

献给世界物理年2005

近代物理

100 题

王一平

西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

献给世界物理年 2005

近代物理 100 题

王一平

西安电子科技大学出版社

2005

内 容 简 介

本书以简明扼要的文字介绍了近代物理和科技应用的有关内容,共100题,内容涉及量子、基本粒子、天体、生物、激光、半导体、超导、生物医学、相对论等诸题。

本书适合于工科或文科具有专科以上学历的读者阅读,可作为相关教师和学生的教学参考用书,亦可作为工科大学物理的补充教材。

图书在版编目(CIP)数据

近代物理 100 题/王—平. —西安:西安电子科技大学出版社, 2005. 4
ISBN 7-5606-1499-X

I. 近… II. 王… III. 物理学 IV. O41

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 014607 号

责任编辑 杨 璠

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

http://www.xduph.com E-mail: xdupfxb@pub.xaonline.com

经 销 新华书店

印刷单位 西安文化彩印厂

版 次 2005年4月第1版 2005年4月第1次印刷

开 本 850毫米×1168毫米 1/32 印张 7.5

字 数 183千字

印 数 1~2000册

定 价 10.00元

ISBN 7-5606-1499-X/O·0074

XDUP 1770001-1

*** 如有印装问题可调换 ***

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

目 录

基本物理常数.....	(1)
光速.....	(3)
洛伦兹变换.....	(5)
动尺缩短和动钟变慢.....	(8)
相对论速度变换	(10)
高速多普勒效应	(11)
质能关系	(13)
光量子	(16)
电子和正电子	(21)
物质波	(23)
不确定原理	(25)
量子力学	(28)
薛定谔方程	(30)
隧道效应	(33)
扫描隧道显微镜	(35)
不相容原理	(37)
多电子原子	(40)
固态晶体	(42)
平面电磁波和电磁波谱	(45)
塞曼效应	(48)
激光致冷	(50)
中微子	(53)
引力波	(55)

黑洞	(57)
契伦科夫辐射	(60)
暗物质	(62)
太阳	(63)
地球	(67)
太阳系的小天体	(70)
生态	(72)
外星生命	(75)
熵	(77)
核纪年	(81)
霍尔效应	(82)
超导	(84)
固体的能带	(87)
超导结	(89)
液晶	(92)
CT	(95)
核磁共振 CT	(98)
光纤	(100)
费米能级	(103)
全息术	(105)
掺杂半导体	(108)
PN 结	(110)
晶体管	(112)
MOS 晶体管	(114)
电路集成	(116)
磁盘	(118)
光盘	(120)
发光二极管	(123)

光敏二极管.....	(125)
CCD	(128)
电子服装.....	(130)
氢燃料电池.....	(132)
GPS 制导导弹	(135)
宽带无载波通信.....	(137)
X 射线.....	(139)
核子.....	(141)
核衰变.....	(144)
核力.....	(147)
裂变和聚变.....	(148)
激光.....	(152)
分子.....	(155)
原子团簇.....	(156)
纳米微粒.....	(157)
生物大分子.....	(159)
自由电子激光.....	(161)
广义相对论概念.....	(164)
宇宙.....	(167)
膨胀的宇宙.....	(168)
反粒子.....	(170)
基本粒子.....	(172)
宇称.....	(174)
虚粒子.....	(175)
蝴蝶效应.....	(177)
孤立子.....	(179)
玻色子和费米子.....	(182)
声子和激子.....	(184)

加速器.....	(186)
磁悬浮列车.....	(189)
转基因植物.....	(191)
光合作用.....	(193)
细胞.....	(195)
细胞的自我复制.....	(197)
干细胞.....	(199)
克隆.....	(202)
宇航速度.....	(204)
同步卫星.....	(205)
航天飞机.....	(207)
巡航导弹.....	(209)
喷气发动机.....	(211)
静电.....	(213)
声纳.....	(215)
B超.....	(216)
磁流体发电.....	(218)
激光陀螺.....	(219)
红外探测.....	(221)
介观物理.....	(223)
粒子和宇宙.....	(225)
参考文献.....	(227)
索引.....	(229)
编后语.....	(233)

基本物理常数

物理学是人类探索自然界物质运动基本规律的学科。迄今为止，它所涉及的空间和时间尺度已达到如表 1 和表 2 所示的范围。

表 1 空间尺度 单位: m

宇宙范围极限	10^{26}
超星系团	10^{24}
银河系半径	7.6×10^{22}
1 光年的距离	10^{16}
太阳半径	7×10^8
地球半径	6×10^6
人类平均身高	约 1.5
人类红细胞直径	10^{-6}
细菌线度	10^{-9}
原子线度	10^{-10}
原子核线度	10^{-15}
基本粒子线度	10^{-17}

