

物 理 学

第一卷 第一册

R. 瑞斯尼克 D. 哈里德 合著
李 仲 卿 等 译

高 等 教 育 出 版 社

物 理 学

第一卷 第一册

R. 瑞斯尼克 D. 哈里德合著
李 仲 卿 等译

高 等 教 育 出 版 社

本书系根据美国 John Wiley & Sons, Inc. 出版的瑞斯尼克 (R. Resnick) 与哈里德 (D. Halliday) 合著“高等学校理工科学生适用物理学”(Physics for Students of Science and Engineering) 第一卷 1961 年第一版译出。

第一卷的译本分为两册出版。第一册内容为质点静力学、质点动力学、转动运动学、转动动力学、刚体静力学等。第二册内容为振动、万有引力、流体静力学、流体动力学、声波、热学、气体分子运动论等。

本册由吴剑华译。

本书可作为综合大学和高等工业学校普通物理学课程的教学参考书。

物 理 学

第一卷 第一册

R. 瑞斯尼克 D. 哈里德合著

李仲卿等译

北京市书刊出版业营业许可证出字第 119 号

高等教育出版社出版(北京景山东街)

上海洪兴印刷厂印装

新华书店上海发行所发行

各地新华书店经售

统一书号 K13010·1195 开本 850×1168 $\frac{1}{32}$ 印张 10 $\frac{1}{16}$

字数 259,000 印数 0,001—7,500 定价 (5) 1.00

1965 年 8 月第 1 版 1965 年 8 月上海第 1 次印刷

重要的物理常数

光速	c	3.00×10^8 米/秒 = 1.86×10^5 英里/秒
引力常数	G	6.67×10^{-11} 牛頓-米 ² /公斤 ²
阿伏伽德罗数	N_0	6.02×10^{23} 分子/克分子
气体普适常数	R	8.32 焦耳/(克分子)(°K) = 1.98 卡/(克分子)(°K)
普朗克常数	h	6.63×10^{-34} 焦耳-秒
玻耳兹曼常数	k	1.38×10^{-23} 焦耳/°K
水的冰点	T_0	273.15°K
真空磁导率	μ_0	1.26×10^{-6} 亨利/米
真空电容率	ϵ_0	8.85×10^{-12} 法拉/米
电子电荷	e	1.60×10^{-19} 庫侖
电子的静止质量	m_e	9.11×10^{-31} 公斤
电子荷质比	e/m_e	1.76×10^{11} 庫侖/公斤
质子的静止质量	m_p	1.67×10^{-27} 公斤
质能关系	$c^2 = (E/m)$	931 兆电子伏特/原子质量单位 = 8.99×10^{16} 焦耳/公斤
电子的磁矩	μ_e	9.29×10^{-24} 焦耳-米 ² /韦伯
斯忒藩-玻耳兹曼常数	σ	5.67×10^{-8} 焦耳/度 ⁴ -米 ² -秒

重要的物理性质

空气密度(标准温度和压力下)	1.29 公斤/米 ³
水的密度(20°C)	1.00×10^3 公斤/米 ³
水銀的密度(20°C)	13.5×10^3 公斤/米 ³
水的熔解热(0°C)	79.7 卡/克
水的汽化热(100°C)	540 卡/克
标准大气压	1.01×10^5 牛頓/米 ² = 14.7 磅/英寸 ²
干燥空气中的声速(标准温度和压力下)	331 米/秒 = 1090 英尺/秒
重力加速度(标准的)	9.81 米/秒 ² = 32.2 英尺/秒 ²
地球的平均半徑	6.37×10^6 米 = 3960 英里
地球与太阳之間的平均距离	1.49×10^8 公里 = 92.9×10^6 英里
地球与月球之間的平均距离	3.80×10^5 公里 = 2.39×10^5 英里

