

物理学题解

松平升

〔日〕大槻義彦 合著

和田正信

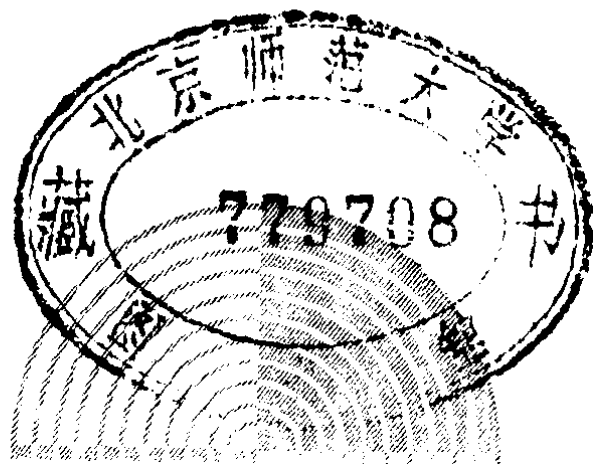
高等学校理工科参考书

物 理 学 题 解

〔日〕松平升 大槻義彦 和田正信 合著

王 嘉 新 谢 邦 新 译

刘 少 春 张 德 源 校



序

即使读者从各种书籍中已经了解到物理学的深奥意义，以及作为其背景的哲学和世界观上的一些问题，也曾经听过许多物理课的讲授，但是光凭这些知识，就想透彻地理解物理学并加以应用，那仍然是十分困难的。为了深刻理解物理学上的问题，理论联系实际，反复加强练习，是非常必要的。然而，人们一提起大学，就认为似乎是应该搞学院式的研究，因此，甚至师生都往往轻视作习题这个环节。乍看起来，每碰到难题时，与其冥思苦想、死搬硬套地进行解算，倒不如花点时间先议一议，搞清楚问题的时间、空间的哲学意义会更加有效得多。然而，为了理解问题在时间、空间上的深刻哲学意义，有必要反复地作些相对论的典型习题。

俗话说：“习与性成”，“读书百遍，文理自通”。的确，那怕是还处在不够理解其物理意义的阶段上，如能多次反复作题，也会逐步加深对物理学的理解，而且有助于它在科学技术中的应用。诚然，如果不去理解物理学，而只是把重点放在“作题”上，那自然是本末倒置。不过，作题对于物理学的理解实属重要。

本书是以有助于深入理解物理学及其在科学技术中的应用为目的而写成的一本参考书。它是经作者多年潜心研究才与读者见面的。同时，本书也属作者的另一著作《物理学》（卷I，卷II）的姊妹篇而出版的。所以本书引用了《物理学》中的许多问题。此外，还编进了连《物理学》一书都没有讲述的一些问题。因此，

可以认为：假若读者能解出这些问题并作到运用自如，那就表明业已具备了相当雄厚的物理基础。

为使本书既能作习题集用，又能兼作独立教材使用，因此书中各章的编写都是先从概述理论基础的要点开始的。所以这本书对理论的归纳方法也有所助益。书中的每个例题均附有详尽地解答。同时，在“提示”里给出问题的意义所在，以及解题方法等注意事项；在“注释”里指出该问题与其他问题的联系并从中引出有关的一些问题，等等。我们建议读者：看例题时，不要只知其解答，而应细细研读；作习题时，不要先看其解答，而应亲自解之。于各章之末，不仅附有答案，而且力求指出解题思路所在，以期更具参考价值。

一俟真正执笔撰写时，确实困难重重。选题是否适当，这当然是要考虑的事；欲使各个题解都准确无误，势必要经过多次反复研讨揣摩。即使做好了这些工作，还有材料取舍、题目难易的对比等大量的工作。尽管各作者分工执笔部分均经互换通读、相互磋商，但是，欠妥之处，在所难免。如蒙读者指正，不胜庆幸。

本书出版之时，正值《物理学》（卷I，卷II）发行三周年。在此三年内给该书提出的许多善意批评指正都有助于本书的撰写。当大槻先生在早稻田大学授课时，给同学讲授习题课的新藤茂、田中秀尚两位先生的意见也很有益。对此，表示感谢。同时，在本书的编排、插图过程中，曾得到培风馆的野原刚、青柳幸久先生的多方照顾。在此，谨致谢意。

