

剑桥  
普通物理学  
解题指导

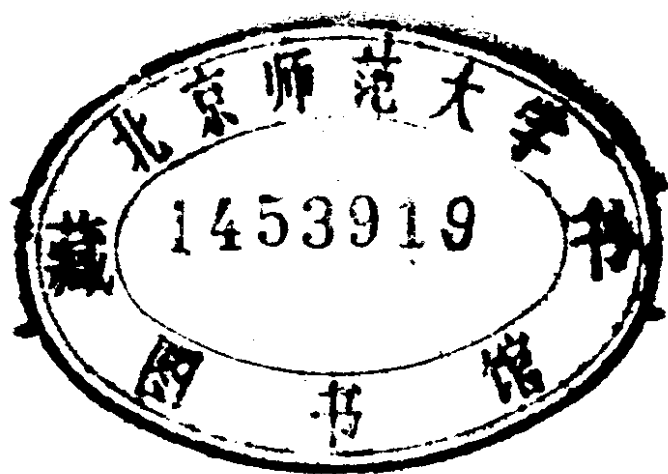
上海科学技术出版社

JU11182/28

# 剑桥普通物理学解题指导

P. P. Dendy, R. Tuffnell and M. T. V. Hart 编

宣桂鑫 曹磊 张治国 译



上海翻译出版公司

一九八七年二月

## 内 容 简 介

本书选译了世界著名的剑桥大学近廿年来普通物理学的175道典型的入学试题；并提供了深入浅出的提示。这些试题内容包括力学、振动与波、热学、电磁学、光学、原子与原子核物理学等几个部分。读者通过这些试题的解答提示，不仅能够加深对普通物理学基本概念和基本规律的理解，提高分析和解决问题的能力，而且能了解国际名牌大学基础物理教学的先进水平。

本书是学习普通物理学的有益参考书，广泛适用于各理工科大学、电大、职大、业余工大的师生，也可供高中物理教师、报考重点大学和参加物理竞赛的高中学生作教学和学习参考书。

Cambridge problems in  
Physics and advice on solutions

Edited for the  
University of Cambridge Local Examinations  
Syndicate by

P. P. Dendy, R. Tuffnell and M. T. V. Hart

## 剑桥普通物理学解题指导

P. P. Dendy, R. Tuffnell and M. T. V. Hart 编

宣桂鑫 曹磊 张治国 译

上海翻译出版公司出版

(武定西路1251弄20号)

本书在上海发行所发行 上海中图印刷厂印刷

开本：787×1092 1/32 印张：4.5 字数：95,000

1987年8月第1版 1987年8月第1次印刷

印数：1—15,000

统一书号：13311·44 定价：1.25元

## 译 者 的 话

解题是加深对基本概念和基本定律理解的一个重要手段，特别是形式新颖的试题往往能把对基础知识的理解推向一个新的高度。本书的习题选自1960~1978年剑桥大学联合考试局所拟的物理试卷，共计175题。这些试题偏重于测试学生对普通物理基本概念的理解，而不陷入烦琐的计算。题目比较基本，但相当灵活，并能注意物理学各部分之间的联系。每道试题都给出了答案，对解法作了由浅入深的提示，启发学生的思路，以充分调动学生自我探索的积极性。因而对学生来说，本书无疑是一本有益的学习参考书，而对物理教师（包括高中物理教师），本书则不失为一本有价值的教学参考书，它既能开拓视野，又能从中窥见剑桥大学启发式教学之一斑。

限于译者水平，疏漏之处，尚希广大读者不吝指正。

## 前 言

任何一本物理教科书,不论其内容如何出色,都不能自然地导致学生解题能力的提高,何况教科书中的例题和练习,一般总局限于以某一章的内容为主,故学生获得的解题经验是有限的。解题可以说是学生在学习物理中特别感到困难的方面。为此,本书收集、选编了一些涉及物理学中广泛领域的问题,以启发、培养,进而提高学生解题的能力。

本书对解题方法作了充分的提示,以使学生在物理学这一困难领域的学习中得到经验。提示集中于问题中可能产生的难点,并给学生留有进一步思索的余地。

本书的习题选自1960~1978年英国剑桥大学联合考试局所拟的专门物理试卷。该试卷是为物理程度较高的学生而设的,目的是为他们提供一种需要更深理解水准的考试目标,因为本书的读者对象是那些准备参加例如牛津和剑桥大学的公开奖学金考试和入学考试的学生。此外,对于那些想在课堂学习之外学习更高水准物理学的学生,在高等职业技术教育领域内讲授和学习物理学、应用物理学的师生,以及大学一年级的学生,本书中的很多问题都对他们有所裨益。