目 录

第一章 物理測量	1
1-1. 測量	1
1-2. 物理量 标准与单位	1
1-3. 参照系	3
1-4. 长度	4
1-5. 時間	6
1-6. 单位制	11
第二章 矢量	14
2-1. 矢量与标量	14
2-2. 矢量加法 几何方法	15
2-3. 矢量分解与合成 分析方法	17
2-4. 矢量乘法	20
2-5. 矢量的物理意义	24
第三章 一維运动	29
3-1. 力学	29
3-2. 质点运动学	29
3-3. 平均速度	30
3-4. 瞬时速度	31
3-5. 平均加速度	35
3-6. 瞬时加速度	36
3-7. 匀加速直綫运动	37
3-8. 量綱一致的重要性	41
3-9. 自由落体	44
3-10. 自由落体的运动方程	46
第四章 平面运动	54
4-1. 曲綫运动的位移与速度	54
4-2. 恒定加速的平面运动	55
4-3. 抛射体运动	58
4-4. 匀速圆周运动	63
4-5. 圆周运动的切向加速度	67
4-6. 相对速度与相对加速度	69

第五章 质点动力学—I	77
5-1. 质点动力学.....	77
5-2. 牛顿第一运动定律.....	77
5-3. 力.....	79
5-4. 质量的概念 牛顿第二运动定律.....	81
5-5. 牛顿第三运动定律.....	84
5-6. 质量标准 力学单位制.....	88
5-7. 重量与质量.....	91
5-8. 力的静力学测量步骤.....	93
5-9. 牛顿运动定律的一些应用.....	95
5-10. 对牛顿运动定律的评论.....	102
第六章 质点动力学—II	110
6-1. 引言.....	110
6-2. 摩擦力.....	110
6-3. 向心力与离心力.....	117
6-4. 牛顿力学的局限性.....	122
第七章 功与能	129
7-1. 引言.....	129
7-2. 恒定力所作之功.....	130
7-3. 变力所作之功.....	135
7-4. 功率.....	141
7-5. 动能.....	142
7-6. 功能定理的重要性.....	146
第八章 能量守恒	150
8-1. 引言.....	150
8-2. 保守力与非保守力.....	150
8-3. 位能.....	154
8-4. 一维保守系统.....	157
8-5. 只与位置有关的一维力问题的完全解.....	162
8-6. 二维保守系统与三维保守系统.....	166
8-7. 非保守力.....	167
8-8. 能量守恒.....	169
8-9. 质量与能量.....	171
第九章 动量守恒	181
9-1. 质心.....	181

9-2. 质心的运动	186
9-3. 质点的动量	189
9-4. 质点系的动量	191
9-5. 动量守恒	193
9-6. 动量原理的一些应用	194
第十章 碰撞	207
10-1. 引言	207
10-2. 冲量与动量	207
10-3. 碰撞现象	209
10-4. 一维碰撞	212
10-5. 力的“真正”量度	221
10-6. 两维碰撞与三维碰撞	221
10-7. 碰撞截面	226
第十一章 转动运动学	236
11-1. 转动	236
11-2. 转动运动学	238
11-3. 作为矢量的转动量	240
11-4. 恒定角加速度转动	243
11-5. 圆周运动中质点的线量和角量之间的关系	245
第十二章 转动动力学	251
12-1. 转动变量	251
12-2. 转矩(即力矩)	254
12-3. 转动动能与转动惯量	259
12-4. 刚体转动动力学	265
12-5. 刚体平动与转动的结合	272
第十三章 角动量守恒	283
13-1. 引言	283
13-2. 质点的角动量	283
13-3. 质点系的角动量	285
13-4. 角动量守恒	289
13-5. 角动量守恒的其它方面	296
第十四章 刚体静力学	302
14-1. 力学平衡	302
14-2. 刚体的力学平衡条件	302
14-3. 重心	306

