

全国中学生物理竞赛委员会指定参考书

高中物理学④

▼
光学和近代物理学

沈克琦 主编

中国科学技术大学出版社

全国中学生物理竞赛委员会指定参考书



高中物理学④

▼
光学和近代物理学

主 编 沈克琦

编 委 张继恒 林 婉

张维善



中国科学技术大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

高中物理学. 4/沈克琦主编. —合肥:中国科学技术大学出版社,2015.7(2017.3重印)

ISBN 978-7-312-03686-6

I. 高… II. 沈… III. 中学物理课—高中—教材 IV. G634.71

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 095047 号

出版 中国科学技术大学出版社
安徽省合肥市金寨路 96 号, 邮编 230026
<http://press.ustc.edu.cn>
<https://zgkxjstdxcbs.tmall.com>

印刷 安徽省瑞隆印务有限公司

发行 中国科学技术大学出版社

经销 全国新华书店

开本 787 mm×1092 mm 1/16

印张 15.25

字数 316 千

版次 2015 年 7 月第 1 版

印次 2016 年 10 月第 4 次印刷

印数 20001—25000 册

定价 36.00 元

前 言

这套教材是为学校里学习基础较好且学有余力并对物理学科饶有兴趣、愿意深入钻研的学生编写的,其内容的深度和广度均超出原来的教学大纲和现行课程标准的要求.其目的在于充分开发学生的智力,使学生在高中阶段不仅能学到比较扎实的基础知识,而且在科学思维和科学方法,理论结合实际地进行综合分析的能力,热爱科学、勇于探索创新的精神,严谨的科学态度和科学作风等方面都能得到培养和提高,从而具有较全面的科学文化素质,为今后进一步学习和工作打下良好的基础.

现就编写这套教材的一些考虑和如何使用本教材的建议叙述如下.

1. 教学重点放在基本概念和基本原理上.从伽利略、牛顿时代开始,经过300多年无数科学家的努力,物理学已经成为比较成熟、系统性很强的学科.物理学的成果对现代自然科学和工程技术的发展起着巨大的推动作用,每一门新技术的出现都是物理学研究取得突破的结果.说物理学成熟和系统指的是物理学的知识已形成内部结构严密的体系,广泛的实践已经证明物理学的基本原理和规律正确地反映了客观世界的运动、发展和演化.只要能正确地理解和掌握这些概念、原理和规律及研究问题的科学方法,许多看来头绪纷繁的问题都有可能迎刃而解,对不断出现的新知识的理解也将比较容易.所以,高中物理课的首要任务应该是基本物理概念和原理的教与学,力求使学生对它们有比较清楚的理解.因此,在教材中不惜多费笔墨对一些概念和原理做了比较深入的阐述,在教学中也应当在这方面多花一些时间.要做到真正的理解,单

靠讲和听是不行的,必须通过学生独立思考,把教学过程从被动接受转变为主动学习,才能使学习内容成为学生头脑中印象深刻、具有有机联系的知识.这个过程需要多花一些时间.这样,虽然表面上教学进度慢了,但实际上学生真正弄懂了所学内容,就能牢记不忘,而且学会了科学思维的方法,可以举一反三,触类旁通,把知识变活了,将来学习会越来越顺利,总的效果会是快而不是慢,且能学得更好、更扎实.

2. 如前所述,本教材的内容与传统和现行高中教材相比,在深度和广度上均有所超出.对于这部分内容的要求应区别不同情况做不同处理,不要都与基本原理的要求一样.这部分内容大体上可以分为四种情况:

(1) 与基本概念、基本原理密切相关的内容,学生应该掌握,才能达到“真正的理解”.如力学中的矢量、近乎微积分的分析处理方法、简谐振动表达式、振动的合成和波的叠加的推导等均属这一类.这些概念和方法在物理学中使用较多,也有助于学生更好地理解有关内容,高中学生也是能够掌握的.其中一些内容学生开始接触时可能有些困难,不要因此而回避,也不要期望一步到位.经过多次接触,反复运用,最后可以达到预期目的.

