热容量等，不但可以作定性的研究，还可以作定量的研究，其结果在很大程度上都得到实验的验证，这样就使分子运动论得到更进一步的发展。

随后，科学家用实验观测(如 α 质点对金属原子的散射实验)证实了分子和原子的真实性。特别是爱因斯坦、斯莫路绰夫斯基和贝兰对布朗运动在理论上和实验上进行研究的结果，也直接证实了分子运动的真实性，因此分子运动论就成为无可置疑的正确理论。必须指出，分子运动论只是近似地反映了客观事实。二十世纪初期发展的量子理论，已对分子运动论作了重要的修改和补充。

(二)分子运动论的基本内容及实验依据

分子运动论的基本内容：(1)物质是由大量无规则运动的分子所组成；(2)组成物质的分子间存在着空隙；(3)分子间存在着相互作用的斥力和引力，这三点是如何通过实验来证明的呢？下面我们将分别予以介绍。

1. “分子永不停息地做无规则运动”是怎样知道的

空气尘埃在透入门缝的阳光照射下不停运动，虽然能说明分子运动的道理，但是这些微粒极易受到空气流动的影响。扩散现象虽然能直观地显示分子的运动，但扩散过程结束以后，就无法观察到分子的运动。而最能够说明分子运动的特点，即永不停息、无规则和热动性的实验是布朗运动实验。

(1)什么叫布朗运动

布朗运动是1827年由英国植物学家罗拔·布朗在显微镜下观察溶液中的花粉时无意中发现的。布朗采集了克拉属植物的花粉，花粉粒子长四千分之一至五千分之一英寸，它们的形状介于圆柱体和长方体之间，将这种花粉浸入水中，他用显微镜观察花粉在水中的运动。他说“它们的运动，不但是在液体中的位置发生了变化，明显地改变了相互间的相对位置，而且经常改变粒子本身的形状。”接着布朗又说：“反复地观察这些运动后可以说，产生运动的原因既不是液体的流动，也不是缓慢的蒸发，而是粒子本身。”

布朗的观察非常细微，然而却从粒子形状的变化，误认为是由粒子本身引起的。开始他考虑会不会是有机物的某种活力在起作用，后来他又用枯萎的植物花粉、玻璃、花岗石的粉

末以及烟粒子做实验,也观察到这种运动,但一直没有找到引起这种运动的真正原因。当时,尽管一些科学家正在探索物质结构理论,并为此争论不休,但许多人不重视布朗所发现的这一现象,认为这是一种附加运动引起的,如流体的流动,混合时的搅动等。后来的精确实验证明,这种运动和其它附加现象无关,不但有机粒子和无机粒子均出现此现象,而且在一定的溶液中,这种运动很大程度上取决于悬浮粒子的大小。半径越小的微粒运动得越激烈;温度愈高运动得也愈激烈。所有这些,都说明运动既非来自粒子本身,也不是溶液之外的某些作用所引起的。在事实面前,科学家们得出了如下结论:“布朗运动是由于介质中分子撞击悬浮粒子所引起的。”这一结论首先是由科学家尼纳在 1863 年提出,接着 1888 年古依又发现运动只决定于粒子的大小,而与微粒的特性无关,为布朗运动作了正确的定性解释。

(2) 布朗运动的产生原因

按照分子运动论学说,分子在不断地作无规则运动,而且服从统计规律,即分子向各个方向运动的几率相等。为什么我们平时不易观察到布朗运动呢?这是由于我们平时所能看见的物体较大(线度大于 10^{-4} 厘米),其周围物质分子对它碰撞的次数极多,它在各个方向受到碰撞的次数相差不大,因此难以看到布朗运动。但当物质微粒的线度足够小时(不超过 10^{-4} 厘米),介质中的微粒受到碰撞的次数相对较少,微粒受到碰撞出现不平衡的机会亦随之增多,使得微粒产生移动的倾向增大,结果微粒将发生运动。但由于分子运动的无规则性,微粒在某一时刻所受合力是偶然的,从而导致微粒的运动杂乱无章。显然,布朗运动并不是分子运动,但它反映了流体分子的运动。因此,布朗运动揭示了紊乱的分子运动的存在。

我们必须注意：

①布朗运动的产生不是由外界因素引起的。这是因为：第一，不管观察多长时间，布朗运动总不会停止；第二，如果由外界影响引起，那么在同一条件下，观察到的不同颗粒的运动情况应该是相同的，但实验结果并不是这样。

②由布朗运动可以说明微粒受到了来自液体分子的复杂变化的作用力，所以说布朗运动的产生原因完全在于液体分子无规则的运动。

③布朗运动与分子运动不同。分子是那样的小，无法直接去观察它的运动，通过光学显微镜能够看到的只是由大量分子组成的小颗粒的运动，所以布朗运动不是分子运动。但是小颗粒的布朗运动却给我们传递了分子运动的信息。正是由于液体分子的运动才使固体微粒产生布朗运动的。

