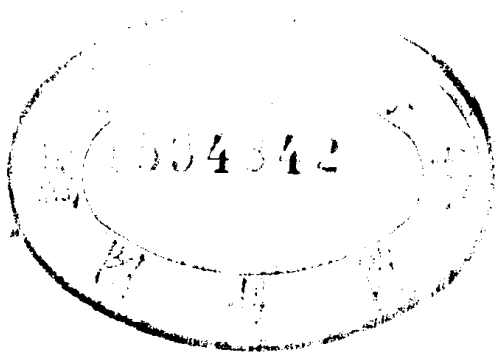


普通物理学辅导与答疑

(振动、波动、波动光学与量子物理)

清华大学 现代应用物理系 编写
基础物理教研组



北京出版社

(京)新登字200号

内 容 简 介

本书系由清华大学现代应用物理系基础物理教研组集中了有丰富教学经验的老师编写，体现了他们的教学心得和体会。

全书在概括总结物理学概念、定律、方法的基础上分清主次，突出重点，解释重点中的难点和容易混淆的地方，并精选了几十个有代表性的疑难问题予以解答，以帮助学生掌握基础知识，培养分析、解决问题的能力。适于理工科大学生及广大自学者使用，也可供高等院校教师参考。

普通物理学辅导与答疑

(振动、波动、波动光学与量子物理)

PUTONG WULIXUE FUDAO YU DAYI

清华大学 现代应用物理系 编写
基础物理教研组

北京出版社出版

(北京北三环中路6号)

邮政编码: 100011

北京出版社总发行

新华书店北京发行所经销

北京朝阳展望印刷厂印刷

787×1092毫米 32开本 17.875印张 405 000字

1991年9月第1版 1991年9月第1次印刷

印数: 1-5 150

ISBN7-200-01428-1/O·10

定价: 8.90元

741/65/19

编写说明

对于理工科大学生(包括职工大学和电视大学学员)来说,学习普通物理学的主要目的,在于掌握物理学的基本概念、基本规律和基本方法,培养运用物理学的基础知识分析和解决问题的能力.为此,我们参照我国通用的高等学校工科类与非物理专业理科类普通物理学的教学大纲,结合多年来的教学工作经验和心得体会,编写了这一套《普通物理学辅导与答疑》.希望能够帮助理工科大学生对物理学的基本内容理解得更深一些,运用得更活一些;并希望有助于广大自学者和已经学完普通物理学的读者,在原有知识的基础上总结提高,启发他们深入钻研问题的积极性,回答他们曾经提出和思考过的某些疑难问题.

本书力图把物理学的基本概念、定律和方法准确地阐述清楚,力求在概括和总结的基础上分清主次,突出重点,解释重点中的难点和容易混淆的地方.为了使本书有较大的适用性,书中的每一章都大致可分为前后两部分,前面的部分属于基本内容,反映的是基本的教学要求;后面的部分则是略高于教学要求的内容和专题性的深入讨论与说明.我们希望这样的安排能够作到使不同水平的读者各得其所,使本书起到课外的辅导与答疑的作用.

本书计划分三册出版.本册是第三册,涉及振动、波动、波动光学(光的干涉、衍射、偏振)以及量子光学和原子物理的有关内容.邓新元同志承担了本册的主编工作,并编写了本册前五章的基本内容部分;吴美娟、史田兰两同志编写了前五章的大

