



欢迎进入**王迈迈英语教学网**网络课堂
聊天室语音讲课 BBS课后提问 专用信箱答疑解惑
<http://www.wmmenglish.com>

与高等教育出版社第五版《普通物理学》配套

普通物理学 教与学参考

3

主编 张智立



中国致公出版社



欢迎进入王迈迈英语教学网网络课堂
聊天室语音讲课 BBS课后提问 专用信箱答疑解惑
<http://www.wmmenglish.com>

与高等教育出版社第五版《普通物理学》配套

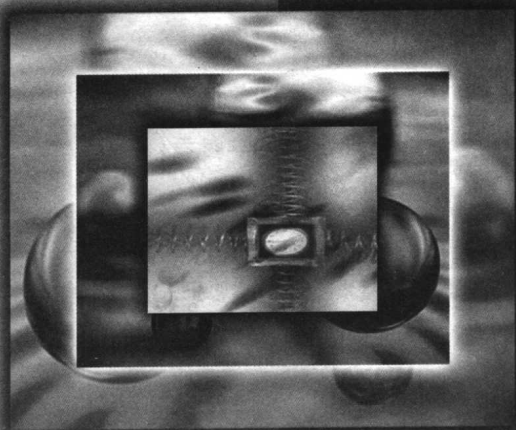
普通物理学

教与学参考

3

藏书

主编 张智立 副主编 王斌
编者 张智立 王斌 余功奇 刘向绯



中国致公出版社

图书在版编目(CIP)数据

普通物理学教与学参考/张智立主编. —北京: 中国致公出版社, 2003. 6

ISBN 7-80179-164-9

I. 普... II. 张... III. 普通物理学 - 高等学校 - 教学参考资料 IV. 04

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 041713 号

普通物理学教与学参考(三)

中国致公出版社出版

新华书店经销

文字六〇三厂印刷

开本: 850 × 1168 毫米 1/32 印张 33 字数 780 千字

2003 年 11 月第 1 版 2003 年 11 月第 1 次印刷

印数: 1—10000 册

ISBN 7-80179-164-9/G · 068

定价: 36.00 元(本册 11.00 元)

Foreword

前言

本书是根据国家教委大学物理课程指导委员会制订的《物理课程教学基本要求》，结合编者多年的教学经验编写的一本大学物理学习参考书。工科大学生在学习大学物理课程时普遍感到物理学“头绪”多，抓不住重点，同学们听着明白，却做不了题，很多人都感到物理很难学。为了解决这一难题，我们编写了《普通物理学教与学参考》，来帮助同学们搞清大学物理的基本概念、基本规律，提高同学们分析问题解决问题的能力。

本书共分 20 章，覆盖了大学物理的全部内容。每章以基本要求、知识导航、内容提要、疑难辨析、典型题解、习题详解、同步自测为主要内容。每章的基本要求为学生指明了该章学习的方向、重点。知识导航帮助读者了解各个知识点之间的关系，使学生对该章的全貌一目了然。内容提要则进一步简要介绍了该章重要的物理概念、物理规律、物理方法及重要结论。疑难辨析提出了若干重点、难点、疑点问题进行分析、讨论，澄清一些常见错误和模糊认识，加深了对基本规律的理解，使同学们在学习中尽量少走弯路。典型题解部分，我们没有选用大多数教材中已有的该章最基本的题型和最基本的解题方法的例题，而多选用以这些基本题型和基本解题方法为基础的拓展题型，使大家了解物理习题的演变，拓展解题的思路，达到举一反三的目的。习题详解对《普通物理学》的所有习题，都作了详细地解答。自测试题题型以选择题、填空题、计算题为达到融会贯通的目的要求。

合,自测试题是为学生学习本章后检查学习效果提供的一种手段。

我们在编写本书时参考了清华大学、北京大学、大连理工大学、东北大学、四川师范大学等兄弟院校编写的相关书籍,因参考书籍很多,就不一一列举了。在此,一并表示深深的谢意。

