

[美]R. B. 莱登 R. E. 沃格特 等编著

费曼物理学 讲义 习题集

Exercises
in Introductory
Physics

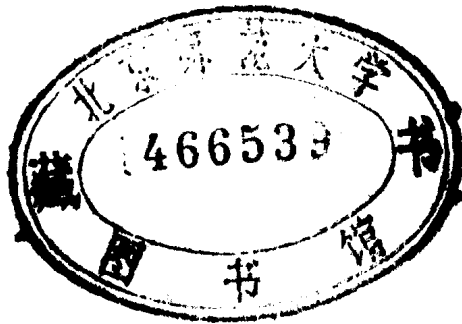
上海科学技术出版社

W1182/21

费曼物理学讲义习题集

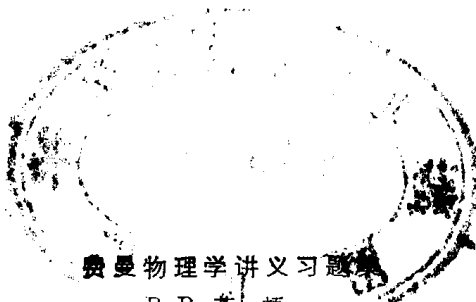
[美] R. B. 莱顿 等编著
R. E. 沃格特

周勇志 薛洪福 吴殿宏 文广珣 等译



上海科学技术出版社

Exercises in Introductory Physics
R. B. Leighton
R. E. Vogt
Addison-Wesley Publishing Company, 1969



费曼物理学讲义习题集

〔美〕 R. B. 莱顿 等编著
R. E. 沃格特

周勇志 薛洪福 吴殿宏 文广珣 等译

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路 450 号)

发行所上海发行所发行

江苏深水印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 11 字数 253,000

1983 年 9 月第 1 版 1983 年 3 月第 1 次印刷

印数 1—6,400

ISBN 7-5323-0134-6/O·6

定价: 2.90 元

译者的话

这本习题集与《费曼物理学讲义》密切配合，是它的附属教材。书中大部分习题选自1962~1964年美国加州理工学院大学一、二年级学生的家庭作业和考试试题。

原著与《费曼物理学讲义》相对应，分为三卷。译本将三卷合编统称为《费曼物理学讲义习题集》。原著三卷编写风格不尽一致，例如第一卷的习题分为A、B、C三类，A类为证明、推广或容易的习题；B类表示中等程度的习题；C类为比较复杂或费思考的习题，而后两卷则没有这种标志。后两卷的章次与《费曼物理学讲义》一一对应，而第一卷则在每章开头标明对应的章节。这些均在译文中予以保留。

原书根据打印稿影印出版，不太正规。书中的错误和遗漏，凡我们发现的均加以改正和补充，并在重要改动处加注说明。译文对于原书所用符号只做了极个别的改动，以便于读者与《费曼物理学讲义》一起使用。译文力求忠于原著，但限于水平，译文本身的错误和缺点一定在所难免，恳请读者批评指正。

本书的翻译工作由洪晶教授主持。第一卷第1~13章译者为薛洪福；第一卷第31~36章及第二卷译者为周勇志；这两部分译稿由欧发初校；第一卷第14~18章、26~30章，第三卷第8章以后的译者为吴殿宏；第一卷第19~25章、第三卷第7章以前的译者为文广珣；后两人的部分译稿由皮名嘉初校。洪晶教授担任全书的总校；欧发同志做了译文的规格和文字的统一工作。