14-4. 静力平衡的举例.....	309
14-5. 刚体在重力场中的稳定平衡、不稳定平衡和随遇平衡.....	317
习题答案.....	1

第一章 物理測量

1-1. 測量

在計劃安裝第一條大西洋電報電纜的時候，承建公司僱了一位名叫湯姆孫(William Thomson 1824—1907)的年青工程師作為顧問。湯姆孫為了解決這項任務中所發生的某些問題，曾做了許多精確的電學測量，而且往往用了他自己發明的各種精密儀器。然而他根據自己的實驗提出的建議被抹煞了，主要因為當時的權威人士不能清楚地理解或接受其中所包含的基本原理。以後原計劃連遭失敗以及所犯錯誤的代價很大，才引起人們仔細考慮他的見解。在採用了他的見解以後，電纜的安裝工程才於1858年*勝利完成。湯姆孫的這一早期經驗可能形成了以後他經常引用的看法：“我常說，當你能把所講的東西測量出來並用數字來表示時，那末你對這個東西已有所認識。但是如果不能用數字來表示，那末你的認識是不夠的，不能令人滿意的，可能只是初步的認識，在你的思想上，還沒有上升到科學的階段，不論你所講的是什麼東西。”

雖然其他科學家可能會否認人們只應該同可嚴格測量的概念打交道，但是沒有人會否認精確測量對科學的重要意義。理論與精確測量之間的微小的但極為重要的差異，會導致新的更普遍的理論發展，這在科學史上有許多實例。如果科學家們僅僅滿足於現象的定性說明，那末這種微小的差異就不可能發覺。

1-2. 物理量，標準與單位

物理量是構成物理學的磚塊。我們用物理量來表述物理學的許多

* 1892年W.湯姆孫晉封為開耳芬勳爵。這時，他已成為英國第一流科學家。在他的其他許多成就中，有一項是他曾為熱力學奠基人之一。

定律。在这些量中，有力、時間、速度、密度、溫度、电荷、磁導率等等。許多这些名詞如力和溫度，是我們日常辭匯中的一部分。但在日常应用这些名詞时，它們的意义可能是含糊的，或者与它們的科学意义可能是不同的。

为了物理学的目的，一些基本的量的定义必須清楚而且严密。現今有一种看法：当一个物理量的測量程序給定以后，那末它的定义也就給定了。这种看法叫做操作观点，因为归根結底，物理量的定义是导出一个帶有单位的数字时所根据的一系列實驗室操作；而这些操作也可以包括算术或代数的运算在內。

有时把物理量分为基本量和导出量。物理量的这样划分是任意的，因为一个量在特定的一系列操作中，可以看作是基本量，而在另一系列操作中，却可以看作是导出量。

导出量是这样的量，即定义它們时所用的操作是以其它物理量的应用为基础的。通常把速度、加速度和体积等等看作导出量。

基本量不是用其它物理量来定义的。基本量的数目，應該是融洽一致地描述物理学中所有各量所必需的最小数目。通常把长度、時間看作基本量。根据操作观点，基本量的定义包含两个步驟：首先，选择一个标准；其次，确定步驟以得到这标准的倍数或分数，亦即得到量的单位。标准一經选定，并且单位已經确定时，我們就可以把所要測量的量与标准直接进行比較，这样就确定了一个数字和一个单位作为該量的量度。

一个理想的标准應該具有两个主要特性：一个是容易得到，一个是不会改变。这两个要求往往是相互矛盾的，因此，要取它們之間的折衷。历史上，首先強調易得性，但在測量技术改进以后，对标准的不变性的要求就提高了。例如，我們所熟悉的碼、英尺和英寸是从人体的臂、脚和大拇指直接留傳下来的。这样粗率量度长度，今天已不能令人滿意，而必須采用可變性远为較小的标准，即使要牺牲易得性也在所不惜。

假定我們選定了長度的標準，並且確定了長度的單位。如果我們將一根棒與叫做厘米的長度單位直接比較，而且斷定這棒是厘米長的十二倍，那末我們就說，棒長十二厘米。

但是，重要的是要認識到，在許多情況中，某些量是不能用這種直接方法來測量的。遇到這種情況，就必須採用包含更多操作程序的間接測量方法。為了把間接測量與直接測量的結果聯繫起來，就要作某些假設。舉例來說，假定要知道，在某一時刻，月球表面離火箭發射站的距離，確定這距離的一個間接方法是，從火箭發射站向月球發出一個雷達信號，這信號從月球表面反射回來到達發射站的接收器。如果測出發出信號和收到信號之間的時間，並且已知雷達信號的速度，則速度與時間一半的乘積就是我們所求的距離。這裡我們假設信號的速率保持不變，而且信號沿着直線進行。信號的速率必須在輔助實驗中測量。可見這裡信號速率就是在操作程序中出現的長度標準。