本书共分三册。本册内容主要包括振动与波、波动光学、量子力学基础、激光与固体、原子核与粒子物理等部分。

由于编者水平有限,不妥之处在所难免,欢迎读者批评指正。

编者

2003 年 11 月

CONTENTS

目 录



第十五章

机械振动和电磁振荡

一、本章要求	1
二、知识导航	2
三、内容提要	2
四、疑难辨析	7
五、典型题解	9
六、习题详解	19
七、同步自测	47



第十六章

机械波和电磁波

一、本章要求	56
二、知识导航	57
三、内容提要	57
四、疑难辨析	63
五、典型题解	66
六、习题详解	75
七、同步自测	100



第十七章

波动光学

(一) 光的干涉部分	109
一、本章要求	109

二、知识导航	110
三、内容提要	110
四、疑难辨析	115
五、典型题解	119
六、习题详解	136
七、同步自测	149
(二)光的衍射部分	154
一、本章要求	154
二、知识导航	154
三、内容提要	155
四、疑难辨析	158
五、典型题解	162
六、习题详解	178
七、同步自测	189
(三)光的偏振部分	193
一、本章要求	193
二、知识导航	194
三、内容提要	194
四、疑难辨析	197
五、典型题解	200
六、习题详解	208
七、同步自测	217



第十八章 早期量子论和量子力学基础 222

一、本章要求	223
二、知识导航	223
三、内容提要	224
四、疑难辨析	232
五、典型题解	236
六、习题详解	247
七、同步自测	274



第十九章 激光和固体的量子理论 279

一、本章要求	279
二、知识导航	279
三、内容提要	280
四、疑难辨析	284
五、典型题解	288
六、习题详解	291
七、同步自测	295



第二十章 原子核物理和粒子物理简介 297

一、本章要求	297
二、知识导航	297
三、内容提要	298
四、疑难辨析	301

五、典型题解	302
六、习题详解	306
七、同步自测	311

第15章

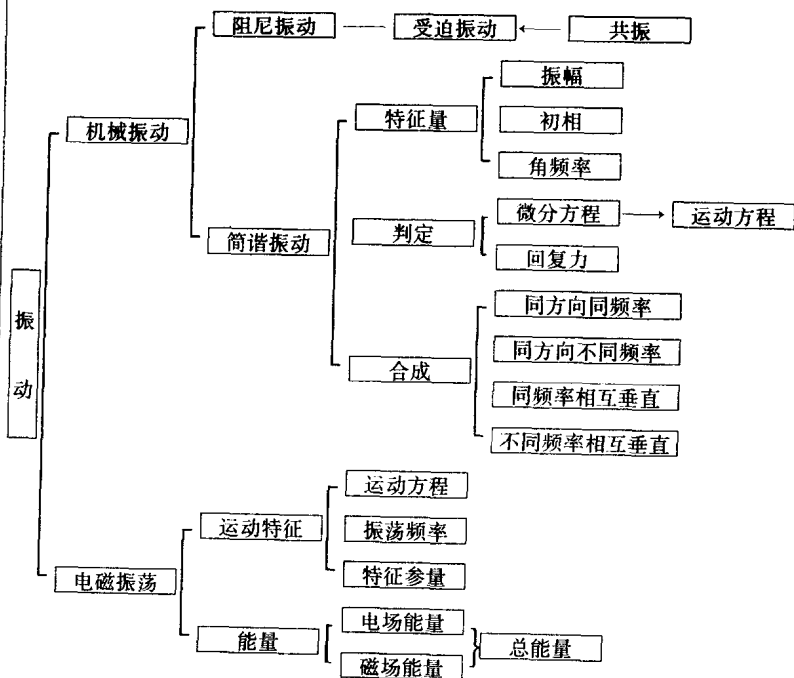
机械振动和电磁振荡

振动是自然界常见的一种运动. 任何一个物理量在其某一个数值附近随时间做周期性变化, 这样的运动形式都叫振动. 通常可以分为机械振动和电磁振荡: 机械振动是指物体在其平衡位置附近做来回往复的运动, 简谐振动是机械振动中最简单、最基本的一种, 它具有严格的周期性, 是研究复杂振动的基础; 电磁振荡是电路中电压和电流的周期性变化. 本章从动力学和运动学的角度来描述振动过程, 分析振动的一般特征.

