

普通物理习题解

〔苏〕 沃尔肯斯塔因 著

程代华 刘勇源 译

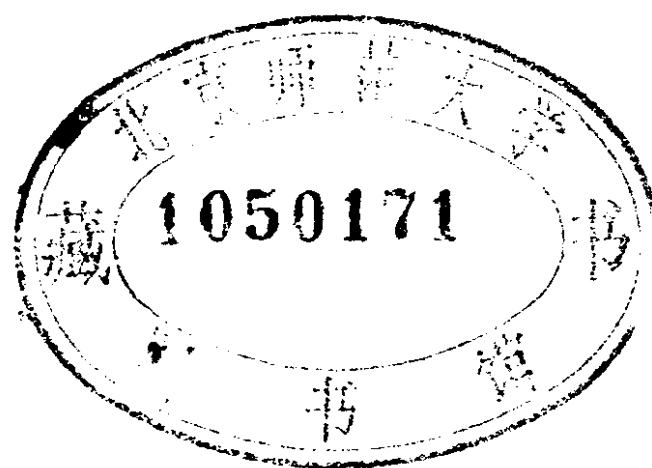


科学技术文献出版社重庆分社

普通物理习题解

〔苏〕 沃尔肯斯塔因 著
程代华 刘勇源 译

75.11.17 理科阅览室



科学技术文献出版社重庆分社

普通物理习题解

〔苏〕 沃尔肯斯塔因 著
程代华 刘勇源 译

科学技术文献出版社重庆分社 出版
重庆市市中区胜利路91号

四川省新华书店重庆发行所 发行
科学技术文献出版社重庆分社印刷厂 印刷

开本: 787×1092毫米1/32 印张: 15.5 字数: 34万
1982年9月第1版 1982年9月第1次印刷
科技新书目: 29—255 印数: 45000

书号: 13176·110

定价: 1.55元

前 言

《普通物理习题解》是苏联高等院校理、工、农、医各科学学生和教师的教学参考书。它包括了普通物理学的全部内容，共有1700多道习题及详细解答。本书在每章节的开头均重点介绍了该章节的主要内容，说明并列出了解题的技巧和使用的公式，然后举一些很富有启发性的例题作为典型示范，最后以大量篇幅对习题进行详细解答。全书很注意对解题的方法和技能的训练。

该书还特别注意物理学的单位及量纲，每章节之前专门对单位进行了描述，这样可避免学生在解题时常犯的单位混杂不清的毛病。

本书选题得当、照顾面广，是我国理、工、农、医大学师生、中学教师和物理基础较好的中学生教学和学习的较好的参考书。

由于水平有限，译文中错误在所难免，恳请读者指正。

译者 82年2月

目 录*

序 言	(1)
1.国际单位制	(1)
2.求解问题的方法	(3)
第一章 力学的物理基础	(5, 283)
力学单位	(5, —)
例 题	(8, —)
1.运动学	(12, 283)
2.动力学	(23, 293)
3.固体的转动	(46, 316)
4.流体力学	(55, 325)
第二章 分子物理学和热力学	(60, 328)
热的单位	(60, —)
例 题	(60, —)
5.分子运动论的物理基础和热力学	(63, 328)
6.实际气体	(97, 360)
7.饱和蒸汽和液体	(101, 365)
8.固体	(114, 378)
第三章 电学和磁学	(120, 385)
电磁单位	(120, —)
例 题	(124, —)
9.静电学	(126, 385)
10.电流	(147, 402)

* 解答的页码用黑体字表示。

11. 电磁学	(170, 414)
第四章 振动和波	(195, 427)
声学单位	(195, —)
例 题	(196, —)
12. 简谐振动和波	(198, 427)
13. 声学	(209, 437)
14. 电磁振荡和电磁波	(215, 440)
第五章 光学	(221, 443)
光学单位	(221, —)
例 题	(222, —)
15. 几何光学和光度学	(224, 443)
16. 波动光学	(234, 447)
17. 相对论基础	(245, 454)
18. 热辐射	(248, 456)
第六章 原子物理和核物理	(252, 458)
放射性辐射和电离辐射的单位	(252, —)
19. 光的量子性和粒子的波动性	(255, 458)
20. 波尔原子 X 射线	(261, 461)
21. 放射性	(268, 466)
22. 核反应	(272, 470)
23. 基本粒子 粒子加速器	(279, 475)
附 录	(479)

