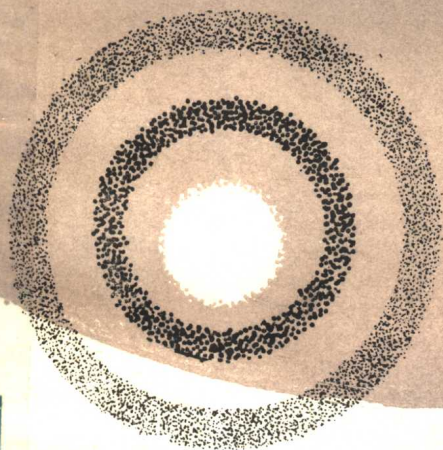


近代物理 课外实验

中学物理辅导员丛书



张继恒 编著
刘彬生

科学普及出版社

中学物理辅导员丛书

近代物理 课外实验

张继恒 刘彬生 编著

科学普及出版社

内 容 提 要

本书系参照教育部制定的全日制中学物理教学大纲，按照全国高级中学物理教材，分册编写。

本书分两部分。第一部分为近代物理。作者简要介绍了物理学近代发展史，精辟地论述了光的波粒二象性、原子的量子理论以及原子核和基本粒子的属性。第二部分为课外实验。作者选择一些典型的高中学生实验，对原理、方法和仪器的使用等方面作重点性的指导。内容比课文深入，并有所补充，还提出一些问题以促进观察和思考。

本书文字精练、内容丰富，且有一定深度。阅读本书可帮助读者培养自学能力，拓宽视野，扩大知识面。

本书适合高中学生、中学物理教师及自学青年阅读。

中学物理辅导员丛书

近代物理 课外实验

张继恒 刘彬生 编著

责任编辑：朱桂兰 刘黎

技术设计：王予南

科学普及出版社出版(北京海淀区白石桥路32号)
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
北京燕山印刷厂印刷

开本：787×1092毫米 1/32 印张：6.75 字数：150千字

1989年11月第1版 1989年11月第1次印刷

印数：1—1690册 定价：2.30元

ISBN 7-110-01027-9/O·42

中学物理辅导员丛书
编委会成员

主 编 沈克琦

副主编 孙念台 李 椿 雷树人

王殖东 祁有龙

编 委 张继恒 王学斌 焦树霖

陈培林

前 言

这套丛书的编写目的是为了帮助中学生深入理解物理学的基本概念和规律，更好地掌握物理学的基础知识和基本实验技能，有效地进行逻辑思维和抽象思维锻炼，加强分析问题和解决问题的能力，使他们能够更好地运用中学物理教材进行学习，扎扎实实学好物理课，以利于提高中学物理课的教学质量。

本丛书参照教育部制定的全日制中学物理教学大纲，按照全国高级中学物理教材，分册编写。初中讲授过的而高中教材不再重讲的基础知识，如流体力学、热学、几何光学等内容，也另行分册编写辅导材料。

本丛书力求做到以下几点要求：

1. 内容密切结合中学现用统编教材，但又不是教材的简单重复。对教材中的重点和难点着重进行辅导，对容易混淆的概念和重点内容，必要时采取正误对比的方法加以讲解。在现行教材内容的基础上，适当地扩大、加深学生的知识领域。此外，还配合教材中有关章节，讲述一些物理学研究方法和物理学发展历史中的重大事例，并注意做到理论联系实际。

2. 在有关物理实验的内容方面，注意培养中学生观察自然现象和实验工作的能力。适当介绍一些教材中没有介绍的实验方法，以及读者利用简单器材可以自己在课外做的简单实验。

3. 本丛书的体例，每一章一般分成三部分：第一部分是“本章内容摘要”；第二部分是“重点、难点问题的讲解”；第三部分是“复习思考问题和练习题”。根据教材各章内容的特点，必要时还叙述一些科学史知识、物理实验知识以及其他需要补充的知识。

