

清华大学教材

张三慧 主编

工科大学物理学

第一册

力 学

张三慧 王虎珠 编

北京科学技术出版社

清华大学教材

张三慧 主编

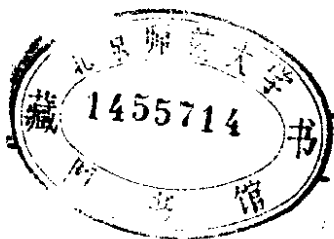
工科大学物理学

第一册

力学

张三慧 王虎珠编

J41/244/07



北京科学技术出版社

清华大学教材
张三慧 主编
工科大学物理学
第一册

力 学

张三慧 王虎珠编
北京科学技术出版社出版
(北京西直门外南路 19 号)

新华书店首都发行所发行 各地新华书店经售
国防科工委印刷厂印刷

*

850×1168 毫米 32 开本 9.375印张 236,000 字
1987 年 12 月第一版 1987 年 12 月第一次印刷
印数 1—8,500 册

ISBN7-5304-0021-5/Z-16

统一书号 17274·087 定价 2.70 元

内 容 简 介

本书是清华大学教材《工科大学物理学》第一册，讲述了各类工科学生所需的物理学基础理论的力学部分，包括质点力学、刚体的定轴转动和狭义相对论，就中特别着重于守恒定律的讲解，内容的叙述注意了系统化与现代化。除了基本内容外，还专题介绍了基本粒子、广义相对论等今日物理趣闻和著名科学家传略，以扩大学生知识领域。

本书可作为各类工科大学及专科学校的物理教科书，也可作为其他高校师生及中学物理教师教学或自学参考书。

前 言

摆在你面前的这部《工科大学物理学》，是编者近十年来在清华大学讲授物理学所用的讲义的基础上编写的。

物理学是工科大学生必修的基础理论课。随着工业技术和物理科学本身的发展（这种发展在近几十年里更加快了步伐），物理学内容和讲授方法应该有相应的革新。但是，在我国，近几十年来的物理教学，特别是反映在物理教材上，并没有很好地适应这种时代的变化。这主要表现在：①内容基本未变，近代物理的基本概念与方法没有得到恰如其份的反映。②讲述方法基本未变，某些重要物理现象与规律相对孤立，没有反映出近代物理对自然规律的深刻的系统化的理解。③与目前我国中学物理教学衔接不好。不少内容是简单重复。这就破坏了学生学习物理学的兴趣，妨碍了他们学习积极性的发挥。

针对这些我们认为的缺点，在本书的编写上力求体现以下的特点。

首先是起点较高。凡是中学教学大纲已列内容，我们都认为学生已基本掌握。除为了本书的讲述系统所需要的以外，一般不再做简单的重复。

其次是着重加强了讲述的系统性。陈述物理学的内容可以按照两种系统进行。一种是遵循历史发展的顺序——历史逻辑，从早到晚依次讲述。一种是遵循物理学规律自身的相互联系所确定的顺序——结构逻辑或教学逻辑，从最基本的规律逐渐展开。虽然在不少地方这种系统是一致的，但二者确有明显的不同。为了使工科大学

生在较短的学时内对现代物理学的内容有一个尽可能整体的理解，我们在本书中采用了后一种讲述系统。

力学部分当然是以牛顿定律的基础展开的。书中着重阐明了守恒定律。作为牛顿力学的发展，最后讲了狭义相对论。

电磁学部分以库仑定律或高斯定律、电荷不变性以及狭义相对论为基础，讲述了静电场、运动电荷的电场以及磁场的规律。这样就更深刻地阐明了电场和磁场的相互联系。相对论不再只作为知识介绍，而是作为理解和阐述物理现象本质的基本规律了。

热学部分可以说是从统计概念和统计规律为基础加以讲述的。分子运动论当然是这样。对热力学第一定律也阐明了其微观意义。对热力学第二定律更是突出了它的统计意义。熵的概念是从统计的角度引入的。