序 言

1. 国际单位制

不同的物理量以表示它们之间相互关系的方程式联系起来。例如，质量为 m 的物体，其加速度 a 同施于这个物体上的力 F 是以如下方程式联系起来的：

$$F = kma \quad (1)$$

式中的 k 是一个因子，取决于 F 、 m 和 a 的测量单位。如果质量和加速度的单位已知，那末力的单位便可以这样选取，即让方程(1)式的因子 k 等于1：

$$F = ma$$

于是，力的单位就是使一单位质量的物体产生一单位加速度所施加的力。

用同样的方法处理任何一个新引入的量，它的单位都可以由决定这个量的公式得到，因此就能够得到一个导出单位系。

各个单位系由于所取的基本单位不同而彼此不同。

本书以1960年第十一届度量衡例会上通过的国际单位制(SI)为基础。苏联国家标准GOST 9867-61规定：苏联的科学、工程和国民经济各部门，以及大中学校中，均以国际单位制作为优先采用的单位制。

对于不同的测量部门，国际单位制分成如下几个独立单位系统：

- ①力学单位制 (GOST 7664-61)；
- ②热学单位制 (GOST 8550-61)；

③电磁学单位制 (GOST 8033-56);

④声学单位制 (GOST 8849-58);

⑤光学单位制 (GOST 7932-56);

⑥放射性及电离辐射单位制 (GOST 8848-63)。

力学单位制中, 基本单位是米 (m)、千克-质量 (kg) 和秒 (s)。除此而外, 不同的测量部门还有如下一些基本单位: 热学测量的开氏度, 电学测量用的安培及测量发光强度用的烛光。

国际单位制还包括两个辅助单位——平面角和立体角。

国际单位制的基本单位和辅助单位列于表1。

表 1

物 理 量	单 位	符 号
基 本 单 位		
长度	米	m
质量	千克	kg
时间	秒	s
电流	安培	A
热力学温度	开氏度	°K
发光强度	烛光	cd
辅 助 单 位		
平面角	弧度	rad
立体角	球面度	sr

表 2 给出了国际单位制中用以表示十进制倍数的词头。

这些词头只能加在简单量 (米、克等) 前面, 不能加在“千克”这样的单位前面, 因为“千克”已经包含有词头“k”(千) 了。同样, 例如质量的单位 $m = 10^9$ 千克 $= 10^{12}$ 克, 应

该叫做“兆兆克（百万吨）”（Tg），有时用“兆吨”这个术语，是不恰当的。长度单位 $l = 10^{-6}$ 米，通常称为“微”，但比较恰当的名称应当是“微米”。

国际单位制的导出单位都可以像上述那样由基本单位得到，而导出单位与基本单位的关系可以从量纲公式得到。

如果用 l 、 m 、 t 、 I 、 θ 、 J 分别表示长度、质量、时间、电流、温度、发光强度等基本量，则某量 x 的量纲公式可以用国际单位制表示如下：

$$[x] = l^{\alpha} m^{\beta} t^{\gamma} I^{\delta} \theta^{\rho} J^{\mu}$$

要求 x 的量纲，需求出指数 α 、 β 、 γ 、 δ 、 ρ 和 μ 。这些指数可以是正数，也可以是负数；可以是整数，也可以是分数。

例1. 求功的量纲。

由关系式 $W = Fl$ ，可得： $[W] = l^2 m t^{-2}$ 。

例2. 求比热的量纲。

因 $c = Q/m\Delta\theta$ ，且 $[Q] = [W]$ ，

故 $[c] = l^2 t^{-2} \theta^{-1}$ 。

如果某物理量在国际单位制中的量纲已知，那就很容易求出它的单位的量纲。因此，功的单位的量纲显然是 $m^2 kg s^{-2}$ ，比热的单位的量纲显然是 $m^2 s^{-2} \text{度}^{-1}$ ，等等。

本书各章给出了国际单位制的导出单位表：第一章给出了力学单位，第二章给出了热学单位，第三章给出了电磁学单位，等等。每一章中还有表示国际单位与其他单位（包括非系统单位）的关系表。

