

近代物理各类题型详析

中南工业大学出版社

〔日〕后藤宪一 西山敏之 等编
张德源 王力新 等译

[日] 后藤宪一 西山敏之 山本邦夫 神吉 健 山崎修一郎 编

近代物理各类题型详析

张德源	王力新	译
宋荣荣	黄 箐	
靳仲兰	刘 欣	校

中南工业大学出版社

近代物理各类题型详析

张德源 王力新 等译

靳仲兰 刘欣 校

责任编辑：钱明

插图责任编辑：刘楷英

*

中南工业大学出版社出版发行

长沙市郊大华印刷厂印装

湖南省新华书店经销

*

开本：850×1168/32 印张：19.5 字数：485千字

1988年11月第1版 1988年11月第1次印刷

印数：0001—3000

*

ISBN 7-81020-128-X/O·020

定价：7.00元

内 容 简 介

本书系根据后藤宪一等人编写的《详解现代物理学演习》（1981年）译出的。

全书共九章，包括连续介质力学，基础理论，相对论，量子力学，热力学，统计物理等。各章开始是扼要地阐明论题的基本概念，基本原理和主要公式，继而用大量的不同类型的例子，帮助读者理解原理，说明解题方法和技巧。全书具有内容丰富，题型典型的特点，它既可用作补充教材，又是指导解题的必备参考书。

本书适合高等学校理工科师生参考，也可供科技人员阅读。

前 言

本书是一本大学理工科高年级学生的物理参考书。

这本书，对于那些学完了普通物理课程，而又要从事物理专门研究，或是进行以物理为主的专业研究的大学生以及准备进研究院继续深造的研究生，都有所裨益。

本书内容，乃是当今物理前缘异常活跃的物理基础，也是专业物理研究人员进修的必备知识。现在，美国和苏联等国都陆续出版一些趣味盎然的解题训练参考书。如能积累和精选现有的大量题目，这对促进物理学及物理技术的发展，无疑会起决定性的重要作用。有鉴于此，在收集资料时，我们参考了国内外的现行教材，着眼于综合各物理分支的教科书，把它们统一于一体，汇编成册，这是本书编写的唯一目的。

值得指出，本书不仅供解题训练用，而且还能作讲课的补充教材。我们特别精选出许多跨本科分支的问题，在编写材料取舍上，采取的标准是：（1）要有助于对基础知识的理解；（2）要有一定的重要性；（3）要有与新观念相联系的兴趣；（4）要有助于研究生入学考试，等等。因此，全书以“通俗易懂，论述严谨”为宗旨，那怕是通读全书，也会给读者带来兴趣，不会徒劳无益的。

本书是集体商讨，分头执笔的。具体分工是：头四章主要由后藤编写，接下去的三章，则分别由山本、山崎和神吉执笔，最后两章主要由西山执笔。这样做，能使全书宏观统一，归纳精当。

在编写过程中，得到了广闻博见的伏见康治先生的直接或间接的指导。在此，深深地感谢伏见先生及担任指导职务的内山龙雄教授。

另外，对被选作参考书的各位作者，以及为本书出版事宜付出辛劳的，以西川代木先生和小林洋子先生为首的共立出版社诸君，深表谢意。

由于编者疏漏，错误和不妥之处，在所难免，希望广大读者赐教，以便再版时修订。

编 者

目 录

第一章 力 学

§1. 质点 质点系力学

要 点..... (1)

质点运动方程 行星运动 中心力的散射 相对运动
质点系运动 变质量物体的运动

问 题..... (3)

§2. 刚体力学

要 点..... (17)

刚体运动方程 角动量 冲击运动 欧拉运动方程
回转力矩

问 题..... (19)

§3. 分析力学

要 点..... (25)

变分法 拉格朗日方程 中间积分 哈密顿正则方程
正则变换 拉格朗日括号和泊松括号 相空间
刘维定理 哈密顿—雅可毕偏微分方程

问 题..... (29)

第二章 连续介质力学

§4. 弹性体力学

要 点..... (46)

连续物体的应力 连续物体的运动方程 连续物体
的应变 弹性体的应力和应变 弹性体的应变能
各向同性体的弹性常数 各向同性体的运动方程
各向同性弹性体的平衡 弹性体的振动 弹性波

问 题..... (53)

§5. 流体力学

要 点..... (81)

流体力学方程 理想流体 高速气流 粘性流体
湍流

问 题..... (89)

第三章 电磁学

§6. 静电磁场

要 点..... (114)

静电场 静磁场

问 题..... (120)

§7. 电流和电磁现象

要 点..... (134)

稳恒电流 稳恒电流磁场 磁场对稳恒电流的作用
力 电磁感应 电感和电磁现象 随时间变化的电
流 交流荷电粒子的运动

问 题..... (139)