(2) 属于物理学基本原理,但在高中阶段只能达到初步理解的内容.如力学中的角动量、刚体定轴转动、流体动力学等均属此类.这些内容涉及的物理现象是生活中经常遇到的,它们又是进一步学习的基础.因此在高中应该教一点初步知识,以拓宽学生的思路,并为进一步学习做点准备.对这部分内容要求要适当,不能要求学生有深入的理解.在课后作业方面只要求做一些有助于理解所讲内容的习题.

(3) 适当增加了一些近代物理方面的内容.面向 21 世纪的中学生应该对 20 世纪初以来的近代物理学有一定的了解,跳出经典物理学的框框,获得比较完整、准确的物理概念.但由于学生数学物理基础的限制,这部分内容只能是初步的.对于书中增加的一些近代物理的基本概念、原理和结论,如相对论、量子论和粒子与宇宙等内容,有的采取渗透的方

法,在讲授经典物理知识时加入有关的内容;有的则比较系统地进行简要介绍,讲解中侧重基本概念、发展脉络和研究方法.近代物理学的发展过程充满了新旧观念的矛盾、理论与实验的矛盾,也正是这些矛盾推动了物理学的发展.这对于启发学生的科学思维和创新精神是十分有利的.这部分内容以及新增加的经典物理学中的统计概念、不可逆过程等,不可能要求学生完全理解,只要求学生知道一些最基本的概念,知道还有不少问题有待进一步学习就行了.这样,学生学到的知识是开放型的,而不是封闭型的,学生的求知欲得到进一步的激发.学到的某些新知识就如一个嫩芽,遇到适宜的环境,它就能够在生长起来.每个人的条件不同,今后的发展也会有很大差别.这样安排有利于学有余力的学生通过学习较早地接触到更深一些的内容,从而达到更高的水平.教师在讲授这方面内容时可以相机行事,进行适当的增删.学生则要改变老师教多少就学多少的被动学习习惯,采取主动学习、充分发挥自己潜力的学习方法.

(4) 阅读材料.多数是介绍科学家的事迹和扩大知识面的材料.这些材料有利于提高学生的科学素质.阅读这些材料不费多少时间,希望每位学生都能认真阅读、思考并有所体会.

3. 一定要通过各个教学环节加强能力培养,特别是科学思维能力的培养.要结合理论教学和具体事例讲授科学家如何发现问题、如何探索解决问题的途径,他们采用的科学方法,他们具有的严谨的科学作风、兢兢业业的敬业精神和勇于突破的创新精神.讲授原理时要注意讲清思路而不是只讲结论.有的内容可以不讲而要求学生自学,思考题要求学生认真思考并相互讨论,把有关概念和原理真正搞清楚.做习题是教学过程的必要环节,要求学生在认真复习课堂讲授内容基础上独立完成作业.希望学生在解题过程中理清思路,务求做一题就有一题的收获.

4. 实验教学是物理教学的重要环节.实验教学既与理论教学相联系,又有一定的相对独立性.鉴于已有专门的中学物理实验教材出版,本教材未编入具体的实验内容.

在编写这套教材时,曾组织大、中学校老师召开过多次座谈会,他们提出了许多宝贵的意见和建议.这套教材的力学部分先后由张继恒、张维善执笔;热学部分由张维善执笔;电磁学部分由林婉执笔;光学和近代物理部分由张维善执笔.沈克琦主持编写并对全书进行了审阅.

中国科学技术大学出版社为本教材的编写、出版做了大量工作,谨表诚挚的谢意.我们还由衷地希望看过和用过此教材的老师和同学提出宝贵的批评和意见,以帮助我们进一步改进,使之日臻完善.谨致谢忱.

