

高等学校试用教材

大学物理学

下 册

长沙铁道学院等五所院校编

华中工学院出版社

高等学校试用教材

大学物理学

下 册

华中工学院出版社

内 容 简 介

本书是《大学物理学》下册，内容包括：振动和波动、波动光学、狭义相对论基础、量子物理基础和固体、激光的基础知识等六章。每章末附有适量思考题和习题，书末附有习题答案。

本书在保证经典物理的基础上，对近代物理部分有所加强。书中例题较多，叙述详细，便于自学。

本书可作为工科各专业物理课程的教材或教学参考书，也可作为函授、以及其他院校的教材或教学参考书。

大 学 物 理 学

下 册

编 者 严万宗 何维杰

责任编辑 焦 薇

华中工学院出版社出版

(武昌喻家山)

新华书店湖北发行所发行经销

长沙铁道学院印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/32 印张: 14 字数: 292,000

1986年12月第1版 1986年12月第1次印刷

印数: 1—8000

统一书号: 13255-055 定价: 2.20元

前 言

本书是由长沙铁道学院、长沙交通学院、中国人民解放军国防科技大学、中南工业大学、湖南大学等五所院校组织部分教师共同编写的。

在编写中，根据工科物理课程的特点和基本要求，注意到打好基础、精选内容、利用教学、有所创新几个方面，吸取了国内外先进教材的优点，突出了物理思想和矢量与微积分方法的运用。同时，对于近年来工科院校教学研究成果和先进经验，也力求有所反映。全书讲授（包括习题课）约为130~140学时。对学时少的专业，可把近代物理和部分章节作为选修，这样只需100学时左右。

本书内容分正文与阅读材料（前面冠以△号）两部分。每章都有典型的例题和足够数量的思考题，以利于学生能力的培养，全部习题经过精选，份量适当，书中矢量一律用黑正体字表示；单位用国际单位制。

本书分三册。上册包括力学和热学，中册为电磁学，下册包括振动和波、光学、近代物理。上册由长沙铁道学院游佩林同志编写，中册由长沙交通学院杨福国（第六~第十章）、国防科技大学程芝生（第十一章和第十二章）两同志编写，下册由中南工业大学严万宗（第十三~第十五章）、湖南大学何维杰（第十六~第十八章）两同志编写。游佩林同志负责全书统稿并编写了中册和下册的若干段落。

本书承蒙长沙水电师范学院葛旭初教授，湖南师范大学谢泉教授，长沙铁道学院王永久副教授审阅了部分初稿。在编写过程中除参考了若干现有的教材外，还参考了长沙铁道学院等三所院校编印的《物理学》讲义中的某些部分，这些部分的编者是王永久（主审）、李兴民、唐智明、袁连堂等；此外，潘生泉、黄崇礼等同志对本书提出了许多宝贵意见，长沙铁道学院印刷厂和物理教研室的同志给予了大力支持，在此一并致谢。

由于编写时间仓促，编者水平有限，书中必定还有不少错误和疏漏之处，敬请使用本书的老师和同学们批评指正。

编 者

1985年12月于长沙

目 录

第四篇 振动与波

第十三章 振动

§ 13-1 谐振动	(1)
§ 13-2 描述谐振动的物理量	(8)
§ 13-3 谐振动的能量	(16)
§ 13-4 阻尼振动 受迫振动 共振	(19)
§ 13-5 谐振动的合成	(27)
§ 13-6 电磁振荡	(36)
思考题与习题	(43)

第十四章 波动

§ 14-1 机械波的产生和传播	(49)
§ 14-2 描述波动的物理量	(53)
§ 14-3 平面简谐波的解析表达式	(58)
§ 14-4 波的能量	(66)
§ 14-5 惠更斯原理 波的衍射	(69)
§ 14-6 波的迭加原理 波的干涉	(73)
△ § 14-7 多普勒效应	(84)
§ 14-8 电磁波	(87)
思考题与习题	(95)

