

■ 高 等 院 校 物 理 系 列 教 材 ■

从宇宙到夸克

余 虹 姜东光 李雪春

FROM
UNIVERSE
TO
QUARK

清华大学出版社

高等院校物理系列教材

从宇宙到夸克

FROM
UNIVERSE
TO
QUARK

余 虹 姜东光 李雪春

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书内容包括宇宙之旅、太阳系、电与磁和微观世界探幽4章。第1章主要介绍大尺度或高速度条件下的物理学知识,包括宇宙学、天文测量、远离地球的太空的物理现象、恒星的生命历程以及相对论原理;第2章主要介绍太阳系范围内的种种物理现象和支撑这些现象的物理原理,如太阳黑子,太阳光谱,地球的年龄,大气层、臭氧层的作用;第3章介绍电、磁、光的基本概念、物理原理和在现代科学技术中的应用;第4章介绍微观粒子的特点及其遵循的量子力学规律。

本书是为管理类、人文艺术类和语言类专业的大学生专门编写的物理教材,数学要求不高,也适合高中生和中学教师以及其他对物理天文感兴趣的读者阅读。

版权所有,翻印必究。举报电话:010-62782989 13901104297 13801310933

图书在版编目(CIP)数据

从宇宙到夸克/余虹,姜东光,李雪春编著. —北京:清华大学出版社,2004.8
(高等院校物理系列教材)

ISBN 7-302-08748-2

I. 从… II. ①余… ②姜… ③李… III. 物理学—高等学校—教材
IV. O4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 052491 号

出 版 者: 清华大学出版社

地 址: 北京清华大学学研大厦

<http://www.tup.com.cn>

邮 编: 100084

社 总 机: 010-62770175

客户服务: 010-62776969

责任编辑: 朱红莲

版式设计: 刘祎森

印 刷 者: 北京市世界知识印刷厂

装 订 者: 北京国马印刷厂

发 行 者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 148×210 印 张: 7 字 数: 184 千字

版 次: 2004 年 8 月第 1 版 2004 年 8 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-302-08748-2/O · 364

印 数: 1~4000

定 价: 13.80 元

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话: (010)62770175-3103 或 (010)62795704

物理学一直被认为是很难学的课,不少理工科的学生都觉得物理高不可攀,对之望而生畏。作为一个在高校长期从事物理教学的教师,我们一直想为物理教学筑一道缓坡,让学习管理、文学、艺术设计等专业的学生也能够漫步登高,领略一下物理学理性的美。

当我在某个电视剧里听到台词说:“用考试的滤光片把生活滤得只剩下白色——学习”;当我在报纸载文中读到:“……白白胖胖的,像从茧子里钻出的蚕宝宝”,更感到学文的人需要学习科学。没有受过科学教育的人,不能算受过真正的高等教育,缺乏必要的自然科学的基础知识,缺少基本的科学思维方式培训的人很难成才。能写出“滤光片把光滤成白色”、“从茧子里钻出蚕宝宝”的作家决不会是优秀的作家。

在社会活动中人们需要探讨和解决各类问题,其成功的概率不能说与大家是否具有共同的见识、共同的理性基础无关,不能说与当事人的科学素质无关。科学教育,尤其是自然科学的教育,更特别的是物理学教育,是提高人的科学素质的非常重要的途径,也可以说是现代教育的核心问题之一。接受科学教育不仅仅是为了获得生活和工作所必需的知识和技能,学习物理学也不仅仅

是为了获得物理知识,更重要的是获得科学思想、科学精神、科学态度和科学方法的培养与熏陶。

以知识经济为主流的社会形态,正在全球迅猛扩张,人类的社会生活和生产方式的每一个方面,都受到以信息科学为代表的现代科学的重大影响,创新已经成为民族生存和国家发展的根本保障。物理学作为一门重要的基础学科,是当代技术发展的最主要源泉和动力,它的发展对整个人类文化也产生着深远的影响。

近百年来,许多有识之士认识到,要使我们的国家、民族自立于世界之林,离不开科学技术,也离不开科学的教育与发展。今天,正在崛起的中国仍然十分需要科学教育,经济管理类、人文艺术类和语言文学类专业的大学生,同样十分需要科学教育,只有具备较高的科学素质,才能更好地适应时代发展的需求,更好地为社会服务,实现自身的价值。

