

高等学校试用教材

物理学

上册

曹萱龄等编

人民教育出版社

物理学教程第四版

物理学

（上册）

第四版

清华大学出版社

高等学校试用教材

物 理 学

上 册

曹 萱 龄 等 编

人 民 教 育 出 版 社

本书是在1963年王谟显改编的《物理学》基础上编写的。分上、中、下三册出版,上册包括力学、振动与波、分子物理和热力学基础,中册包括电磁学,下册包括波动光学基础、量子物理基础和原子核物理。全书采用国际单位制,并附有思考题、习题及习题答案。

本书为适应有些专业在第一学期开设物理课的需要,在数学运用上采取了逐步提高的方法,如在力学中只应用极限、导数等概念;在分子物理学和热力学基础中,开始用微积分推导公式;在电磁学中,要求学生能用微积分解题。

本书可作为工科院校一般专业的试用教材,也可作为其他院校一些专业的参考书。

高等学校试用教材
物 理 学
上 册
曹 萱 龄 等 编

人民教育出版社出版
新华书店北京发行所发行
人民教育出版社印刷厂印装

开本 850×1168 1/32 印张 11 4/16 字数 271,000

1979年3月第1版 1979年9月第1次印刷

印数 1—55,000

书号 13012·0292 定价 0.98元

前 言

本书是在王谟显改编的《物理学》基础上编写的。它保持了原书的科学性好、系统性强、基本概念阐述清楚、教师易教、学生易学等方面的优点,同时增加了火箭运动、质心、进动、振动的分解、多普勒效应、固体、液体、超导、空间相干性与时间相干性、全息照相原理、激光、基本粒子等新内容,增加了大量例题、思考题和习题,并附有习题答案,便于自学。全书采用国际单位制。

为了适应有些专业在第一学期开设物理课的需要,在高等数学运用上,本书采取逐步提高的方法,如在力学中,只应用极限、导数等概念;在分子物理和热力学基础中,开始运用微积分推导公式;在电磁学中,要求学生能用微积分解题。

本书可作为教学时间为140学时的工科院校一般专业的试用教材,也可供其他院校一些专业的师生参考。

参加本书编写工作的有:曹萱龄(第一篇)、汪永江(第三篇及原子结构、激光和固体能带等)、任鸿耀(第五篇及量子力学基础等)、赖庆辉(第二篇及波和粒子等)、余汝官(第四篇第四、五、六、七章及原子核物理)、徐志纯(第四篇第一、二、三章及基本粒子等),曹萱龄负责总的编写工作。

本书由西安交通大学赵富鑫教授和杭州大学朱福忻教授主审,大连工学院、北京航空学院、福州大学、成都电讯工程学院、西南交通大学和南京化工学院等兄弟院校的同志参加了审查工作,在此表示衷心感谢。由于编者水平有限,时间仓促,本书的缺点一定还很多,希望采用本书的教师、学生和其他读者,随时提出宝贵意见,以便改进。

编 者

1979年1月

目 录

绪论	1
----------	---

第一篇 力 学

第一章 质点运动学	4
§ 1-1-1 参照系	4
§ 1-1-2 位移	5
§ 1-1-3 矢量合成	7
§ 1-1-4 速度	10
§ 1-1-5 加速度	17
思考题	25
习题	26
第二章 牛顿运动定律	29
§ 1-2-1 牛顿运动三定律	29
§ 1-2-2 力学的单位制和量纲	33
§ 1-2-3 力的分析和牛顿定律的应用	37
§ 1-2-4 圆周运动中的向心力	50
§ 1-2-5 惯性系与非惯性系	52
思考题	55
习题	56
第三章 动量原理 动量守恒	61
§ 1-3-1 动量和冲量 动量原理	61
§ 1-3-2 动量守恒定律	64
§ 1-3-3 火箭的运动	67
思考题	70
习题	70
第四章 功与能	73

§ 1-4-1 功 功率	73
§ 1-4-2 动能 动能原理	78
§ 1-4-3 势能(或位能)	82
§ 1-4-4 机械能守恒定律 能量守恒和转换定律	89
思考题	95
习题	96
第五章 刚体转动	100
§ 1-5-1 质心及其运动	100
§ 1-5-2 刚体转动的描述	106
§ 1-5-3 刚体的转动动能 转动惯量	110
§ 1-5-4 力矩	113
§ 1-5-5 转动定律	116
§ 1-5-6 动量矩和冲量矩 动量矩守恒定律	119
§ 1-5-7 进动	123
思考题	126
习题	127
§ 1-5-8 经典力学的适用范围及狭义相对论的概念	131