书中的问题按惯例分为下述七个方面:基础物理、力学和万有引力、振动、波(主要涉及光和声这两个方面)、物质性质、热学和分子运动论、电磁学、原子物理和原子核物理。由于本书力求体现物理学是一门前后贯穿、具有整体性的科学,因此书中某个问题究竟置于书中哪一部分,通常仅仅是一种形式。解答书中的许多问题,需要具有多方面的物理学知识和对这

些知识的理解。书中问题的篇幅长短不一，有些问题完全以原始试题的形式出现，有些则是摘录。

本书并非遵循目前所用的任何一种考试大纲。但书中采用了目前A级普通教育证书考试中通常采用的术语和词汇。全书采用SI单位制，符号则使用了剑桥大学联合考试局的标准，亦即全英理科教师协会推荐的标准符号。在本书“前言”后列出了所有主要物理量的符号，当然表中不可能无一遗漏地列出所有的物理量。在每道题后都标出了解题所需的常数，尽管这样做会导致某些重复，但由于这些数据往往能启示学生找出正确的解题途径。在相似课题的一组问题中，其难度是逐步提高的，不同问题之间常常能起到相互启示的作用。

由于目前尚未有一种世界公认的几何光学通用符号法则，故书中的光学问题只能使用一种自相一致的符号系统，这些光学问题的提示是根据“实为正”这一因袭的说法，因此实物距、实像距、会聚透镜的焦距和使波会聚的二种介质交界面处的曲率半径，照惯例取为正。虚物、虚像距、发散透镜的焦距和使波发散的二种介质交界面处的曲率半径，取为负。

在学习物理学时，学生常常会在解答问题中运用积分，其中一部分问题需要用定积分。本书并不追求过分的数学化，但仍试图将有限小位移  $\Delta x$  和无限小位移  $\delta x$  区分开来。为了帮助那些不太熟悉积分的学生，书中给出了最终的积分公式，如  $\int kx^{-2}dx$ ，至于选取什么作为变量  $x$ ，则留待学生自己确定了。

尽管本书中的问题几经学生和教师查考，但偶尔的不足之处仍然可能存在，编者欢迎读者对本书提出评论和批评，特别是答案中数字上的错误之处。

## 主 要 物 理 量 表

| 物理量              | 常用符号                           | 常用单位                                                                 |
|------------------|--------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| 质量               | $m$                            | kg                                                                   |
| 长度               | $l$                            | m                                                                    |
| 时间               | $t$                            | s                                                                    |
| 电流               | $I$                            | A                                                                    |
| 热力学温度            | $T$                            | K                                                                    |
| 物质的量             | $n$                            | mol                                                                  |
| 加速度              | $a, \ddot{x} \dots$            | $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$                                       |
| 自由落体加速度          | $g$                            | $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$                                       |
| 放射性源的活度          | $A$                            | $\text{s}^{-1}$                                                      |
| 角                | $\theta$                       | °(度)                                                                 |
| 角加速度             | $\dot{\omega}, \ddot{\theta}$  | $\text{rad} \cdot \text{s}^{-2}$                                     |
| 角频率( $2\pi\nu$ ) | $\omega$                       | $\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$                                     |
| 角动量              | $p_{\theta}, b, L$             | $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$ |
| 角速度              | $\omega, \Omega, \dot{\theta}$ | $\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$                                     |
| 面积               | $A, S$                         | $\text{m}^2$                                                         |
| 原子质量             | $m_a$                          | kg                                                                   |
| 阿伏伽德罗常数          | $L, N_A$                       | $\text{mol}^{-1}$                                                    |
| 玻尔兹曼常数           | $k$                            | $\text{J} \cdot \text{K}^{-1}$                                       |
| 体积弹性模数           | $K$                            | Pa                                                                   |
| 发光强度             | $C$                            | cd                                                                   |
| 电容               | $C$                            | F                                                                    |
| 摩擦系数             | $\mu$                          |                                                                      |
| 电导               | $G$                            | $\text{S} = \Omega^{-1}$                                             |
| 电导率(电导系数)        | $\sigma$                       | $\text{S} \cdot \text{m}^{-1} = \Omega^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$     |
| 临界角              | $\theta_c$                     | °(度)                                                                 |
| 电流密度             | $J, j$                         | $\text{A} \cdot \text{m}^{-2}$                                       |