与编写理工专业的物理学教材不同,我们在编写本书时没有刻意追求物理公式的推导和定理的证明,而是把重点放在介绍物理学的理性美上,这种美既体现为严谨的演绎证明,又体现为典型的归纳举例和对历史背景的叙述,还体现为人类不懈地追求和物质结构的精妙,还体现为人类对未来科技突破的前瞻性思考,包括对人类自身命运和人类生存所依赖的环境的严肃思考。我们认为,这种科学的理性美的教育应该成为科学教育的重要组成部分。

我们还希望通过本课程的讲授,能使非理工专业的学生接受另一种思维的熏陶。通过为读者介绍物理学的发展过程,使读者了解物理学中的数据、定律乃至重大发现是如何产生的,当初的物理学家们怎么思考的,现在的物理学家们又在干什么。可以说,这也是我们编写本书的又一个出发点。

本书的第1章、第2章由余虹撰写,第3章由李雪春撰写,第4章由姜东光撰写。感谢张殿凤老师为本书的写作以及试用做了大量的工作,也感谢伏敬丹老师在选择习题方面提出了建议。同时感谢大连水产学院的杨桂娟老师为出版本书所做的工作。

余 虹
于大连理工大学
2004.2.14

前言 / I

第 1 章 宇宙之旅 / 1

1.1 浩瀚的宇宙 / 1

1.1.1 天文测量 / 1

1.1.2 宇宙之旅 / 7

1.2 恒星的兴衰 / 9

1.2.1 恒星的诞生 / 9

1.2.2 恒星的生命历程 / 10

1.2.3 黑洞 / 16

1.3 时空联姻 / 21

1.3.1 伽利略相对性原理 / 22

1.3.2 狭义相对论与洛伦兹变换 / 25

1.3.3 狭义相对论的时空观 / 28

1.3.4 质量-能量关系 / 36

1.4 弯曲时空(广义相对论) / 40

1.4.1 广义相对论基本原理 / 40

1.4.2 广义相对论的预言与检验 / 42

1.4.3 探讨宇宙的命运 / 46

第2章 太阳系 /53

- 2.1 揭开太阳神秘的面纱 /53
 - 2.1.1 太阳——核反应堆 /53
 - 2.1.2 核反应浅释 /56
 - 2.1.3 太阳系的形成 /59
 - 2.1.4 太阳黑子 /60
 - 2.1.5 太阳的基本成分和太阳光谱 /64
 - 2.1.6 太阳的未来 /67
- 2.2 太阳系的臣民——行星 /68
 - 2.2.1 行星轨道分布 /68
 - 2.2.2 行星简介 /70
- 2.3 地球的档案 /80
 - 2.3.1 地球的结构 /80
 - 2.3.2 地球的年龄 /82
 - 2.3.3 地球的大气层 /86
 - 2.3.4 月球 /90
- 2.4 保护地球 /94
 - 2.4.1 臭氧层缺损 /95
 - 2.4.2 温室效应 /96
 - 2.4.3 合理利用能源 /97

第3章 探索光与电的秘密 /103

- 3.1 电与磁 /103
 - 3.1.1 “统治”现代世界的电 /103
 - 3.1.2 雷电的成因与大气电场 /109
 - 3.1.3 无处不在的磁 /111
 - 3.1.4 磁性的实际应用 /121

3.2	生活在电磁波的海洋中	/123
3.2.1	电磁振荡与电磁波的辐射	/123
3.2.2	电磁波谱	/126
3.2.3	电磁波的应用	/128
3.3	五光十色的世界	/130
3.3.1	光的干涉	/130
3.3.2	光的衍射	/137
3.3.3	光的偏振	/141
3.3.4	光的量子性	/145
第4章	微观世界探幽	/149
4.1	做客粒子家族	/149
4.1.1	电子的发现	/149
4.1.2	永不静止的光子	/153
4.1.3	揭开原子核的内幕	/153
4.1.4	囚禁中的夸克	/156
4.1.5	四种基本自然力	/159
4.2	震撼世界的量子科学	/164
4.2.1	温度与颜色	/164
4.2.2	电子的波动性	/167
4.2.3	原子中电子的行踪	/168
4.2.4	波函数	/170
4.2.5	深入认识微观世界	/174
4.3	量子物理引起的革命	/180
4.3.1	半导体	/180
4.3.2	超导体	/186
4.3.3	纳米材料	/188
4.3.4	光子技术	/193

参考答案	/209
-------------	-------------

第 1 章

宇宙之旅

参加一次宇宙空间的旅行,那将是令人激动、兴奋的事。尽管目前对于普通人来说还是奢望,但是,对于人类来说,这已经不是完全虚构的事了。

当我们穿越太空时,眼前展现出宇宙的风景——浩瀚无边,空旷寂寥,漆黑的天幕上远远近近挂着明亮的星体,时不时有一两颗爆发出耀眼的光芒。宇宙让人感到如此之大,地球就像阳光中的一粒尘埃。回首观望刚刚离开的蔚蓝色的地球,不禁使我们感到无限留恋。