第二篇 机械振动和机械波

第一章 振动学基础	141
§ 2-1-1 谐振动	141
§ 2-1-2 谐振动中的几个物理量	146
§ 2-1-3 谐振动的能量	153
§ 2-1-4 阻尼振动 受迫振动 共振	154
§ 2-1-5 同方向振动的合成 拍	158
§ 2-1-6 相互垂直振动的合成	163
§ 2-1-7 振动的分解	168
思考题	170
习题	171
第二章 波动学基础	176
§ 2-2-1 机械波的产生和传播	176

§ 2-2-2 波速 波长 波的周期和频率	180
§ 2-2-3 波动方程	183
§ 2-2-4 波的能量 能流	187
§ 2-2-5 惠更斯原理	192
§ 2-2-6 波的反射与折射	195
§ 2-2-7 迭加原理 波的干涉	197
§ 2-2-8 驻波	201
§ 2-2-9 声波与超声波	205
§ 2-2-10 多普勒效应	210
思考题	213
习题	214

第三篇 分子物理和热力学基础

第一章 分子物理	220
§ 3-1-1 分子运动的基本概念	220
§ 3-1-2 理想气体状态方程	224
§ 3-1-3 理想气体的压强	228
§ 3-1-4 理想气体的能量	233
§ 3-1-5 气体分子的速率分布和能量分布	235
§ 3-1-6 能量按自由度均分原则 理想气体的内能	244
§ 3-1-7 分子的平均碰撞次数及平均自由程	248
§ 3-1-8 气体中的迁移现象	252
§ 3-1-9 真实气体	259
§ 3-1-10 相变	267
§ 3-1-11 固体	272
§ 3-1-12 液体	283
思考题	288
习题	291
第二章 热力学基础	297
§ 3-2-1 内能 功 热量	297
§ 3-2-2 热力学第一定律	299

§ 3-2-3 准平衡过程	300
§ 3-2-4 热力学第一定律在理想气体的四种过程中的应用	302
§ 3-2-5 循环过程	314
§ 3-2-6 卡诺循环	318
§ 3-2-7 热力学第二定律	324
思考题	332
习题	335
附录	340
I 国际单位制七个基本单位的定义	340
II 基本物理常数表	341
III 习题答案	342

绪 论

物理学是一门自然科学,自然科学所研究的对象,就是我们周围物质世界的客观属性和物质运动的规律。所谓物质,就是我们周围所有的客观实在。日月星辰,山川草木,飞禽走兽,各种气体、液体、固体,组成物体的分子、原子、电子、质子和中子,光、电磁场等都是物质。一切物质都在永恒不停地运动,宇宙间一切现象都是物质运动的表现。

物质的运动形式是多种多样的,每一种运动形式都有其自己的特殊规律,自然科学的分门别类,就是根据其所研究对象的特殊性而区分的。如数学、物理、化学、天文、地学、生物等都是自然科学,它们都有各自研究的对象。物理学所研究的对象是物质最基本、最普遍的运动形式和各种运动形式之间的相互转化以及物质的结构等。这些最普遍的运动形式包括机械运动、分子热运动、电磁运动、原子和原子核内部的运动等,都普遍地存在于其他较高级的运动形式之中。因此研究一切现代科学技术都离不开物理学的知识,所以物理学又是一门基础科学。譬如研究现代天文学,不仅要研究太阳、月亮、星体的机械运动,更要研究太阳内部、恒星内部的运动变化情况,为此须对它们所发射的光谱进行分析。要研究地震的原因,地球内部的结构,资源的分布等,也必须应用物理学的知识和近代物理学的勘探方法。生物物理学和量子化学的发展也同近代物理学的发展分不开。至于工程技术科学与物理学的关系更为密切,不少学科都是从物理学的某一部分发展起来的,如力学、电工学、热工学、无线电、半导体、应用光学等等。

物理学与生产技术的发展,更有密切的联系,每当物理学取得

重大的进展,就促使生产技术发生根本性的变革,推动社会生产力突飞猛进的发展。例如十九世纪二十年代,在热力学研究方面总结了卡诺定理和热力学第二定律以后,指出了提高热机效率的途径,促进了生产力的发展。法拉第总结了电磁感应定律,才制造成功发电机和电动机,使人类进入了应用电能的时代。二十世纪五十年代由于半导体的研究,使电子技术从第一代真空管进入到第二代晶体管,又从晶体管进入第三代集成电路的应用,从而导致了计算技术的迅速发展,大大提高了劳动生产率。由于相对论、原子核物理的研究,原子能的利用从理论变为现实,使人类利用自然界能源又进入了一个新的时代。原子弹、氢弹、核潜艇、原子反应堆发电、同位素应用等对军事技术和国民经济各部门都产生了深远的影响。量子力学理论研究的成果对现代许多新技术的发展,如半导体技术、激光技术、超导应用等都具有一定的指导意义。

