

英美

大学物理典型题选

马光群 等编著

DA XUE WU LI DIAN XING TI XUAN

南京大学出版社

英 美
大学物理典型题选

马光群 秦允豪 编著
李曾沛 陈必武

南京大学出版社

1986·南 京

内 容 提 要

本书稿收集并整编了国内外大学物理中的优秀而具有特色的选题四百多道,绝大部分给予详解。内容比国内普通物理略宽一些,除传统普物内容外,还收编了部分近代物理的基本习题,并增加了量纲分析、数量级估计和数据处理等内容。国内常见的普物习题较少选入。选题原则是一题多问,由浅入深,连贯成片;着重基本概念、综合性和能力训练,具有先进性和实用性等特点。材料丰富,内容新颖,叙述清楚。适用于理工科普物教学参考习题、普物总复习练习题、研究生物理迎考、大学院校教师以及有关人员参考。

英 美 大学物理典型题选

马光群 秦允豪 编著
李曾沛 陈必武

南京大学出版社出版

(南京大学校内)

江苏省新华书店发行 江苏宜兴印刷厂印刷

开本 787×1092 1/32 印张 16 字数 357千

1986年12月第1版 1986年12月第1次印刷

印数 1—4,000

统一书号15336·025 定价: 3.30元

序 言

本书中的问题大部取自英国剑桥大学出版社1982年出版的由K.F. Riley编著的物理学习题集(附有提示和答案),另外,还选取近年来英美大学生、研究生物理试题,物理参考书中的优秀习题,还有部分国内研究生物理试题以及作者多年来辅导研究生国内外迎考所收集和自编的习题,共四百多道。作者对其中大部分问题给出详解,小部分较简易的问题提供提示和答案。内容比传统普通物理的范围宽一些。全书共七章:第一章——力学,第二章——振动与波,第三章——光学,第四章——物性、热力学和分子物理,第五章——电磁学,第六章——近代物理,第七章——数量级估计、物理量纲分析、数据处理。每章先问题,后题解。相近的问题尽可能放在一起,一题多问,由浅入深,连贯成片。国内常见的普物习题较少选用,而尽量选取能加深物理概念,具有综合性、先进性和实用性的问题,以保持本习题集适当的深度和水平。当然,由于选题的任意性,某些方面可能有所侧重,不可能也无必要照顾到各个侧面。

本书分工如下:第一章,第二章前半——陈必武,第二章后半章和第三章——李曾沛,第四章和第六章——秦允豪,第五章——马光群。第七章第一节是秦允豪写的,其余是集体完成的。马光群副教授对全书作了审校。

由于作者水平有限,加之时间仓促,难免有不当之外,敬请读者批评指正。

作 者

1986.10.

目 录

第一章 力学

一、问题

§ 1-1 质点力学和质点组力学.....(1)

§ 1-2 刚体力学.....(7)

§ 1-3 有心力运动.....(12)

二、题解

§ 1-1 质点力学和质点组力学.....(17)

§ 1-2 刚体力学.....(50)

§ 1-3 有心力运动.....(75)

第二章 振动与波

一、问题

§ 2-1 简谐运动.....(96)

§ 2-2 波.....(99)

二、题解

§ 2-1 简谐运动.....(106)

§ 2-2 波.....(122)

第三章 光学

一、问题

§ 3-1 几何光学.....(141)

§ 3-2 光的干涉.....(145)

§ 3-3 光的衍射.....(151)

§ 3-4 光的偏振.....(154)

二、题解

§ 3-1 几何光学·····	(161)
§ 3-2 光的干涉·····	(178)
§ 3-3 光的衍射·····	(194)
§ 3-4 光的偏振·····	(207)

第四章 物性、热力学和分子物理

一、问题

§ 4-1 温度、理想气体定律·····	(223)
§ 4-2 热力学第一、第二定律·····	(225)
§ 4-3 气体压强、麦克斯韦-玻耳兹曼分布·····	(231)
§ 4-4 输运现象、气体分子平均自由程·····	(234)
§ 4-5 液体·····	(240)
§ 4-6 固体·····	(243)
§ 4-7 相变·····	(246)