第五篇 波动光学

第十五章 波动光学

§ 15-1	光源 光的相干性	(104)
§ 15-2	获得相干光的方法	(109)
§ 15-3	光程与光程差	(117)
§ 15-4	薄膜干涉	(122)
§ 15-5	劈尖的干涉 牛顿环	(130)
§ 15-6	迈克耳逊干涉仪	(136)
△ § 15-7	时间相干性和空间相干性	(139)
§ 15-8	光的衍射现象 惠更斯-菲涅耳原理	(146)
§ 15-9	单缝和圆孔的夫琅和费衍射	(150)
§ 15-10	衍射光栅	(162)
§ 15-11	光学仪器的分辨率	(171)
§ 15-12	X射线的衍射	(174)
§ 15-13	自然光与偏振光	(179)
§ 15-14	偏振片的起偏与检偏 马吕斯定律	(182)
§ 15-15	反射和折射时光的偏振	(187)
§ 15-16	双折射	(192)
§ 15-17	偏振仪器	(198)
△ § 15-18	偏振光的干涉 椭圆偏振光与圆偏振光	(200)
△ § 15-19	人为双折射 旋光现象	(206)
	思考题与习题	(209)

(318) 相对论基础

(328) 第六篇 近代物理学基础

(328) 量子力学基础知识

第十六章 狭义相对论基础

(328) 狭义相对论基础

(328) § 16-1 伽利略变换、绝对时空观 (222)

(328) § 16-2 狭义相对论的实验基础 (225)

(328) § 16-3 爱因斯坦假设 洛伦兹变换式 (229)

(328) § 16-4 相对论中的长度、时间和同时性 (241)

(328) § 16-5 相对论动力学 (252)

(328) △ § 16-6 孪生子佯谬 (263)

(328) 思考题与习题 (265)

第十七章 量子力学基础知识

(328) 量子力学基础知识

(328) § 17-1 黑体辐射和普朗克量子假设 (269)

(328) § 17-2 光电效应 (281)

(328) § 17-3 康普顿效应 (294)

(328) § 17-4 实物粒子的波粒二象性 (302)

(328) § 17-5 测不准关系 (310)

(328) § 17-6 波函数及其统计解释 (315)

(328) § 17-7 薛定谔方程 (319)

(328) △ § 17-8 氢原子的量子力学处理方法 (332)

(328) § 17-9 电子自旋 (338)

(328) 思考题与习题 (342)

第十八章 近代物理专题

I 原子物理学简介

§ 18-1-1	原子模型	(345)
§ 18-1-2	原子光谱的实验规律	(352)
§ 18-1-3	玻尔的氢原子理论	(356)
△ § 18-1-4	夫兰克-赫兹实验	(363)
△ § 18-1-5	玻尔理论的进一步发展	(367)
§ 18-1-6	玻尔理论的地位和局限性	(379)
	思考题与习题	(380)
II 激光的基础知识		
§ 18-2-1	自发辐射、受激辐射和受激吸收	(382)
§ 18-2-2	激光原理	(389)
§ 18-2-3	激光器	(399)
§ 18-2-4	激光的特性及主要应用	(402)
	思考题与习题	(405)
III 多电子原子系统、固体的能带理论简介		
§ 18-3-1	化学元素周期表	(406)
§ 18-3-2	固体的能带理论	(410)
§ 18-3-3	本征半导体和杂质半导体	(417)
§ 18-3-4	p-n 结及其特性	(419)
	思考题与习题	(425)
	习题答案	(427)