表 2 时间尺度 单位: s

宇宙年龄	10^{18}
太阳系年龄	1.4×10^{17}
出现原始人的时间	10^{13}
人类平均寿命	2.2×10^9
地球公转一周	3.2×10^7
阳光到达地球所需的时间	5×10^2
人类心脏跳动周期	1
声波周期	10^{-3}
π^+ 介子平均寿命	10^{-9}
分子转动周期	10^{-12}
原子振动周期	10^{-15}
最短粒子寿命	10^{-25}

这两个表告诉我们，物理学迄今为止探索到的时空尺度范围相差约 43 个数量级。

在这样的历史过程中，人们发现和确定了许多基本物理常量，它们不随地点、材料的不同而变。它们和物理科学以及其他许多科学和应用有着密切的关系，在实验和理论中起着很重要的作用。它们在数值上的准确可靠关系到许多有关实验数据和理论结果的正确性。

表 3 列举了若干这类常数的最新数值。有一些是随着科学的发展而越来越精确的结果，有少数是依定义来确定的。表中数值是国际科学技术委员会(CODATA)1999 年正式发布的推荐值，参考了 1978 年 5 月《自然杂志》创刊号的数表。表中前三项 c 、 μ_0 和 ϵ_0 在相对标准确定度中被直接认为是定义值。

表 3 物 理 常 数

物理量	符号	数 值	单 位
光速	c	299 792 458	m/s
真空导磁率	μ_0	$4\pi=12.566\ 370\ 114\dots$	$10^{-7}\text{ H}\cdot\text{m}^{-1}$
真空介电常数	ϵ_0	8.851 878 18	$10^{-12}\text{ F}\cdot\text{m}^{-1}$
万有引力常数	G	6.673	$10^{-11}\text{ m}^3/\text{kg}^{-1}\cdot\text{s}^{-2}$
普朗克常数	h	6.626 066 76	$10^{-34}\text{ J}\cdot\text{s}$
基本电荷	e	1.602 176 462	10^{-19} C
电子静质量	m_e	9.109 381 88	10^{-31} kg
质子静质量	m_p	1.672 621 58	10^{-27} kg
阿伏伽德罗常数	N_A	6.022 141 99	$10^{23}/\text{mol}$
玻耳兹曼常数	k	1.380 650 3	10^{-23} J/K
电子伏	eV	1.602 176 462	10^{-19} J

光 速

光是被人们最早研究的物理实体之一，因为它和人们的生活密切相关。光速的测量，据科学史记载，最早是 1676 年天文学家 Roemer 利用木星卫星掩蚀方法的测量结果。到了 19 世纪，当电学和磁学发展到一定程度时，发现它和电流的静电单位与电磁单位之比有关。在此对这一事实做一个说明。

CGS 电磁单位是厘米—克—秒单位以电流的安培定律为准的结果。认为在这个定律中导磁率是 1，即以下式描述电流之间相互作用的磁力：

$$\frac{dF}{dl} = \frac{II'}{d} \quad (1)$$

CGS 静电单位是厘米—克—秒单位以电荷的库仑定律为准的结果。认为在这个定律中电容率是 1，即以下式描述电荷之间相互作用的电力：

$$F = \frac{qq'}{r^2} \quad (2)$$

设式(1)中的电磁单位电流用 $[A]$ 表示，式(2)中的静电单位电流用 $[a]$ 表示，则在考虑到 $[q] = [a][T]$ 时，不难发现两式的量纲分别是

$$\frac{[F]}{[L]} = \frac{[A]^2}{[L]}$$

和

$$[F] = \frac{[a]^2 [T]^2}{[L]^2}$$

其中， L 表示距离， T 表示时间。由此不难看出

$$\frac{[a]^2}{[A]^2} = \frac{[L]^2}{[T]^2}$$

即静电单位的电流与电磁单位的电流之比具有速度的量纲。再进一步具体化,用当时的光速数据,就会发现两者之比是光速。这是 Maxwell 的电磁场普遍定律确定后发现的。