内容摘要部分，力求简明扼要，突出一章的核心内容，反映全章各部分之间的相互关系，以及本章与前后篇章之间的联系。

“重点、难点问题解答”部分，要求讲清楚教材中的重点、难点问题，并适当地讲解一些有关知识。

“复习思考题和练习题”部分，力求每个题目都有明确的教学目的，着重题目的内容质量，而不是单纯地追求数量；注意理论联系实际，不选偏题和难度极大的难题。

例题的讲解尽量贯彻启发学生思维，培养思维能力的原则；要讲清楚解题的思路，避免单纯地教给学生死方法的做法。

我们希望：这套丛书能对于中学同学学习物理课起到一定的辅导员作用；对于教师的教学起到一定的助手作用。

本丛书的内容和编写方法倘有不当之处，请读者不吝提出宝贵意见。我们将参考读者的意见，于再版时进行修订和补充。

《中学物理辅导员丛书》编辑委员会

目 录

前言

第一部分 近代物理	1
一、关于光的本性学说发展简史.....	1
二、光的波动说 惠更斯原理.....	6
三、光的干涉.....	10
四、光的衍射.....	34
五、光的偏振.....	72
六、光的吸收、色散和散射.....	80
七、光子学说 波粒二象性.....	91
八、原子的量子理论.....	104
九、原子核.....	121
第二部分 课外实验	152
前言.....	152
误差和有效数字.....	152
实验1 游标测微的原理和读法	158
实验2 用不同方法测滑动摩擦系数	161
实验3 重力加速度测量方法的研究	163
实验4 设计和制作杆秤	168
实验5 碰撞中的动量守恒和动能变化	171
实验6 测空气的体胀系数	173
实验7 测冰的溶解热	174
实验8 测电池电动势和内电阻方法的研究	176

实验9 测电流表内电阻方法的研究	182
实验10 测凸透镜的焦距	185
实验11 测凹透镜的焦距	189
答案	194

第一部分 近代物理

一、关于光的本性学说发展简史

自古以来，人们就试图回答这样一个问题：为什么人能够看见周围的物体？古希腊时期，曾有一些哲学家认为，眼睛能够看见物体是由于从眼睛向物体伸出象触须似的东西，触须触到物体时和手摸到物体一样，引起人的感觉——视觉。这种看法显然是错误的。人们在黑暗的屋子里，即使睁大眼睛也看不见室内的物体；这就能充分地驳倒这种论点。古代的另外一些哲学家提出了正确的见解：视觉是眼睛接受物体发出（发射、反射或散射）的光而引起的。

那么，光到底是什么呢？关于光的性质，人们不断地进行研究。

2000多年前，人们就已经认识到光的一种基本性质——光在均匀媒质中直线传播。当光源很小时，在不透明物体背后能投下清晰的影子。

光的另外一个重要的性质是光在相交时互不干扰，即在一般情况下，从不同物体发出的光相交时，它们各自仍直线传播。一个人看他眼前的一个物体时，从他侧面物体发出的光和他眼前物体发出的光是相交的，但这并不妨碍他看清眼前的物体。

光的直线传播很自然地引起人们产生这样一种想法：光是从光源发出的微粒流，这些微粒在均匀媒质中做匀速直线运动。17世纪末，牛顿在他的名著《光学》一书中正式提出了这种观点——光的微粒说，并用来解释光的直线传播、反射和折射现象。他认为：

光的微粒在均匀媒质中运动时，不受力的作用，因而不产生加速度，做匀速直线运动。

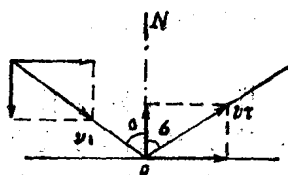


图 1-1

光的微粒和媒质界面发生弹性碰撞时，象乒乓球打在桌面上一样（图1-1），因为界面作用于微粒的力垂直于界面，所以微粒原速度 v_1 沿界面的分量不变，垂直于界面的分量大小不变，但方向变成反方向的，结果使微粒的速度变成 v_2 。不难证明，这是符合光的反射定律的，即 v_2 在入射线和界面法线(ON)决定的平面内， v_2 和 v_1 分别在法线的两侧，且反射角($\angle b$)