二、题解

§ 4-1 温度、理想气体定律·····	(248)
§ 4-2 热力学第一、第二定律·····	(251)
§ 4-3 气体压强、麦克斯韦-玻耳兹曼分布·····	(265)
§ 4-4 输运现象、气体分子平均自由程·····	(273)
§ 4-5 液体·····	(289)
§ 4-6 固体·····	(299)
§ 4-7 相变·····	(309)

第五章 电磁学

一、问题

§ 5-1 静电·····	(314)
§ 5-2 直流电·····	(317)
§ 5-3 似稳电流·····	(320)
§ 5-4 电流和磁场·····	(324)
§ 5-5 电磁感应·····	(328)

二、题解

§ 5-1 静电	(333)
§ 5-2 直流电	(342)
§ 5-3 似稳电流	(350)
§ 5-4 电流和磁场	(360)
§ 5-5 电磁感应	(368)

第六章 近代物理

一、问题

§ 6-1 光电效应、 γ 射线、康普顿散射	(377)
§ 6-2 黑体辐射	(379)
§ 6-3 原子物理	(383)
§ 6-4 原子核物理	(388)
§ 6-5 相对论、加速器	(396)

二、题解

§ 6-1 光电效应、X射线、康普顿散射	(400)
§ 6-2 黑体辐射	(406)
§ 6-3 原子物理	(414)
§ 6-4 原子核物理	(438)
§ 6-5 相对论、加速器	(454)

第七章 数量级估计、物理量纲分析、数据处理

一、问题

§ 7-1 数量级估计	(461)
§ 7-2 物理量纲分析	(466)
§ 7-3 数据处理	(469)

二、题解

§ 7-1 数量级估计	(471)
§ 7-2 物理量纲分析	(496)
§ 7-3 数据处理	(500)

第一章 力 学

一、问 题

§ 1-1 质点力学和质点组力学

1-1-1 质量为 m 的物体在无摩擦的桌面上滑动, 其运动被约束于固定在桌面上的半径为 l 的圆环内。在 $t = 0$ 时, 物体沿着环的内壁 (即在切线方向) 以速度 v_0 运动, 物体与圆环间的摩擦系数为 μ 。

(i) 求物体在 t 时刻的速度。

(ii) 求物体在 t 时刻的位置。

1-1-2 空心光滑细杆在水平面上以匀角速度 ω 绕其固定端转动, 有一质点从开口的另一端进入杆内, 求解其运动情况及其与杆的相互作用。若杆长为 l , 要使质点得以到达固定端, 求质点的初速 v_0 至少应为多少?

1-1-3 一个质量为 M 的发动机, 以恒定的牵引力克服正比于其自身速率平方的阻力工作, 它所能达到的极大速率是 V 。(i) 计算所需时间。(ii) 计算它从静止加速到 $V/2$ 时所走过的距离。

1-1-4 光滑细钢丝, 弯成一条尖点朝上的摆线 $x = a(\theta + \sin\theta)$, $y = a(1 - \cos\theta)$ 。有一质点穿在这钢丝上, 求解它的运动情况, 如果钢丝是粗糙的, 它与质点之间的摩擦系数为

μ , 又如何?

1-1-5 (i) 试证明一圆锥摆的不可伸长的摆线与竖直方向倾角 θ 很小时, 摆的周期与 θ 无关。

(ii) 若一小环穿在线上, 握住它提供摆的支点。圆锥摆开始用角速度 ω_0 和角动量 J 运动, 由于小环向下滑动, 它的摆长慢慢的缩短。

试根据它的角速度 ω 和角动量 J , 求摆的动能和势能表达式。

(iii) 直接决定小环在摆线上向下滑动所作的功。

1-1-6 飞机以恒定速率 V 相对于空气飞行, 在无风的天气, 时间 T 内完成了一水平圆周过程, 证明若在固定水平方向上有稳定的风速 kV , 则该过程所需时间约增加 $(3/4)k^2 T$, 这里 $k \ll 1$ 。

1-1-7 质点沿光滑抛物线 $y^2 = 2x$ 无初速地滑下, 质点的初始坐标为 $(2, 2)$, 问质点在何处脱离抛物线?