沈克琦

2014年9月

目 录

前言	(i)
第 18 章 几何光学	(1)
18.1 光的直线传播	(1)
18.1.1 光源与光现象	(1)
18.1.2 光线和光束	(2)
18.1.3 光速	(3)
18.2 光的反射和折射	(6)
18.2.1 光的反射定律	(6)
18.2.2 光的折射定律	(7)
18.2.3 折射率	(8)
18.2.4 全反射	(10)
18.2.5 光的色散	(12)
18.3 平面反射和平面折射成像	(15)
18.3.1 平面反射成像	(16)
18.3.2 平面折射成像	(17)
18.4 球面反射成像	(20)
18.4.1 傍轴条件和成像公式	(20)
18.4.2 焦点和焦距	(25)
18.4.3 成像的作图法	(26)
18.5 球面折射 透镜成像	(29)
18.5.1 球面折射	(29)
18.5.2 透镜成像公式	(31)
18.5.3 透镜的焦点、焦距和焦面	(34)

18.5.4 透镜成像作图法	(37)
18.6 眼睛 常用光学仪器	(40)
18.6.1 眼睛	(40)
18.6.2 放大镜	(42)
18.6.3 显微镜	(44)
18.6.4 望远镜	(45)
第18章习题	(47)
阅读材料	(49)
第19章 波动光学	(52)
19.1 光的微粒说和波动说	(52)
19.1.1 微粒说与波动说	(52)
19.1.2 电磁波谱	(55)
19.2 光的干涉	(57)
19.2.1 杨氏干涉实验	(58)
19.2.2 杨氏干涉实验的理论分析	(59)
19.2.3 薄膜干涉	(60)
19.2.4 薄膜干涉的应用	(61)
19.3 光的衍射	(63)
19.3.1 光的衍射现象	(63)
19.3.2 单缝衍射的分析	(66)
19.3.3 衍射光栅	(68)
19.4 光的偏振	(70)
19.4.1 光是纵波还是横波?	(70)
19.4.2 光的偏振现象	(71)
19.4.3 偏振光的产生及应用	(73)
19.5 光的吸收与散射	(75)
19.5.1 光的吸收	(75)
19.5.2 光的散射	(76)
19.6 光谱	(77)
19.6.1 分光镜	(77)
19.6.2 发射光谱	(78)

19.6.3	吸收光谱	(78)
19.6.4	光谱分析	(79)
	第19章习题	(79)
	阅读材料	(80)
第20章	狭义相对论	(83)
20.1	牛顿时空观和力学相对性原理	(83)
20.1.1	牛顿时空观	(83)
20.1.2	伽利略相对性原理	(84)
20.2	光速不变和爱因斯坦相对性原理	(87)
20.3	同时的相对性 时间膨胀	(88)
20.4	长度缩短	(92)
20.5	洛伦兹变换	(95)
20.5.1	时空坐标的洛伦兹变换	(95)
20.5.2	相对论速度变换	(97)
20.6	相对论质量和动量	(98)
20.7	相对论能量	(100)
	阅读材料	(103)
第21章	波动性和粒子性	(105)
21.1	热辐射和能量量子化	(106)
21.2	光电效应 光子	(109)
21.2.1	光电效应的实验规律	(109)
21.2.2	光电效应解释中的疑难	(110)
21.2.3	爱因斯坦的光子理论	(111)
21.2.4	光电效应的应用	(113)
21.3	物质波	(115)
21.3.1	光的波粒二象性	(115)
21.3.2	德布罗意波	(117)
21.3.3	物质波实验验证	(118)
21.3.4	波函数	(119)
21.3.5	概率波	(120)

第 21 章习题	(121)
阅读材料	(122)
第 22 章 原子结构	(125)
22.1 科学原子论的确立	(125)
22.2 原子的核式结构	(128)
22.2.1 电子的发现	(128)
22.2.2 α 粒子散射实验和原子的核式模型	(130)
22.2.3 原子核的电荷和大小	(133)
22.3 氢原子光谱的实验规律	(135)
22.4 玻尔的原子理论	(137)
22.4.1 玻尔原子理论的基本假设	(138)
22.4.2 玻尔理论对氢光谱的解释	(138)
22.4.3 弗兰克-赫兹实验	(141)
22.4.4 玻尔理论的局限性	(142)
22.4.5 原子世界中的概率	(143)
22.5 激 光	(145)
22.5.1 自发辐射 受激辐射和吸收	(145)
22.5.2 原子按能级的分布和粒子数反转	(146)
22.5.3 光谱谐振腔	(147)
22.5.4 激光的特性及应用	(148)
第 22 章习题	(148)
阅读材料	(149)
第 23 章 原子核	(153)
23.1 原子核的电荷、质量和大小	(153)
23.1.1 原子核的电荷	(153)
23.1.2 原子核的质量	(154)
23.1.3 原子核的大小	(156)
23.2 原子核的放射性衰变	(157)
23.2.1 天然放射性现象	(157)
23.2.2 原子核的衰变	(159)