2. 怎样知道分子间存在着空隙

由布朗运动和扩散现象，可以知道分子之间存在着空隙。如果物体的分子是相互紧靠在一起的，它们就不会有作任何直线运动的自由，就是说它们只能旋转而不能从一个地方移动到另一个地方，因此就不可能有布朗运动，也不可能有扩散现象。我们可以用许多实验和实例来说明这个问题。例如：溴的气体可以扩散到整个屋子里，这现象说明气体分子可以跟相邻的分子离得很远，同时这种气体是在空气中扩散的，这说明了空气的分子跟分子间也有空隙存在。

一切物体当它们所受到的压强增大时，体积就要缩小，压强减小时，体积增大，气体的体积变化最大，液体和固体的体积的变化很小。

一般物体都有热胀冷缩的性质，冷却时物体的体积缩小，

加热时体积膨胀。这些现象都是由于分子间空隙的扩大和缩小而形成的。

如果我们把 50 厘米³ 水和 50 厘米³ 酒精混合,由实验得知,混合后液体的体积只有 97 厘米³,比两种液体混合前的总体积为小。这是由于混合的结果分子的位置有了变动,一部分自由空间被分子占据,混合液体的分子之间空隙减小了,所以总的体积就缩小了。

通过上面的实例,可以证实组成物质的微粒“分子”并不是紧密地挤在一起,彼此之间有一定的距离。

3. 怎样知道分子间存在着相互作用的引力和斥力的

布朗运动和扩散现象都表明分子间存在着空隙,但是为什么把固体分开要用很大的力呢?分开后为什么又不容易结合在一起呢?这说明分子之间有相互作用力的存在。

分子间的作用力与分子间的距离有很大的关系。假使我们要把固体截成两段(例如把一段铅柱截成两半),常需要很大的外力,如果想使截断的地方再结合,在常压下是办不到的。这是因为固体内的分子靠得很近,距离短,吸引力大,要折断它们时必须用很大的力来克服这种引力。折断后再使断面相接触,由于断面上的分子能接触的很少,分子之间的相对距离大,吸引力很弱,不能使两个断面重新结合。但如果把两块纯净的、表面平整的铅块紧压在一起后,可以在铅块下面吊几千克的重物而不致把它们拉开。两个光学透镜粘合时,先把要粘合的表面磨得很光滑,处理干净,再施加一定压力,就可以把它们粘合在一起,这些都是利用分子间的吸引力的作用。实际上分子间的距离如果超过 10^{-9} 米,分子间几乎没有相互作用力。对于大量分子中的每个分子而论,以这个分子为中心,

10^{-9} 米为半径作一球面,只有在球面内的分子对于它才有作用力,这个球形范围叫做分子力的作用球,球半径称为分子力的作用半径。

分子间除了存在吸引力外,还存在着斥力。由固体或液体的体积很难压缩(理想流体是不可压缩的),说明分子之间还存在着相互排斥力。

4. 固体、液体、气体分子运动的比较

从实验知道,随着温度的升高,布朗运动加剧,扩散现象也加快,这表明分子运动的快慢与温度有关系,温度升高,分子的平均速率增大,温度降低,分子的平均速率就减小。因此我们把气体、液体和固体分子无规则运动称为分子的热运动。由于分子间空隙不等和分子的引力不同,所以在气体、液体和固体里分子热运动的情况是不同的。

气体分子间的距离是相当大的,它们之间的相互作用可以忽略。只有当分子互相碰撞时,它们才互相吸引和排斥,才可能改变它们的运动方向和速度,在未与其它分子或器壁碰撞前,均将作匀速直线运动。因为分子间空隙大,气体分子常常通过比较长的路程(分子两次碰撞之间通过的路程称自由程)才和其它分子或器壁碰撞,所以气体分子总是占满它所能达到的空间。

液体的分子比气体的分子靠近得多,分子的自由程也很小,约为 10^{-10} 米。因此它们之间相互吸引力就比气体分子间的相互吸引力大得多,足以使分子在较长时间内与另一些分子保持着相邻的地位,经常可以发生分子与分子的重复碰撞,在这样的条件下,液体分子只可能作振幅较大而方向和周期不定的振动,并且成群地作相对运动。液体分子间的吸引力虽

然足够把分子保持在一定的体积内,但由于液体中的分子可以作相对移动,故液体有流动性而不能保持一定的形状。

固体分子彼此之间的距离比液体分子更为靠近,因为分子间距离小,分子间作用力就更加显著,所以固体分子绝大多数只能在自己的某一平衡位置附近作不规则的振动。这就造成固体不但有一定的体积而且具有一定的形状。在固体中只有极少数具有特别大的动能的分子才能够从一个地方移动到另一个地方,形成扩散现象。