部分疑难问题；邓新元、黄天麟同志编写了前五章的部分疑难问题。后两章的基本内容及疑难问题是由蒋大权同志编写的。

在编写本书的过程中，得到了张三慧教授热情的帮助和具体的指导，他审阅了本册的全部内容，并提出了宝贵的意见。我们对此表示衷心的感谢。

本书的编写参考了若干现有的教材，在许多方面得到启发与教益，这里难于一一指明，在此一并致谢。

由于我们水平有限，加之编写时间仓促，书中难免有缺点和错误，恳请广大读者批评指正。

清华大学 现代应用物理系
基础物理教研组

1991年2月

目 录

第一篇 振动、波动、波动光学

第一章 振动	(1)
§ 1.1 简谐振动的基本概念	(2)
1.1.1 简谐振动的定义	(2)
1.1.2 简谐振动的特征量	(3)
1.1.3 位相差	(5)
1.1.4 简谐振动的运动学特点	(7)
§ 1.2 简谐振动所服从的基本定律	(9)
1.2.1 服从牛顿定律	(9)
1.2.2 服从机械能守恒定律	(10)
§ 1.3 描述和求解简谐振动的的基本方法	(11)
1.3.1 描述简谐振动的方法	(11)
1.3.2 判断一个振动是不是简谐振动的的方法	(12)
1.3.3 从运动学求解简谐振动的的方法	(12)
1.3.4 从动力学求解简谐振动的的方法	(12)
§ 1.4 简谐振动的合成(叠加)	(13)
1.4.1 简谐振动合成的实质与方法	(13)
1.4.2 两个同频率的简谐振动的合成	(14)
1.4.3 两个不同频率的简谐振动的合成	(18)
1.4.4 振动合成的逆问题——振动的分解	(20)
§ 1.5 阻尼振动	(21)

1.5.1	阻尼振动的方程和表达式	(21)
1.5.2	阻尼振动的特点	(22)
1.5.3	弱阻尼、过阻尼、临界阻尼	(23)
§ 1.6	受迫振动与共振	(24)
1.6.1	受迫振动的振动方程和表达式	(24)
1.6.2	受迫振动的特点	(25)
1.6.3	共振	(26)
1.6.4	无阻尼自由谐振动和稳态受迫振动的对比	(27)
§ 1.7	典型例题	(30)
§ 1.8	对某些问题的进一步说明与讨论	(39)
1.8.1	反相和反向	(39)
1.8.2	位相角和方位角	(39)
1.8.3	振动曲线的画法	(41)
1.8.4	用旋转矢量表示简谐振动的速度和加速度	(41)
1.8.5	简谐振动系统的机械能和振动能	(43)
1.8.6	组合弹簧振动系统的等效倔强系数	(44)
1.8.7	弹簧质量不能忽略时弹簧振子的固有频率	(48)
1.8.8	求振动周期举例	(50)
1.8.9	组合弹簧振动系统的横向微小振动	(53)
1.8.10	稳定平衡位置附近的微小振动	(56)
1.8.11	单摆是个理想化模型	(60)
1.8.12	单摆大幅度摆动的周期	(62)
1.8.13	对一个解题错误的分析	(65)
1.8.14	用振幅矢量法研究受迫振动	(67)
1.8.15	阻尼振动系统的能量	(92)
第二章	波动	(97)
§ 2.1	波动的基本概念	(97)
2.1.1	波的传播的概念	(97)
2.1.2	波的特征量	(98)

2.1.3	波形曲线	(100)
2.1.4	波的表达式	(101)
2.1.5	波动方程	(104)
2.1.6	波的能量及其特点	(105)
§ 2.2	与波的传播特性有关的原理、现象和规律	(107)
2.2.1	惠更斯原理	(108)
2.2.2	入射波、反射波、透射波间的振幅关系和位相关 系	(111)
2.2.3	多普勒效应及其规律	(115)
§ 2.3	与波的叠加特性有关的原理、现象和规律	(117)
2.3.1	叠加原理	(117)
2.3.2	波的干涉现象及其规律	(118)
2.3.3	驻波的形成及特点	(121)
2.3.4	两端固定绳的自由振动、简正模式	(125)
§ 2.4	电磁波	(127)
§ 2.5	典型例题	(131)
§ 2.6	对某些问题的进一步说明与讨论	(143)
2.6.1	振动曲线和波形曲线的联系——波动概念的应用	(143)
2.6.2	机械波的多普勒效应公式(2.13)的推导	(147)
2.6.3	光的多普勒效应	(149)
2.6.4	波的能量到哪去了	(152)
2.6.5	关于波的相干条件中“振动方向相同”一项的讨论	(154)
2.6.6	驻波是不是波	(156)
2.6.7	入射波和反射波振幅不等时的叠加	(157)
2.6.8	在完全反射的情况下媒质边界处是否可能既不是 波节又不是波腹	(158)
2.6.9	关于驻波能量的讨论	(160)
2.6.10	由驻波叠加为行波	(164)
2.6.11	有趣的“拍”现象	(169)