1-1-8 一个复摆静止时, 其摆锤指向地心, 摆的悬点以匀加速度 a 在水平方向运动, 于是摆开始摆动。忽略地球转动的影响, 考虑摆的运动。若摆的悬点 a 移动了一小距离 d , 而 d 在地球中心所张的角度 $\theta_0 \approx d/R_0 \ll 1$ 。证明: 如果摆的周期为 $2\pi\sqrt{R_0/g}$, 而且略去 θ^2 和更高次项的效应, 则摆将会继续指向地球中心。

1-1-9 一个空的圆柱形烧杯, 质量 $m = 100\text{g}$, 半径 $r = 30\text{mm}$, 壁厚可忽略, 重心位于底面上高 $h = 100\text{mm}$ 处。问

(i) 应充水(密度 10^3kgm^{-3}) 多深(x), 才能使它尽可能稳定?

(ii) 此时该充水烧杯的重心离底面多高?

(iii) 说明这两值之间的关系。

1-1-10 一根轻绳的一端系100kg的物体，缠绕于一水平圆柱形棒之上，两者的静摩擦系数 μ 是0.05。

(i) 考虑绳子与棒相接触的一小部分的平衡，证明为了支持该物体，作用在自由端所需的力与棒相接触的绳子圈数成指数关系。

(ii) 若绳的另一端系一平衡砝码，质量为1 kg，求绳子所需绕的最小圈数。

1-1-11 一高为0.12m，半径0.06m的圆柱型容器，注入2/3高的液体，用不变的角速度 ω 绕着它的竖直轴转动。

(i) 试证明如果忽略表面张力，液体的自由表面是旋转抛物面的一部分；

(ii) 估计当容器旋转时，液体不从容器边缘溢出的最大旋转角速度。

1-1-12 一个质量为 m 的子弹以速度 v_0 向一个质量为 M 的靶射去，靶中的洞含有一弹性系数为 k 的弹簧，开始时靶是静止的，且可以无摩擦地在水平面上滑动。求弹簧被压缩的最大距离 Δx 。



题图 1-1-12

1-1-13 质量为 m_1 和 m_2 的两木块组成一个系统，它们由倔强系数为 k ，质量可略去的弹簧联结在一起。木块在无摩擦的平面上滑动。弹簧的原长为 l 。开始时，把 m_2 置于使弹簧压缩到 $l/2$ 的位置，且 m_1 紧抵着一固定壁，如图1-1-13

所示。在 $t=0$ 时将 m_2 放开，求系统质心的运动，并把它表示为时间的函数。

1-1-14 质量为 M ，半径为 a 的光滑半球，其底面放在光滑的水平面上，有一质量为 m 的质点，沿此半球面滑下。设质点的初位置与球心的联线和竖直向上的直线间所成之角为 α ，并且起始时，此系统是静止的，求证质点滑到它与球心的联线处于与竖直向上直线的夹角为 θ 时 $\dot{\theta}$ 之值为：

$$\dot{\theta} = \sqrt{\frac{2g}{a} \frac{\cos \alpha - \cos \theta}{1 - m \cos^2 \theta / (M + m)}}$$

1-1-15 用线把一质量为 M 的圆环悬挂起来，两个质量为 m 的小珠，可在环上作无摩擦的滑动，如图1-1-15中所示。设同时在环顶释放小珠，使它们沿着环的两边下滑。证明：如果 $m > 3M/2$ ，圆环会开始上升，并求出出现这一现象时小珠滑过的角度 θ 。

1-1-16 有 N 个人站在铁路上的静止的平板车上，每人的质量为 m ，平板车的质量为 M 。他们以相对于平板车的速度 u 跳离平板车的一端。平板车无摩擦地沿相反的方向滚动。

(i) 若所有的人同时跳车，平板车的最终速度是多少？

(ii) 若他们一个一个地跳离，平板车的最终速度又是多少？

(iii) 情况(i)和情况(ii)哪一个的最终速度大些？

1-1-17 质量为 M 和长度为 l 的链子，铅直地悬挂在磅秤上，下端恰好触及秤盘。放松链子，使其落在秤盘上。当链子中长度为 $l-x$ 的一段已经落下时，磅秤的读数是多少？