| 物理量                    | 常用符号               | 常用单位                               |
|------------------------|--------------------|------------------------------------|
| 衰变常数                   | $\lambda$          | $s^{-1}$                           |
| 密度                     | $\rho$             | $kg \cdot m^{-3}$                  |
| 电荷                     | $q$                | C                                  |
| 电场强度                   | $E$                | $V \cdot m^{-1}$                   |
| 电势                     | $V, \phi$          | V                                  |
| 电势差                    | $V$                | V                                  |
| 电动势                    | $E$                | V                                  |
| 电子质量                   | $m_e$              | kg                                 |
| 体胀系数                   | $\beta$            | $K^{-1}$                           |
| 线胀系数                   | $\alpha$           | $K^{-1}$                           |
| 焦距                     | $f$                | m                                  |
| 力                      | $F, \mathbf{F}$    | N                                  |
| 频率                     | $\nu, f$           | Hz                                 |
| 引力常数                   | $G$                | $N \cdot kg^{-2} \cdot m^{-2}$     |
| 引力场强度                  | $g$                | $N \cdot kg^{-1} = m \cdot s^{-2}$ |
| 引力势                    | $\Phi$             | $J \cdot kg^{-1}$                  |
| 半衰期( $\ln 2/\lambda$ ) | $T_{1/2}, t_{1/2}$ | s                                  |
| 霍尔系数                   | $R_H$              | $m^3 \cdot C^{-1}$                 |
| 热容量                    | $C$                | $J \cdot K^{-1}$                   |
| 照度                     | $F$                | lx                                 |
| 像距                     | $v$                | m                                  |
| 阻抗                     | $Z$                | $\Omega$                           |
| 冲量                     | $J$                | $N \cdot s$                        |
| 动能                     | $T, K, E_k$        | J                                  |
| 熔解热                    | $L$                | J                                  |
| 磁场强度                   | $H$                | $A \cdot m^{-1}$                   |
| 磁通量                    | $\Phi$             | Wb                                 |
| 磁感应强度                  | $B$                | T                                  |
| 放大率                    | $M$                |                                    |
| 气体摩尔常数                 | $R$                | $J \cdot K^{-1} \cdot mol^{-1}$    |
| 摩尔热容量                  | $C_m$              | $J \cdot K^{-1} \cdot mol^{-1}$    |
| 摩尔质量                   | $M$                | $kg \cdot mol^{-1}$                |

| 物理量          | 常用符号                 | 常用单位                                                 |
|--------------|----------------------|------------------------------------------------------|
| 转动惯量         | $I$                  | $\text{kg} \cdot \text{m}^2$                         |
| 动量           | $p, P$               | $\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$       |
| 互感           | $M, L_{12}$          | H                                                    |
| 中子质量         | $m_n$                | kg                                                   |
| 法向应力         | $\sigma$             | Pa                                                   |
| 单位体积的个数      | $n$                  | $\text{m}^{-3}$                                      |
| 物距           | $u$                  | m                                                    |
| 周期           | $T$                  | s                                                    |
| 磁导率          | $\mu$                | $\text{H} \cdot \text{m}^{-1}$                       |
| 真空磁导率        | $\mu_0$              | $\text{H} \cdot \text{m}^{-1}$                       |
| 介电系数         | $\epsilon$           | $\text{F} \cdot \text{m}^{-1}$                       |
| 真空介电系数       | $\epsilon_0$         | $\text{F} \cdot \text{m}^{-1}$                       |
| 普朗克常数        | $h, \hbar (=h/2\pi)$ | $\text{J} \cdot \text{s}$                            |
| 势能           | $\psi, \Phi, E_p$    | J                                                    |
| 功率           | $P$                  | W                                                    |
| 功率因数         | $\cos \phi$          |                                                      |
| 压强           | $p$                  | Pa                                                   |
| 摩尔热容量(定容和定压) | $C_{V,m}, C_{P,m}$   | $\text{J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$ |
| 质子质量         | $m_p$                | kg                                                   |
| 比热容比         | $\gamma$             |                                                      |
| 电抗           | $X$                  | $\Omega$                                             |
| 折射率          | $n$                  |                                                      |
| 相对原子量        | $A_r$                |                                                      |
| 相对摩尔质量       | $M_r$                |                                                      |
| 相对磁导率        | $\mu_r$              |                                                      |
| 相对介电系数       | $\epsilon_r$         |                                                      |
| 电阻           | $R$                  | $\Omega$                                             |
| 电阻率          | $\rho$               | $\Omega \cdot \text{m}$                              |
| 自感           | $L$                  | H                                                    |
| 切应力          | $\tau$               | Pa                                                   |
| 荷质比          | $q$                  | $\text{C} \cdot \text{kg}^{-1}$                      |
| 比热           | $c$                  | $\text{J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$  |