2.6.12	相速度与群速度	(171)
2.6.13	复振幅法	(177)
第三章 光的干涉		(180)
§ 3.1	光的干涉的一些基本概念	(180)
3.1.1	光的干涉现象	(180)
3.1.2	光源发光的特点	(180)
3.1.3	光的相干条件	(181)
3.1.4	相干叠加与非相干叠加	(182)
3.1.5	相长干涉与相消干涉	(184)
3.1.6	条纹宽度	(184)
3.1.7	干涉条纹的级次	(185)
3.1.8	干涉条纹的清晰度(对比度)	(186)
3.1.9	光程、光程差	(188)
§ 3.2	分析干涉问题的线索和方法	(189)
3.2.1	分析干涉问题的线索	(189)
3.2.2	分析干涉问题常用的方法	(190)
§ 3.3	分波面的干涉装置	(191)
3.3.1	分波面的双光束干涉装置	(191)
3.3.2	分波面的多光束干涉装置	(195)
§ 3.4	分振幅的干涉装置	(200)
3.4.1	概况	(200)
3.4.2	等厚干涉条纹	(203)
3.4.3	等倾干涉条纹	(209)
§ 3.5	空间相干性与时间相干性	(213)
3.5.1	光源的大小对条纹清晰度的影响	(214)
3.5.2	空间相干性	(218)
3.5.3	光源的非单色性对条纹清晰度的影响	(220)
3.5.4	时间相干性	(222)
§ 3.6	典型例题	(224)

§ 3.7	对某些问题的进一步说明与讨论	(235)
3.7.1	双孔干涉与双缝干涉	(235)
3.7.2	两个独立光源发的光是否一定不干涉	(237)
3.7.3	杨氏双缝干涉远场中的能流密度分布	(239)
3.7.4	对于光的相干条件中“振动方向相同”条件的讨论	(243)
3.7.5	干涉条纹的间距与媒质的折射率之间的关系	(247)
3.7.6	干涉条纹的定域	(249)
3.7.7	增透膜折射率的选择	(254)
3.7.8	对钠黄光双线波长测量中一个问题的分析	(255)
第四章	光的衍射	(262)
§ 4.1	光的衍射现象及其特点	(262)
4.1.1	光的衍射现象	(262)
4.1.2	光的衍射现象的分类	(262)
4.1.3	单缝的夫琅和费衍射图样及其特点	(264)
4.1.4	圆孔的夫琅和费衍射图样及其特点	(268)
4.1.5	光学仪器的分辨本领	(270)
§ 4.2	光的衍射理论的基础——“惠更斯-菲涅耳原理”	(273)
4.2.1	惠更斯-菲涅耳原理	(273)
4.2.2	惠更斯-菲涅耳原理的数学表达式	(274)
4.2.3	惠更斯-菲涅耳原理应用于分析衍射问题	(275)
§ 4.3	光的衍射的基本分析方法	(275)
4.3.1	菲涅耳积分法	(275)
4.3.2	半波带法	(279)
4.3.3	振幅矢量法	(281)
§ 4.4	衍射光栅	(286)
4.4.1	光栅衍射的分析方法及光强公式	(286)
4.4.2	对光栅衍射的理解	(288)
4.4.3	光栅衍射条纹的特点	(290)

4.4.4	多缝干涉和多缝衍射的对比	(295)
4.4.5	光栅光谱	(297)
4.4.6	光线斜入射时的光栅方程	(298)
§ 4.5	X射线在晶体上的衍射	(300)
4.5.1	衍射现象的发生	(300)
4.5.2	X光衍射的分析方法	(301)
4.5.3	布喇格公式和光栅方程的对比	(302)
§ 4.6	典型例题	(303)
§ 4.7	对某些问题的进一步说明与讨论	(313)
4.7.1	菲涅耳积分公式的复数形式	(313)
4.7.2	缝光源宽度对单缝夫琅和费衍射图样的影响	(316)
4.7.3	几何光学和波动光学的关系	(319)
4.7.4	杨氏双缝实验是双缝干涉还是双缝衍射	(321)
4.7.5	显微镜的分辨本领	(322)
4.7.6	圆孔的菲涅耳衍射	(324)
4.7.7	用菲涅耳半波带法说明泊松亮点的形成	(332)
第五章	光的偏振	(335)
§ 5.1	光的偏振的基本概念	(335)
5.1.1	光的偏振	(335)
5.1.2	线偏振光	(335)
5.1.3	自然光	(336)
5.1.4	部分偏振光	(338)
5.1.5	圆偏振光	(338)
5.1.6	椭圆偏振光	(339)
§ 5.2	光的偏振现象的一些规律	(341)
5.2.1	马吕斯定律——线偏振光通过检偏器后光强变化的规律	(341)
5.2.2	光在两种媒质界面上反射折射时偏振状态变化的规律	(342)