天文上的距離，如星體與地球之間的距離，是不可能用直接方法來測量的。少數幾個星體離地球較近，以致可用三角測量法；在這種情況下，我們在觀察某星體的位置之後，隔六個月，即當地球從軌道上的一點運動到軌道直徑上對面一點的時候，再觀察一次該星相對於更遠的星為背景的位置。從這些觀察所得的數據，就可以用三角公式算出所求的距離。

正如我們用間接方法測量很大的距離如天文距離一樣，我們也必須用間接方法測量很小的距離，如原子和分子內的距離。在以後各章我們將會遇到很多應用間接方法的例子。

1-3. 參照系

“運動”一詞含有兩個基本概念，即位置與時間。如果要單值地確定一個點子的位置，我們可以這樣來進行，記下該點與任意選定的三個互相垂直的平面之間的距離。於是這三個平面就構成我們所用的參照

系。一个点的位置必須相对于一个参照系来定出。一个点的“絕對”位置是沒有意义的，否則必須要求所有观察者能从一切可能的参照系中将一特殊的“絕對”参照系区分出来；而这“絕對”参照系好像能提供某些基本的和特殊的便利似的。有一个时期，人們曾經认为地球是这样的絕對参照系，但是后来证明这个看法是錯誤的。在我們的周圍，不可能找到这样一种“絕對”的参照系。同样的論点适用于測定两个事件之間的时间間隔，例如确定一质点从一点到另一点所經過的时间。然而在一个特定的参照系一經选定以后，我們就可以相对于它来表明位置和時間。

我們假設，观察都是相对于一个选定的参照系来进行的。我們的参照系往往是地球本身。但不論是怎樣的参照系，我們总是予以指明。至于物理定律或者諸如时间間隔与长度間隔等的物理測量，如何受到用以描述它們的参照系的影响，乃是相对論的基本課題。

下面几节將討論长度与時間的标准与单位，然后(第三章)将这些概念結合起来用以詳細研究物体的运动。

1-4. 长度

长度的国际标准是一根鉑銻合金棒，叫做标准米，它保藏在法国巴黎附近的国际度量衡局中。当棒在 0°C 时，刻在棒两端附近金栓上的两綫之間的距离叫做一米。这距离的百分之一叫做一厘米*。这棒就是长度的原始标准。由于原始标准不易获得，人們仿制了許多复制品，称为次級标准。图 1-1 所示，是一根复制标准米尺，名为第二十七号米。木制米尺的准确程度是根据次級标准作出的制造說明而規定的，对于一般的长度測量，它已經足够准确。