§8. 电磁波 光

要 点..... (155)

麦克斯韦方程组 电磁波 边界条件和反射、折射
及色散、吸收 电磁波的立体回路 真空中的电磁
势 矢势的多极展开和多极辐射 运动点电荷的辐
射 散射和衍射 电磁场内荷电粒子的拉格朗日函
数和哈密顿函数

问 题..... (159)

第四章 相对论

§9. 洛伦兹变换和狭义相对论运动学

要 点..... (181)

狭义相对论 洛伦兹变换 棒的缩短和时钟的延缓
四维时空世界 四维矢量和张量

问 题..... (185)

§10. 狭义相对论力学

要 点.....(195)

狭义相对论的运动方程 动量和能量

问 题.....(196)

§11. 狭义相对论电磁学

要 点.....(220)

电磁场的变换 麦克斯韦方程组 真空中的电磁势

·能量、动量守恒 荷电粒子的运动 极化张量 平面电磁波

问 题.....(222)

§12. 广义相对论

要 点.....(244)

广义相对论 质点运动方程 引力场方程 希瓦兹

希德外部解 宇宙论和赫伯关系

问 题.....(246)

第五章 量子力学

§13. 量子力学的基本概念

要 点.....(267)

波、粒二象性 测不准关系 薛定谔波动方程 波函

数的统计解释、归一化、几率密度 几率流密度

物理量、算符、对易关系 期待值、矩阵元 厄密

算符和物理量 物理量算符的本征值、本征函数

观测值为特定值的几率 宇称 海森伯运动方程

问 题.....(275)

§14. 一维问题

要 点.....(290)

一维问题

问 题.....(290)

§15. 角动量 自旋 磁矩

要 点.....	(298)
轨道角动量 一般角动量 自旋 角动量的合成 磁矩	
问 题.....	(303)
§16. 能量本征值	
要 点.....	(314)
能量本征值问题 微扰理论 变分法	
问 题.....	(316)
§17. 散 射	
要 点.....	(326)
散射截面 实验室系和质心系 散射振幅 玻恩近似 分波法、相移 库仑场的散射 有吸收的情况 与时间有关的微扰理论	
问 题.....	(332)
§18. 全同粒子体系	
要 点.....	(343)
全同粒子 对称波函数和反对称波函数 全同粒子 的散射	
问 题.....	(344)
第六章 原子 分子	
§19. 原子的结构和光谱	
要 点.....	(348)
稳定状态和频率条件 氢型原子 自旋 原子结构 电磁场的影响	
问 题.....	(350)
§20. 分子的能量状态和分子光谱	
要 点.....	(377)
分子光谱 双原子分子的电子态	
问 题.....	(378)

第七章 原子核 基本粒子

§21. 原子核的结构

要 点 (390)

原子核的组成 原子质量单位 结合能 原子核的大小 魏茨泽克质量公式 原子核的自旋 原子核的磁矩 原子核的电四极矩 原子核模型

问 题 (397)

§22. 原子核的衰变

要 点 (416)

放射性和核衰变 衰变系 衰变定律 放射性活度的单位 放射性平衡 α 衰变 β 衰变 电子俘获 逆过程

问 题 (421)

§23. 原子核 基本粒子反应

要 点 (434)

碰撞过程和能量动量守恒 原子核反应 复合核和核共振 高能核反应、光学模型、直接反应 反应及其逆过程 核裂变 热核聚变反应 重子、介子、轻子 同位旋 奇异数、超荷 三种相互作用

问 题 (443)

第八章 热力学

§24. 热力学第一定律

要 点 (473)

体系或系 孤立体系的热平衡状态 热力学变量和状态参量 循环或循环过程 准静态过程 热力学第一定律 内能、温度 热容量 比热 状态方程 理想气体

问 题 (476)

§25. 热力学第二定律和熵

要 点	(479)
可逆过程和不可逆过程 可逆循环、可逆热机 热力学第二定律 卡诺循环 效率 绝对温度 克劳修斯不等式 熵 用熵表示的第二定律	
问 题	(483)
§26. 热力学函数和平衡条件	
要 点	(488)
热力学函数 平衡条件 热力学不等式	
问 题	(492)
§27. 开系热力学	
要 点	(501)
开系的热力学函数 开系间的热平衡	
问 题	(502)
§28. 热力学第三定律	
要 点	(504)
热力学第三定律 (能斯脱—普朗克定律)	
问 题	(504)
§29. 相平衡	
要 点	(505)
二相平衡 电池热力学	
问 题	(506)
第九章 统计力学和物性理论	
§30. 状态数和几率	
要 点	(507)
微观状态数 状态数、状态密度 绝热定理 统计力学的熵 先验几率相等 γ 空间和 μ 空间 热力学接触	
问 题	(509)
§31. 麦克斯韦速度分布律	