5.2.3	光在晶体中传播的规律——双折射	(344)
§ 5.3	分析光的偏振问题时用到的方法	(346)
5.3.1	晶体的惠更斯作图法	(346)
5.3.2	起偏和检偏的方法	(349)
5.3.3	圆偏振光和椭圆偏振光的获得与检偏方法	(353)
§ 5.4	偏振光的干涉	(362)
5.4.1	实现偏振光干涉的装置	(362)
5.4.2	各元件的作用及各区域中光振动的特点	(333)
5.4.3	关于干涉结果的讨论	(365)
5.4.4	色偏振	(367)
§ 5.5	典型例题	(368)
§ 5.6	对某些问题的进一步说明与讨论	(373)
5.6.1	自然光	(373)
5.6.2	偏振度	(377)
5.6.3	光的各种偏振态的表示法	(381)
5.6.4	由波晶片射出的椭圆偏振光的椭圆主轴与晶体光轴间的夹角	(389)
5.6.5	椭圆偏振光的光矢量 E 是否在作匀速旋转	(392)
5.6.6	关于波在两种媒质交界面反射和折射时的位相突变	(394)
5.6.7	光的反射中“半波损失”概念的适用性问题	(405)

第二篇 近代物理学基础

第六章	光的量子性	(413)
§ 6.1	光的量子性的基本内容、概念和规律	(413)
6.1.1	热辐射, 普朗克的能量子假说	(413)
6.1.2	光电效应, 爱因斯坦的光子假说	(420)
6.1.3	康普顿效应	(423)

6.1.4	电子对的产生和湮没.....	(426)
6.1.5	韧致辐射.....	(430)
6.1.6	光的本性及其与物质的相互作用	(431)
§ 6.2	典型例题.....	(433)
§ 6.3	对某些问题的进一步说明与讨论.....	(443)
6.3.1	近代物理的特点及学习方法	(443)
6.3.2	普朗克在推导他的热辐射公式中的几个主要物理思想.....	(446)
6.3.3	爱因斯坦在本世纪第一个十年里对发展量子论所起的作用.....	(454)
6.3.4	普朗克常数 h 在量子物理中的地位和作用	(457)
6.3.5	我国著名物理学家吴有训对康普顿效应的贡献	(460)
6.3.6	光电效应中的电子一次能否吸收二个或更多的光子.....	(462)
6.3.7	单个自由电子能否吸收光子	(465)
6.3.8	在康普顿效应中, 什么条件下才可以把散射物质中的电子近似看成静止的自由电子	(467)
6.3.9	在康普顿效应中, 散射线中为什么还有波长不变的射线.....	(468)
6.3.10	在康普顿效应中, 反冲电子获得的能量总是小于入射光子的能量, 这与光子的粒子性是否矛盾	(468)
6.3.11	由普朗克公式推导其他公式	(469)
第七章	原子的量子理论	(473)
§ 7.1	量子理论的基本内容、概念和规律.....	(473)
7.1.1	原子光谱的实验规律	(473)
7.1.2	玻尔的氢原子理论	(475)
7.1.3	实物粒子的波粒二象性	(480)
7.1.4	波函数及其统计解释	(482)
7.1.5	不确定关系	(484)