振动与波部分是牛顿力学的延伸。物理光学实际上是作为波的基本规律在电磁波现象中的应用而讲述的。在量子物理部分我们也大胆地采用了演绎的讲述系统。这样可以使学生更深刻地掌握微观世界的基本特征——二象性和量子性。

第三是尽可能使内容现代化。书中着重介绍了近代物理的观点，例如守恒定律与对称性的关系，相对论的时空观，原子观点，统计的观点，微观粒子的二象性和量子性等。关于近代物理知识包括物理学前沿的介绍，除了散见于各章的实例、例题或习题外，本书特辟了两类特殊的章节：一是“今日物理趣闻”，一是“物理学与技术”。前者着重介绍当今物理学前沿的发展，例如粒子理论、广义相对论、超导、等离子体、大爆炸、耗散结构理论等。后者着重介绍物理学的近代应用，例如同步卫星的发射、等离子体发电、热泵、隧穿扫描显微镜等。根据工科教学计划限定的时间，这些内容是不可能作为教学要求进行课堂讲授的。但是，我们热切地希望所有的工科学生都能在课余阅读这些材料（为此，我们已在写法上尽可能地通俗化了，相信他们都能看懂的）。这对于提高他们学

习物理的兴趣、扩大他们的视野以及在各自的专业范围内开拓自己的思路一定会有帮助的。

本书还辟了“科学家介绍”这一栏目。简要地介绍了重要的物理学家的生平与贡献。这样做，一方面是为了向学生提供必要的物理学史知识，另一方面也希望学生能从这些科学家的开创精神、治学态度以及思想境界方面获得教益。

关于习题，我们并不赞同那种越多越好的观点，考虑到工科大学生的全面发展以及理解和掌握物理基本概念的需要，本书中只编选了比在规定时间内能完成的稍多的思考题和习题。我们希望大学生在做题时不要贪多，而要求精。要真正把做过的每一道题从概念原理上彻底弄清楚，并且用尽可能简洁明确的语言、公式、图象表述出来。

本书每章都列有“本章要求”和“本章提要”。我们希望通过这些来发挥学生学习的主动性和帮助他们进行自我检查。

本书在清华大学各系使用的过程中，是在规定的 100 小时内全部授完的（其中包括 10—15 小时的习题讨论课）。讲课有粗有细，有些属于要求的章节也未在课堂上讲而是留给学生自学。学生中的大多数都是怀着很大的兴趣阅读这部教材的，也都取得了较好的学习成绩。

本书也吸收了本校物理系其他物理教师的宝贵经验。在编写、试用过程中，许崇桂、邓新元、高炳坤、黄天麟等老师曾提出过许多宝贵的意见。刘凤英、谢起成等老师参加了本书的核算习题答案的工作。张礼教授、李兴中副教授审阅了部分文稿。本校建筑系程远老师为本书绘制了全部科学家的肖像。对于以上这些热情的帮助，我们表示衷心的感谢。

在本书的编写（以及以往的教学）过程中，我们还借鉴了国外的许多教材，特别是帕塞尔的《电磁学》（E.M.Purcell: Electricity and Magnetism）和奥哈尼安的《物理学》（H.C.Ohanian;