要 点.....	(536)
麦克斯韦速度分布律 理想气体 方均根速率	
问 题.....	(537)
§32. 配分函数和热力学函数	
要 点.....	(540)
玻耳兹曼因子 正则分布 配分函数 巨配分函数	
问 题.....	(542)
§33. 伊辛模型的统计力学	
要 点.....	(586)
伊辛模型 长程序 短程序 希喇格—威廉斯近似	
问 题.....	(587)
§34. 格 气	
要 点.....	(591)
格 气	
问 题.....	(591)
§35. 碰撞理论	
要 点.....	(594)
微分截面 互易定理 碰撞数的假定 细致平衡原理	
碰撞总截面 平均自由时间 平均碰撞时间	
平均自由程 扩散系数 热传导系数 粘滞系数	
问 题.....	(597)
附录 数学公式	
§ A. 矢量分析.....	(603)
§ B. 泛函分析.....	(604)

第一章 力 学

§ 1 质点 质点系力学

要 点

1.1 质点运动方程

(1) 设加速度为 $\mathbf{a}$, 则

$$m\mathbf{a} = \mathbf{F} \quad (1.1)$$

对于自然坐标

$$m\dot{v} = F_t, \quad mv^2/\rho = F_n, \quad 0 = F_z \quad (1.2)$$

对于极坐标

$$m(\ddot{r} - r\dot{\theta}^2) = F_r, \quad m\frac{1}{r}\frac{d}{dt}(r^2\dot{\theta}) = F_\theta \quad (1.3)$$

(2) 设动量为 $\mathbf{P} = m\mathbf{v}$, 则

$$\frac{d\mathbf{P}}{dt} = \mathbf{F} \quad (1.4)$$

(3) 设角动量为 $\mathbf{L} = \mathbf{r} \times \mathbf{P}$, 则

$$\frac{d\mathbf{L}}{dt} = \mathbf{N} \quad (\mathbf{N} = \mathbf{r} \times \mathbf{F}) \quad (1.5)$$

1.2 行星运动

极坐标下的行星轨道方程为

$$r = \frac{l}{1 + \varepsilon \cos(\theta + \alpha)} \quad (1.6)$$

$$\text{这里 } l = \frac{h^2}{\gamma M}, \quad \varepsilon = \sqrt{1 + \frac{2Eh^2}{\gamma^2 m M^2}}$$

M 是太阳的质量, m 是行星的质量, E 是能量, h 为面积速度的两倍, γ 是万有引力常数, α 是积分常数。

1.3 中心力的散射

图中的 b 称为瞄准距离。

如设入射粒子流的强度为 I 时, 则从 b 到 $b+db$ 之间入射的, 沿角 ϕ 到 $\phi+d\phi$ 方向散射的粒子数为

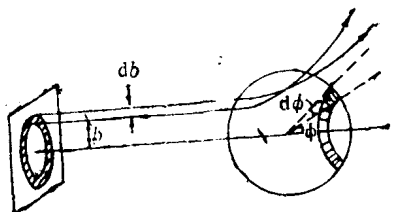


图 1.1

$$I \cdot 2\pi b db = -\sigma(\phi) I \cdot 2\pi \phi \sin \phi d\phi$$

$$(\Omega = 2\pi \sin \phi d\phi \text{ 是立体角}) \quad (1.7)$$

负号是因 b 增加时 ϕ 减少所致。 $\sigma(\phi)$ 称为散射微分截面, 它对整个立体角积分的值 σ 称为总散射截面。由式 (1.7) 得

$$\sigma(\phi) = -\frac{b}{\sin \phi} \frac{db}{d\phi} \quad (\text{散射公式}) \quad (1.8)$$

1.4 相对运动

(1) 平动坐标系

在相对惯性以加速度 $\mathbf{a}_0$ 作平动的坐标系里, 有

$$m\mathbf{a}' = \mathbf{F} - m\mathbf{a}_0 \quad (1.9)$$

(2) 转动坐标系

在固定于原点的, 以角速度 ω 作转动的坐标系里, 有

$$m\mathbf{a}' = \mathbf{F} - 2m\omega \times \mathbf{v}' - m\dot{\omega} \times \mathbf{r} + m\omega^2 \rho \quad (1.10)$$

ρ 是距转动轴的距离。 $-2m\omega \times \mathbf{v}'$ 称为科里奥利 (coriolis) 力, $m\omega^2 \rho$ 称为惯性离心力,