和入射角($\angle a$)相等。

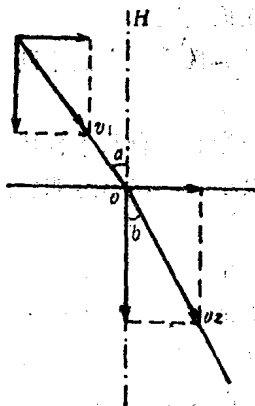


图 1-2

为了解释光由空气进入水中时是近法线折射的，牛顿假定水面以垂直并指向水面的力作用于微粒，使微粒的原速度 v_1 的垂直于水面的分量增大，但沿水面的分量不变，因而微粒在水中的速度 v_2 向法线(ON)偏折(图1-2)。从这里牛顿得出：

$$\frac{\sin a}{\sin b} = \frac{v_2}{v_1}$$

因为实际上光从空气进水时，近法线折射，即折射角 b 小于入射角 a ，所以得出结论：光在水中传播速度大于在空气中的传播速度。（19世纪中叶光速的测定证明这一结论是错误的。详见下节。）

然而，光的微粒说不能说明光在相交时互不干扰的性质。另外，在17世纪里，人们已经发现光通过极小的孔时象会变得模糊以及光的色散等现象，都是无法用光的微粒说解释的。

与牛顿提出光的微粒说差不多同时，惠更斯提出了另一种观点，认为光是在充满空间的一种弹性媒质中传播的波。这就是光的波动说。这种假定的媒质叫做“以太”。

实际上，牛顿在他的《光学》一书中，也用了波动观念，因为他已经发现一些光现象（如牛顿环、阴影边界处有阴暗相间的条纹等）表现出光的周期性。

惠更斯认为光是和声音一样的纵波。他用自己提出的原理——惠更斯原理（详见下节）圆满地解释了光的反射定律，在解释光的折射现象时，得出

$$\frac{\sin a}{\sin b} = \frac{v_1}{v_2}$$

的结论。这与牛顿用微粒说得出的结论恰好相反。但是，他在解释光的直线传播时遇到了困难。光的波动说的进一步发展是在19世纪初以后。

首先在1802年托马斯·杨做了双缝干涉的实验，他用光的波动说解释了实验结果，并测定了光的波长。随后，菲涅耳等物理家更进一步地发展了光的波动说，提出惠更斯·菲涅耳原理，解释了光的衍射现象，又根据光的偏振现象指出光是横波。19世纪中叶，傅科做实验测定了光在水中的传播

速度，证明它小于光在空气中的传播速度，支持了光的波动说。

在这样一些坚实的实验基础上，光的波动说于19世纪中叶以后被确立起来。

然而，这一时期的波动理论是把光现象看做是一种机械运动过程，认为光是在弹性媒质中传播的弹性波。这样，就必须假定有一种密度极小、弹性却又极强的“以太”充满宇宙空间。同一客体同时具备这样的两种性质是很难想象的。

19世纪60年代麦克斯韦发展前人的研究成果，建立了电磁理论，预言电磁波的存在，并指出电磁波的速度与光速相等，于是提出光的电磁波理论。20年后，赫兹在实验室里发现了电磁波，并证明电磁波具有与光相同的性质。从此，光的电磁波学说得到了公认。

赫兹发现的电磁波波长较长（无线电波）。人的眼睛能够感觉的光（可见光）是波长较短的电磁波。19世纪初实验中还先后发现波长小于可见光的紫外线和波长大于可见光的红外线。19世纪末又发现波长很短的伦琴射线和 γ 射线。实践证明，它们的本质是相同的，都是电磁波，区别在于波长不同。无线电波中的长波，波长长达几千米，而 γ 射线的波长能短到 10^{-14} 米以下。广义地说，波长不同的电磁波都是光（广义的光），随着波长的不同，光的各种性质存在着差异。