历史上，米是由于寻求通过巴黎的子午綫上从北极到赤道之間距

* 可用划分机將米分为 100 等分，划分机的主要部分是一个造得很精密的螺旋，这螺旋每轉一周即向前移动一个相等的距离。

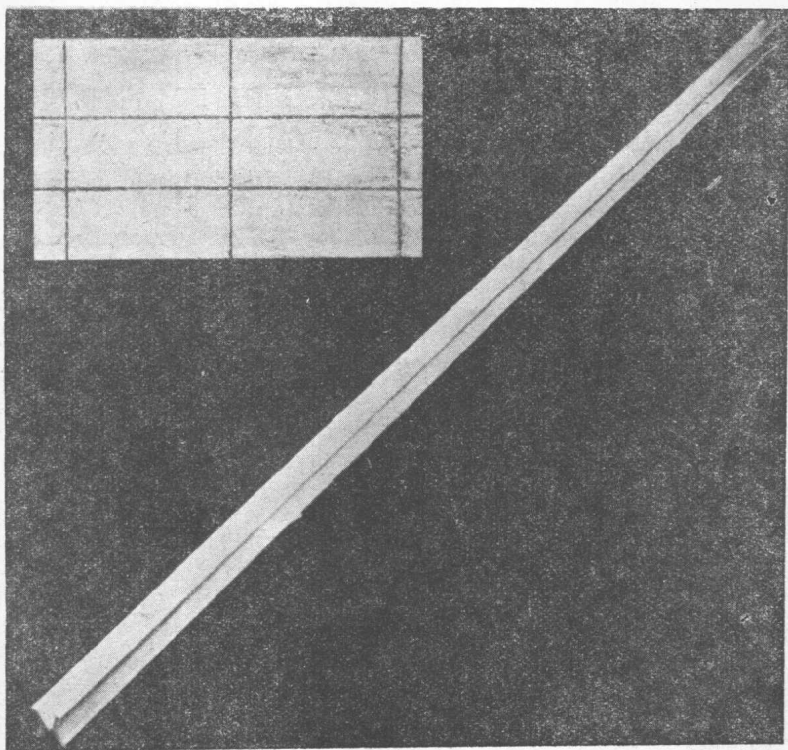


图 1-1. 美国国家标准局的第二十七号米。

左上角的詳細图表明棒端附近刻有三条綫痕, 中間的一条就是米的端点。

离的某一适当分数而产生的。这距离的千万分之一定义为米。但在这标准最初确定以后, 所作的許多精确测量都表明, 这标准和它所要表达的值略有差异(大約 0.023%)。

最近曾將标准棒上两綫之間的距离, 同氦的一种純同位素(氦-86)在气体放电时其原子所发出的橙色光的波长进行了十分精确的比較, 其所以选取这种原子和这种特殊色光的理由以及所用的技术, 将在以

后(第四十三章)討論。氦-86的原子到处可以获得,所发出的橙色光可以在任何實驗室中产生。所以这光的波长的确是一个容易得到的标准。又因氦的(一给定同位素的)所有原子都完全相似,故氦所发出的光的波长是不变的。波长是氦-86的唯一特征,而且不随時間改变。所以很快就采用这波长作为长度的新标准。米就規定为这波长的1650763.73倍。現在所有长度的精确測量都是用光波作出的。

氦-86的橙色光波具有最明确的波长,可以通用于长度的測量。对于一般的實驗室測量,美国国家标准局提供一种含有汞的純同位素(汞-198)的光譜灯。汞-198是在美国橡树岭国家實驗室的核反应堆中由金的嬗变得到的。用此灯发出的綠色光所进行的长度測量准确到千兆($=10^9$)分之一,或者說,比用标准米所能达到的准确程度好100倍。

最初像米一样成为具体的长度标准的碼,在所有讲英語的国家中,現在被法定为

$$1 \text{ 碼} = 0.9144 \text{ 米 (精确相等)}.$$

所以如图 1-1 所示的标准米棒也可用作厘米和碼的标准。

1-5. 時間

時間的測量主要是一个計数的过程。不論何种能够重复的現象,都可以用来測量時間;時間測量就是某現象重复次数的計数。在自然界发生的許多重复的現象中,我們采用了地球繞自己的軸綫的轉动(自轉)。这运动反映在星体和太阳繞地球的視运动中,所以它是一个容易得到的标准。

直到近几年,对于所有的測量目的,平均太阳秒还是我們的時間标准,而且仍然是法定的标准。平均太阳秒的定义为平均太阳日的 $\frac{1}{86400}$ 。通常所說一个地方的太阳日就是太阳連續两次經過該处子午面的時間間隔。由于地球繞太阳運轉的速率常在变化,所以一年之中太阳日有

长有短。平均太阳日是就全年的太阳日所取的平均值。实际上我們所測量的是同一恒星連續两次通过观察处的子午面所經過的时间；这个时间叫做恒星日。因为我們可以算出恒星日与平均太阳日之間的正确关系(图 1-2)，所以平均太阳秒的长短可由观察星体相对于地球的运动而加以确定。