7.1.6	薛定谔方程	(486)
7.1.7	势阱、势垒、隧道效应	(488)
7.1.8	氢原子的量子力学处理方法	(494)
7.1.9	施特恩-格拉赫实验和电子自旋	(498)
7.1.10	原子的电子壳层结构原理	(500)
7.1.11	原子发光	(501)
7.1.12	关于微观粒子运动描述的小结	(502)
7.1.13	激光	(504)
§ 7.2	典型例题	(511)
§ 7.3	对某些问题的进一步说明与讨论	(521)
7.3.1	微观物质的波粒二象性与经典的波和粒子的区别	(521)
7.3.2	“粒子是波组成的”或“波是粒子组成的”与实验事实是否符合	(529)
7.3.3	关于波函数的统计解释	(531)
7.3.4	关于坐标和动量的不确定关系的理解及应用	(533)
7.3.5	关于能量和时间的不确定关系式的导出、理解及其应用	(537)
7.3.6	在示波管中的电子可看成经典粒子，而入射到晶面上的电子有波动性	(542)
7.3.7	磁场对磁矩的作用，原子的角动量和磁矩	(543)
7.3.8	有关电子自旋假设的两个问题	(548)
7.3.9	在戴维孙-革末实验中电子波波长的实验值与计算值有所差异	(554)

第一篇 振动、波动、波动光学

第一章 振 动

振动是一种重要的运动形式。常见的振动有机械振动、电磁振动……。广义而言，一个物理量（如机械振动中的位移、电磁振动中的电流）在一个数值附近随时间反复变化就称作振动。

根据振动过程的具体特点可对振动进行分类：根据它是否有周期性，分为周期振动和非周期振动；根据振动过程中是否有消耗能量的因素，分为阻尼振动及无阻尼振动；根据振动过程中是否有外来策动力（强迫力）的作用，分为受迫振动及自由振动。对于无阻尼的自由振动又可以分为无阻尼自由谐振动和无阻尼自由非谐振动。

简谐振动是最重要最基本的振动（下面我们会看到：无阻尼自由谐振动和稳态下的受迫振动都是简谐振动，但这二者又有很多差别），复杂的振动都可以看作是它的叠加。本章以机械振动为例重点讨论无阻尼自由谐振动的特点和规律（以下我们把无阻尼自由谐振动就直接称做简谐振动，把无阻尼自由谐振动系统称作简谐振动系统）。

§ 1.1 简谐振动的基本概念

1.1.1 简谐振动的定义

简谐振动可从运动学和动力学两个方面来定义. 从运动学方面看, 如果一个物体的振动位移(即对于平衡位置的位移)按余弦函数(或正弦函数, 本书采用余弦函数形式)的规律随时间变化, 即有如下形式

$$x = A \cos\left(\frac{2\pi}{T}t + \varphi\right) \quad (1.1)$$

这样的振动就叫作简谐振动. 例如, 图1.1中的水平弹簧振子(坐标原点 o 选在平衡位置上)的位移就满足上式的规律, 这是一个典型的简谐振动系统. 式(1.1)是简谐振动的运动学方程, 称作简谐振动的表达式. x 和 t 的关系也可用图1.2的曲线来表示, 它称作振动曲线(图中画的是 $\varphi = 0$ 时的振动曲线).

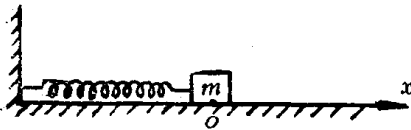


图 1.1

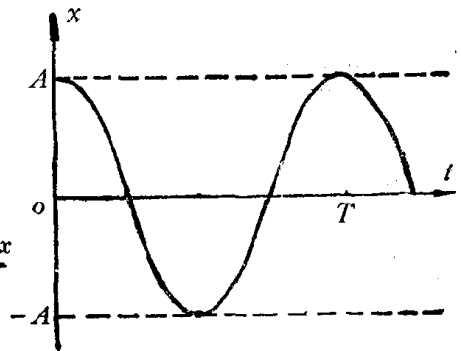


图 1.2

从动力学方面看,位移 x 满足如下微分方程的振动就是简谐振动:

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \omega^2x = 0 \quad (1.2)$$

这是简谐振动的动力学方程,称作振动方程. 它的解就是振动表达式(1.1).

1.1.2 简谐振动的特征量

(1.1)式中的几个物理量分别反映了简谐振动的一定特征,它们称作简谐振动的特征量.

振幅 A 反映了振动幅度的大小. 振幅 A 是最大位移的绝对值,它恒为正值. 简谐振动是等幅振动,振幅的大小和振动系统的能量有关.