第四篇 振动与波

第十三章 振 动

物体在一定位置附近的来回重复运动称为机械振动。例如，钟摆的来回摆动、心脏的跳动、机器开动时各部分的微小颤动、一切发声体（例如琴弦）的运动等，都是机械振动。

然而，振动现象是自然界普遍存在的一种物质运动形式。除了机械运动外，广义地说，凡是描述物质运动状态的物理量，例如位移、温度、电压、电场强度等，在某一定值附近重复变化的现象，都可叫作振动。例如，汽缸内活塞运动时位置的重复变化；交流电路中，电流和电压的数值随时间做周期性的变化；单晶高温炉的炉温在某一个数值附近做上下重复变化等，都是振动。各种振动的本质虽然不同，但是在运动规律的数学描述上却有很多相似之处。

在不同的振动现象中，最基本、最简单的是简谐振动，任何复杂的振动都可以看作是由若干个不同频率和振幅的简谐振动合成的。本章主要讨论简谐振动所遵循的基本规律。

§ 13-1 谐振动

若忽略空气阻力和摩擦力等因素，轻弹簧系统的运动、单

摆的微小摆动等都是谐振动。运动物体，连同对它施加回复力的物体一起组成的系统，称为谐振系统。有时统称为谐振子。

一 弹簧振子

由一根轻弹簧（质量忽略不计）和一个物体（看作刚体）组成的振动系统，称为弹簧振子。

如图13-1所示，把轻弹簧的一端固定，另一端系一质量为 m 的物体，放在光滑水平面上。这样，在竖直方向，物体受到的重力及水平面对它的支持力互相平衡；在水平方向，忽略各种阻力，物体只受弹簧的弹性力作用。当物体在位置 O 时，弹簧是自然伸长，弹簧作用在物体上的弹性力等于零。位置 O 叫作平衡位置。现将物体略微向右移到 B 点，然后放开，这时弹簧因伸长便有方向向左即指向平衡位置的弹性力 F 作用在物体上，促使物体返回平衡位置。当物体到达平衡位置时，虽然弹性力等于零，但是由于物体在返回 O 点的过程中是被加速的，物体

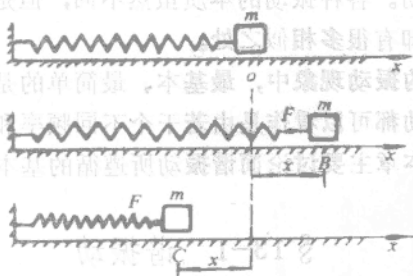


图13-1 弹簧振子的运动

在到达 O 点时已具有一定的速度，所以由于惯性物体并不停止而是继续向左运动，从而又使弹簧压缩。由于弹簧被压缩而出现的指向平衡位置的弹性力将阻碍物体向左运动，因此，物体做减速运动，直到位置 C ，速度减少到零为止。此时，作用在物体上的弹性力最大，于是物体在弹性力作用下反过来向右运动。这样，在弹簧的弹性力（指向平衡位置的回复力）和物体惯性的共同支配下，物体在平衡位置附近重复运动，从而形成机械振动。

弹簧振子是研究机械振动问题的一个理想化模型，是从非常复杂的实际振动系统中抽象出来的。例如，精密机床下面，都筑有混凝土基础，并在混凝土基础下铺设弹性垫层。为了研究这一系统（机床、混凝土基础及弹性垫层）的振动情况，可作如下简化：由于机床和混凝土基础的质量比弹性垫层的质量大得多，而振动时它们的形变又比弹性垫层小得多，因此，可将弹性垫层简化，视为一根轻弹簧，而将机床和混凝土基础简化，视为压在弹簧上面的一个物体。这样该系统便构成了一个弹簧振子。又如火车、汽车的车厢是安装在强弹簧或弹性垫层上的，亦可作类似的分析。