2. 求解问题的方法

解习题时，先要确定该习题遵循的物理定律，然后用符号

表示出这些物理定律（公式），最后代入同一单位制中的数值。在实际工作中和文献中，除用国际单位制外，还广泛采用其他单位制和非系统单位。因此，数值并非都是用国际单位。每一章的开头都以表格的形式给出了国际单位制单位、其他单位制单位和非系统单位之间的关系。为了用国际单位解题，所有的原始数据或从参考表中查得的数据均应转换为国际单位。自然，答案也应该用国际单位。

有的时候，没有必要把所有的数据都用同一个单位制表示。例如，某个量既是分子的倍数，又是分母的倍数，显然它可以用任何单位表示，只要它们的单位相同就行（参阅8页例2）。

表 2

词 头	数 值	符 号	词 头	数 值	符 号
Atto	10^{-18}	a	Deci	10^{-1}	d
Femto	10^{-15}	f	Deca	10^1	da
Pico	10^{-12}	p	Hecto	10^2	h
Nano	10^{-9}	n	Kilo	10^3	k
Micro	10^{-6}	μ	Mega	10^6	M
Milli	10^{-3}	m	Giga	10^9	G
Centi	10^{-2}	c	Tera	10^{12}	T

在得到数字答案时，应注意最后结果的精度，它决不会超过原始数据的精度。这类习题中，大部份可以用计算尺的精度来解。某些情况下可以用四位对数表。

一旦用数值代替了符号，那就要写出答案的量纲。

如果解要用表或图，那就应选择适当的坐标刻度和坐标原点，并在图上标出刻度。某些习题的答案中，图上没有标出刻度，那就只是给出了定性关系。

习 题

第一章 力学的物理基础

力学单位

欲测定力学量，国际单位制中应用MKS制(GOST 7664-61)。MKS制的基本单位是米(m)、千克(kg)和秒(s)。

如前所述，这个单位制的导出单位是根据有关物理量之间的关系从基本单位导出的。例如，速度的单位可以按下述关系式确定：

$$v = \Delta l / \Delta t$$

由于长度的单位是米，时间的单位是秒，故在MKS制中，速度的单位是米/秒。显然，加速度的单位是米/秒²。

下面确定力的单位。根据牛顿第二定律：

$$F = ma$$

质量的单位是千克，加速度的单位是米/秒²，故在MKS制中，力的单位将是使质量为1千克的物体获得1米/秒²加速度施加的力。大家知道，力的这个单位是牛顿(N)：

$$1 \text{ 牛顿} = 1 \text{ 千克} \cdot 1 \text{ 米/秒}^2$$

现在我们讨论一个物体的重量和质量的关系。物体的重量G是地球对它的吸引力。这个力使物体产生9.81米/秒²(g)的加速度。因此，

$$G = mg$$

在米-千克-秒单位制中，物体的重量和其它任何力一样，必须用牛顿来量度。有时用千克作单位，但必须记住，这个单位不属于米-千克-秒单位制。为了避免混淆，用不同的符号来表示这两个物理量：1千克的质量用 kg 表示，1千克的重量用 kgf 表示。现在我们来讨论重量和牛顿之间的关系。1千克重定义为质量为1千克的物体的重量。即：

$$1\text{kgf} = 1\text{kg} \cdot 9.81\text{m/s}^2$$

又因：

$$1\text{N} = 1\text{kg} \cdot 1\text{m/s}^2$$

于是：

$$1\text{kg} = 9.81\text{N} \quad (1\text{公斤} = 9.81\text{牛顿})$$

从千克重的定义可知，用 kgf 表示一个物体的重量在数值上等于物体的质量。例如，质量为 2kg 的物体，它的重量就是 2kgf 。用千克表示物体的重量必须转换成牛顿。

例：一个物体的质量为4公斤 (kg)。求这个物体的重量是多少公斤重 (kgf)？多少牛顿 (N)？

答： $G = 4$ 千克重(不属于米-千克-秒单位制) 和 $G = 4 \times 9.81$ 牛顿 (属于米-千克-秒单位制)。

功的单位是从下面的关系确定：

$$W = Fl$$

显然，1单位的功就是1牛顿的力推动物体沿着这个力的方向移动1米的路程所作的功。功的单位叫焦耳 (J)

$$1\text{J} = 1\text{N} \cdot 1\text{m} = 1\text{牛顿} \cdot 1\text{米}$$

功率由下式给出

$$P = W/t$$

因此在米-千克-秒单位制中，功率的单位我们可以理解为一种每秒做功1焦耳的机械装置的功率。功率的单位叫瓦

特 (W)。

用同样的方法可以确定米-千克-秒单位制中的其他物理量的导出单位。

在表 3 中给出了对应于 GOST 7664-61 的米-千克-秒

表 3

力学量和符号	公 式	单 位	单位缩写号	量纲
基 本 单 位				
长度 l	—	米	m	l
质量 m	—	千克	kg	m
时间 t	—	秒	s	t
导 出 单 位				
面积 A	$A = l^2$	平方米	m^2	l^2
体积 V	$V = l^3$	立方米	m^3	l^3
频率 ν	$\nu = 1/T$	赫	Hz	t^{-1}
角速度 ω	$\omega = \Delta\varphi/\Delta t$	弧度/秒	rad/s	t^{-1}
角加速度 α	$\alpha = \Delta\omega/\Delta t$	弧度/秒 ²	rad/s ²	t^{-2}
线速度 v	$v = \Delta l/\Delta t$	米/秒	m/s	lt^{-1}
线加速度 a	$a = \Delta v/\Delta t$	米/秒 ²	m/s ²	lt^{-2}
密度 ρ	$\rho = m/V$	千克/米 ³	kg/m ³	$l^{-3}m$
力F, 重量G	$F = ma$	牛顿	N	lmt^{-2}
比重 γ	$\gamma = G/V$	牛顿/米 ³	N/m ³	$l^{-2}mt^{-2}$
压力 p	$p = F/A$	牛顿/米 ²	N/m ²	$l^{-1}mt^{-2}$
动量 $\bar{p}$	$\bar{p} = m\Delta v = F\Delta t$	千克·米/秒	kg·m/s	lmt^{-1}
惯性矩 I	$I = ml^2$	千克·米 ²	kg·m ²	l^2m
功W和能E	$W = Fl$	焦耳	J	l^2mt^{-2}
功率P	$P = \Delta W/\Delta t$	瓦特	W	l^2mt^{-3}
动态粘滞度 η	$\eta = \frac{F}{A} \frac{\Delta l}{\Delta v}$	牛顿·秒/米 ²	N·s/m ²	$l^{-1}mt^{-1}$
粘滞率 ν	$\nu = \eta/\rho$	米 ² /秒	m ² /s	l^2t^{-1}

(MKS) 单位制中最基本和最重要的描述力学量的导出单位。

表4列出了某些力学量的国际单位制和 GOST 7664-61 所承认的一些单位系统或非单位系统的单位之间的换算关系。

例 题

例一：一块石头重量为1.05公斤，且以2.44米/秒的速度在冰上滑动，在摩擦力的作用下，经过10秒钟后停止。求摩擦力是多少？假设摩擦力是一个恒定不变量。

解：由牛顿第二定律可得

$$F\Delta t = mv_2 - mv_1$$

这里 F 是摩擦力，在 F 的作用下，质量为 m 的物体在时间 Δt 内速度从 v_1 变到 v_2 。本题中 $v_2 = 0$ ，于是有

$$F = -\frac{mv_1}{\Delta t}$$

负号表示摩擦力 F 的方向与速度 v_1 的方向相反。

在“米·公斤·秒”单位制中 $m = 1.05$ 公斤， $v_1 = 2.44$ 米/秒， $\Delta t = 10$ 秒。因此

$$F = -\frac{1.05 \times 2.44}{10} \text{ 牛顿} = -0.256 \text{ 牛顿}$$

由于原始数据是精确到三位有效数字，所以根据滑动定律，所求结果亦应取同样的精确度。

利用表4，我们可以用其它单位来表示这个结果

$$|F| = 0.256 \text{ 牛顿} = 2.56 \times 10^4 \text{ 达因} = 0.0261 \text{ 公斤重}$$

例二：一个人和一辆马车作相对运动。已知人重64公斤，

表 4

物 理 量	单位及其转换成国际单位的转换因子
长度	1厘米(cm) = 10^{-2} 米 1微米(μ) = 10^{-6} 米 1埃($\text{\AA}$) = 10^{-10} 米
质量	1克(g) = 10^{-3} 千克(kg) 1吨(t) = 10^3 千克 1森特纳(q) = 10^2 千克 1原子质量单位(a.u.m) = 1.66×10^{-27} 千克
平面角	1度($^\circ$) = $\frac{\pi}{180}$ 弧度 1分(') = $\frac{\pi}{180} \times 10^{-2}$ 弧度 1秒(") = $\frac{\pi}{648} \times 10^{-3}$ 弧度 1转(rev) = 2π 弧度
面积	1公亩(a) = 100米^2 1公顷(ha) = 10^4米^2
体积	1升(l) = $1.000028 \times 10^{-3} \text{米}^3$
力	1达因(dyn) = 10^{-5} 牛顿 1千克重(kgf) = 9.81牛顿 1吨重(tonf) = 9.81×10^3 牛顿
压力	1达因/厘米 2 (dyn/cm 2) = 0.1牛顿/米 2 1千克重/米 2 (kgf/m 2) = 9.81牛顿/米 2 1毫米汞柱(mm Hg) = 133.0牛顿/米 2 1毫米水柱(mmH $_2$ O) = 9.81牛顿/米 2 1技术大气压(at) = 1千克重/厘米 2 = 0.981 $\times 10^5$ 牛顿/米 2 1物理大气压(atm) = 1.013×10^5 牛顿/米 2 (GOST 7664-61中没有列出这个非系统单位)

功, 能, 热量	1尔格 = 10^{-7} 焦耳
	1千克重·米 = 9.81焦耳
	1瓦特·小时(W·h) = 3.6×10^3 焦耳
	1电子伏(eV) = 1.6×10^{-19} 焦耳
	1卡(cal) = 4.19焦耳
	1千卡(kcal) = 4.19×10^3 焦耳
	1物理升大气(atm) = 1.01×10^2 焦耳
功率	1技术升大气(at) = 98.1焦耳
	1尔格/秒(erg/s) = 10^{-7} 瓦特
	1千克重·米/秒(kgf·m/s) = 9.81瓦特
动态粘滞度 粘滞率	1马力(hp) = 75千克重·米/秒 = 736瓦特
	1泊(P) = 0.1牛顿·秒/米 ² = 0.1千克/米·秒
	1斯托克斯(St) = 10^{-4} 米 ² /秒

车重32公斤, 人运动的速度为5.4公里/小时, 车运动的速度为1.8公里/小时。当人运动到接近车时, 人一下跳到车上。问载着人的这辆大车的运动速度是多少, 方向如何?

解: 根据动量守恒定律有

$$\overline{p_1} + \overline{p_2} = m_1 v_1 + m_2 v_2 = (m_1 + m_2) v \quad (1)$$

这里 m_1 表示人的质量

v_1 表示人跳上车前人的速度

m_2 表示大车的质量

v_2 表示人跳上车前车的运动速度

v 表示人跳上车后人和车共同运动的速度

由(1)式可得:

$$v = \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2} \quad (2)$$

由于(2)式是同构的, 所以 m_1 和 m_2 可以用任意相同的单位来表示。(2)式还表明: 既然质量的单位可以约去, 那么

速度 v 的单位将与 v_1 和 v_2 的单位相同。所以不必将所有的数据都转换成“米·公斤·秒”单位制。

由于原来大车和人的速度方向相反，所以，它们的符号不同。设人的速度为正，则有： $v_1 = 5.4$ 公里/小时， $v_2 = -1.8$ 公里/小时，此外还有 $m_1 = 64$ 公斤， $m_2 = 32$ 公斤，将这些数据代入(2)式可得：

$$v = \frac{64 \times 5.4 - 32 \times 1.8}{64 + 32} \text{公里/小时} = 3.0 \text{公里/小时}$$

速度 $v > 0$ ，所以，人跳上大车后大车将沿原来人前进的方向运动。

例三：用一台额定功率为5马力的水泵从20米深的井里将水抽出。如果7小时抽水 3.8×10^5 升，问马达的效率是多少？

解：马达的功率 P 与该马达在时间 t 内所做的功 W 之间的关系可表示为

$$P = \frac{W}{t\eta} \quad (1)$$

式中 η 是马达的效率，质量为 m 的水提高 h 需做的功为

$$W = mgh \quad (2)$$

而质量为 m 的水所占体积为

$$V = \frac{m}{\rho}$$

由此式得：

$$m = V\rho \quad (3)$$

这里 ρ 是水的密度。用 $V\rho$ 代替(2)式中的 m ，得到 W 的表达式，从而(1)式变成：

$$P = \frac{V\rho gh}{t\eta}$$