1.1 浩瀚的宇宙

1.1.1 天文测量

遥远的星空,是我们即将要去旅行的地方,目标在哪里呢? 在离开这颗人类赖以生存的星球之前,我们必须做一些测量以便确定

目标。

让我们先了解几项简单的天文测量。

1. 测量距离

测量星体到我们的距离是第一件重要的事情。如此遥远的距离,测量起来非常困难,现在我们用三角视差法来测量,虽然这至少需要半年的时间,但这是最简单的方法。一年之中在不同的时间观测同一颗恒星的视角是不一样的,如图 1-1 所示,选择地球公转轨道上合适的直径,使太阳恒星的连线与之相垂直,我们的两次测量就在当地球位于直径两端的位置。可以证明,这两次测量的视差为 2θ ,与其他任意相隔半年的两次测量的视差相比较这是最大的。 θ 就称为该恒星的周年视差。

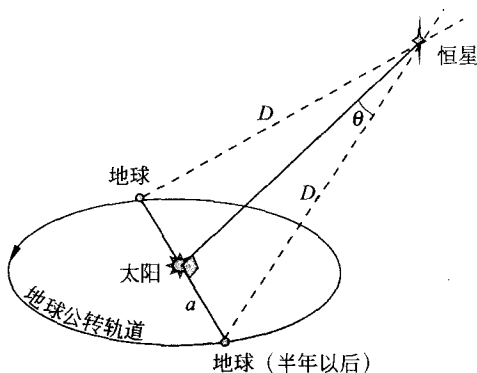


图 1-1 周年视差法测量恒星的距离

由图 1-1 可得

$$\sin\theta = \frac{a}{D}$$

式中 a 是地球的轨道半径, D 是恒星与地球之间的距离。通常所测量的恒星距离我们很远,一般 $\theta < 1''$, 所以近似有:

$$\theta = \frac{a}{D}$$

上式中 θ 的单位是弧度(rad), 现在改用角秒(")表示。因为 $1 \text{ rad} = \frac{180^\circ}{\pi} \approx 57.3^\circ \approx 206265''$, 所以

$$\theta \approx 206265 \frac{a}{D} (")$$

我们把 a 看作日地平均距离, 相当于 $1.49597870 \times 10^8 \text{ km}$, 这个距离在天文学中称为 1 个天文单位(AU), 即

$$1 \text{ AU} = 1.49597870 \times 10^{11} \text{ m}$$

当恒星的周年视差为 $1''$ 时, 它和我们之间的距离定义为 1 秒差距(pc), 换句话说, $1 \text{ pc} = 206265 a$, 这样就得到了以下关系式:

$$D = \frac{1}{\theta} \text{ 秒差距 (pc)} \quad (1.1)$$

式中 θ 的单位是角秒("), D 的单位是秒差距(pc)。

例如, 测得半人马座的南门二星的周年视差 $\theta = 0.751''$, 可以算出它到地球的距离为

$$D = \frac{1}{0.751} = 1.332 \text{ pc}$$

因为, $1 \text{ 光年 (l. y.)} = 9.4605536 \times 10^{15} \text{ m} = 63239.8 \text{ AU}$, 所以有

$$\begin{aligned} 1 \text{ pc} &= 206265 \text{ AU} \\ &= 3.085678 \times 10^{16} \text{ m} \\ &= 3.2616311 \text{ l. y.} \\ D &= 1.332 \text{ pc} \\ &= 4.35 \text{ l. y.} \\ &= 274745 \text{ AU} \\ &= 4.12118 \times 10^{13} \text{ km} \end{aligned}$$

也就是说, 南门二星到我们地球的距离是 4.35 光年, 或者 274745 个天文单位, 或者 $4.12118 \times 10^{13} \text{ km}$ 。

视差法对于测量太阳系或邻近的恒星系(50pc 范围内)比较适

用,太远了,由于视差太小,反而不准确了。

对于最遥远的星系,我们还可以用测量谱线红移的方法来测量距离。这种方法的原理是基于多普勒效应。但是,对于远在 10000 光年以外的星系,天文学家们的测量结果往往是不一致的。