| 物理量    | 常用符号                      | 常用单位                                               |
|--------|---------------------------|----------------------------------------------------|
| 比潜热    | $l$                       | $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$                    |
| 电磁波速率  | $c$                       | $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$                     |
| 斯忒藩常数  | $\sigma$                  | $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$ |
| 表面张力   | $\gamma, \sigma$          | $\text{N} \cdot \text{m}^{-1}$                     |
| 电阻温度系数 | $\alpha$                  | $\text{K}^{-1}, (^\circ\text{C})^{-1}$             |
| 温度     | $t, \theta$               | $^\circ\text{C}$                                   |
| 张力     | $T$                       | $\text{N}$                                         |
| 导热系数   | $k, \lambda$              | $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ |
| 时间常数   | $\tau$                    | $\text{s}$                                         |
| 力矩     | $T$                       | $\text{N} \cdot \text{m}$                          |
| 原子质量单位 | $m_u$                     | $\text{kg}$                                        |
| 速率     | $u, v, w, \dot{x}, \dots$ | $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$                     |
| 粘滞系数   | $\eta$                    | $\text{Pa} \cdot \text{s}$                         |
| 体积     | $V, v$                    | $\text{m}^3$                                       |
| 波长     | $\lambda$                 | $\text{m}$                                         |
| 功、能    | $W, E, U$                 | $\text{J}$                                         |
| 功函数    | $\Phi$                    | $\text{V}$                                         |
| 杨氏模量   | $E$                       | $\text{Pa}$                                        |

# 目 录

## 前言

### 主要物理量表

|                      |         |
|----------------------|---------|
| 一、基础物理、力学和万有引力 ..... | ( 1 )   |
| 二、振动 .....           | ( 19 )  |
| 三、波、光波和声波 .....      | ( 24 )  |
| 四、物质性质 .....         | ( 51 )  |
| 五、热学和分子运动论 .....     | ( 61 )  |
| 六、电磁学 .....          | ( 82 )  |
| 七、原子物理和原子核物理 .....   | ( 117 ) |

## 一、基础物理、力学和万有引力

1-1 从量纲角度考虑,以下关系中哪些是不正确的(所给出的常数是无量纲的)?

(1) 一个在流体中运动的圆柱体,每单位长度所受的粘滞阻力为

$$k_1 \times (\text{粘滞系数}) \times (\text{速度}) \times (\text{圆柱体半径}).$$

(2) 使一个圆形截面的支柱断裂的力为

$$k_2 \times \frac{(\text{杨氏模量}) \times (\text{半径})^4}{(\text{长度})^2}.$$

(3) 使回转仪绕轴  $PQ$  旋转(轴  $PQ$  与回转仪的转子的轴相垂直),所需的力矩为

$$k_3 \times (\text{转子的转动惯量}) \times (\text{转子的角速度}) \\ \times (\text{围绕轴 } PQ \text{ 的角速度}).$$

(4) 单缸蒸汽机的功率为

$$k_4 \times (\text{蒸汽的压强}) \times (\text{活塞的冲程}) \times (\text{气缸的直径}) \\ \times (\text{每分钟曲轴的旋转次数}).$$

(5) 九柱游戏中,仅用一个球所能击倒的最大柱棒数为(九柱游戏又称保龄球游戏)

$$k_5 \times \frac{(\text{球的质量}) \times (\text{球的速度})^2}{(\text{棒的质量}) \times (\text{棒的重心高度})}.$$

以上这些关系即使量纲合理,表式是否一定是正确的?说明理由。

**【答案】** (1)、(4)、(5)不正确。

**【提示】** 对 (1) 只要回忆一下斯托克斯公式中对一球面的粘滞阻力的单位是力而不是单位长度上的力, 故无需量纲分析便可确定 (1) 是不正确的。对其余几种情况则无捷径可走。

**1-2** 某贮能装置, 其贮能的能力大小可以通过下法估算, 即如果将此物贮藏的能量都用来举升它自己, 试计算它所能达到的高度。就以下情况计算这一高度。

(1) 一个电压为 12V, 容量为 60Ah, 质量为 20kg 的汽车电池;