Physics)。对这两本书的作着，我们也谨致以谢意。

我等有志于物理教学的改革久矣，然而鲜有成效。仅以此书献给广大的物理教师和工科大学生。我们热切地盼望着他们对本书的各方面的批评。

编者 1987 年 5 月

数 值 表

真空中的光速	$c = 3.00 \times 10^8 \text{m/s}$
普朗克常数	$h = 6.63 \times 10^{-34} \text{J}\cdot\text{s}$
引力常数	$G = 6.67 \times 10^{-11} \text{N}\cdot\text{m}^2/\text{kg}^2$
玻耳兹曼常数	$k = 1.38 \times 10^{-23} \text{J/K}$
阿佛伽德罗常数	$N_A = 6.02 \times 10^{23} / \text{mol}$
电子的静止质量	$m_e = 9.11 \times 10^{-31} \text{kg}$
等价能量	$E_e = 0.511 \text{MeV}$
质子的静止质量	$m_p = 1.673 \times 10^{-27} \text{kg}$
等价能量	$E_p = 0.938 \text{GeV}$
中子的静止质量	$m_n = 1.675 \times 10^{-27} \text{kg}$
1 电子伏特能量	$1\text{eV} = 1.602 \times 10^{-19} \text{J}$
质子电量	$e = 1.602 \times 10^{-19} \text{C}$
已知的宇宙	
核子数	10^{30}
半径	10^{10} 光年 $\approx 10^{25} \text{m}$
星系数	10^{11}
我们的银河系	
质量	10^{42}kg
半径	10^5 光年 $\approx 10^{21} \text{m}$
恒星数	1.6×10^{11}
太阳	
质量	$1.99 \times 10^{30} \text{kg}$
半径	$6.96 \times 10^8 \text{m}$

平均密度	$1410\text{kg}/\text{m}^3$
表面重力加速度	$274\text{m}/\text{s}^2$
自转周期	~26天
总辐射功率	$4 \times 10^{26}\text{W}$
地球	
质量	$5.98 \times 10^{24}\text{kg}$
赤道半径	$6.378 \times 10^6\text{m}$
极半径	$6.357 \times 10^6\text{m}$
平均密度	$5520\text{kg}/\text{m}^3$
表面重力加速度	$9.81\text{m}/\text{s}^2$
自转周期	1 恒星日 = $8.616 \times 10^4\text{s}$
自转角动量	$0.331MR^2 = 8.05 \times 10^{27}\text{kg}\cdot\text{m}^2$
到太阳的平均距离	$1.50 \times 10^{11}\text{m}$
公转周期	1 年 = $3.16 \times 10^7\text{s}$
公转速度	$29.8\text{km}/\text{s}$
月球	
质量	$7.35 \times 10^{22}\text{kg}$
半径	$1.74 \times 10^6\text{m}$
平均密度	$3340\text{kg}/\text{m}^3$
表面重力加速度	$1.62\text{m}/\text{s}^2$
自转周期	27.3 天
到地球的平均距离	$3.84 \times 10^8\text{m}$
运行周期	1 恒星月 = 27.3 天

目 录

第一章 质点运动学	1
§1.1 质点的运动函数.....	1
§1.2 位移和速度.....	3
§1.3 加速度和匀加速运动.....	6
§1.4 一维匀加速运动.....	12
§1.5 抛体运动.....	15
§1.6 圆周运动.....	19
§1.7 相对运动.....	24
科学家介绍 伽里略.....	30
思考题.....	34
习题.....	35
第二章 牛顿运动定律	38
§2.1 牛顿运动定律.....	38
§2.2 SI 单位和量纲.....	42
§2.3 技术中常见的几种力.....	46
§2.4 基本的自然力.....	50
§2.5 应用牛顿定律解题.....	54
§2.6 惯性系与非惯性系.....	61
*§2.7 惯性力.....	63
科学家介绍 牛顿.....	68
思考题.....	72
习题.....	75
第三章 动量与角动量	80

§3.1	冲量与动量原理	80
§3.2	质点系的动量	84
§3.3	动量守恒定律	87
§3.4	质心	91
*§3.5	质心运动定理	94
§3.6	质点的角动量	99
§3.7	角动量守恒定律	103
物理学与技术 I 火箭		107
思考题		111
习题		113
今日物理趣闻 A·基本粒子		116
第四章 功和能		126
§4.1	功	126
§4.2	动能定理	131
§4.3	一对力的功	135
§4.4	保守力	137
§4.5	势能	140
§4.6	万有引力势能	141
§4.7	弹簧的弹性势能	144
*§4.8	由势能求保守力	145
§4.9	机械能守恒定律	147
§4.10	守恒定律的意义	155
物理学与技术 II 同步卫星的发射		159
思考题		162
习题		165
第五章 刚体的定轴转动		171
§5.1	刚体的运动	171
§5.2	刚体定轴转动定律	175