(三) 如何计算分子的大小、数目和质量

1. 阿伏伽德罗常数

1 摩尔任何物质所含的分子数都约为 6.0×10^{23} 个,这个常数称为阿伏伽德罗常数,这是一个非常庞大的数目。譬如在标准状态下,1 厘米³ 的任何气体含有的分子数为

$$N = \frac{6.0 \times 10^{23} \text{ 个}}{22400 \text{ 厘米}^3} = 2.7 \times 10^{19} \text{ 个 / 厘米}^3$$

即 1 厘米³ 的气体中,在标准状态下含有 2.7×10^{19} 个气体分子,假如一个人每次呼出 400 厘米³ 左右的空气,那么,他在一次呼吸中就呼出 10^{22} 个分子。

假如将一把雪中所有的分子都放大到豌豆粒那样大,那么这些雪足够建成一个能覆盖整个地球表面达 300 米厚的雪壳。

2. 如何计算分子大小

1905 年 4 月爱因斯坦所撰写的“分子大小的新测定法”

详细地讨论了液体分子直径的计算方法。不过一般情况下都是用近似法估算分子的直径,这里先作两个假定:一是假定液体或固体分子是紧密排列的,没有空隙,二是假定每个分子都是球体。测出1摩尔某物质的体积,再除以阿伏伽德罗常数,就可以求出该物质分子的体积和直径的估算值。例如,1摩尔水的分子数 N 约为 6.0×10^{23} 个,体积 V 约为 1.8×10^{-5} 米³,则每个水分子的体积约为

$$V_1 = \frac{V}{N} = \frac{1.8 \times 10^{-5}}{6.0 \times 10^{23}} = 3 \times 10^{-29} \text{ 米}^3$$

每个水分子的直径约为

$$d = \sqrt[3]{\frac{6V_1}{\pi}} \approx 4 \times 10^{-10} \text{ 米}$$

油膜法是粗略测定分子大小的方法之一。将油滴滴到水面上,使油在水面上尽可能地散开,从而形成单分子油膜,如果将分子看成球体,单分子油膜的厚度就可以认为等于油分子的直径。先测出油滴的体积 V ,再测出油滴在水面上散开的油膜的面积 S ,就可测出油分子的直径 d 。即

$$d = \frac{V}{S}$$

测定结果表明,分子直径的数量级是 10^{-10} 米。

现在有了能放大二百万倍以上的离子显微镜,用它可以看到钨针针尖上原子分布的图样,并且可以测出钨原子间的距离大约是 2×10^{-10} 米。设想钨原子是一个挨一个排列的,那么就可以认为钨原子之间的距离是 2×10^{-10} 米,这也就是钨原子的直径。

例1 如何估测气体分子和水分子的分子间距?

分析与解 因为1摩尔气体在标准状态下的体积为22.4升 $= 22.4 \times 10^{-3}$ 米³,而1摩尔气体所含分子数为6.02

$\times 10^{23}$ 个,所以每个分子所占有的体积为

$$V_0 = \frac{22.4 \times 10^{-3}}{6.02 \times 10^{23}} \approx 3.7 \times 10^{-26} \text{ 米}^3$$

把这个体积看成一个小立方体,这个小立方体的边长就可看作是两个分子之间的距离,所以每两个气体分子间的平均距离约为

$$r = \sqrt[3]{V_0} = \sqrt[3]{3.7 \times 10^{-26}} \approx 3.3 \times 10^{-9} \text{ 米}$$

同理,由于 1 摩尔水的体积为 18 厘米³,故每个水分子所占的体积为

$$V'_0 = \frac{18 \times 10^{-6}}{6.02 \times 10^{23}} \approx 3 \times 10^{-29} \text{ 米}^3$$

每两个水分子间的平均距离约为

$$r' = \sqrt[3]{V'_0} = \sqrt[3]{3 \times 10^{-29}} \approx 3.1 \times 10^{-10} \text{ 米}$$

由此可见,通常液体分子间的平均距离的数量级跟分子直径相当,即可认为是一个个紧挨着分布的,因此其相互作用力大,压缩性很小。而气体分子间的平均距离的数量级约为分子直径的 10 倍,分子本身体积跟空隙体积相比极小,因此,通常可不考虑分子间相互作用力及其本身的体积而作为理想气体看待。

3. 怎样计算分子的质量

知道了阿伏伽德罗常数,就可以算出分子的质量。水的摩尔质量是 1.8×10^{-2} 千克/摩尔,1 摩尔水中含有 6.02×10^{23} 个分子,所以 1 个水分子的质量为

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{1.8 \times 10^{-2}}{6.02 \times 10^{23}} \approx 3 \times 10^{-26} \text{ 千克}$$

氧的摩尔质量是 3.2×10^{-2} 千克/摩尔,故一个氧分子