23.2.3	半衰期	(161)
23.2.4	探测器	(162)
23.3	原子核的组成 核反应	(164)
23.3.1	质子的发现	(164)
23.3.2	中子的发现	(166)
23.3.3	原子核的组成	(167)
23.4	放射性同位素	(168)
23.5	核力 原子核的结合能	(170)
23.5.1	核力	(170)
23.5.2	原子核的结合能	(171)
23.5.3	质能关系 质量亏损 平均结合能	(171)
23.6	原子核的裂变	(173)
23.6.1	原子核裂变的发现	(174)
23.6.2	链式反应 临界体积 原子弹	(175)
23.6.3	原子核能的和平利用	(177)
23.7	原子核的聚变	(178)
23.7.1	核聚变	(178)
23.7.2	核聚变的条件	(179)
23.7.3	核聚变的应用	(180)
	第 23 章习题	(181)
	阅读材料	(182)
第 24 章	粒子和宇宙	(185)
24.1	粒子世界	(185)
24.1.1	基本粒子——一个历史的概念	(185)
24.1.2	粒子的主要内在属性	(187)
24.1.3	粒子的相互作用	(189)
24.2	夸克模型	(190)
24.3	宇宙概况	(192)
24.4	宇宙的起源与演化	(195)
24.4.1	现代宇宙学的诞生	(195)
24.4.2	宇宙膨胀的发现	(196)

24.4.3	大爆炸模型	(197)
24.4.4	微波背景辐射	(198)
24.4.5	宇宙的物理演化史	(199)
	阅读材料	(201)
	总复习题	(204)
	部分习题答案	(215)
	附录	(217)
	索引	(220)

第18章 几何光学

光学(Optics)是物理学的重要组成部分,它主要研究光的传播、光与物质相互作用的规律以及它们的应用,并由此不断地深化人类对光的本质的认识。

我们在初中物理课程中已经初步学习过光的直线传播、光的反射、光的折射等现象及其特点,现在我们将进一步研究光的直线传播、光的反射和折射的规律.以这些实验规律为基础,运用几何学的方法来研究光的传播和成像等问题的知识体系,称为几何光学(Geometrical Optics)。

在前面学习过的电磁学中,我们又知道了光是一种电磁波.光的波动性在光的干涉、衍射、偏振等现象中突出地表现出来.对这些现象的研究,自然要以波动理论为基础.光学的这一部分称为波动光学(Wave Optics)。

在光与物质相互作用的某些现象中,如黑体辐射、光电效应、康普顿效应等,光又显著地表现出粒子性.对这些现象及其规律的研究,则需要用到量子理论.光学的这一部分称为量子光学(Quantum Optics)。

在这部教材的光学部分,主要讲述几何光学和波动光学.关于光的量子性问题将在近代物理部分中讨论。

18.1 光的直线传播

18.1.1 光源与光现象

人类对光现象的研究,最早起源于“人为什么能看见周围物体”这样的问题。

在古希腊和古埃及,不少人喜欢将眼睛与太阳进行类比,以为眼睛也是发光的,而视觉就是由眼睛发射出的视线所触发的感觉.古希腊著名学者柏拉图曾说:“在器

官之中,上帝首先创造了发光的眼睛。”自此之后,这种观念长期影响着后人,以至我们今天还能在不少文章中看到“视线所及”的用语.不过,这种用法已不再具有科学的含义,而只是一种文学的语言了.

与欧洲相比,我国古代的情况要好得多,没有发现将眼睛当作小太阳的议论.相反,早就正确地认识到,眼睛是依靠外来的光产生视觉的.例如,《墨经》上记载有:“目以火见”,东汉人王符进一步写道:“夫目之视,非能有光也,必因乎日月火炎而后光存焉.”