§5.3	转动惯量的计算	178
§5.4	刚体定轴转动定律的应用	184
§5.5	转动中的功和能	188
§5.6	刚体的角动量和角动量守恒定律	192
*§5.7	进动	198
	思考题	204
	习题	206
第六章	狭义相对论基础	212
§6.1	牛顿相对性原理和伽里略变换	213
§6.2	爱因斯坦相对性原理和光速不变	217
§6.3	同时性的相对性和时间膨胀	219
§6.4	长度缩短	226
§6.5	洛仑兹变换	231
§6.6	相对论速度变换	237
§6.7	相对论质量	241
§6.8	相对论动能	244
§6.9	相对论能量	247
*§6.10	相对论动量—能量变换	252
*§6.11	相对论动量变化率的变换	253
	科学家介绍 爱因斯坦	257
	思考题	261
	习题	262
	今日物理趣闻 B·弯曲的时空	265
	习题答案	278

第一章 质点运动学

本章要求

1. 正确地在矢量概念的基础上理解质点的运动函数的意义以及位移、速度和加速度等概念。
2. 复习巩固中学学过的一维匀加速运动、自由落体运动及抛射体运动的规律。
3. 正确理解切向加速度和法向加速度的意义，并能正确地进行计算。
4. 理解并正确应用伽里略速度相加定理。

§ 1.1 质点的运动函数

力学是研究物体的机械运动的规律的。物体的机械运动是指它的位置随时间的改变。位置总是相对的。这就是说任何物体的位置总是相对于其他物体或物体系来确定。这个其他物体或物体系就叫做确定物体位置时用的参照系。例如，确定交通车辆的位置时，我们用固定在地面上的一些物体，如房子或路牌作参照系。这样的参照系通常叫地面参照系。在物理实验中，确定某一物体的位置时，我们就用固定在实验室内的物体，如周围墙壁或固定的实验桌作参照系。这样的参照系就叫实验室参照系。

经验告诉我们，相对于不同的参照系，同一物体的同一运动，会表现为不同的形式。例如，一个自由下落的石块的运动，在地面参照系中观察，它是直线运动。如果在近旁驰过的车厢内观察，即

以行进的车厢为参照系，则石块将作曲线运动。物体运动的形式随参照系的不同而不同，这个事实叫运动的相对性。由于运动的相对性，当我们描述一个物体的运动时，就必须指明是相对于哪个参照系来说的。

确定参照系之后，为了定量地说明一个质点相对于此参照系的位置，就在此参照系上建立固定的坐标系。最常用的坐标系是笛卡尔直角坐标系。这个坐标系以参照系中某一固定点为原点 O ，从此原点沿三个相互垂直的方向引三条固定的直线做为坐标轴，通常分别叫做 x , y , z 轴 (图 1.1)。在这样的坐标系中，一个质点在任意时刻的位置，如 P 点，就可以用三个坐标值 (x , y , z) 来表示。

质点的运动就是它的位置随时间的变化。为了给出时间，就需要在坐标系中各处配置许多同步的钟。我们可以想象，质点在运动中到达各处时，都有近旁的钟给出它到达各处的时刻 t 。这样，质点的运动，也就是它的位置随时间的变化，就可以用数学函数的形式表示出来。作为时间的函数的三个坐标值可以一般地表示为

$$x = x(t), \quad y = y(t), \quad z = z(t) \quad (1.1)$$

这样的一组函数叫做质点的运动函数。

质点的位置可以用矢量的概念更简洁清楚地表示出来。为了表示质点在时刻 t 的位置 P ，我们从原点向此点引一矢量 $r \equiv OP$ 。 r 的方向表明了 P 点相对于坐标轴的方位， r 的大小 (即它的模) 表明了原点到 P 点的距离。方位和距离都知道