著 者

1978年6月

目 录

1 牛顿力学基础 (1)

要点 (1)

1. 速度与加速度 (1)

2. 惯性系, 惯性定律 (2)

3. 牛顿运动定律 (3)

4. 万有引力及其他的相互作用 (4)

5. 惯性力 (5)

6. 能量守恒定律 (6)

7. 角动量与天体运动 (7)

例题 (8)

习题 (19)

习题解答 (23)

2 二体问题, 多体问题 (34)

要点 (34)

1. 相对运动, 质量中心运动 (34)

2. 碰撞问题 (36)

3. 群体运动 (38)

例题 (39)

习题 (53)

习题解答 (56)

3 刚体运动 (60)

要点 (60)

1.刚体运动与运动方程式..... (60)

2.转动惯量..... (61)

3.复摆..... (62)

4.刚体的能量..... (62)

5.刚体的平衡..... (63)

例题..... (63)

习题 (81)

习题解答 (83)

4 振动 (92)

要点 (92)

1.简谐振动..... (92)

2.衰减振动..... (93)

3.受迫振动..... (94)

4.参量激振..... (94)

5.非线性振动..... (95)

例题..... (96)

习题 (110)

习题解答 (113)

5 物质的各种变形..... (119)

要点 (119)

14/11/30

1. 物质的变形与虎克定律.....	(119)
2. 体积弹性.....	(120)
3. 剪切与扭转的弹性.....	(121)
4. 弹性波.....	(122)
例题.....	(123)
习题	(132)
习题解答	(134)

6 流体的运动 (142)

要点	(142)
1. 流体静力学.....	(142)
2. 流体的运动方程式.....	(142)
3. 伯努利定理.....	(143)
4. 粘性流的流动.....	(144)
5. 惯性阻力与高速气流.....	(145)
6. 稀薄气体与平均自由行程.....	(146)
例题.....	(148)
习题	(155)
习题解答	(156)

7 温度与热量 (163)

要点	(163)
1. 热平衡与温度.....	(163)
2. 温度的分子运动论定义.....	(
3. 理想气体.....	(

4. 热力学第一定律.....	(164)
5. 能量均分定理.....	(165)
6. 绝热过程.....	(165)
7. 焦耳-汤姆逊效应	(165)
8. 卡诺循环的效率.....	(165)
9. 克劳修斯-克拉贝龙公式	(165)
10. 卡末林·昂尼斯状态方程式	(166)
11. 范德瓦尔斯状态方程式.....	(166)
例题.....	(166)
习题	(180)
习题解答	(183)

8 热力学第二定律..... (191)

要点	(191)
1. 不可逆过程.....	(191)
2. 热力学第二定律.....	(192)
3. 热机效率.....	(192)
4. 克劳修斯公式.....	(193)
5. 熵.....	(193)
6. 热力学函数.....	(194)
例题.....	(196)
习题	(207)
习题解答	(209)

9 扩散与热传导 (213)

要点 (213)

1. 扩散 (213)

2. 热传导 (213)

3. 稳定状态 (214)

4. 熔化与溶解 (216)

5. 冷却定律 (216)

6. 输运现象 (216)

例题 (217)

习题 (222)

习题解答 (223)

10 波动及其性质 (226)

要点 (226)

1. 波的性质 (226)

2. 用波动方程式表示的波动 (227)

3. 各种波 (228)

4. 波动的能量与动量 (230)

5. 费马原理 (231)

6. 波的叠加 (231)

7. 波的反射与位相的关系 (23)

8. 相速度与群速度 (

9. 波的衍射 (

例题 (

习题	(242)
习题解答	(245)

11 电场

要点	(249)
1. 库仑定律	(249)
2. 静电势	(251)
3. 导体	(253)
4. 电容器	(254)
5. 电介质	(255)
例题	(256)
习题	(269)
习题解答	(271)

12 电流

要点	(279)
1. 欧姆定律	(279)
2. 基尔霍夫定律	(280)
3. 焦耳热效应	(280)
例题	(281)
习题	(288)
习题解答	(291)