译者
1981.6

目 录

第 一 卷

<p>第一章 运动中的原子1</p> <p>第二章 能量守恒 静力学2</p> <p>第三章 开普勒定律及万有引力9</p> <p>第四章 运动学11</p> <p>第五章 牛顿定律14</p> <p>第六章 动量守恒17</p> <p>第七章 矢量20</p> <p>第八章 三维空间中两物体的非相对论性碰撞22</p> <p>第九章 力26</p> <p>第十章 势和场30</p> <p>第十一章 单位和量纲33</p> <p>第十二章 相对论性运动学和动力学 质能等效性34</p> <p>第十三章 相对论性的能量和动量35</p> <p>第十四章 二维转动 质心37</p> <p>第十五章 角动量 转动惯量40</p> <p>第十六章 三维转动44</p> <p>第十七章 谐振子 线性微分方程51</p> <p>第十八章 代数学56</p>	<p>第十九章 受迫阻尼振荡58</p> <p>第二十章 几何光学65</p> <p>第二十一章 电磁辐射 干涉68</p> <p>第二十二章 电磁辐射 衍射70</p> <p>第二十三章 电磁辐射 折射、色散、吸收72</p> <p>第二十四章 电磁辐射 辐射阻尼 散射73</p> <p>第二十五章 电磁辐射 偏振74</p> <p>第二十六章 电磁辐射 相对论性效应75</p> <p>第二十七章 量子行为: 波、粒子和光子77</p> <p>第二十八章 气体分子运动论79</p> <p>第二十九章 统计力学原理81</p> <p>第三十章 均分原理 分子运动论的应用83</p> <p>第三十一章 迁移现象 分子运动论的应用84</p> <p>第三十二章 热力学86</p> <p>第三十三章 热力学实例89</p> <p>第三十四章 波动方程 声波90</p> <p>第三十五章 线性波: 拍、模式92</p> <p>第三十六章 波的傅里叶分析94</p>
---	--

第 二 卷

<p>第一章 电磁学97</p> <p>第二章 矢量场的微分运算98</p> <p>第三章 矢量积分运算99</p> <p>第四章 静电学100</p> <p>第五章 高斯定律的应用101</p> <p>第六章 在各种情况下的电场102</p> <p>第七章 在各种情况下的电场(续)104</p> <p>第八章 静电能105</p> <p>第十章 电介质105</p> <p>第十一章 在电介质内部106</p> <p>第十二章 静电模拟107</p> <p>第十三章 静磁学108</p> <p>第十四章 在各种不同情况下的磁场109</p> <p>第十五章 矢势110</p> <p>第十七章 感应定律111</p> <p>第二十章 麦克斯韦方程组在自由空间中</p>	<p>的解113</p> <p>第二十一章 有电流和电荷时麦克斯韦方程组的解114</p> <p>第二十二章 交流电路116</p> <p>第二十三章 空腔谐振器113</p> <p>第二十四章 波导118</p> <p>第二十五章 按相对论记法的电动力学121</p> <p>第二十六章 场的洛伦兹变换121</p> <p>第二十七章 场能量和场动量123</p> <p>第二十八章 电磁质量124</p> <p>第二十九章 电荷在电场和磁场中的运动124</p> <p>第三十二章 稠密材料的折射率125</p> <p>第三十三章 表面反射126</p> <p>第三十四章 物质的磁性126</p> <p>第三十五章 顺磁性与磁共振126</p> <p>第三十六章 铁磁性127</p>
---	---

第三十八章 弹性学	128	第四十一章 粘滞流体	129
第四十章 干水的流动	129		

第 三 卷

第三章 几率振幅	131	第十二章 氢的超精细分裂	143
第四章 全同粒子	133	第十三章 在晶体点阵中的传播	143
第五章 自旋	136	第十四章 半导体	145
第六章 自旋 $\frac{1}{2}$	137	第十五章 独立粒子近似法	146
第七章 振幅对时间的相依关系	140	第十六章 振幅对位置的依赖关系	147
第八章 哈密顿矩阵	141	第十八章 角动量	149
第九章 氨微波激射器	141	附录 A	151
第十章 其他双态系统	142	附录 B	154
第十一章 再论双态系统	142	第一卷答案	157