一、本章要求

1. 掌握描述简谐振动的各物理量(特别是相位)的物理意义及相互关系.
2. 掌握旋转矢量图示法, 并能用以分析有关问题.
3. 掌握简谐振动的基本特征, 能建立弹簧振子和单摆谐振动的微分方程. 能根据给定的初始条件写出一维简谐振动的微分方程, 并理解其物理意义.
4. 理解同方向、同频率的两个简谐振动的合成规律以及合振动振幅极大和极小的条件.
5. 了解相互垂直的两个简谐振动的合成结果.
6. 了解阻尼振动、受迫振动和共振.
7. 了解电磁振荡的基本内容.

二、知识导航



三、内容提要

1. 简谐振动

简谐振动 简谐振动是物体在跟位移大小成正比,并且总是指向平衡位置的力的作用下的振动. 其典型的实例有弹簧振子的振动和单摆的振动.

振幅 振动物体离开平衡位置的最大距离,称为振动的振幅,它是表示振动强弱的物理量. 振幅一般用 A 表示.

周期 振动物体完成一次全振动所经历的时间,称为振动的周期. 周期一般用 T 表示,单位“秒”.

频率 单位时间内完成全振动的次数,用 γ 表示,单位“赫兹”,符号是 Hz . 由定义可知,频率和周期的关系是:

$$T = \frac{1}{\gamma} \text{ 或 } \gamma = \frac{1}{T}$$

物体振动的周期称为固有周期,振动的频率称为固有频率,是由振动物体本身的性质决定的.

角频率 角频率为频率的 2π 倍,单位“弧度·秒⁻¹”. 角频率一般用 ω 表示,即 $\omega = 2\pi\gamma$

$$\text{弹簧振子的角频率 } \omega = \sqrt{\frac{K}{m}}, \text{ 单摆的角频率 } \omega = \sqrt{\frac{g}{l}}.$$

相位 $\varphi = \omega t + \varphi_0$ 称为相位, φ_0 称为初相位,单位是弧度.

振动速度 表示振动物体位移变化的快慢程度,即

$$v = \frac{dx}{dt} = -\omega A \sin(\omega t + \varphi_0) = \omega A \cos(\omega t + \varphi_0 + \frac{\pi}{2})$$

速度的相位比位移的相位超前 $\frac{\pi}{2}$.

振动加速度 表示振动物体速度变化的快慢程度,即

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2} = -\omega^2 A \cos(\omega t + \varphi_0) = \omega^2 A \cos(\omega t + \varphi_0 + \pi)$$

加速度的相位比位移的相位超前 π .

初始条件 在 $t = 0$ 时刻物体的运动状态(位移和速度)称为初始条件,它决定振动的振幅和初相位,即

$$x_0 = x|_{t=0} = A \cos \varphi_0$$

$$v_0 = v|_{t=0} = -A \sin \varphi_0$$

由以上两式,可求得

$$A = \sqrt{x_0^2 + \frac{v_0^2}{\omega^2}}$$

$$\tan \varphi_0 = -\frac{v_0}{\omega x_0}$$

2 旋转矢量法

简谐振动可以用一旋转矢量在 x 轴上的投影来表示. 矢量的模即振动的振幅,矢量旋转的角速度即振动的角频率,矢量与 x 轴正方向的夹角为振动的相位,而 $t = 0$ 时矢量与 x 轴正方向的夹角为振动的初相位.