物理学的发展过程,就是人类对客观世界的认识过程,这一过程是符合实践—理论—实践的认识法则的。物理学中也有一些规律是直接从生产实践中总结出来,但更多的物理定律和理论是建立在大量科学实验的基础上,通过对物理现象进行仔细的观察、分析、假设、抽象和总结等步骤建立起来的。从实践得到的理论,还须再回到实践中去经受考验,因为实践是检验真理的唯一标准。理论是从许多现象中概括和抽象出来的最本质的东西,它不但能解释已知的现象,还具有预见性。十九世纪二十年代到三十年代中,安培、毕奥、沙伐、法拉第等人进行了一系列有关电与磁联系的实验,在此基础上麦克斯韦建立了电磁场理论,这是从实践到理论的一个飞跃。电磁场理论预言有电磁波的存在,并以光速传播。赫芝在这一理论指导下进行实验证实了电磁波的存在,从此为无线电技术开辟了道路,这是从理论回到实践的又一次飞跃。又如量子力学是在黑体辐射、光电效应、电子绕射、原子光谱等一系列实

验基础上建立起来的,它已成为描述微观粒子运动的基本理论,在它的发展过程中,也是不断经受着实践的检验,如从玻尔的量子化条件,到索末菲理论,直到量子力学的建立,再应用到原子、分子、原子核、固体、激光、超导等方面的研究,每一步都经受着实践的检验,去伪存真,逐步完善起来。

在研究物理学时,必须用辩证唯物主义的观点来处理物理学里所出现的新问题。物理学的发展史充分证明:只有在正确的思想方法指导下,物理学才能取得重大的成就。譬如,对于物质结构的认识过程每发展到一个新阶段,常常会发生辩证唯物主义观点和唯心主义形而上学观点的斗争。十九世纪初,物质由分子、原子所组成的理论建立时,那些具有唯心主义形而上学观点的人是不能接受的,他们认为“原子”只不过是“感觉的复合”,或“思考的符号”而已。在无数实验事实面前,原子理论不能再被推翻时,他们就认为把物质分到原子就不能再分了。二十世纪初,无数实验事实又证明:不仅原子是由原子核及电子组成,而且原子核又由质子和中子组成,原子不是不可分割的,这时他们才承认物质有更深的层次。最近二十多年的研究表明:“基本粒子”也不是物质结构的最小基元,必然还有更深的层次存在,这一更深层次的理论即层子(夸克)理论。即使是层子也不会是物质结构的尽头,它只表示人类对物质世界认识达到某一阶段而已。

人们研究自然科学的目的,不单纯是反映客观世界,了解物质运动的客观规律,而是为了掌握这些规律来改造自然,发展生产力。我国要实现四个现代化,关键是科学技术的现代化。我们必须极大地提高整个中华民族的科学文化水平,培养一支又红又专的科学技术队伍,造就一大批世界第一流的科学家、工程技术专家。为此在高等学校中,必须加强物理学的教学,不断提高教学质量,为赶超世界先进水平而努力。

第一篇 力 学

第一章 质点运动学

在物质的各种运动形式中，最简单最基本的一种是物体位置的变化，这种变化或者是一个物体相对于另一个物体，或者是一个物体的某些部分相对于其它部分的变化。这种位置的变化称为机械运动。如行星围绕太阳的运动，人造卫星绕地球的运动，车辆、船只、飞机的运动，各种机器的运动，弹簧的伸长和压缩等等，都是机械运动。力学就是研究机械运动的规律及其特征的学科。在力学中，为方便起见，引入了质点这一概念。所谓质点，就是不考虑形状和大小，并将质量看成集中在一点的物体，这时可以用质点的运动代替物体的运动。但实际物体是既有大小又有各自的形状，因而不能随使用质点运动来代替物体运动。只有当物体上各点运动状态完全相同，或者各点运动状态虽然不同，但差别可以忽略不计（物体本身线度远小于问题中其他线度），才能用质点运动代替物体的运动。严格说来，质点是力学中的一个科学抽象概念，可看成质点的物体，实际上往往并不少，因此不能把质点和微观粒子，如电子等，混同起来。本章开始研究质点的机械运动。