第一卷

第一章 运动中的原子

参阅《费曼物理学讲义》第一卷中的第一至第三章，运用这几章中叙述的概念及你自己的经验和想象分析下列习题。在大部分情况下，不要求精确的数字结果。

A-1 如果热仅仅是分子的运动，那么一个热的、静止的棒球和一个冷的、快速运动的棒球之间的区别是什么？

A-2 如果所有物体的原子都处于不停的运动中，为何会存在象化石印痕这样的永恒物体？

A-3 定性地解释在一个运动的机器中，摩擦为什么会产生热？又是如何产生的？并尽量解释为什么热不能通过相反的过程产生有用的运动？

A-4 化学家发现橡胶分子是由原子的十字形长链组成的，请解释为什么当一条橡皮带被拉伸时会变热。

A-5 当加热一条悬挂重物的橡皮带时，橡皮带会有什么变化？（解答并试验之。）

A-6 你能否解释为什么不存在正五边形的晶体？（三角形、正方形和六边形是晶体的常有的形状。）

B-1 有一体积为 V 的容器和许多个直径均为 d 的钢球，容器的每个线度均比一个球的直径大得多，试求能够放入容器的最大球数是多少？

B-2 气体的压强 p 如何随每单位体积的原子数 n 和原子的平均速率 v 而变化？（ p 应该正比于 n 及（或） v ，还是比线性变化快些或慢些？）

B-3 一般空气的密度约为 $0.001 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ，而液态的空气密度约为 $1.0 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 。

a) 计算每立方厘米的一般空气和每立方厘米的液态空气中，各有多少个空气分子。

b) 计算一个空气分子的质量。

c) 计算在标准温度和压强下，一个空气分子在相继碰撞之间通过的平均距离。这个距离称为平均自由程。

d) 计算真空系统应该在什么压强（用标准大气压表示）下工作，平均自由程约为一米。

B-4 一准直平行钾(K)原子束的强度被一层 1.0 mm 厚、压强为 $6.0 \times 10^{-4} \text{ mm Hg}$ (0.08 Pa) 的氩(Ar)原子气体减弱 30%。计算每个氩原子的有效靶面积。

B-5 X-射线衍射的研究指出，NaCl 晶体呈立方晶格，相邻原子间距为 2.820 \AA (0.2820 nm)。查阅 NaCl 的密度和分子量，计算阿伏伽德罗数 N_0 。（这是测量 N_0 的最精确的实验方法之一。）

B-6 玻特伍德(Boltwood)和卢瑟福(Rutherford)发现，当镭和它的蜕变产物相平衡

时,每克镭每秒内产生 1.36×10^{10} 个氮原子,他们还测得在标准温度、压强下,192 mg 镭的蜕变每天产生 0.0824 mm^3 的氮。用这些数据计算:

- 在标准温度、压强下,每立方厘米氮气的原子数。
- 阿伏伽德罗常数。

C-1 瑞利(Rayleigh)发现 0.81 mg 的橄榄油在水面上产生一直径为 84 cm 的单分子层。由此得出阿伏伽德罗数是多少?

* 近似的成分 $\text{H}(\text{CH}_2)_{18}\text{COOH}$ 形成线链,密度为 $0.8 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 参考: Rayleigh, Proc. Roy. Soc. 47, 364(1890).

C-2 约在 1860 年,麦克斯韦(Maxwell)指出,气体的粘滞系数可写成:

$$\eta = \frac{1}{3} \rho v l$$

式中 ρ 为密度, v 为平均速率, l 为平均自由程。在更早些时,他曾得出 $l = 1/(\sqrt{2} \pi N_0 \sigma^2)$, 其中 σ 为分子的直径。洛希密脱(Loschmidt)用测得的 η 、 ρ (气体)和 ρ (固体)连同焦耳(Joule)计算得的 v 来求在标准温度、压强下,每立方厘米气体中的分子数 N_0 。他把分子看成是紧密堆在固体中的许多硬球。已知标准温度、压强下空气的 $\eta = 2.0 \times 10^{-4} \text{ g}\cdot\text{cm}^{-1}\text{s}^{-1}$ 、 ρ (液体) $\approx 1 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 、 ρ (气体) $\approx 1 \times 10^{-3} \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 、 $v \approx 500 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 试计算 N_0 。

C-3 一杯水放在加里福尼亚州某个户外窗台上。

- 试想水全部蒸发完要用多长时间?
- 在这种蒸发速率下,每秒每平方厘米有多少水分子离开水杯?
- 如果 a) 中的答案和地球上的平均降雨量有联系,试简要加以讨论。

C-4 午后雷阵雨的一个雨滴落在了一块古生代泥地上,它留下了一个印痕。后来这雨滴被一个又热又渴的地质学大学生当作化石拾起。当他喝干他水壶里的水后,便想知道那滴古老的雨滴有多少水分子,用你已知的数据计算这个数。(可对必要的未知情况做合理的假设。)