(2) 一个容量为  $1.0\mu\text{F}$ , 质量为 100g, 充电至 5.0 kV 的电容;

(3) 一个直径为 50cm 的盘状飞轮, 每分钟转动 3000 转;

(4) 一些燃烧值为  $4 \times 10^7 \text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$  的汽油;

(5) 一个质量为 200g 的弹簧被 100N 的力拉伸 10cm ( $g = 9.8 \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ );

**【答案】** (1)  $1.32 \times 10^4 \text{m}$  (2) 12.8m (3)  $1.57 \times 10^2 \text{m}$   
(4)  $4.09 \times 10^6 \text{m}$  (5) 2.55m

**【提示】** 始终用SI制单位计算。答案说明了用汽油贮存能量来做有用功的价值。

**1-3** 将弓弦从其平衡位置向后拉伸  $x$  距离的力由公式  $F = kx^2$  给出。现发射一支质量  $m$  的箭, 求它所能达到的最大距离  $R$  与  $x$  的关系式。设箭释放的瞬时, 弓弦向后拉伸了  $X$ 。空气阻力不计, 并假设存贮在弓中的所有机械能全部传递给了箭。

**【答案】**  $R = 2kX^3/3mg$ 。

**【提示】** 将弓弦向后拉伸所做的功为  $\int_0^X kx^2 dx$ , 它转化

为箭的动能。当与垂直方向成  $45^\circ$  投射角时，抛体的射程最大。试求出射程与抛射速度  $v$  之间的关系。

**1-4** 测试某一滑轮组时，将挂于钩上的给定重物提升。用施于绳上的作用力来表示测试结果，得到如下一组数据：

|        |    |    |     |     |     |     |     |     |
|--------|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 重物(kg) | 10 | 20 | 30  | 40  | 50  | 60  | 80  | 100 |
| 作用力(N) | 70 | 90 | 110 | 130 | 150 | 180 | 250 | 340 |

滑轮组的速度比为 6.0。用该滑轮组来打捞一个沉于 5.0m 深水池底的铝制圆柱。这一长 5.0m，质量为 100kg 的圆柱开始时水平地横卧在池底。将滑轮挂钩上绳的一端系于圆柱的一端，先使其在池底立直，然后把它一直提升至圆柱下底刚露出水面时为止。用作图法或其它方法求出打捞这一圆柱所做的功。不计池底与圆柱之间的摩擦力，与圆柱的长度相比，它的直径可忽略不计（铝的密度  $\rho_{Al} = 2.7 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ）。

**【答案】**  $1.1 \times 10^4 \text{ J}$ 。

**【提示】** 根据图线可找出与负荷相对应的作用力，负荷量在 500kg 以下时曲线是线性的，在超过这一负荷量时已不是严格的线性关系。作用力通过的距离是负荷的 6 倍。用系于圆柱一端的绳使圆柱在水下直立起来时绳上的负荷量为

$$\frac{m}{2} \cdot \frac{(\rho_{Al} - \rho_w)}{\rho_{Al}}$$

此处  $\rho_{Al}$  是铝的密度， $\rho_w$  是水的密度。

此阶段所做的功为作用力乘以在作用力方向上通过的距离。从负荷-作用力对应曲线上可查出提起 31.5kg 的负荷需要 115N 的作用力，故第一阶段所做的功为  $115 \times 5 \times 6 \text{ J}$ 。在第二阶段，当起始圆柱完全竖直于水中时和最终圆柱被全部拉出水面时，负荷量分别为 63kg 和 100kg，从图线上确定相

应的作用力分别为 190N 和 340N。假设近似为线性关系，在第二阶段所做的功为

$$(\text{平均作用力}) \times (\text{移动距离}) = \frac{(190+340)}{2} \times 5 \times 6\text{J}.$$

**1-5** 在 天平盘上方  $h$  处，一个盛有质量为  $M$  的砂子袋悬挂在天平一臂的挂钩上。在  $t=0$  的时刻，砂子开始从袋底的小洞向外泄漏，砂子以固定的速率  $r$  (质量/单位时间) 落至盘上，直至漏完为止。求当砂子持续落至盘上时，在天平另一盘中需置多少质量才能使天平保持稳定平衡（上述天平是一架简单的等臂天平）。用图线表示在实验过程中使天平保持平衡所需的质量相对于时间的变化情况。该质量可用标出的其它变量表示。设实验在理想的条件下进行，即空气的阻力、天平的惯性及阻力均忽略不计。