§ 1-1-1 参 照 系

宇宙间一切物体都处在永恒不停的运动中。静止在地面上的物体，如房屋、桥梁等似乎是不动的，但地球既在自转，又在绕太阳

公转, 因此房屋、桥梁等, 也在运动。在人们看来太阳似乎也是不动的, 但从整个银河系来看, 太阳也是运动的。就是一个银河系相对其他银河系或星云来看, 也都在运动着。因此要研究一个物体的运动状态, 必须选择另一个也在运动的物体作为参考, 这个作为参考的物体称为参照系。同一个物体, 在不同的参照系里运动状态是不同的。例如一个人坐在公共汽车里, 当汽车在公路上行驶时, 若以地面为参照系, 这个人的位置在不断变化; 若以汽车为参照系, 这个人是静止的。这种同一物体对于不同的参照系, 运动状态不相同的性质, 称为运动描述的相对性。因此, 要研究任何物体的运动, 首先要选取参照系。参照系如何选择, 主要看问题的性质和研究是否方便。例如研究物体对地面的运动, 选地球作参照系最为方便。

为了定量地描述物体的机械运动, 在参照系选定后, 可选择一个固定的坐标系。最常用的坐标系为直角坐标系, 这种坐标系是在参照系中选一固定点 O , 作为坐标原点, 经过这一点, 作三条互相垂直的 X 轴、 Y 轴和 Z 轴。物体在直角坐标

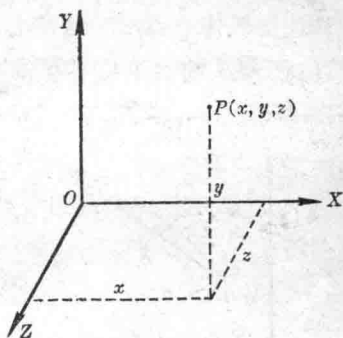


图 1-1-1 直角坐标系

系 P 点的位置就可用 x 、 y 、 z 三个坐标来表示 (图 1-1-1)。如果物体在平面上运动, 那么只要用两个坐标, 例如 x 、 y , 就可以表示它的位置。如果物体在直线上运动, 那么只要用一个坐标, 例如 x , 就可以表示它的位置。 x 、 y 、 z 的单位为长度单位, 可用米、厘米、公里等表示。

§ 1-1-2 位 移

质点运动时, 相对于某一参照系它的位置在不断变化。例如,

质点沿着曲线 AB 运动, 在 t 时刻, 质点位于 A 点, 在 $t+\Delta t$ 时刻, 质点到达了 B 点。我们用由 A 点到 B 点的直线段 $\overline{AB}$ 表示质点位置的变化, 称 $\overline{AB}$ 为位移。位移是矢量, 它不但有大小, 还有方向。它的大小用 AB 线段的长度来表示, 它的方向从最初位置 A 指向最终位置 B 。位移只表示物体位置的改变, 并不是物体实际经历的路程, 如图 (1-1-2) 中, 物体实际经过的路程是曲线 $\widehat{AB}$ 。又如有甲乙二人在操场上练习跑步, 甲从 A 点出发, 经半圆形跑道 ACB 到达 B 点, 而乙从 A 点出发沿直线跑道 AOB 到达 B 点, 二人经过的路程不同, 但是他们的位移相同(图 1-1-3)。为了表示某量为矢量, 在书写时可在代表该量的符号上加一箭头, 在印刷时, 用黑体字表示。这样, 上例中甲乙二人的位移都是 $\overline{AB}$ 。显然位移 $\overline{BA}$ 的大小与 $\overline{AB}$ 的大小一样, 方向相反, 所以 $\overline{BA} = -\overline{AB}$ 。

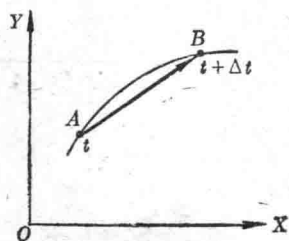


图 1-1-2 位移矢量

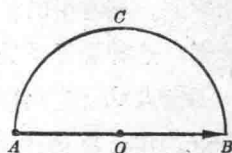


图 1-1-3 位移与路程的区别

在直线运动中, 物体不是沿着直线的这一方向运动, 就是沿着直线的另一方向运动, 这时位移可用坐标的正负来表示。如取最初位置作为坐标原点, 以向右为坐标轴的正方向(图 1-1-4), 当质点到达 A 点时, 位移 $\overline{OA}$ 可用 $+x$ 表示。若质点向左移动到 B 点, 位移 $\overline{OB}$ 就可用 $-x$ 表示。即使在直线运动中, 位移与路程也是有区别的, 例如一个人从 O 点出发, 先向右走 10 米到达 B 点, 再回头向左走 4 米到达 A 点(图 1-1-5)。这个人所经过的路程是