2. 测量亮度

仰望夜空,繁星点点,有明有暗,我们可以用亮度这个物理量来描述天体的明亮程度。通常用视星等 m 表示我们视觉上所感到星体的明亮程度。看上去越亮的星,等级 m 越小。2000 多年前,希腊天文学家依巴谷把肉眼能看到的范围内的星分为 6 等,最亮的星为 1 等星,最暗的为 6 等星。1 等星的平均亮度是 6 等星的平均亮度的 100 倍。设 5 等星是 6 等星的 x 倍,4 等星是 6 等星的 x^2 倍,依此类推,1 等星是 6 等星的 x^5 倍,即 $x^5=100$,于是有

$$x = \sqrt[5]{100} = 2.512$$

这就是说,相邻视星等级的星的亮度比为 2.512。

后人沿用了这套星等系统,并经仪器的检验加以精密化,并规定亮度比 1 等星还亮 2.512 倍的为 0 等星,以此类推,更亮的星用负数来表示其星等。

作为参考,给大家一些星等与亮度的实例:满月时的月亮为 -12.73 等,即月亮最亮时的亮度是 1 等星亮度的 $2.512^{13.73}$ 倍;天狼 A 星为 -1.45 等,太阳为 -26.74 等。现代大口径望远镜可观测到 25 等的暗星。

光度学理论指出,亮度与天体到观测点的距离的平方成反比,看起来暗的星,发光不一定弱;看起来亮的星,发光也不一定强。描述天体发光强弱的物理量叫光度。恒星的光度是指恒星每秒钟向四面八方辐射出的总能量。要在遥远的地球上通过测量讨论天体的光度,必须规定一个标准距离,天文学规定这个标准距离为 10 个秒差距,即 32.6 光年。星体在标准距离处的亮度叫绝对亮度,通常用绝对视星等 M 表示。天体的绝对亮度和绝对视星等与天体的光度成

正比。

太阳是我们天空中看到的最亮的天体,但是,它的绝对视星等只有 4.8。已知的恒星中光度最大的,每秒辐射的光能量比太阳大 10 万倍,只是它们离我们太遥远,所以我们看到的只是一些微弱的小亮点。当然,宇宙中也有一些很暗的星,它们的光度只有太阳的十万分之一。

例题 1.1 测得距离地球为 L 的天体的视星等级为 m 等,求其绝对视星等级 M 。

解 设天体的亮度为 e ,绝对亮度为 E ,根据亮度与距离的平方反比关系得

$$\begin{aligned} 10^2 E &= L^2 e \\ \frac{E}{e} &= \frac{L^2}{10^2} \end{aligned} \quad (1)$$

再设 1 等星的亮度为 E_0 ,根据定义则有

$$E = 2.512^{1-M} E_0 \quad (2)$$

$$e = 2.512^{1-m} E_0 \quad (3)$$

$$\frac{E}{e} = 2.512^{m-M} \quad (4)$$

比较①式与④式,得

$$2.512^{m-M} = \frac{L^2}{10^2}$$

取对数

$$(m-M) \lg 2.512 = 2(\lg L - \lg 10)$$

整理得

$$M = m + 5 - 5 \lg L \quad (1.2)$$

例题 1.1 的结果说明只要测得了星体的距离和视星等级,就可以计算出绝对视星等级。这样,判断不同远近的星体的发光强度也就有了可比性。

3. 测量温度

测量恒星的温度是一件十分复杂的事情。但是,如果我们把恒星看成绝对黑体,事情就简化了。

所谓绝对黑体,是这样的物体,它对任何电磁辐射(当然包括可见光)都不反射,或者说它能吸收辐射到它表面上的一切光。一般的黑色物体(如黑色的煤炭、墨等)还远不是绝对黑体,因为它可能吸收可见光范围之外的电磁波,最多只有百分之九十几的吸收率。

但是,请读者注意,绝对黑体并不一定都是黑色的,因为它们很可能向外辐射(不是反射)各种波长的电磁波,如果有可见光的成分,我们就能够看见物体的颜色了。一般说来,恒星可以看成是绝对黑体。

维恩位移定律指出:对于温度为 T 的黑体,在单位时间单位表面积辐射能量 e_{λ}^0 按波长分布的曲线上,峰值所对应的波长 λ_M 与表面温度 T 的乘积是一常数(如图 1-2 所示)。

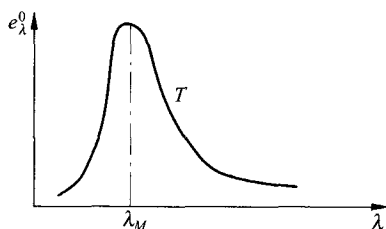


图 1-2 黑体辐射曲线

用数学语言描述即

$$\lambda_M T = b \quad (1.3)$$

式(1.3)就是著名的维恩位移定律。式中 T 是热力学温度,即摄氏温度加上 273,单位是开尔文(K);常数 $b = 2.898 \times 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$ 。