1.5 质点系运动

设总质量为 M , 总角动量为 $\mathbf{L}$, 质心为 $\mathbf{r}_c$, 外力为 $\mathbf{F}_c$, 外

力矩为 N_i ，则

$$m \frac{d^2 \mathbf{r}_c}{dt^2} = \sum_i \mathbf{F}_i \quad (1.11)$$

$$\frac{d\mathbf{L}}{dt} = \sum_i \mathbf{N}_i \quad (1.12)$$

1.6 变质量物体的运动

当物质附加到运动物体上，或从运动物体内喷出时，如设物体质量为 $m(t)$ ，速度为 $\mathbf{v}$ ，附加或喷出物质的相对速度为 $\mathbf{v}'$ ，这时的外加作用力为 $\mathbf{F}$ ，则

$$m \frac{d\mathbf{v}}{dt} = \mathbf{F} + \frac{dm}{dt} \mathbf{v}' \quad (1.13)$$

特别是当附加静止物质或喷出的物质静止时，就有

$$\frac{d(m\mathbf{v})}{dt} = \mathbf{F} \quad (\because \mathbf{v}' = -\mathbf{v}) \quad (1.14)$$

[1] 一架飞机，以速度 V 沿直线航线飞行，今发射一枚速度为 $3V$ 的导弹直向此目标飞行，设导弹开始时位于与飞机航线成直角的距离 l 处，那么，导弹击中飞机的时间是多少？

解 取飞机的位置 A 为极坐标的极点，飞行方向为极坐标的极轴。在和飞机一起运动的坐标系里，因导弹 B 在与 A 飞行的反方向具有速度 V ，在 BA 方向具有速度 $3V$ ，故

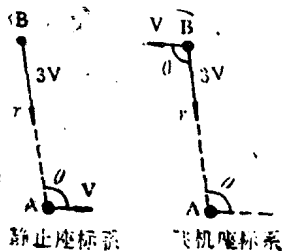


图 1.2

$$\dot{r} = -3V - V \cos \theta, \quad r\dot{\theta} = V \sin \theta \quad (a)$$

$$\text{由 } \frac{dr}{r d\theta} = \frac{\dot{r}}{r\dot{\theta}} \quad \text{得}$$

$$\frac{dr}{r} = - \left(\frac{3}{\sin\theta} + \operatorname{ctg}\theta \right) d\theta$$

积分上式, 得

$$\begin{aligned} \lg r &= -3\lg(\operatorname{tg}(\theta/2)) - \lg(\sin\theta) + \lg C \quad (C \text{ 为任意常数}) \\ &= \lg\{C/\operatorname{tg}^3(\theta/2)\sin\theta\} \end{aligned}$$

$$\therefore C/r = \operatorname{tg}^3(\theta/2)\sin\theta$$

当 $\theta = \pi/2$ 时, 由 $r = l$, 得 $c = l$

$$\therefore l/r = \operatorname{tg}^3(\theta/2)\sin\theta \quad (\text{曲线方程}) \quad (\text{b})$$

由式 (a), (b), 得

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{V\sin\theta}{r} = \frac{V}{l} \operatorname{tg}^3 \frac{\theta}{2} \sin^2\theta = \frac{4V}{l} \sin^5 \frac{\theta}{2} / \cos \frac{\theta}{2}$$

根据击中条件 (当 $\theta = \pi$ 时, $r = 0$), 得击中时间 t :

$$\begin{aligned} t &= \int_{\pi/2}^{\pi} \frac{dt}{d\theta} d\theta = \int_{\pi/2}^{\pi} \frac{l}{4V} \frac{\cos(\theta/2)}{\sin^5(\theta/2)} d\theta \\ &= \int_{\pi/2}^{\pi} \frac{l}{2V} \frac{d(\sin(\theta/2))}{\sin^5(\theta/2)} = \frac{3l}{8V} \end{aligned}$$

[2] 试证力 (一般是矢量) F 具有势能的充要条件是下式成

立:

$$\operatorname{rot} F = 0 : \frac{\partial F_y}{\partial x} = \frac{\partial F_x}{\partial y}, \quad \frac{\partial F_z}{\partial y} = \frac{\partial F_y}{\partial z}, \quad \frac{\partial F_x}{\partial z} = \frac{\partial F_z}{\partial x} \quad (\text{a})$$

解 (1) 必要条件, F 具有势能 U 时, 则

$$F_x = -\partial U / \partial x, \quad F_y = -\partial U / \partial y, \quad F_z = -\partial U / \partial z \quad (\text{b})$$

微分后, 得

$$\begin{aligned} \frac{\partial F_x}{\partial y} &= -\frac{\partial^2 U}{\partial y \partial x}, \quad \frac{\partial F_y}{\partial x} = -\frac{\partial^2 U}{\partial x \partial y} \\ \therefore \quad \frac{\partial F_x}{\partial y} &= \frac{\partial F_y}{\partial x} \end{aligned}$$