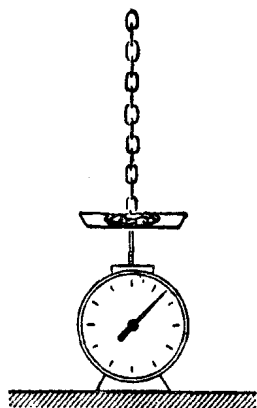
(每一环的尺寸可以忽略)

1-1-18 二级火箭每一级都是靠向后喷射气体来推进的。设气体相对于火箭的速率为 u ，火箭在一自由场中从静止开始发动。当充满燃料时，两级的质量为 M_1 和 M_2 ；不充燃料时，质量为 m_1 和 m_2 。在第二级点火之前，空的第一级（质量 m_1 ）脱离火箭。

(i) 求空的第二级的最后速度。

(ii) 证明这一速度比下述单级火箭所能达到的速度快

$u \ln [M_2(m_1 + m_2) / m_2(m_1 + M_2)]$ ；单级火箭充满燃料时，质量为 $M_1 + M_2$ ；空时质量为 $m_1 + m_2$ 。



题图 1-1-17

1-1-19 光滑的桌面上有一根直的刚性头发丝，质量为 M 。在它的两端各有一只质量为 m 的跳蚤同时以相等的速率，并与头发丝成相等的夹角沿水平方向跳出。试问它们应以多大角度跳出才可能恰好都落在头发丝的另一端，但又不会在途中相碰。

1-1-20 一个质量为 M 的物体以动能 E 平动，但不转动。由于有一个内部弹簧机构，把物体分成两个质量为 αM 和 $(1 - \alpha)M$ 的非转动刚体，它们在原运动方向两侧的等角度 θ 方向上运动。证明弹簧机构至少一定已释放出 $E \tan^2 \theta$ 的能量。

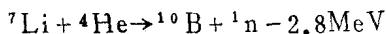
1-1-21 两个质量 M 和 m 的钢球由两根垂线悬挂，使它们刚好接触，且中心同高度。把 M 球拉向一侧，保持其中心在原来的竖直平面内，当它到达原始位置之上 h 高处时，从

静止开始释放。

(i) 证明无论第二个球 m 为何值, 它都不能升至比平衡位置高 $4h$ 的高度。

(ii) 类似地悬挂第三个钢球, 质量为 μ , 使它也刚与球 m 接触。再次把球 M 拉向一侧, 然后释放。证明若 m 值被选为 $(Mu)^{1/2}$, 则传递给第三个球的动能为极大。假定碰撞都是弹性的。

1-1-22 用能量为 E_0 的氦原子核去轰击一个薄的锂靶。锂原子核原来静止于靶内, 但实质上是未束缚的。当氦核进入一锂核, 就能产生核反应。复合核分裂为一个硼核和一个中子。碰撞是非弹性的, 而最后的动能比 E_0 少了 2.8 MeV ($1 \text{ MeV} = 10^6 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-13} \text{ J}$)。粒子的相对质量是: 氦为 4; 锂为 7; 硼为 10; 中子为 1。这个反应可写为



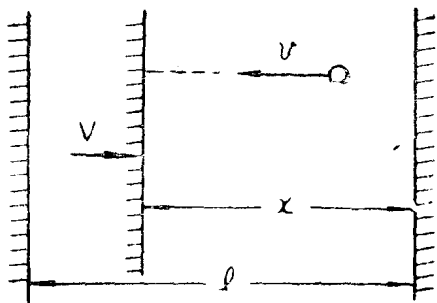
(i) 问可以产生中子所需的 E_0 的最小值, 即 $E_{0\text{阈}}$ 是多少? 在此阈限上中子的能量是多少?