实际上,经典的电磁理论本身就认定光速是常数这一事实。因为,将电磁场运动方程在真空中写出,并导出相应的波动方程,则此方程中波速的表达式必为

$$c^2 = \frac{1}{\epsilon_0 \mu_0} \quad (3)$$

其中, ϵ_0 和 μ_0 分别是真空中的电容率(介电常数)和导磁率,它们都是定值(常数):

$$\epsilon_0 = \frac{1}{36\pi} \times 10^{-9} \text{ F/m}$$

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$$

由式(3)得

$$c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

这一结果就是作为基本物理常数之一的光速的定义值。

光的速率还可以从分子光谱的常量中获得,也可以由无线电微波技术中得到。这类方法的优点是可以把设备安置在抽成真空的容器中,直接获得真空中的光速。因光速与波长和频率相关联,而光的波长可从光的干涉现象中测得很准,它的频率也可利用无线电电子学的方法而准确测量,因此,目前得到的公认的光速是 $c = 299\,792\,458 \text{ m/s} \pm 1.2 \text{ m/s}$ 。由此,在 1983 年 10 月 20 日的第 17 届国际度量衡委员会上颁布了米的新定义为:米是光在真空中 $1/299\,792\,458 \text{ s}$ 时间间隔内所经历的路径长度。

洛 伦 兹 变 换

任何物理事件都要用表示时空的参照系统才能定量描述。在物理学的牛顿时代，认为存在着一种绝对的时空参照系。它与任何事物的运动无关，而永远是等同的，不动的。在其中绝对的时间和绝对的空间是相互独立的。万事万物好比装在一个不动的时空框架中运动。牛顿的力学定律在此绝对时空参照系中成立。在其中，凡相对于绝对时空作匀速直线运动的时空参照系都是惯性系，在其中惯性定律成立，即一个不受外力的质点都作匀速直线运动。这些是同人们日常生活和工作的自我感觉相符合的。图 1 表示两个最简单的惯性系。 S' 是动系， S 是相对的静止系。前者相对后者以速度 v 沿 x 轴正向运动。按照日常生活的经验，从 S 系看在 S' 系中一点， x' 应为 $x = x' + vt$ ；反过来，从 S' 看 S 系应是 $x' = x - vt$ 。而 $t' = t$ ，表明时间不参与变换，它是绝对的。

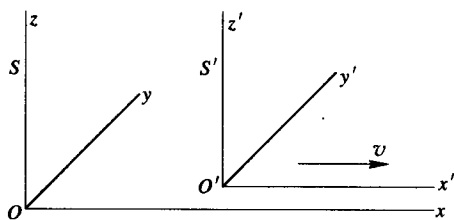


图 1 惯性系

爱因斯坦(Einstein, 1879—1956)在 1905 年提出了狭义相对论(special theory of relativity)，他的理论基于两个公设：

(1) 在相对作匀速运动的参照系，即惯性系之间，物理定律的表现形式不变。

(2) 自由空间(真空)中的光速 c 在所有的惯性系中是常数，是物质运动速度的极限，与光源的运动速度无关。

在 19 世纪末期，为了证明光速是否与光源的运动有关，曾设想存在着一种叫做以太(ether)的物质。以太无处不在，是光传播的载体。科学家们设计了一个实验：将地球当做以太中的船，船上发出光，则在地球绕太阳运动的不同位置，可由地球的不同速度，测出以太中不同的光速，好比在河道中行船可以测定风速一样。但是，所有的这种寻找所谓“以太风”的实验都以失败而告终。

另一方面，从当时已知的电磁场运动规律确定了真空的光速 c 是一个不变的基本物理常数。爱因斯坦认为，用图 1 所示的惯性系描述物理事件时，它们之间的时空变换关系可依据前述两个公设导出如下的洛伦兹(Lorentz, 1853—1928)变换：

$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}, t' = \frac{t - \frac{v}{c^2}x}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}, y' = y, z' = z \quad (1)$$

这是用 S 系的时空变量表示 S' 时空变量的结果。反过来则为

$$x = \frac{x' + vt'}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}, t = \frac{t' + \frac{v}{c^2}x'}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}, y = y', z = z' \quad (2)$$

其中， c 是真空中光速， v 是 S' 系沿 S 系的 x 轴正向，相对于 S 系的速度，且 $v < c$ 。这种变换与日常生活的观念最显著不同的地方在于 $t \neq t'$ ，即不存在绝对的在两个系统内不变的时间；而且，时间与空间有密切的线性关系。

设当两个坐标系重合时为 $t = t' = 0$ ，从原点沿 $+x$ 发出一个光信号，则在 t 时间经过的距离是 $x = ct$ 。将此值代入式(1)，即

得 $x' = ct'$ ，表明光速不变。可见，此变换与第二公设一致。麦克斯韦(J. C. Maxwell, 1831—1879)曾证明了光波是电磁波。这个结果也说明电磁场的规律在 Lorentz 变换下的不变性，与第一公设一致。