3 简谐振动的能量和能量特征

作简谐振动的物体具有动能和势能,并且不断相互转化,但它们的总和保持不变,即机械能守恒。在平衡位置动能最大,势能为零;在最大位移处势能最大,动能为零。从平衡位置向最大位移处运动过程中,动能转变为势能;从最大位移处向平衡位置运动过程中,势能转变为动能。振幅越大,振动能量(总机械能)越大。

总结前面四点,简谐振动过程中各物理量的变化情况可用下表来归纳。

运动情况	从平衡位置 向端点运动	在端点位置	从端点向平 衡位置运动	在平衡位置
位移 x	增大	最大	减小	零
回复力 F	增大	最大	减小	零
加速度 a	增大	最大	减小	零
速度 v	减小	零	增大	最大
动能 E_k	减小	零	增大	最大
势能 E_p	增大	最大	减小	零
机械能 E	守恒			

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}mA^2\omega^2\sin^2(\omega t + \varphi) = \frac{1}{2}KA^2\sin^2(\omega t + \varphi)$$

$$E_p = \frac{1}{2}Kx^2 = \frac{1}{2}KA^2\cos^2(\omega t + \varphi)$$

$$E = E_k + E_p = \frac{1}{2}KA^2$$

简谐振动的合成

(1) 同方向、同频率的两简谐振动的合成,仍是简谐振动。

设, $x_1 = A_1\cos(\omega t + \varphi_1)$, $x_2 = A_2\cos(\omega t + \varphi_2)$

则 $x = x_1 + x_2 = A\cos(\omega t + \varphi)$

其中

$$A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2\cos(\varphi_2 - \varphi_1)}$$

$$\tan\varphi = \frac{A_1\sin\varphi_1 + A_2\sin\varphi_2}{A_1\cos\varphi_1 + A_2\cos\varphi_2}$$

特殊情况:

a. 相位差 $\varphi_2 - \varphi_1 = \pm 2k\pi$, $k = 0, 1, 2, 3, \dots, n$ 时,合振动振幅最大。

$$A = A_1 + A_2$$

b. 相位差 $\varphi_2 - \varphi_1 = \pm (2k + 1)\pi, k = 1, 2, 3, \dots, n$ 时, 合振幅最小.

$$A = |A_2 - A_1|$$

(2) 同方向、频率相近的两简谐振动的合成不再是简谐振动. 合振动的振幅随时间缓慢地周期性变化, 称之为“拍”. 拍的频率为 $\gamma = |\gamma_2 - \gamma_1|$.

(3) 同频率、相互垂直的两简谐振动的合成, 一般为椭圆运动.

$$\text{设, } x = A_1 \cos(\omega t + \varphi_1), y = A_2 \cos(\omega t + \varphi_2)$$

$$\text{则 } \frac{x^2}{A_1^2} + \frac{y^2}{A_2^2} - 2 \frac{xy}{A_1 A_2} \cos(\varphi_2 - \varphi_1) = \sin^2(\varphi_2 - \varphi_1)$$

a 相位差 $\varphi_2 - \varphi_1 = 0, \pi$ 时, 为斜向直线运动.

b 相位差 $\varphi_2 - \varphi_1 = \frac{\pi}{2}, \frac{3\pi}{2}$ 时, 轨迹为正椭圆形.

c 相位差为其他值时, 轨迹为椭圆形.

(4) 相互垂直、频率之间成整数比的两简谐振动的合成, 合振动为有一定规律的稳定的闭合曲线, 称为李萨如图形.

阻尼振动、受迫振动和共振

振动按形式分为自由振动和受迫振动. 所谓自由振动, 就是象单摆和弹簧振子那样, 在外力使它们偏离平衡位置后, 它们就在系统内部的重力和弹力作用下振动起来, 而不再需要其他外力推动, 这种振动叫做自由振动. 任何实际的振动, 阻力总是存在的. 在阻力的作用下, 振动的能量逐渐减小, 因而振幅也逐渐减小. 这种振幅随时间减小的振动称为阻尼振动. 要得到持续的周期性振动的最简单的方法, 是用周期性外力作用于振动物体. 物体在周期性外力作用下的振动叫做受迫振动. 这个周期性外力叫策动力. 物体做受阻振动的频率等于策动力的频率, 而跟物体的固有频率没有关系. 但当策动力的频率跟物体的固有频率相等的时候, 受迫振动的振幅最大, 这种现象叫做共振.