13 磁场与磁介质 (297)

要点 (297)

1. 磁场 (297)

2. 安培定律 (298)

3. 电磁感应 (299)

4. 电磁振荡 (301)

5. 磁介质 (302)

例题 (304)

习题 (317)

习题解答 (319)

14 麦克斯韦方程式和电磁波 (326)

要点 (326)

1. 位移电流 (326)

2. 麦克斯韦方程式 (326)

3. 电磁波及其性质 (328)

例题 (329)

习题 (338)

习题解答 (340)

15 相对性理论 (348)

要点 (348)

1. 狭义相对性理论 (348)

2. 洛仑兹变换和速度相加定理 (348)

3.运动的量杆与时钟问题.....	(349)
4.时空构造.....	(350)
5.相对论力学.....	(351)
6.质量同能量的等效性.....	(352)
例题.....	(353)
习题	(365)
习题解答	(366)

16 量子论 (375)

要点	(375)
1.黑体辐射与普朗克辐射公式.....	(375)
2.光的粒子性.....	(376)
3.原子光谱和玻尔理论.....	(377)
4.物质的波动性.....	(378)
5.测不准关系.....	(379)
6.薛定谔波动力学.....	(379)
7.角动量, 自旋, 磁矩.....	(380)
8.泡利原理.....	(381)
例题.....	(381)
习题	(398)
习题解答	(399)

17 原子物理学 (409)

要点	(409)
1.X 射线.....	(409)

2.X射线的吸收与散射.....	(409)
3.X射线, 粒子射线衍射.....	(409)
4.质子射线, 其他离子射线及其应用.....	(410)
5.金属自由电子论.....	(410)
6.能带构造.....	(411)
7.半导体.....	(412)
8.磁性.....	(412)
9.原子核世界.....	(413)
10.放射能及核能.....	(415)
11.基本粒子.....	(417)
12.宇宙的构造.....	(418)
例题.....	(420)
习题	(430)
习题解答	(432)
附录.....	(439)
数学基本概念.....	(439)
电磁学各量的单位.....	(446)
物理常数.....	(447)
单位换算表和大小标准.....	(449)

1 牛顿力学基础

要 点

1. 速度与加速度

速度 取一适当的参考坐标系, 设质点在时刻 t 的位置向量为 $\mathbf{r}$ 。在时刻 $t' = t + \Delta t$ 的位置向量为 $\mathbf{r}' = \mathbf{r} + \Delta \mathbf{r}$ 。这里将 $\Delta \mathbf{r} = \mathbf{r}' - \mathbf{r}$ 称为位移(位移向量)。速度 $\mathbf{v}$ 的定义是*

$$\mathbf{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} = \frac{d\mathbf{r}}{dt} = \dot{\mathbf{r}} \quad (1)$$

因为 $\mathbf{r} = (x, y, z)$ 用的是笛卡儿坐标系, 所以速度分量为

$$v_x = \frac{dx}{dt} \quad v_y = \frac{dy}{dt} \quad v_z = \frac{dz}{dt} \quad (2)$$

而速度的大小称为速率, 它是 $v = |\mathbf{v}| = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}$ 。

平面极坐标 (r, θ) 下的速度, 用下式表示

$$\text{径向分量: } v_r = \frac{dr}{dt} \quad \text{周向分量: } v_\theta = r \frac{d\theta}{dt} \quad (3)$$

加速度 加速度 $\mathbf{a}$ 是以速度对时间的变化率表示出来的, 即

$$\mathbf{a} = \frac{d\mathbf{v}}{dt} = \frac{d^2\mathbf{r}}{dt^2} = \ddot{\mathbf{r}} \quad (4)$$

*对时间的微分, 在适当的时候拟用 $\dot{\mathbf{r}}$, $\ddot{\mathbf{r}}$ 表示。

它的分量是

$$a_x = \frac{d^2x}{dt^2} \quad a_y = \frac{d^2y}{dt^2} \quad a_z = \frac{d^2z}{dt^2} \quad (5)$$