二 谐振动的基本规律

现在，我们来研究弹簧振子在忽略摩擦阻力的理想情况下的运动规律。取平衡位置 O 为坐标原点，水平向右为 x 轴正方向。根据胡克定律：在弹性限度内，物体所受的弹性力 F 和弹簧的伸长量（或压缩量，即物体离开平衡位置的位移） x 的关系是

$$F = -kx$$

式中 k 是弹簧的倔强系数，负号表示力和位移 x 的方向相反。根据牛顿第二定律，质量为 m 的物体在弹性力作用下获得的加速度 a 是

$$a = \frac{F}{m} = -\frac{k}{m}x$$

对于一个给定的弹簧振子， k 和 m 都是常数，而且都是正值，所以它们的比值用另一常数 ω 的平方来表示，即令

$$\omega^2 = \frac{k}{m} \quad (13-1)$$

代入上式，得

$$a = -\omega^2 x \quad (13-2)$$

式 (13-2) 说明：物体运动的加速度 a 与位移 x 成正比，而方向相反。我们把具有这种特征的运动叫作谐振动。而 (13-2) 式是物体做谐振动的动力学条件。

由于加速度 $a = \frac{d^2x}{dt^2}$ ，故式 (13-2) 可改写为

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \omega^2 x = 0$$

这是一个微分方程。根据微分方程的理论求解上式，可得谐振动的运动方程或振动方程为

$$x = A \cos(\omega t + \varphi) \quad (13-3)$$

式中 A 和 φ 是两个积分常数。由式 (13-3) 可知，当物体做谐振动时，位移是时间的余弦函数。所以也把位移随时间做余弦

变化的运动，叫作谐振动^①。

把振动方程(13-3)式对时间求一阶、二阶导数可得谐振动物体的速度和加速度分别为

$$v = \frac{dx}{dt} = -\omega A \sin(\omega t + \varphi) \quad (13-4)$$

$$a = \frac{dv}{dt} = -\omega^2 A \cos(\omega t + \varphi) \quad (13-5)$$

由此可见，谐振动是一种变加速直线运动。由式(13-3)、(13-4)、(13-5)可分别作出 $x-t$ 、 $v-t$ 和 $a-t$ 图线，如图13-2

所示(图中假定 $\varphi = 0$)。从图上可以看到：(1) 谐振动的位移、速度和加速度都是周期性变化的，它们每隔一定时间重复一次原来的数值；(2) 当

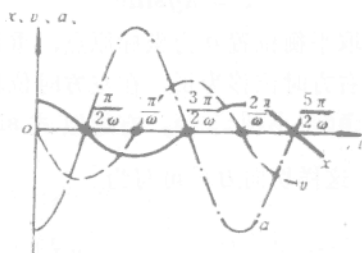


图13-2 谐振动的 $x-t$ 、 $v-t$ 、 $a-t$ 图线

x 具有最大值时， $v = 0$ ，而 a 亦具有最大值，但 a 与 x 的符号总是相反的；当 $x = 0$ 时， a 亦为0，而 v 具有最大值。

例13-1 单摆：在伸长不计的轻线(摆线)下端，悬挂一质量为 m 的小物体(摆锤)。细线处在铅直位置时，物体在位

^① 因为 $\cos(\varphi t + \varphi) = \sin(\omega t + \varphi + \frac{\pi}{2})$ ，若令 $\varphi' = \varphi + \frac{\pi}{2}$ ，则(13-3)式可写作 $x = A \sin(\omega t + \varphi')$ 。所以也可以说，物体做谐振动时，位移是时间的正弦函数。本书全部采用余弦函数。

置 o 。此时作用在物体上的合外力为零。位置 o 就是平衡位置。若使小物体略微偏离平衡位置，然后放开，小物体就会在平衡位置附近来回重复运动（图13-3）。这种振动系统叫作单摆（或数学摆）。试证：当摆的偏角（摆角） θ 很小时，单摆的运动是谐振动。