这样,我们只要在所拍摄的恒星光谱图中查找出最明亮的部分所对应的波长,就可以推算出恒星表面的温度。

例题 1.2 已知太阳光谱的峰值波长约为 500nm,求太阳的表面温度。

解 根据维恩位移定律

$$T_{\text{表面}} = \frac{b}{\lambda} = \frac{2.898 \times 10^{-3}}{500 \times 10^{-9}} = 5796\text{K}$$

显然,根据维恩位移定律,表面温度较高的星体,峰值波长就比较小。在可见光光谱中,蓝色靠近短波一端,所以这些高温星体称为“蓝星”。相反,表面温度较低的星体,峰值波长就比较大。在可见光光谱中,红色靠近长波一端,所以这些低温星体通常被称为“红星”。

天狼 A 的表面温度为 9500K,是一颗“蓝星”;猎户星云中最亮的参宿四,表面温度只有 3000K,是颗“红星”。

亮度与星体的温度不完全是统一的,猎户座中有并不太亮的恒星,其表面温度高达 20000K;有的白矮星,表面温度可达 10^8K ,但是看起来却比太阳暗得多。

1.1.2 宇宙之旅

现在要开始我们的宇宙之旅了。参加一次宇宙空间的旅行,那将是令人激动、兴奋的事。尽管目前对于普通人来说还是奢望,但是,对于人类来说,这已经不是完全虚构的事了。

当我们的飞船穿越太空时,眼前展现出宇宙的风景——浩瀚无边,空旷寂寥,漆黑的天幕上远远近近挂着耀眼的星体。在那极端的沉寂中,回首观望刚刚离开的蔚蓝色的地球,不禁使我们感到无限眷恋。宇宙,让人感到如此之大,地球就像阳光中的一粒尘埃。

我们飞出太阳系,朝着星体集中的方向前进,那是银河系的银盘中心。

沿途有时会碰上一些冰冷的、毫无生气的小团块;有时会遇上熊熊燃烧的气态球——恒星。到了银河系的边缘,我们又转换角度观察一下银河系的全景。

银河系外围近似球状的空间散布着的大部分是老年的恒星,这

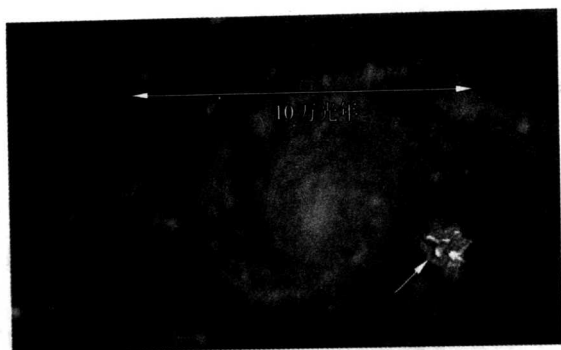


图 1-3 银河系

一范围叫做银晕。而位于扁扁漩涡状中的星云是比较年轻的恒星组成的。在这个被称作银盘的明亮的旋臂上，一颗颗蓝星发着炫目的光芒。

银河包含着 1000 亿颗像太阳那样的恒星。对我们来说万分重要的太阳，在银河系中只不过是一颗亮度一般，大小中等，十分普通的恒星。银河系中除了恒星，还有没形成星的星际云，据考证它们的化学成分和太阳一样，但密度只有太阳密度的 10^{-22} 倍。

俯瞰银盘，恒星、气体和尘埃都在缓缓转动——估计平均一亿年绕银河中心旋转一周。仔细考察恒星，可以发现它们种类很多，有的温度极高，有的温度很低；有的明亮，有的暗淡；有的发红，有的偏蓝……

大多数恒星独往独来，也有许多恒星成双成对绕着共同的中心旋转，这个旋转可不像它们绕银河中心运动那样慢条斯理，而是几年、几天甚至几小时就互相绕行一周，就像跳着星际华尔兹。有的星胀胀缩缩地“呼吸”，偶尔还可看到有颗星爆炸，耀眼的光芒辉煌得令人眩晕，爆炸碎片四处崩散。

我们在旅途中记录下的这些信息，对研究宇宙的发展、恒星的兴衰是非常有用的。因为，由于生命的短暂，人类无法看到一颗恒星是