光的电磁理论指出了光现象和电磁现象的统一性，再次证明了辩证唯物主义的一条基本原理：一切自然现象都存在着深刻的相互联系。

从17世纪建立起来的牛顿力学发展到19世纪的麦克斯韦的电磁理论，物理学已形成一套严密的理论系统。当时的很

多物理学家认为物理学在理论上已经完美无缺了。但是一些相继而来的新发现却使物理学的理论再次陷入困境。迈克尔逊做的光干涉实验动摇了作为电磁波载体的“以太”假说。研究黑体辐射的能量分布时，用已有的理论导出的公式要求辐射能量随光频率的增大而无限地增大，与实验结果不相符合。光电效应也无法用旧理论解释。为了解决实践与旧理论（经典物理学）之间的矛盾，1900年普朗克提出一个假说——量子假说，认为各种频率的光，只能象微粒似的一份一份地发射，每份的能量正比于频率 ν ，即 $\epsilon = h\nu$ （ h 叫普朗克恒量），圆满地解释了黑体辐射问题；1905年爱因斯坦提出光子学说，又成功地说明了光电效应遵守的实验规律，其他如康普顿效应也能应用光子概念得到与实验相符的结论。

光子学说也是一种微粒学说，但它和牛顿的光的微粒学说是本质区别的。

综上所述，光的干涉、衍射等现象支持光的电磁波学说，而光电效应、康普顿效应等却支持光的光子学说，那么，光到底是什么呢？

其实，“粒子”和“波动”都是经典物理学中的概念。事实表明，任何一个经典物理学中的概念都不能完全概括光的本性。光在一些情况下表现出经典物理学中的粒子性，在另一些情况下却又表现出经典物理学中的波动性，这就是所谓的光的波粒二象性。

如果局限于机械观念来看问题，这种二象性是不可理解的。实际上，物理学的进一步发展指出，不仅光具有二象性，任何其他基本粒子，如电子、质子等也都具有这种性质。

关于光或其他物质微粒的本性问题，只能用它们所表现

的性质和规律来回答。它们都具有波粒二象性。我们必须抛弃机械论的观点，在辩证唯物主义的基础上认识这一问题。

二、光的波动说 惠更斯原理

1. 惠更斯在17世纪末提出光的波动学说。他认为光是一种波动，是在连续介质——以太中传播的机械振动。

惠更斯提出波阵面概念。

波阵面是某一物理量的振动相位相同的所有点的轨迹面。以声波为例，以点声源为中心的任何同心球面都是波阵面，在这样的球面上各点压力变化的相位总是相同的。其中有些是压力最大的点的轨迹面，有些是压力最小的点的轨迹面，还有其他压力介于最大与最小间的轨迹面等等。通常只画不连续的几个波阵面，一般画压力最大和压力最小的。这样相邻波阵面间的距离是半个波长。

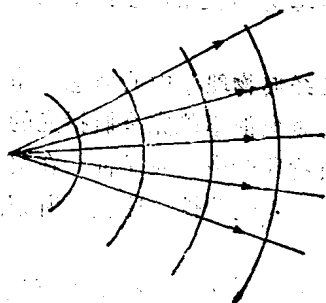


图 2-1

对于光波，现在已经知道与声波中的压力相当的物理量是电场强度和磁场强度。一般只画出波阵面与某参考平面的交线来表示形状。例如图 2-1 表示点光源发出的光波的波阵面，实际上其波阵面是以光源为球心的同心球面。这里所画出的只是球面与图平面的交线。在距点光源很远的地方，球面半径很大，可以看成是平面。图 2-2 表示这种平面波的波阵面。

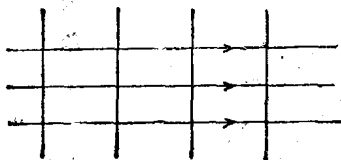


图 2-2

从波动学说来看，常说的光线是假想的、表示波前进方向的线。在各向同性的介质中，光线是与波阵面垂直的线。如图2-1和图2-2中所画出的那样。

惠更斯研究波阵面的传播问题，他认为：波阵面上的任何一点都可以看做是一个独立的点波源，叫做子波源（或之波源），所有子波源发出的半球面子波的包迹就是新的波阵面。这就是惠更斯原理。用惠更斯原理能够解释光的反射和折射定律。