**【答案】**  $M$ 。

**【提示】** 由于砂子的泄漏，为了保持平衡所要减少的重量  $rgt$  等于砂子抵达盘上时因失去其动量而对盘产生的冲力。整个图线包括三个阶段，初始阶段对应于砂子开始漏出但还未抵达盘中。中间阶段(稳定状态)对应于持续的砂流落在盘中。最终阶段对应于所有砂子全部漏出袋子但还未完全抵达盘中。

**1-6** 在一个盛有密度为  $\rho$  的液体的大游泳池液面上方  $h$  高处有一个密度为  $\sigma$  的球落下。池中液体深度为  $d$ ，球和池底间的弹性恢复系数为  $e$ ，如果球进入液体时没溅出水花，在液体中不受任何流体动压力和粘滞阻力。如要使球反弹后恰好冲破液面，球离液面的最低高度  $h$  为多少？

**【答案】**  $\left(1 - \frac{\rho}{\sigma}\right) \left(\frac{1}{e^2} - 1\right) d.$

**【提示】** 在空气中球的势能变化为  $mgh$ ，  
而在液体中则为

$$m \frac{(\sigma - \rho)}{\sigma} gd, \text{ 令其为 } m'gd.$$

球到达池底的速度可由其动能变化和势能变化间关系求得。球开始上升瞬间的反弹速度  $u$  可由下式求得

$$e^2 v^2 = u^2.$$

球上升至液面过程中再次运用能量守恒定律可得

$$\frac{mu^2}{2} = m'gd, \text{ 余下部分为代数运算.}$$

**1-7** 一小球从静止下落，垂直下落 0.5m 后在一个与水平方向成  $10^\circ$  倾角的光滑平板上弹起。如果在碰撞时没有能量损失，那末为什么在碰撞前后的瞬间球的运动方向与板平面法线之间成相同的角度？求出球在这次和下一次碰撞之间沿斜面向下跳过的距离。

**【答案】** 0.68m.

**【提示】** 这是一个直截了当的问题，应当仔细地考虑坐标轴的选取。取水平方向或垂直方向为轴并非总是最方便的，问题的第一部分已对此作了明显的提示。注意：重力加速度是个矢量，必须将其分解为沿着新选取轴的分量。

**1-8** 证明如果一个以速度  $V$  向前运动，且质量  $M$  很大的物体与一个质量  $m$  很小的静止物体发生完全弹性正碰。则质量大的物体损失的能量为  $2mV^2$ 。

如果质量大的物体通过密度为  $\rho$  的气体，对可以认为不动的气体分子讲，物体呈现的横截面积为  $A$ ，证明物体的动能损失率为  $2A\rho V^3$ 。由此导出物体速率减小至一半时所经过时间的表达式。

**【答案】**  $M/2A\rho V$ .

**【提示】** 问题的第一部分可直接用动量和能量守恒定律加以解决. 由于题中已明确指出  $M \gg m$ , 故可找一种简化近似, 诸如:

$$\frac{M+m}{m} \approx \frac{M}{m} \quad \text{或} \quad 1 + \frac{m}{M} \approx 1.$$

要注意何时取近似表示. 必须在方程变得复杂得无法解决之时取简化近似, 但另一方面也要避免将  $\frac{M+m}{M} \approx 1$  用在诸如  $\left(\frac{M+m}{M}\right) - \left(\frac{2m}{\mu} + 1\right)$  的表达式中, 因为项  $m/M$  在此处或许是重要的.

对问题的后一部分, 以微分形式写出另一个动能损失率的方程. 统一变量并积分 (积分取  $\int kx^{-2}dx$  的形式).

注意到由于质量大的物体失去能量, 运动速度变慢, 故与气体分子的碰撞率减少, 因此物体的加速度随时间变化. 所以此处不能运用任何匀加速 (减速) 运动方程, 答案必须通过积分求得.

**1-9** 一个直径 35cm、转动惯量为  $0.5\text{kg} \cdot \text{m}^2$  的飞轮每分钟绕无摩擦力轴承转动 1000 转. 刹车箍以 120N 的径向力压在飞轮的外缘上. 如果箍和轮之间的摩擦系数为 0.22, 那末飞轮在停止前转了多少圈?

**【答案】** 94 圈.

**【提示】** 转动的公式具有与

$$f = ma \quad \text{和} \quad v^2 = u^2 + 2as$$

相同的形式. 注意飞轮转动速度单位必须转换成与其它数据相一致的单位.