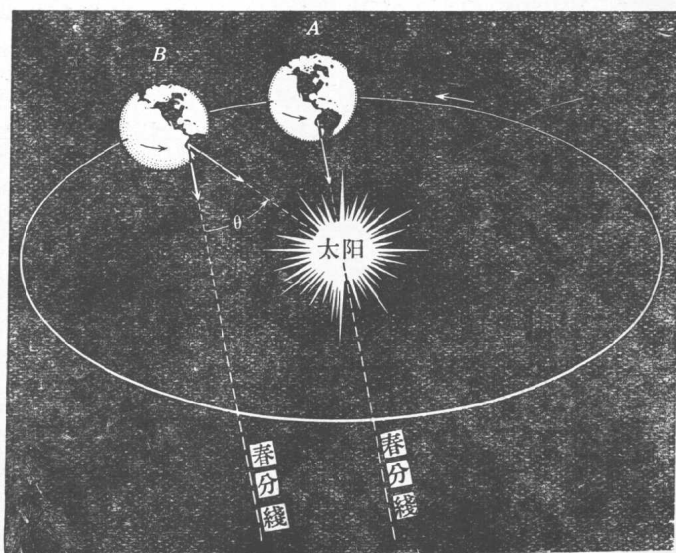


图 1-2. 太阳时间与恒星时间。在三月廿一日，地球上的观察者见到，太阳和天空中叫做春分线的固定方向同时在正上空一条直线上。这表示同时是太阳中午和恒星中午。若干天以后，当地球运动到B处时，春分线在正上空的时刻比太阳超前一天的 $\theta^\circ/360^\circ$ 。因此，恒星中午比太阳中午要早这个时间间隔。

仅当云不遮住天体时，我們才能观察到地球的自轉。因此，需要一个很好的机械时钟，来报告两次天文观察之間的时间间隔，在观察时可以对此时钟作小的必要的校正。实际上是用基于电致机械振动的石英晶体时钟来报告时间的；报告时间长达几个星期之久时就必須依靠这

种时钟。最好的这种时钟报告一年的平均太阳时间，其最大误差约为 0.02 秒。以这种时钟为根据的时间信号，由美国海军天文台的一个特殊频率的无线电广播站 WWV* 广播出来。

如果根据平均太阳钟算出以前各次日蚀发生的时刻，那末就会发现算出的时刻与实际观察到的有差异。这种差异是逐渐改变的，距今较远的日蚀其差异就比最近的要大些。日蚀计算包括对地球的转动（自转）和轨道运动（公转）之间的一种比较。这种差异正说明，随着时间前进，基于地球公转的时钟和基于地球自转的平均太阳时时钟越来越变得不相一致。不一致的原因可用地球自转速率在变化来说明。地球自转速率的变化，就地球公转来说（参看第 13-5 节），竟达到 $\frac{1}{10^8}$ ，即每几年差 1 秒。

太阳系的各种运动之中，能准确地观察而足以用作时钟的有：地球的自转和公转，月球绕地球的公转，水星和金星绕太阳的公转，木星的四个卫星绕木星的公转。我们发现根据上述运动所作的九种时钟中，有八种是互相一致的，而不一致的只是根据地球自转所作的时钟。因此，人们由许多观察得出这样一个结论，即地球的自转速率在改变。主要是地球自转在渐渐变慢，变慢率是经过一世纪后一天的长短增加 0.001 秒；在二十个世纪中，时间测量上的这一累积可多至几个小时。这说明上述历次日蚀发生差异这一事实。现在我们知道，地球自转变慢的原因是由于潮汐时水与陆地之间的摩擦力，此外还由于地球自转的不规则性。至于地球自转的季节性的有规则变化可以用风的季节性运动来说明，其它变化的原因还不知道，但可能与两极冰山的融化或者地球上其他很大的质量迁移有关。这一切都说明，地球的自转不是一个理想

* 这些时间信号每秒广播一次，时间间隔准确到 $2/10^8$ 。所用的载波频率是 2.5、5、10、15、20 与 25 兆周，准确到 $1/10^8$ 。每隔 5 分钟，WWV 轮流用 440 周/秒的音频(A)和 600 周/秒的音频进行广播。