而大小则由式 $a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}$ 给出。

在平面极坐标下的加速度，可由下式表示为

$$a_r = \frac{d^2r}{dt^2} - r \left(\frac{d\theta}{dt} \right)^2$$
$$a_\theta = 2 \frac{dr}{dt} \frac{d\theta}{dt} + r \frac{d^2\theta}{dt^2} = \frac{1}{r} \frac{d}{dt} \left(r^2 \frac{d\theta}{dt} \right) \quad (6)$$

对圆周运动，因其 $r = \text{常数}$ ，所以加速度为 $a_r = -r \left(\frac{d\theta}{dt} \right)^2$ ，

$a_\theta = r \frac{d^2\theta}{dt^2}$ 。特别是对匀速圆周运动，其角速度是一恒量（即

$\frac{d\theta}{dt} = \omega = \text{恒值}$ ），因此 $a_r = -r\omega^2$ ， $a_\theta = 0$ 且指向圆心。

2. 惯性系，惯性定律

惯性系 具有这样一种参考系：当物体处于静止状态时，它就能持续地保持其静止状态；而当物体作匀速直线运动时，它就能持续地保持其运动状态。象这样的参考系，称为**惯性系**，或者是**伽利略系**。

当物体从所有其他物体分离出来而不受其它物体的相互作用时，这种物体称为**自由体**。在惯性系里，自由体始终作匀速运动，这就是惯性定律或称为**第一运动定律**。

伽利略变换 设有一个惯性系 S ，另一个惯性系 S' 整体沿相对于前者的 x 轴方向以共同的速度 u 平动，则二者之间的坐标

变换由下式给出：

$$x' = x - ut \quad y' = y \quad z' = z \quad t' = t \quad (7)$$

这样一种变换称为**伽利略变换**。将式(7)对时间微分得

$$v_x' = v_x - u \quad v_y' = v_y \quad v_z' = v_z \quad (8)$$

这就是**速度加法定律**。

牛顿运动定律对伽利略变换是不变的，这就叫做**伽利略相对性原理**。

3. 牛顿运动定律

第一定律 惯性定律。

第二定律 动量对时间的变化率等于力。由此得到运动方程是

$$\frac{dp}{dt} = F \quad p = mv \quad (9)$$

式(9)中的 m 称为**惯性质量**，或简称**质量**。

第三定律 作用在两个物体之间的相互作用力(内力)，是大小相等、方向相反，作用于连结这两个物体的直线方向上。这就叫做**作用与反作用定律**。假设物体2对物体1的作用力为 F_{12} ，则

$$F_{12} = -F_{21} \quad (10)$$

其次，在服从牛顿第三运动定律的相互作用力所作用着的体系中动量守恒。也就是说，牛顿第三运动定律与笛卡儿的**动量守恒定律**具有相同的物理内容。

$$\frac{dP}{dt} = 0 \quad P = p_1 + p_2 = \text{恒量} \quad (11)$$

与此不同,当这个体系受到外力 F 作用的情况下,动量按下式:

$$\Delta P = F \Delta t \quad (12)$$

变化。 Δt 为外力作用的时间。而等式右边称为冲量。

4. 万有引力及其他的相互作用

万有引力 凡能满足第三运动定律并作用于两个粒子间的力,就是万有引力。设粒子质量*为 m 、 M ,其间的距离为 r ,万有引力常数为 G ,则万有引力表示为

$$F = -G \frac{mM}{r^2} \frac{\mathbf{r}}{r} \quad (13)$$

式中, $\mathbf{r}/r$ 是单位向量, $G = 6.6720 \times 10^{-11}$ 牛顿·米²/公斤²

地球上的重力加速度 g 可表示为

$$g = GM/R^2 \quad (14)$$

式中, M 是地球质量, R 是地球半径。 $g = 9.80$ 米/秒²。

开普勒定律

第一定律: 所有太阳系的行星都在一个以太阳为焦点的椭圆轨道上运动。

第二定律: 连结太阳与行星的直线在单位时间内所扫过的面积总是保持为一恒量(面积速度常量定律)。

第三定律: 各行星公转周期的平方与其轨道的长半轴的立方成正比。

第三定律由下式:

$$T^2 = 4\pi^2 R^3 / GM$$

*应称作重力质量。不过,经精密校核,它的确等于惯性质量。