先解释光的反射定律。

图 2-3 表示平行光线射在两种介质界面上的情况。 AB 是入射光的一个波阵面，入射角为 i ，波阵面上的 A 点先到达界面。当该面上的另一点 B 到达界面 C 点时，发自 A 点的子

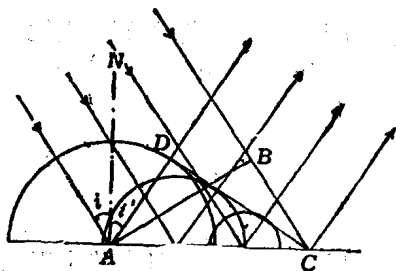


图 2-3

波在原介质内已形成半径 $AD = BC$ 的半球面波阵面，同时 AC 间的各点也都形成半径小于 AD 、不同大小的半球面波阵面。这些半球面的公切面（包迹） DC 是反射光的波阵

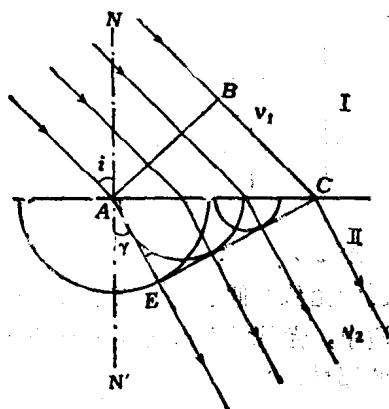


图 2-4

2-4) 子波源 A 点在第二介质里发出了半径为 AE 的半球面波阵面，

$$\frac{AE}{BC} = \frac{v_2}{v_1}.$$

过 C 点做这半球面的切面 CE 就是折射光的波阵面。可以证明入射角 i 和折射角 r 的正弦之比

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{BC}{AE},$$

所以，

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{v_1}{v_2}. \quad (1)$$

另外，在光的折射定律中引入了介质折射率的概念。用 n_1 和 n_2 分别表示第一和第二介质的折射率，（规定真空的折射率等于1），

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{n_2}{n_1}. \quad (2)$$

面。与之对应的光线和法线 AN 的交角是反射角 i' 。很容易证明 $i' = i$ ，满足反射定律。

为了解释光的折射定律，惠更斯提出光在不同介质中传播的速度不同。设光在第一和第二介质中传播的速度分别是 v_1 和 v_2 。当平行光波阵面 AB 的 B 端传到界面上的 C 点时（图

比较(1)和(2)式, 可得出结论:

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2}.$$

前面已经讲述, 根据牛顿的光的微粒说 (图2-5),

$$\sin i = \frac{v_{1t}}{v_1}$$

$$\sin r = \frac{v_{2t}}{v_2}$$

而 $v_{2t} = v_{1t}$, 所以

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{v_2}{v_1}$$

结合折射定律, 则得出

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{v_2}{v_1}.$$

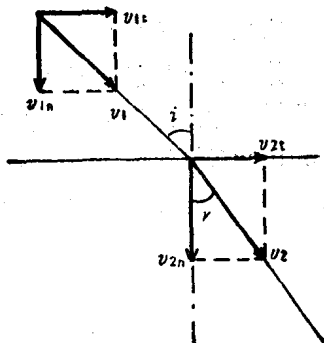


图 2-5

显然, 这是和根据光的波动说得出的结论相矛盾的。

实践是检验真理的唯一标准。1868年傅科用旋转镜法测定光在水中的速度小于在空气中的速度, 而水的折射率大于空气的折射率, 实验结果完全支持光的波动说。

实际上, 早在17世纪人们就已经发现两束光相遇有时会出现交替的明暗条纹或彩色条纹以及光线能弯入几何阴影的现象。前者叫做光的干涉, 后者叫做光的衍射。这两种现象都是用光的微粒说无法解释, 而光的波动说能够圆满地给以说明的。

2. 光的迭加原理

两列波在空间相遇时, 它们的传播各自独立进行, 互不干扰, 这就是波的独立传播原理。光的传播遵守独立传播原理。例如, 房屋里同时点几盏灯, 事实说明, 每一盏灯的光