是的,在漆黑的房间里,我们伸手不见五指.如果开亮一盏灯,我们就能看见灯,还可以看见房间里的桌、椅和墙壁等.我们能够看见灯的发光部分,是因为它发出的光进入了我们的眼睛,引起了视觉.我们能够看见桌、椅和墙壁等,是因为它们被灯光照射时,在它们的表面上发生了漫反射,这些漫反射光进入我们的眼睛,也引起了视觉.

可见,在我们能够看见的各种物体中,有的能自行发光,有的只能反射光.通常,我们把能够自行发光的物体,如电灯、蜡烛、萤火虫、太阳等,叫作**光源**(Light Source).

光源总是有一定大小的,但是当光源的线度与光源到观察者的距离相比小得多时,可以把光源看作是只有几何位置而没有大小的点.这样的光源叫作**点光源**(Point Source),也称为**发光点**.这样的点光源或发光点当然是一种理想化的抽象概念,在实际上是不可能实现的.但是,在许多实际问题中,一些光源,特别是光源上各个发光的小区域,又往往可以被看作点光源或发光点.在讨论成像问题时,它有助于描述物和像的性质.

在我们研究光的传播问题时,不论是本身可以自行发光的光源,还是发出漫反射光的物体,它们都能引起视觉,所以都可以当作发光体,而发光体又可以视为是由许多发光点组成的.

18.1.2 光线和光束

我们在初中物理中已经学过,光在均匀介质中是沿直线传播的.在点光源的照射下,不透明的物体背后出现清晰的影子(图 18.1);在一个暗箱的前壁上开一小孔,由物体上各点发出的光线将沿直线通过小孔,在暗箱的后壁上形成一倒立的像(图 18.2),都是光沿直线传播的例证.

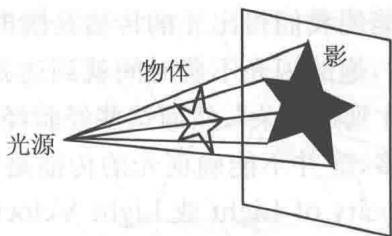


图 18.1 物体的影子

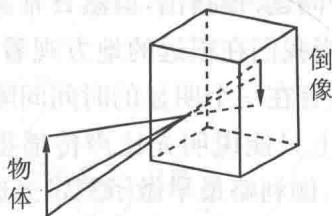


图 18.2 针孔成像

在几何光学中研究光的传播规律时,通常用一条带有箭头的直线来表示光的传播方向,甚至就用它代表光,并把它叫作光线(Light Ray).

光线的概念对于我们想象光的传播是有帮助的,而且使我们有可能用几何学的方法来研究光的传播问题.但是几何学意义上的光线并不是一种真实的物理实在,我们事实上无法得到一条无限细的光线.

一般说来,一个发光体不会仅向某一个方向发光,也不会仅发出一条光线,而是同时向许多方向发光,发出许多条光线.例如,在地面上很大范围内都能看见天空中的某颗星星,就是因为它是向空间所有方向发光的结果;探照灯的“光柱”也是由许许多多光线构成,并且可以近似地认为它们是互相平行的.这些具有一定关系的一系列光线的集合,称为光束(Light Beam).自一发光点发出的许多光线构成的光束,或者能够汇交于一点的许多光线构成的光束,都称为同心光束(Concentric Beam 或 Homocentric Beam).组成同心光束的所有光线的公共点,叫作同心光束的顶点.同心光束可分为发散光束(Divergent Beam)、会聚光束(Convergent Beam)和平行光束(Parallel Beam)三种.图 18.3(a)中光束是从顶点 A 发出的,称为发散光束;图 18.3(c)中光束是向顶点 B 会聚的,称为会聚光束;图 18.3(b)中的光束是平行光束,它可以认为是由无穷远处的发光点发出的发散光束,也可以认为是会聚于无穷远处的会聚光束.