(ii) 证明: 如果入射能量落在 $E_{0\text{阈}} < E_0 < E_{0\text{阈}} + 0.27 \text{ MeV}$ 范围内时, 则向前抛出的中子不是都具有同样的能量, 但是必须具有两个可能的能量值的一个。(通过在质心坐标系中观察这个反应, 读者就能够懂得这两组能量的来源。)

1-1-23 一个质量为 m 的“超等球”在两个壁面间以速度 v_0 来回弹跳, 略去重力不计, 而且碰撞是完全弹性的。

(i) 求每个壁所受的平均力 F 。

(ii) 如果一个表面以 $V \ll v_0$ 的速率慢慢地移向另一表面, 则回跳率由于碰撞间的距离减小而增加, 又因为球从运动的表面碰回时, 球的速率增大, 试求用表面间的距离 x 来



题图 1-1-23

表示的力 F 。(提示: 求出当表面运动时, 球的速率增大的平均变化率。)

(iii) 证明: 把表面从距离 l 推近到距离 x 时所需的功, 等于球的动能的增加。(这个问题说明了, 当气体压缩时温度升高的机理。)

1-1-24 圆环放在光滑水平面上, 有一甲虫, 质量与环相等, 沿环爬行, 相对于环的角速度为 ω_0 。求解圆环与甲虫的运动。甲虫在环上爬行一圈, 环的角位移多大?

§ 1-2 刚体力学

1-2-1 一把梯子, 长 5 m, 质量为 M , 靠在光滑的竖直墙上, 水平地板是粗糙的, 在滑动发生前梯脚离墙的最大可能距离是 4 m。问当梯脚离墙底部 3 m 时

(i) 置于梯上任意处而不致引起滑动的最大质量是多少?

(ii) 一个质量 $5M$ 的人(看成点)能在梯上安全行走的最大距离是多少?

1-2-2 一堵自由竖立的墙, 高 h , 厚 t , 由密度 ρ_w 的

砖砌成，静止于粗糙的地板上，受到速度 v 的风吹。

(i) 假定当风到达墙上时，空气便停下来，证明若 v 超过 $(\rho_w g / \rho_A h)^{1/2} t$ ，则墙将翻倒，这里 ρ_A 是空气密度。

(ii) 若 $\rho_w = 3 \times 10^3 \text{ kg m}^{-3}$ ， $\rho_A = 1.25 \text{ kg m}^{-3}$ ， $h = 2 \text{ m}$ ， $t = 0.1 \text{ m}$ ，求 v 的临界值，并决定墙翻倒而不滑动时地板与墙之间的极小摩擦系数值。

1-2-3 质量为 150 kg 的均质圆盘形状的一个水平转台安置在位于它的中心的一轻的无摩擦的竖直轴上。二个质量同为 75 kg 的人站在一直径的两端点。开始时他们和转台处于静止状态，然后，他们两人围绕转台以同样速度同向运动。计算当他们绕转台走完一圈时，他们在空间旋转了多少角度？

1-2-4 一半径为 a ，质量为 M 的匀质薄圆盘，通过它的轴装置在无摩擦的轴承中，它的轴是水平的。圆盘开始处在静止状态，一个质量也为 M 的飞虫沿着在圆盘平面上的一条水平线运动。在时间 $t = 0$ ，飞虫没有滑动地落在圆盘周界线的最低点。在这以后，飞虫随着圆盘一起转动，在停止前，圆盘旋转了半圈。

(i) 求飞虫刚刚着落以后，系统的角速度 ω_0 。

(ii) 试证明当时间 $t = T$ ，飞虫和圆盘的轴在同高度。

$$\text{这里 } T = \frac{1}{\omega_0} \int_0^{\frac{1}{2}\pi} \sec(\theta/2) d\theta.$$

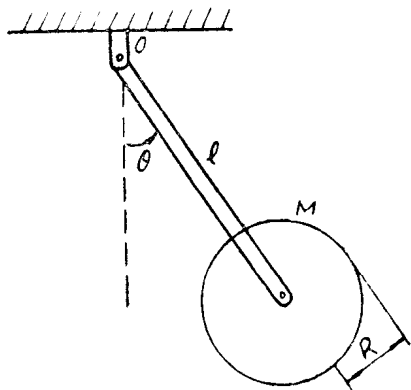
1-2-5 两个匀质圆柱各自独立地绕它们自身的轴转动，两轴相互平行。一个圆柱半径为 R_1 ，质量为 M_1 ，另一个半径为 R_2 ，质量为 M_2 。开始时它们分别以角速度 Ω_1 和 Ω_2 沿同一方向转动，然后移动它们，使它们互相接触。问当它们达到稳定状态以后，每一个圆柱的最终角速度是多少？