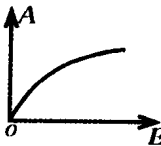
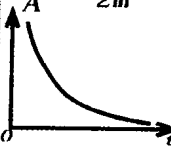
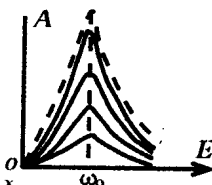
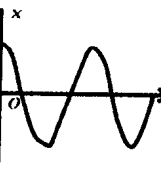
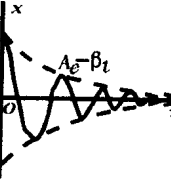
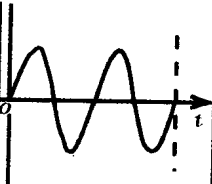
阻尼振动的振幅: $A_t = A_0 e^{-\beta t}$

阻尼振动的周期:

$$T_r = \frac{2\pi}{\omega_r} = \frac{2\pi}{\sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}}$$

受迫振动的共振条件: 策动力的角频率近似等于系统的固有角频率.

受迫振动和一般振动的比较:

三种运动 振动性质	自由振动	小阻尼振动	稳定受迫振动
受力	$F = -kx$	$F = -kx - r\dot{x}$	$F = -kx - r\dot{x} + R\cos pt$
频率	$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$	$\omega_0 = \sqrt{\omega^2 - \beta^2}$ $\beta = \frac{r}{2m}$	$p = \text{驱动频率}$
振幅			
振动曲线			
能量	守恒	逐步耗尽	驱动力做正功 = 阻尼力做负功

电磁振荡

振荡电路: 在具有电容和电感的电路中, 电容器极板上的电荷及电路中的电流都随时间作周期性变化, 这一现象称为电磁振荡. 这样的电路叫做振荡电路.

$L-C$ 振荡电路 在 $L-C$ 振荡电路中产生无阻尼自由振荡, 其电荷和电流分别为

$$Q = Q_0 \cos(\omega t + \varphi_0), I = -I_0 \sin(\omega t + \varphi_0)$$

式中 $Q_0 = C\varepsilon$ 为电荷振幅, $I_0 = \omega Q_0$ 为电流振幅, φ_0 为初相位; 电荷的相位比电流的相位落后 $\frac{\pi}{2}$.

振荡角频率

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

振荡周期

$$T = 2\pi \sqrt{LC}$$

振荡频率

$$\gamma = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}}$$

$L-C$ 振荡电路中的能量

电场能量

$$W_e = \frac{Q_0^2}{2C} \cos^2(\omega t + \varphi_0)$$

磁场能量

$$W_m = \frac{Q_0^2}{2C} \sin^2(\omega t + \varphi_0)$$

总能量

$$W = \frac{Q_0^2}{2C}$$

四、疑难辨析

1 从运动学看什么是简谐振动?从动力学看什么是简谐振动?一个物体受到一个使它返回平衡位置的力,它是否一定作简谐振动?

答 从运动学来看:物体在平衡位置附近作往复运动,运动方程具有 $x = A \cos(\omega t + \varphi)$ 的形式,可断定该物体的运动为简谐振动。

从动力学来看:一个物体所受的合力满足 $f = -kx$ 的形式,或其加速度与位移具有 $a = -\omega^2 x$ 的形式,可断定该物体的运动为简谐振动。

由简谐振动的定义可以看出,物体所受的合外力不仅需要与位移方向相反,而且大小还要与位移大小成正比,所以一个物体受到一个使它返回平衡位置的力,不一定作简谐振动。

2 一个物体作简谐振动,振动的频率越高,则物体的运动速度越大,这种说法对吗?为什么?