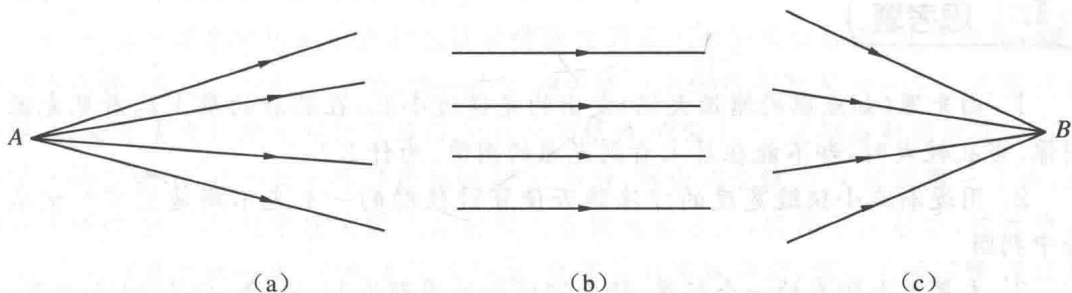


图 18.3 三种同心光束

18.1.3 光速

光从光源发出后,以多大的速度传播呢?伽利略在《两种新科学的对话》一书中

讨论了这个问题.他指出,虽然日常经验可能使我们得出光的传播是瞬时的结论,例如有人说“当我们在很远的地方观看放炮时,炮的闪光不费时间就到达我们的眼睛,但炮声则只有在一个明显的时间间隔之后才到达耳朵”.然而这些经验经过更仔细地分析,实际上只能说明光比声传播得快得多,而并不能确证光的传播是“不费时间”的.1607年,伽利略最早做了测定光速(Velocity of Light 或 Light Velocity)的实验,但由于当时的实验设备和计时手段均不足以测出像光速这样高的速度,所以实验失败了.

1676年丹麦天文学家罗默(O. Roemer, 1644—1710)在观察木星的卫星食的过程中,发现光是以有限的速度传播的.利用罗默的观测数据,曾经计算出光速等于 $215\,000\text{ km/s}$.

1849年,法国物理学家菲索(A. H. Fizeau, 1819—1896)利用转动齿轮的方法,首先在地面实验室中测定了光的速度.1862年,另一位法国物理学家傅科(J. L. Foucault, 1819—1868)改进了菲索的方法,用旋转镜法比较准确地测定了光在水和其他一些介质中的传播速度,从而发现光在不同介质中的传播速度互不相同,但都小于真空和空气中的光速.多年之后,美国物理学家迈克尔逊(A. A. Michelson, 1852—1931)采用旋转棱镜法更为准确地测出了光速值为 $299\,796\text{ km/s}$.

1970年以后,人们开始利用激光测量光速,大大提高了测量的精确度.1975年第15届国际计量大会把真空中的光速值定为

$$c = 299\,792\,458\text{ m/s}.$$

同时依此规定将国际单位制中的长度单位“m”规定为“光在 $\frac{1}{299\,792\,458}\text{ s}$ 的时间间隔内在真空中传播的距离”.这样“m”有了一个新的标准.在通常的计算中,往往可取

$$c = 3.00 \times 10^8\text{ m/s}.$$



思考题

1. 由光源(如点燃的蜡烛火焰)发出的光通过小孔,在孔后的屏上能看见光源的图像.当孔较大时,却不能在屏上看到光源的图像.为什么?

2. 用逐渐减小狭缝宽度的方法能否使穿过狭缝的一束光不断地变窄?试从实验中判断.

3. 木星是太阳系的一个行星,绕太阳运行的周期为11.86年.它有14个卫星,其中,木卫一、木卫二、木卫三、木卫四4颗是伽利略用自制望远镜发现的,木卫一则是这4颗中最靠近木星的一个.木卫一绕木星旋转的轨道平面跟地球和木星绕太阳公转的轨道平面的交角很小.它每绕木星一周将消失在木星的影内一次,即发生一次卫星食,如图18.4所示.在地球上观察木卫一连续两次食毕的时间间隔为42 h 28 min多一些,这个时间被认为就是观测到的木卫一绕木星转动的周期.罗默经过细心观