1-2-6 (i) 决定质量为 m ，半径为 a ，且其密度分布反

比于距球心的距离的球体的转动惯量。

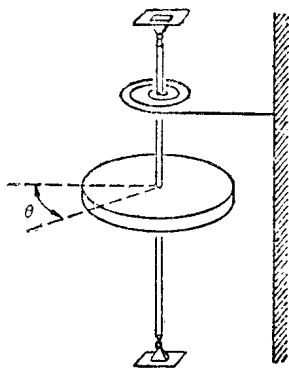
(ii) 假设地球具有这种形式的密度分布，并且由于地球围绕它自身的轴旋转引起潮汐，每一年 3×10^{10} J 的热量被散失掉，计算每年它的旋转周期变化多少？

1-2-7 由质量为 M 、半径为 R 的圆盘和质量为 m 、长度为 l 的杆构成一个摆，求其周期。如果圆盘由无摩擦的轴承装在杆端，可以自由转动，问其周期将怎样变化。



题图 1-2-7

1-2-8 一质量为 M 、半径为 R 的实心圆盘装在一铅直轴上，铅直轴又与一螺旋形弹簧连结，并受到大小为 $c\theta$ 的线性恢复力矩，此处 θ 是离开静平衡位置所转动的角， c 是常数。忽略轴与弹簧的质量，并假定支承点无摩擦。



题图 1-2-8

(i) 证明圆盘作简谐运动，并求其运动频率。

(ii) 假定圆盘按照规律 $\theta = \theta_0 \sin \omega t$ 运动，式中的 ω 是 (i) 中所求的角频率。在 $t_1 = \pi/\omega$ 时，一质量为 M ，

半径为 R 的油灰圈同心地落在圆盘上。试求此时运动的角频率和振幅。

1-2-9 一半径为 r 的大理石小球，在半径为 R 的浅碟子中来回无滑动地滚动。已知 $R \gg r$ ，求小球的小振动频率。

1-2-10 (i) 一质量为 M 、长度为 l 的均质棒，一端自由地装在枢轴上，在枢轴下 y 处用水平冲力 P 撞击一下棒。试求撞击引起多大 R 作用在枢轴上？表示成 y 的函数。

已知棒绕通过其一端并垂直于棒的轴的转动惯量为 $MI^2/3$ 。

(ii) 如果垒球棒长为 l ，它的质量分布近似正比于 $1 + y/l$ ，这里 y 是离棒柄的距离。为了避免击球时棒对手的反作用力引起剧痛，垒球队员宜用离棒柄多大距离来击球？

1-2-11 一均质棒的一端放置在很粗糙的桌子边缘上，而且棒几乎从竖直位置静止地被释放。当沿棒的作用力为零时，棒和桌子失去接触，它将落下离开桌子。试证明这发生在棒与竖直方向倾斜角为 $\cos^{-1}(3/5)$ 之时。

1-2-12 静止地放在光滑水平桌面上的两根同样的匀质杆，长为 l ，质量均为 m 。但其中一根是由两根相同的细杆在中间用光滑铰链连接。若用垂直于杆的同样的水平冲量冲击两杆的端点，求两杆获得的能量比。

1-2-13 轮轴的半径各为 R 与 r ，整个轮轴对于中心轴线的转动惯量为 I ，轮轴搁在静止的粗糙水平木板上，摩擦系数为 μ 。将线缠在轴上，线尾与水平面作 θ 角，以力 F 去拉线尾。求解轮轴的运动，并考虑是否发生滑动。

1-2-14 一实心圆柱体从高为 h 的斜面滚下来，并且进入一水平的道路，然后撞击到一光滑的刚性的竖直墙壁上，碰撞是完全弹性的。试问如果在此以后它一直运动在水平道