解 在单摆运动过程中，若忽略空气阻力，则单摆只受重力 mg 及拉力 T 作用。因摆线不计伸缩，故重物只能沿圆弧运动，在运动方向（圆弧的切线）上所受的合力为

$$F = mgsin\theta$$

取平衡位置 o 为坐标原点，重物在平衡位置右方时位移为正，在左方时位移为负。当摆角 θ 很小（ $\theta < 5^\circ$ ），有近似式 $\sin\theta \approx \theta \approx \frac{x}{l}$ 。这样切向力 F 可写为

$$F = -\frac{mg}{l}x$$

负号表明这个分力 F 与位移 x 方向始终相反，总是指向平衡位置。由此可见，当偏角很小时，使位移 x 发生变化的力，恰与位移成正比而方向相反。这种力具有和弹性力相同的特性，所以称为准弹性力。根据牛顿第二定律，物体运动的切向加速度为

$$a = \frac{F}{m} = -\frac{g}{l}x = -\omega^2 x$$

其中 $\omega^2 = \frac{g}{l}$ 是常数。上式说明，物体运动的加速度与位移成

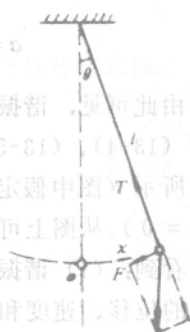
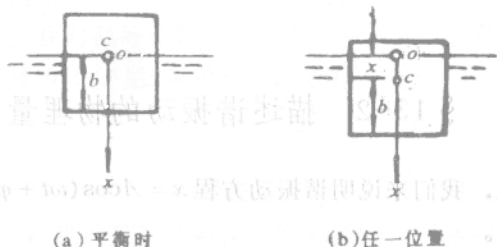


图13-3 单摆

正比而方向相反。亦就是说，当摆角很小时，单摆运动也是谐振动。

例13-2 一立方形木块浮在静水中，今把木块压入水中，然后放手。试证：若不计水的阻力，则木块将做谐振动。

解 如图13-4所示，取水面上一点 o 为坐标原点， ox 轴向下为正方向。设木块浮在水面时，其浸入水中的高度为 b ，木



(a) 平衡时

(b) 任一位置

图13-4 浮体的振动

块中的 c 点恰在原点 o 。木块运动时，木块的位置可用 c 点相对于水面的位移 x 来描述。当木块静止时，木块所受的重力等于浮力，即

$$p = mg = f_{\text{浮}} = b \rho g S$$

式中 S 为木块的截面积， ρ 为水的密度。当木块被压入水中 x 时， c 点将向下移动 x （图13-4），此时木块所受合力为

$$f = p - (b+x) \rho g S = b \rho g S - (b+x) \rho g S = -\rho g x S$$

式中 $k = \rho g S$ 。显然，使木块运动的合力恰与位移成正比而方向相反。这个力也是准弹性力。根据牛顿第二定律，木块运动

的加速度为

$$a = \frac{f}{m} = -\frac{k}{m}x = -\omega^2 x$$

式中 $\omega^2 = \frac{k}{m} = \frac{g}{b}$ 。上式表明，当忽略水对木块的阻力时，木块运动的加速度与位移成正比而方向相反。所以木块的运动是谐振动。

§ 13-2 描述谐振动的物理量

现在，我们来说明谐振动方程 $x = A\cos(\omega t + \varphi)$ 中各量的物理意义。

1. 振幅

因为余弦函数 $\cos(\omega t + \varphi)$ 的绝对值最大等于 1，所以位移 x 的绝对值最大为 A 。谐振动物体离开平衡位置的最大位移的绝对值 A ，叫作振幅。振幅大小反映了振动的强弱。

2. 周期和频率

谐振动的运动方程表示运动状态随时间的改变具有周期性。物体做一次完全振动(来回一次)所需的时间，叫作振动的周期，用 T 表示，单位为秒。亦就是说，经一个周期后，物体又将完全重复原来的运动，即物体在时刻 t 的运动状态(位置和速度)应与物体在时刻 $t + T$ 的运动状态完全相同。所以有

$$x = A\cos(\omega t + \varphi) = A\cos[\omega(t + T) + \varphi]$$

因为余弦函数是以 2π 为周期的，即