答 不对。因为振动频率是表示物体振动的快慢程度,即单位时间内振动次数的多少。运动速度是表示单位时间内物体位置改变的快慢程度。对简谐振动的物体,其速度为 $v = \omega A \sin(\omega t + \varphi_0)$,由此可见,运动速度不仅与频率有关,而且与振幅有关。

3 如果把单摆和弹簧振子带到月球上去,它们的振动频率是否变化?

答 根据单摆的振动频率公式 $\gamma = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{l}}$,月球上的重力加速度约为地球的六分之一,所以振动频率会变小。根据弹簧振子的频率公式 $\gamma = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$,它不涉及地球和月球的因素,只与弹簧振子本身的因素有关,故振动频率不变。

4 把单摆从平衡位置拉开,使摆线与竖直方向成 θ 角,然后放手任其摆动,那么单摆振动的初相是否就是 θ ?

答 单摆拉开 θ 角后放手任其摆动,此 θ 角不是初位相,而是摆角。若在放手这一时刻作为开始观察计时的起始时刻,根据 $x = A \cos(\omega t + \varphi)$,当 $t = 0$ 时,单摆

拉移最大 $x = A, \cos \varphi = 1, \therefore \varphi = 0$, 这才是初位相。

问 周相的意义是什么? 什么叫同相? 什么叫反相? 什么叫超前? 什么叫落后?

答 周相是反映运动状态的相貌。是细致刻画振动过程中任一瞬时运动状态的物理量。对不同的振动有不同的周相, 即使对同一个振动来讲, 不同时刻也有不同的周相。周相差 $\Delta\alpha = \alpha_2 - \alpha_1 = 2k\pi (k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots)$, 叫同相。周期相差 $\Delta\alpha = \alpha_2 - \alpha_1 = (2k + 1)\pi$ 叫反相。 $\Delta\alpha = \alpha_2 - \alpha_1 > 0$ 称 α_2 对应的振动比 α_1 对应的振动超前。 $\Delta\alpha = \alpha_2 - \alpha_1 < 0$ 称 α_2 对应的振动比 α_1 对应的振动落后。

问 小孩坐在树枝上, 静止时树枝不会折断。如果小孩作周期性的摇晃, 树枝就有折断的危险, 为什么?

答 如果小孩对树枝作周期性的摇晃, 就等于给树枝一个周期性的策动力作用, 当策动力的周期等于树枝的固有周期时, 就会发生共振, 振幅变得很大, 树枝就有折断的危险。

问 在什么情况下, 简谐振动的速度和加速度是同号的? 什么情况下是异号的? 加速度是正值时, 振子一定作加速运动吗? 反之, 加速度为负值时, 肯定是减速运动吗?

答 物体作简谐运动时, 其加速度始终指向平衡位置, 所以振子在从最大位置向平衡位置运动时, 速度和加速度方向相同, 而由平衡位置向最大位置运动时, 两者方向相反。

加速度是反映物体运动速度变化的物理量, 加速度的正、负号是对选用的坐标而言的, 所以单以加速度的正、负是不能判断物体是加速还是减速的。当加速度和速度方向相同(同号)时, 振子作加速运动, 反之, 当加速度和速度方向相反(异号)时, 振子作减速运动。

问 $L - C$ 电路中, 当电容器放电完毕时, 为什么还有电流?

答 电容器放电完毕时, 电流达最大值, 这时, 电流确有停止的趋势。但是, 正是由于存在这种趋势, 电路中的自感线圈产生自感电动势阻止电流停止, 使电流保持原来方向流动。于是, 电容器得到反向充电, 并产生反向电压降, 直到极板上电荷达到最大值, 电流减小到零为止。

问 有没有“电共振”现象?

答 有。当外加电动势的频率和振荡电路的固有频率相同时, 电流振幅达到最大值得现象称为电共振。例如, 无线电技术中的调谐就是调节振荡电路的固有频率(通常是调节电容 C), 使它适应外来电磁波频率, 发生电共振, 收到无线电信号。