第二章 能量守恒 静力学

参阅《费曼物理学讲义》第一卷,第四章。

1. 应用虚功原理建立不等臂平衡秤的公式:

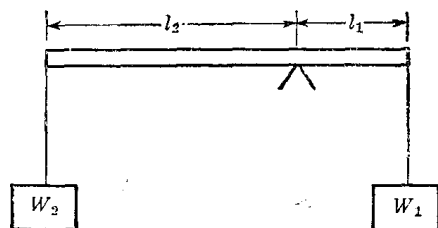


图 1·2·1

$$W_1 l_1 = W_2 l_2$$

(见图 1·2·1, 忽略横梁的重量。)

2. 把前题的公式推广为包含许多重物的情况, 这些重物悬在距支点不同的距离上:

$$\sum W_i l_i = 0$$

(在支点一边的距离为正, 而另一边则为负。)

3. 一个物体受到 n 个力的作用, 而且处于静平衡状态, 用虚功原理证明:

- 当 $n=1$ 时, 力的大小应当为零。(无意义的情况。)
- 当 $n=2$ 时, 两个力的大小相等, 方向相反并且作用在一条直线上。
- 当 $n=3$ 时, 这些力应当是共平面的, 而且它们的作用线相交于一点。

d) 对于任意数 n , 某一力 F_i 的大小乘以该力与任意确定直线之间的夹角 Δ_i 的余弦, 其积的 n 项和必为零:

$$\sum_i^n F_i \cos \Delta_i = 0$$

4. 在无摩擦的情况下, 运用虚功原理, 有关静平衡问题可以化为纯几何问题: 当一点移动某一距离时, 另一点向何处移动? 如果运用三角形的以下特性, 这个问题在很多情况下是容易回答的。

a) 如图 1.2.2 所示, 如果三角形的两个边长 d_1 、 d_2 保持不变, 而角 α 有一个小的改变量 $\Delta\alpha$, 则对边 L 有一个改变量

$$\Delta L = \frac{d_1 d_2}{L} \sin \alpha \Delta\alpha$$

b) 假如直角三角形的三边 a 、 b 、 c 长度的改变微量为 Δa 、 Δb 和 Δc , 则 $a\Delta a + b\Delta b = c\Delta c$ (c 是斜边)。证明这些公式。

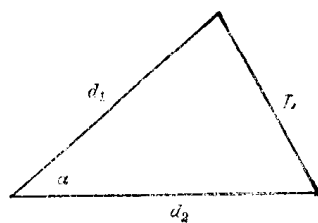


图 1.2.2

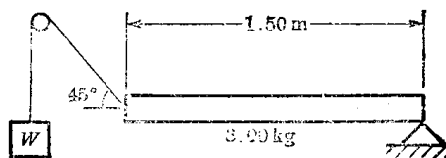


图 1.2.3

A-1 一均匀平板长为 1.50 m, 重量为 3.00 kg, 其一端安放在支撑轴上。此板用重物和滑轮装置悬挂, 平衡在水平位置上, 如图 1.2.3 所示。求为使木板平衡所必需的重量 W , 忽略摩擦。

A-2 一个半径为 3.00 cm, 重量为 1.00 kg 的球, 放在和水平方向成 α 角的平板上, 同时也和竖直墙相切, 如图 1.2.4。忽略两个面的摩擦, 试求此球压在每个板上的力。