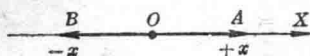


图 1-1-4 直线运动中位移的正负

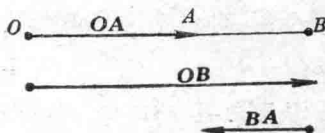


图 1-1-5 直线运动中位移和路程的区别

$$s = 10 \text{ 米} + 4 \text{ 米} = 14 \text{ 米}$$

而位移则为

$$OA = OB + BA = OB + (-AB) = OB - AB$$

如用 x 表示位移 OA 的数值, 便得到

$$x = 10 \text{ 米} - 4 \text{ 米} = 6 \text{ 米}$$

§ 1-1-3 矢量合成

在一般情况下, 一个位移可用几个位移相加来表示。例如一个人从 A 点出发, 先到 C 点, 然后再从 C 点走到 B 点。这个人的位移 AB 就可用位移 AC 和位移 CB 两个矢量相加来表示, 即

$$AB = AC + CB \quad (1-1-1)$$

这就是矢量加法, 或称矢量合成。矢量合成的一种方法就是在第一个矢量(AC)的末端(C)画上第二个矢量(CB), 然后把第一个矢量的始端(A)与第二个矢量的末端(B)联起来, 就得到合矢量 AB (图 1-1-6)。这种合成方法称为三角形合成法。从图中明显看出 AB 的数值不等于 AC 与 CB 的代数和。

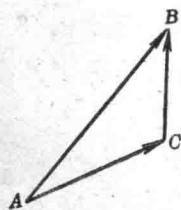


图 1-1-6 位移相加

在图 (1-1-6) 中两个位移 AC 与 CB 是先后进行的, 如果两个位移同时进行, 也可以合成, 但要用矢量合成的另一种方法——平行四边形法。例如, 吊车在吊起重物时, 重物一方面向上移动, 一方面又随着吊车向右移动。若用 OA 表示向上的位移, OB 表示向右的位移, OC 表示重物的实际位移时, 则位移 OC 就是位移 OA 与位移 OB 的合成。用数学式

子表示时,可写成

$$\mathbf{OC} = \mathbf{OA} + \mathbf{OB}$$

从图(1-1-7)可见, $OACB$ 为平行四边形, 而 OC 是该平行四边形的对角线。由此我们可以从同一点 O 出发, 画出两个矢量 $\mathbf{OA}$ 与 $\mathbf{OB}$, 以 OA 与 OB 为邻边, 作平行四边形 $OACB$, 并联结对角线 OC , OC 就表示合矢量。实际上, 按照三角形合成法, 如果我们先画 $\mathbf{OA}$, 再画 $\mathbf{AC} = \mathbf{OB}$, 同样也得到合矢量 $\mathbf{OC}$ 。因此上面的方法, 对由任何两个矢量求合矢量时都是适用的。

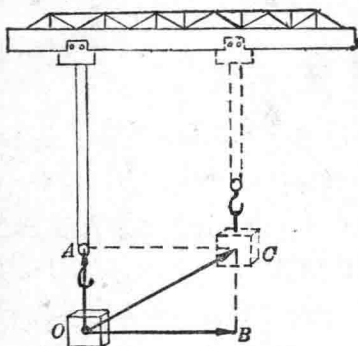


图 1-1-7 用平行四边形合成矢量

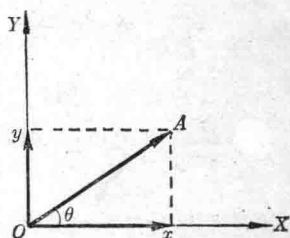


图 1-1-8 矢量分解

在两个以上矢量的合成时, 可以先求任意两个矢量的合矢量, 再将此合矢量与第三个矢量合成, 依此类推, 便可得到总的合矢量。但如果矢量较多, 这种运算就很繁, 在这种情况下, 可以先将矢量分解, 然后再求合矢量。

既然几个矢量可以合成为一个矢量, 一个矢量也一定可以分解为几个分矢量 (这种分解法有无数个)。最常用的是正交分解法, 即把一个矢量分解成两个或三个互相垂直的分矢量。如图(1-1-8)所示, 矢量 $\mathbf{OA}$ 在 XOY 平面坐标系中, 被分解成 X 方向和 Y 方向上两个互相垂直的分矢量, 分矢量的大小为: