

〔苏〕И. В. 萨多夫尼科夫著

普通物理学 问题 与习题集

贺锡纯 译

高等教育出版社

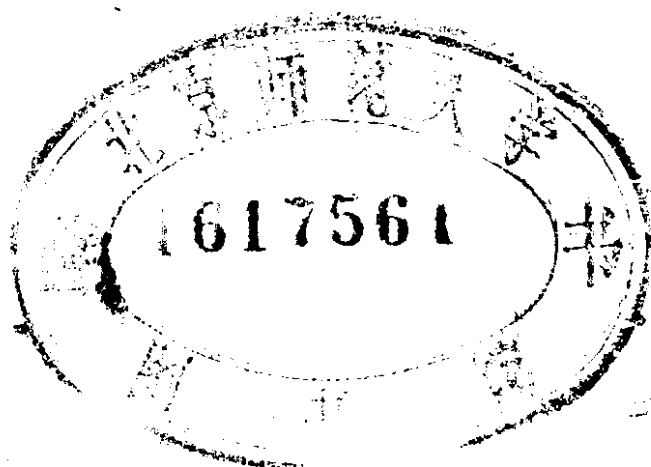
СБОРНИК
ВОПРОСОВ
И ЗАДАЧ
ПО ОБЩЕЙ
ФИЗИКЕ

普通物理学问题与习题集

[苏] И. В. 萨韦利耶夫 著

贺 锡 纯 译

5411169/27



高等教育出版社

内 容 简 介

本书是根据苏联科学出版社(Издательство «Наука»)出版的И. В. 萨韦利耶夫(Савельев)著《普通物理学问题与习题集》(Сборник вопросов и Задач по общей физике)1982年版译出的。原书经苏联高等和中等专业教育部审定为高等工业学校教学参考书。

本书共收集1204个问题和习题。其中大部分习题是新颖的。选题时特别注重日常生活、科学和技术中的一些实用题目。同时尽可能按照逻辑连贯性和由易到难的顺序来编排这些问题与习题。书末附有全部答案及难题提示。

本书可作为高等工业学校普通物理学课程的教学参考书，也可供其他类型高等学校、电视大学和职工业余大学从事普通物理教学的师生参考。

(京)112号

普通物理学问题与习题集

[苏] И. В. 萨韦利耶夫 著

贺 锡 纯 译

*

高等教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

河北省三河县科教厂印装

*

开本850×1168 1/32 印张 10.125 字数 240 000

1992年7月第1版 1992年7月第1次印刷

印数 0 001—3 797

ISBN 7-04-000870-X/O·334

定价 6.25元

序 言

这本习题集是配合 И.В.Савельев 著的三卷《普通物理学教程》(苏联科学出版社, 1977、1978 和 1979 年版)而编写的。书中约有 1200 个问题和习题。其中大部分题目是新颖的。这些习题具有不同的难度。因此, 这本习题集不仅可供执行通用的物理学教学大纲的高等工业学校使用, 而且对于执行扩充的物理学教学大纲的高等工业学校也同样地适用。

在编写本书时, 我们不偏重于抽象的习题, 而是特别注意选用来自日常生活、科学和技术中的一些实用的习题。此外, 我们力求多编入一些这样的习题: 学生在解这些习题时产生一种好奇心, 迫不及待地想知道结果究竟如何。

有的地方尽可能做到了按照逻辑上的连贯性和由易到难的顺序来编排习题。因而, 钻研上一道题就可使学生对于解下一道题有思想准备。

本书共有三部分。第一部分列出了题目的条件, 第二部分是答案, 第三部分是较难习题的解题提示。把难题提示和答案分开来, 为的是使学生在得到不正确的答案后能够继续尝试着独立去解题。在书末的附录里, 除了物理量表外, 还提供了对于解题有帮助的某些材料(如某些积分值等)。

原始数据和习题的答案考虑到相应量的精确度和近似数的运算规则。据我们所知, 这种做法是在 1968 年首次由苏联科学出版社出版、И.В. Савельев 校订的《普通物理学习题集》(编者是 Н. Н. Взорov, О. И. Замша, И. Е. Иродов 和 И. В. Савельев) 中实行的。

应当指出, 在遵守本书导言中提出的建议的情况下, 做习题将

会获得最大的效益。因此,务必一开始就仔细阅读这个导言,而且有时还要重新读它一遍。

在编写本书时,采用了我的同事们和朋友们的一些建议,特向他们致谢 我要特别感谢 В.И.Гервидс 和 Н.В.Масленникова,他们审核了许多习题的答案,并使我注意到好些个不确切的地方。我还要感谢 В.Д.Вернер 教授指出了手稿中的某些错误,以及 В.Б.Зернов 副教授细心地校阅了手稿,深入研究手稿的意图并提出了许多有益的意见。

И.В.萨韦利耶夫(Савельев)

1981 年 5 月于莫斯科

目 录

序言	1
导言	1
第一篇 力学的物理基础	8
1.1. 运动学	10
1.2. 质点动力学和物体的平动 功和功率	18
1.3. 能量	24
1.4. 动量	29
1.5. 角动量	32
1.6. 非惯性参照系	36
1.7. 刚体力学	38
1.8. 万有引力	49
1.9. 振动	54
1.10. 相对论力学	62
1.11. 流体动力学	65
第二篇 分子物理学和热力学	69
2.1. 分子动力学概念 热力学第一定律	71
2.2. 理想气体	73
2.3. 动力学理论	80
2.4. 分布	81
2.5. 熵	84
2.6. 循环	92
2.7. 范德瓦耳斯方程	95
2.8. 液体和晶体	98
2.9. 相平衡和相变	100
2.10. 物理动力学	102
第三篇 电磁学	106

3.1. 真空中的电场	108
3.2. 电介质中的电场	116
3.3 电场中的导体	120
3.4 电场的能量	123
3.5. 电流	125
3.6. 真空中的磁场	132
3.7. 物质中的磁场	136
3.8. 电磁感应	139
3.9 带电粒子在电场和磁场中运动	145
3.10 电振荡	148
第四篇 波	152
4.1. 弹性波	153
4.2. 声学	156
4.3. 电磁波	160
第五篇 光学	163
5.1. 几何光学 光度学	164
5.2. 光的干涉	169
5.3. 光的衍射	176
5.4. 光的偏振	189
5.5. 光波与物质的相互作用	194
5.6. 运动介质光学	197
第六篇 原子物理学	200
6.1. 热辐射	202
6.2. 光子	205
6.3. 卢瑟福公式 玻尔原子	207
6.4. 原子光谱和分子光谱	209
6.5. 量子力学	214
6.6. 原子状态的量子力学描述	218
6.7. 固体物理学	221
6.8. 核的结合能 放射性	227

答案	230
难题提示	297
附录	304
1. 基本物理常数	304
2. 天文学量	305
3. 物质的密度 ρ (以 10^3 千克/米 ³ 为单位)	305
4. 气体的常数 (在标准状态下)	305
5. 范德瓦耳斯常数	306
6. 水和冰的常数	306
7. 表面张力系数 α (以牛顿/米为单位)	306
8. 跟不同颜色光谱相应的波长间隔	306
9. 金属中电子的逸出功 A (以电子伏为单位)	307
10. 某些基本粒子和同位素的原子序数 z 和质量 m (用原子质量单位表示)	307
11. 近似计算公式	307
12. 借助于积分计算和	308
13. 某些数学公式	308
14. 元素周期表	310
15. 某些数	312
16. 单位名称的十进位词头	312
17. 正弦表	313

在开始解答习题之前，请您仔细阅读这个导言并熟悉书末的附录！

导 言

I. 关于创造心理学的扼要论述

只有在学生独立地进行解题的情况下，做习题才会获得最大的益处。不靠别人的帮助和提示来解答习题往往是不容易的，也不一定能成功。但是，只要足够顽强地进行尝试，即使这些寻求解答的尝试不成功，也有明显的好处，因为它们能发展思维，增强毅力。应当注意到，在解题工作中，一般说在学习中也一样，毅力和勤劳起着决定性的作用。

某些习题不能“立即”解答，也不必难为情。已经确实地查明：各门精密科学领域内的创造过程（而解答习题是创造的一种形式）是按照下述模式进行的^①。最先是准备阶段。在此阶段科学家坚持不懈地寻求问题的解答。假如找不到解答就将问题放下，转到第二阶段（潜伏阶段），科学家不思考那个问题，而去研究其他问题。不过，在潜意识中隐藏着的思维活动仍在继续进行，这种思维活动往往最后到达第三阶段，即突然领悟和得到符合要求的解答。需要指出的是，潜伏阶段不会自然而然地出现。为了开动无意识这部机器，在准备阶段内必须进行顽强而紧张的工作。

我们提过，解答习题也是创造的一种形式，它所遵循的规律与科学家研究科学问题所遵循的规律相同。诚然，在某些情况下第二阶段——潜伏阶段可能表现得很不明显，以致人们觉察不出来。

^① 参阅下列书：Жак Адамар，数学领域中发明过程的心理学研究，——М.: Сов. радио, 1970.

由上可知:无论什么情况下都不应该遗憾地象大学生们经常干的一样,把解题拖延到交卷前的最后一个晚上。在这种情况下,既较复杂同时又最富有内容和最有益的一些习题显然不可能解答出来。对于指定“在家里”做的一些习题,必须尽量提早开始考虑,以便创造出实现潜伏阶段的条件。

假如在题目的给定条件中有数字表示的资料,不要满足于只解出数字答案。为了获得正确的数字答案,必需熟悉各个物理量的单位,并善于精确而可靠地进行各种计算。这两方面都只有通过长期的实践才可能学到手。需要特别注意准确地算出待求量的数量级。在学生中经常可以遇到一种令人诧异的误解——他们认为,物理量数量级(甚至于好几个数量级)上的错误不如有效数字的错误那末严重。用下述例子容易显示这种看法是毫无根据的。本来为5而得出7所含的错误是40%,可是仅仅一个数量级(譬如说,原来是 10^4 而得到了 10^5)的错误就达到900%。

紧接在本书答案后,有难题提示。应在多次尝试未获成功后才去看这一部分。

最后要注意到,在许多情况下题目是按照逻辑上的连贯性和由易到难的顺序编排的。因此,熟悉前面的一些习题就可以推动后面习题的解答。

II. 解题方法提示

解答习题时适当遵守下列规则。

1. 首先需要好好地推敲题目的条件。如果题目的性质允许的话,请务必画出能够说明题目实质的图形。

2. 除极少数习题外,每个习题开始都应该用一般形式(即用字母符号,而不用数字)来求解,并且待求量应当用已知量来表示。在得到了一般形式的解答后,需要验算它的量纲是否正确。有可能的话,就考察一下在极限情形下解的性质。例如,在分析跟水平面成一角度抛出的物体的运动(1.28题)时,初速度 v_0 的模和

物体抛出的角度 α 已经给定, 加速度 g 也是已知的。我们得到上升高度 h 和射程 l 的值

$$h = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}, \quad l = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}$$

请注意, 在这两个式子中都只包含已知量 v_0 、 α 和 g 。 l 的表示式可写成 $l = v_0 \cos \alpha \cdot \tau$, 式中 τ 是飞行时间。但不能认为这个式子就是解答, 因为 τ 不是已知量, 它本身是 v_0 和 α 的函数。验算得到, 这两个式子象它们所应有的一样都具有长度的量纲。在 $\alpha = \pi/2$ 的情形下得出 $h = v_0^2/(2g)$, 这个式子与熟知的竖直上抛物体的上升高度公式相同。对于 l 来说得到一个正确值——零。

在求未知量的过程中需要解由几个方程式构成的方程组(例如, 象求复杂的多分支电路中通过的电流时经常出现的), 在这种情形下, 适当的作法是: 先把系数的数值代入这些方程式中, 随后计算出未知量的数值。

3. 在确认一般解是正确的以后, 不再用字母, 而是把每个字母所表示的物理量的数值代入一般解。取数值时, 自然所有这些数值都要用同一种单位制表示。为便于确定待算量的数量级, 把这些数值表示为接近于个位数并乘以 10 的相应方次(例如, 用 2.47×10^2 来替换 247, 用 0.86×10^{-1} 来替换 0.086 等等)是有好处的。将数字代入公式后, 在开始计算前, 请您检查一下是否可以利用附录 11(也可参看 1.37 题)所列的近似计算公式。

4. 应该记住, 物理量的数值总是近似的。因此计算时必须遵守近似数的运算规则。其中包括, 在得到的待算量的数值中, 哪一位数字的一个单位超过该量的误差, 就要把这一位数字保留为末位数字。其余的全部有效数字都应当舍弃。

5. 得出数字答案后要估计一下它是否合理。在许多情形下, 这样作可能发现所得结果的错误。例如, 物体的速度不可能大于真空中的光速; 人抛出的石头, 其射程不可能达到 1000 米左右; 分

子的质量不可能是 1 毫克左右；如此等等。

III. 有关近似数计算的一些知识

1. 在物理学中，除了物理量的数值外，还应该指出误差。有了误差，这个量就被确定了。例如， $l=356\pm 2$ 米这种写法表示，长度 l 的真值在 354 米至 358 米范围内。严格地说，尚需指出上述论断出现的概率（置信概率）。但是，在写出物理量的数值时，通常没有指出它的误差（置信区间），而只是引用一个数字，例如 $l=467$ 米。在这种情况下应该认为，物理量的误差不超过最末一位有效数字的一个单位（在上例中 l 的误差是 1 米）。可见，表示物理量大小的数，除了最末一位数字外，它的全部有效数字都应视为准确数字；而最末一位数字应看作是存疑数字（这个数字的真值可能与所指出的值相差 1）。

我们知道，在数的十进位制表示式中，除了数前面的零外，所有的数字都称为有效数字。例如，在数 0.03040 中，开头的两个零不是有效数字。它们只是用来确定其余数字在十进制中的位数。3 和 4 后面的零都是有效数字。

在末尾带有几个零的大整数（例如，123000）的情形下，产生了这些零是作什么用的问题：它们是用作有效数字的标记，还是用来确定其余数字的位？为了避免这样的含糊，上述数字应当写为 1.23×10^5 （假如它们有三位有效数字的话），或者写成 1.230×10^5 （假如它们有四位有效数字的话），等等。

2. 量

$$\Delta a = |A - a|$$

称为近似数 a 的绝对误差，其中 A 是同一数的精确值。

3. 量

$$\delta a = \frac{\Delta a}{|A|}$$

称为近似数 a 的相对误差。

在进行物理学计算时,我们常常碰到一些始终不知其精确值的数. 因此,实际上相对误差只得按照公式

$$\delta a = \frac{\Delta a}{|a|}$$

来确定. 这时所带来的误差不大,因为通常 $A \approx a$.

4. 设量 u 是量 $x_1, x_2, \dots, x_n$ 的函数:

$$u = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

则量 u 的最大绝对误差按照公式

$$\Delta u = \sum_{i=1}^n \left| \frac{\partial u}{\partial x_i} \right| \Delta x_i$$

来确定. 式中 Δx_i 是量 x_i 的绝对误差.

5. 用 $|u|$ 去除 Δu 后,我们就得到量 u 的最大相对误差:

$$\delta u = \frac{\Delta u}{|u|} = \sum_{i=1}^n \left| \frac{\partial}{\partial x_i} \ln u \right| \Delta x_i$$

6. 在表 1 中列出了某些函数的最大绝对误差 Δu 和最大相对误差 δu 的公式. Δx_i 和 δx_i 分别表示量 x_i 的绝对误差和相对误差.

7. 现在来分析确定计算结果误差的一个例子. 我们选上述跟水平面成一角度抛出的物体的运动问题. 物体上升的高度由公式

$$h = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}$$

给出. 应用表 1 中的公式,我们得到了高度 h 的最大相对误差的表达式

$$\delta h = 2\delta v_0 + 2\delta(\sin \alpha) + \delta g = 2\delta v_0 + 2|\operatorname{ctg} \alpha| \Delta \alpha + \delta g$$

(分母中的 2 是精确数字, 它的误差等于零).

设 $v_0 = 95$ 米/秒, $\alpha = 45^\circ$; 取 g 的值为 9.81 米/秒². 于是 $\Delta v_0 = 1$ 米/秒(最末一位有效数字的一个单位), $\delta v_0 = 1/95$, $\Delta \alpha =$

表 1

函数形式	最大绝对误差 Δu	最大相对误差 δu
$u = \sum_{i=1}^n x_i$	$\Delta u = \sum_{i=1}^n \Delta x_i$	——
$u = x_1 - x_2$	$\Delta u = \Delta x_1 + \Delta x_2$	$\delta u = \frac{\Delta x_1 + \Delta x_2}{ x_1 - x_2 }$
$u = x_1 x_2 \cdots x_n$	$\Delta u = u \delta u$	$\delta u = \sum_{i=1}^n \delta x_i$
$u = \frac{x}{y}$	——	$\delta u = \delta x + \delta y$
$u = \frac{x_1 x_2 \cdots x_n}{y_1 y_2 \cdots y_m}$	——	$\delta u = \sum_{i=1}^n \delta x_i + \sum_{i=1}^m \delta y_i$
$u = x^m$	$\Delta u = m x^{m-1} \Delta x$	$\delta u = m \delta x$
$u = \sqrt[m]{x}$	——	$\delta u = \frac{1}{m} \delta x$
$u = \ln x$	$\Delta u = \frac{\Delta x}{x} = \delta x$	$\delta u = \frac{\delta x}{ \ln x }$
$u = \lg x$	$\Delta u = \frac{1}{2.30} \frac{\Delta x}{x} = \frac{\delta x}{2.30}$	$\delta u = \frac{1}{2.30} \frac{\delta x}{ \lg x }$
$u = e^{\pm \alpha x} (\alpha > 0)$	$\Delta u = \alpha e^{\pm \alpha x} \Delta x$	$\delta u = \alpha \Delta x$
$u = e^{f(x)}$	$\Delta u = e^{f(x)} \left \frac{df}{dx} \right \Delta x$	$\delta u = \left \frac{df}{dx} \right \Delta x$
$u = \sin mx$	$\Delta u = m \cos mx \Delta x$	$\delta u = m \operatorname{ctg} mx \Delta x$
$u = \cos mx$	$\Delta u = m \sin mx \Delta x$	$\delta u = m \operatorname{tg} mx \Delta x$
$u = \operatorname{tg} mx$	$\Delta u = \frac{m}{\cos^2 mx} \Delta x$	$\delta u = \frac{2m}{ \sin 2mx } \Delta x$

$1^\circ = 1/57$ 弧度, $\delta g = 1/981 \approx 0.001$. 把这些数值代入 δh 的公式中($\operatorname{ctg} 45^\circ = 1$):

$$\delta h = \frac{2}{95} + \frac{2}{57} + 0.001 \approx \frac{1}{20} \sim 5\%$$

我们看到, 加速度 g 没有必要精确地取到第三位数. 若取 $g = 9.8$ 米/秒²——因而也就使相对误差 δg 增大到 $2/980$, 则结果的相对精度实际上不改变, 然而计算却变得较为简单些.

现在我们来计算 h :

$$h = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g} = \frac{95^2 \times 0.707^2}{2 \times 9.8} = 2.3 \times 10^2 \text{ 米}$$

我们没有理由将结果写成 230 米, 因为这种写法包含了求出的 h 值的误差不超过 1 米的意思. 实际上, 如上所述, 在 v_0 和 α 的精度给定的条件下, 算出的高度 h 的相对精度不可能优于 5%, 也就是说, 高度 h 的绝对误差不可能小于 10 米.

IV. 关于题目条件中的数字系数的说明

公式 $\mathbf{r} = 1\mathbf{e}_x + 2t\mathbf{e}_y + 3t^2\mathbf{e}_z$ 或者 $U = 1x + 2y^2 + 3z^3$ 等等, 应当看成是公式 $\mathbf{r} = (1 \text{ 米})\mathbf{e}_x + (2 \text{ 米/秒})t\mathbf{e}_y + (3 \text{ 米/秒}^2)t^2\mathbf{e}_z$ 或者 $U = (1 \text{ 焦耳/米})x + (2 \text{ 焦耳/米}^2)y^2 + (3 \text{ 焦耳/米}^3)z^3$ 等等的省略的约定写法, 这就是说, 要给数字系数添写上适当的量纲.

第一篇 力学的物理基础

符号:

A ——功;

a ——振幅;

B ——磁感应强度;

C ——质心;

c ——真空中的光速;

d ——直径;

E ——单位张量;

E ——能量;

e_x, e_y, e_z ——坐标轴的单位矢量;

e ——自然对数的底; 基本电荷;

F ——力;

g ——自由下落的加速度;

h ——高度;

I ——转动惯量;

K ——参照系;

k ——倔强系数 (刚性); 摩擦系数;

l ——长度; 距离;

M ——角动量;

M, m ——质量;

N ——力矩;

N ——转矩; 转数;

N_z ——相对于 z 轴的力矩;

n ——单位时间内的转数;

P ——功率；
 p ——动量；
 p ——压力；
 Q ——振动系统的品质因数；液体的流量；
 q ——电量；
 R ——矢径；
 R ——半径；曲率半径；距离；
 Re ——雷诺数；
 r ——矢径；
 r ——半径；距离；
 S ——面积；表面；
 s ——路程；
 T ——张量；
 T ——动能；振动的周期；
 t ——时间；
 U ——势能；
 u ——速度；
 V ——体积；速度；
 v ——速度；
 w ——加速度；
 α ——表面张力系数（表面张力）；角度；
 β ——角加速度；
 β ——振动的阻尼因子；角度；
 γ ——引力常数；角度；
 η ——粘滞系数（粘滞性）；
 λ ——线质量（单位长度的质量）；阻尼的对数减缩；
 μ ——折合质量；
 ρ ——密度；