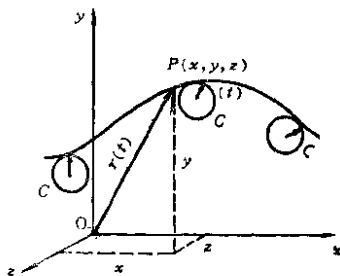


图 1.1 质点的位置表示

了, P 点的位置也就确定了, 用来确定质点位置的这一矢量 r 叫做质点的位置矢量, 简称位矢, 也叫矢径。很明显, 在同一参照系中, 选择不同的点做为原点时, 表示一个质点的同一位置的位矢是不同的。显然, 质点在运动时, 它的位矢是随时间改变的。这一改变可以一般地用下述函数形式来表示, 即

$$r = r(t) \quad (1.2)$$

这就是质点的运动函数的矢量表示式。

一个矢量总可以用它的沿三个坐标轴的分量表示。对于位置矢量 r 来说, 它沿三个坐标轴的投影分别是 x, y, z 。以 $\hat{x}, \hat{y}, \hat{z}$ 分别表示沿 x, y, z 轴的单位矢量(即大小都是 1 个单位的矢量, 有的书上分别用 i, j, k 表示), 则位矢 r 和三个坐标值的关系就是

$$r = x\hat{x} + y\hat{y} + z\hat{z} \quad (1.3)$$

因此, (1.1) 和 (1.2) 式表示的运动函数就有如下关系

$$r(t) = x(t)\hat{x} + y(t)\hat{y} + z(t)\hat{z} \quad (1.4)$$

§ 1.2 位移和速度

质点在一段时间内位置的改变叫做它在这段时间内的位移。设质点在 t 和 $t + \Delta t$ 时刻分别通过 P 和 P_1 点, (图 1.2), 其位矢分别是 $r(t)$ 和 $r(t + \Delta t)$, 则由 P 引到 P_1 的矢量表示位矢的增量, 即

$$\Delta r = r(t + \Delta t) - r(t)$$

这一位矢的增量就是质点在 t 到 $t + \Delta t$ 这一段时间内的位移。

应该注意的是, 位移 Δr 是矢量, 既有大小又有方向。其大小(即它的模)用 $|\Delta r|$ 矢量的长度表示, 记做 $|\Delta r|$ 。这一数量不能简写为 Δr , 因为 $\Delta r = r(t + \Delta t) - r(t)$, 它是位矢的大小在 t 到

$t + \Delta t$ 这一段时间内的增量。一般地说, $|\Delta \mathbf{r}| \approx \Delta r$ 。

位移 $\Delta \mathbf{r}$ 和发生这段位移所经历的时间比表示质点在这段时间内运动的快慢, 它叫做质点在这段时间内的平均速度。以 $\bar{\mathbf{v}}$ 表示平均速度

$$\bar{\mathbf{v}} = \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} \quad (1.5)$$

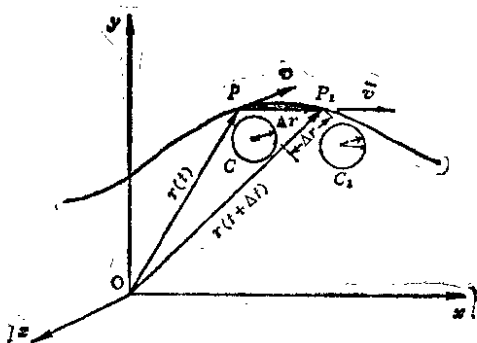


图 1.2 位移矢量和速度矢量

平均速度也是矢量, 它的方向就是位移的方向, 如图 1.2 所示。

当 Δt 趋于零时, (1.5) 式的极限, 即质点位矢对时间的变化率, 叫做质点在时刻 t 的瞬时速度, 简称速度。用 \mathbf{v} 表示速度, 就有

$$\mathbf{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} = \frac{d\mathbf{r}}{dt} \quad (1.6)$$

速度的方向, 就是 Δt 趋于零时, $\Delta \mathbf{r}$ 的方向。如图 1.2 所示, 当 Δt 趋于零时, P_1 点向 P 点趋近, 而 $\Delta \mathbf{r}$ 的方向最后将与质点运动轨道在 P 点的切线一致。因此, 质点在时刻 t 的速度的方向就是在运动轨道上该时刻质点所在处的切线的方向。