动尺缩短和动钟变慢

狭义相对论的重要推论是运动尺的缩短和运动时钟的变慢。

从洛伦兹变换(1), 对于在 S 和 S' 系, 沿 x 轴的一段两端分别为 1、2 的两点, 且 $x_2 > x_1$, 不难得出

$$x_2' - x_1' = \frac{(x_2 - x_1) + v(t_2 - t_1)}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

令 $x_2' - x_1' = L_0$ 表示在 S' 系中尺的固有(proper)长度, 它相当于在 S' 系中沿 x' 轴置一长 L_0 的尺, 又在 S 系中对它两端同时测量, 即令 $t_2 - t_1 = 0$, 则在 S 系中相应的长度是 $x_2 - x_1 = L$, 而

$$L = L_0 \sqrt{1 - v^2/c^2} \quad (1)$$

由于 $v < c$, 根式的值小于 1, 故 $L < L_0$ 。这表明运动的尺在相对静止的 S 系中测量时, 长度缩短了。这个结果在历史上称为 Lorentz-Fitzgerald 收缩。在狭义相对论之前曾作为假设提出过。

又从洛伦兹变换(2)可得

$$t_2 - t_1 = \frac{(t_2' - t_1') + \frac{v}{c^2}(x_2' - x_1')}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

令 $\Delta t_0 = t_2' - t_1'$, 它是在运动系 S' 中相应的时差。但应在同一地点测量, 使 $x_2' - x_1' = 0$ 。再令 $\Delta t = t_2 - t_1$, 则得

$$\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \quad (2)$$

式中, 由于 $v < c$, 故 $\Delta t > \Delta t_0$ 。这表明在相对静止系 S 中, 运动系 S' 的对应时段膨胀了, 即运动系 S' 中的一个时段在静止系 S 中观测时变慢了。 Δt_0 又称固有(proper)时, 或称原时。这相当于在 S'

系中的单个时钟经历的时间和 S 系中的两个校准了的时钟对比的结果。

狭义相对论的惯性系又叫平直时空。如遇到非平直时空，可以其切向时空在短时间、短距离上看做是惯性系统的平直时空，而引用狭义相对论的结果。例如一宇宙飞船的船身固有长度是 $L_0 = 90 \text{ m}$ ，相对于地面以 $0.8c$ 的匀速从一观测站上空飞过。依照式(1)，地面上测得的船身为

$$L = L_0 \sqrt{1 - v^2/c^2} = 90 \sqrt{1 - 0.8^2} = 54 \text{ m}$$

船上的宇航员相对于飞船静止，他所测得的飞船通过地面上观测站的时间间隔是

$$\Delta t_0 = \frac{54}{0.8 \times 3 \times 10^8} = 2.25 \times 10^{-7} \text{ s}$$

地面上得到飞船通过的时间间隔由式(2)可知为

$$\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} = \frac{2.25 \times 10^{-7}}{\sqrt{1 - 0.8^2}} = 3.75 \times 10^{-7} \text{ s}$$

相对论速度变换

可由洛伦兹变换(1)和(2)通过求微分(dx, dy, dz, dt)和(dx', dy', dz', dt')获得速度 $u(u_x, u_y, u_z)$ 和 $u'(u'_x, u'_y, u'_z)$ 的相对论变换关系:

$$\left. \begin{aligned} u'_x &= \frac{u_x - v}{1 - (v/c^2)u_x} \\ u'_y &= \frac{u_y \sqrt{1 - v^2/c^2}}{1 - (v/c^2)u_x} \\ u'_z &= \frac{u_z \sqrt{1 - v^2/c^2}}{1 - (v/c^2)u_x} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

$$\left. \begin{aligned} u_x &= \frac{u'_x + v}{1 + (v/c^2)u'_x} \\ u_y &= \frac{u'_y \sqrt{1 - v^2/c^2}}{1 + (v/c^2)u'_x} \\ u_z &= \frac{u'_z \sqrt{1 - v^2/c^2}}{1 + (v/c^2)u'_x} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

设想在 S 系的速度 $u_x = c, u_y = u_z = 0$, 由式(1)得

$$\begin{aligned} u'_x &= \frac{u_x - v}{1 - (v/c^2)u_x} = \frac{c - v}{1 - (v/c^2)c} = c \\ u'_y &= u'_z = 0 \end{aligned}$$

又一次得到了光速不变。

对于式(1)或式(2)的 u'_x 或 u_x , 依牛顿的时空观, 从 $x' = x - vt$ 或 $x = x' + vt$ 应有 $u'_x = u_x - v$ 或 $u_x = u'_x + v$ 。这样的结果与式(1)或式(2)的差别来源于在洛伦兹变换中不存在 $t = t'$ 。