周期 T 和频率 ν 反映了振动的“快慢”. 周期 T 是完成一次振动所需要的时间, T 越短说明振动得越“快”. 简谐振动是周期振动(读者可自行验证 $t+T$ 时刻的位移 $x(t+T)$ 和 t 时刻的位移 $x(t)$ 是完全相等的). 一般情况下,若一个振动的表达式 $f(t)$ 满足 $f(t+T) = f(t)$ 的关系,它就是周期振动. 频率 ν 是单位时间内所完成的振动的次数,单位是赫兹(每秒振动一次为1赫兹), ν 和 T 的关系为 $\nu = \frac{1}{T}$. 圆频率 ω 是 2π 个单位时间内的振动次数, $\omega =$

$2\pi\nu = \frac{2\pi}{T}$,单位为弧度/秒(简记为1/秒). 振动表达式(1.1)亦可写作

$$\begin{aligned} x &= A\cos(2\pi\nu t + \varphi) \\ &= A\cos(\omega t + \varphi) \end{aligned} \quad (1.3)$$

一个振动系统的 T (ν, ω 亦然)的大小只决定于系统本身的内在

因素,和外界因素无关,故称作固有周期(ν 称固有频率).例如,水平和竖直弹簧振子的频率 $\nu = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$,只决定于系统的弹性(由弹簧的倔强系数 k 反映)和惯性(由质量 m 反映).单摆的频率 $\nu = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{l}}$,决定于摆长 l 和重力加速度 g 的大小.

位相 $\omega t + \varphi$ 决定了 t 时刻的振动状态 $\omega t + \varphi$ 称作振动的位

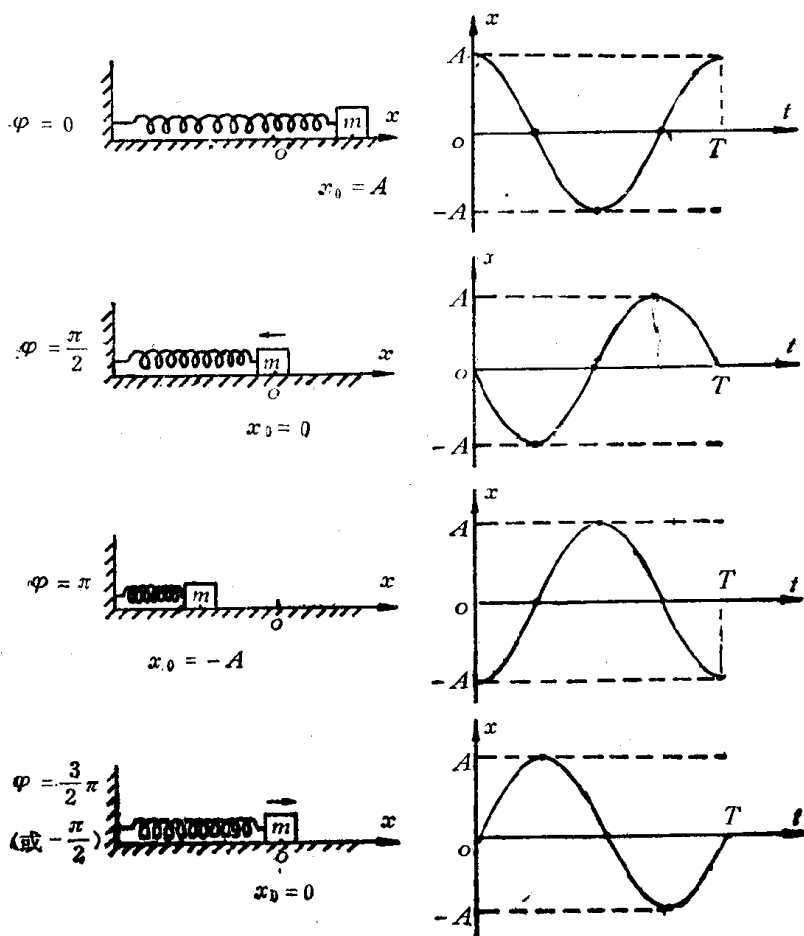


图 1.3