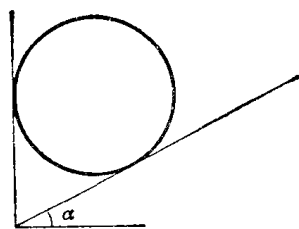


图 1.2.4

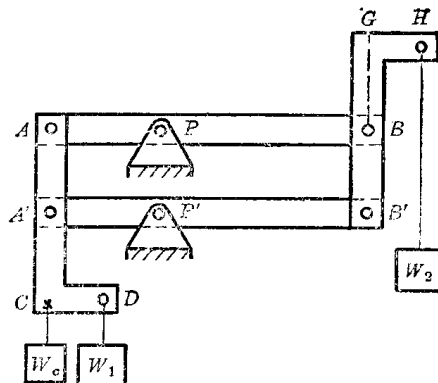


图 1.2.5

A-3 具有活动连接点的平行四边形框架 $AA'BB'$ 安装在枢轴 P 及 P' 上(在竖直平面内)。枢轴 A 、 A' 、 B 、 B' 、 P 和 P' 处的栓钉上的摩擦可以忽略。构件 $AA'CD$ 和 $B'BGH$ 是刚性的, 而且尺寸相同, $AP = A'P' = \frac{1}{2} PB = \frac{1}{2} P'B'$, 当不加负载 W_1 和 W_2 时, 砝码 W_2 使框架处于平衡状态。如果一个重 0.5 kg 的重物 W_1 悬挂在 D 点, 为了取得平衡, 悬挂在 H 点的重物 W_2 应为多重?

A-4 图 1.2.6 所示装置处于静平衡状态, 用虚功原理求 A 和 B 的重量。忽略绳子重量和滑轮上的摩擦。

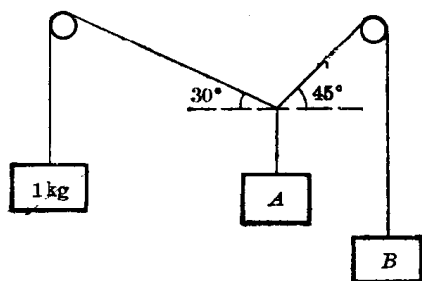


图 1.2.6

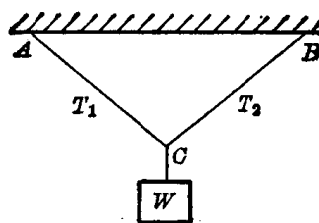


图 1.2.7

A-5 重物 $W = 22.68 \text{ kg}$, 如图 1.2.7 所示, 悬挂在金属丝 ACB 的中点。 $AC = CB = 1.52 \text{ m}$, $AB = 2.16 \text{ m}$ 。求金属丝中的张力。

A-6 图 1.2.8 中的桁架用轻铝杆在各端点铰接制成, 于 O 处有一个可在光滑平面上滑动的滚轮。当一个工人在杆 AB 上用汽焊加热时, 观察到一长度增量 α , 因而负载 W 在竖直方向有一移动量 y 。

- W 的移动向上还是向下?
- 试求作用在杆 AB 上的力(包括取向, 即: 是张力还是压力)。

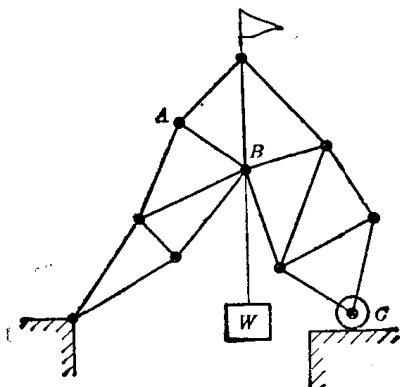


图 1.2.8

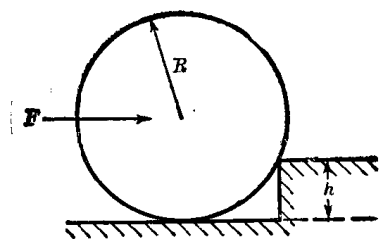


图 1.2.9

A-7 为了把图 1.2.9 所示重量为 W , 半径为 R 的轮子推到高为 h 的障碍物上, 需要多大的水平力 F ?

A-8 一个直径为 D 的水平转台, 安装在摩擦可以忽略的轴承上(见图 1.2.10)。在转台平面内, 有二大小相等、彼此平行、而方向相反的水平力作用在转台直径两端的边缘上。

- 什么力作用在轴承上?
- 对于通过中点 O 的竖直轴, 转矩(等于力偶矩)是多少?
- 对于通过同一平面上任意一点 O' 的竖直轴, 力矩应该是多少?
- 下面的讲法是否正确, 说明之。“作用在物体上的任意两个力, 能够合成一个具有相同效应的单一合力”。

在拟定你的答案时, 考虑两个力方向相反但是大小不相等的情况。

A-9 如图 1.2.11 所示, 浮在水银上的一块钢板受到三个力的作用, 作用点在边长为

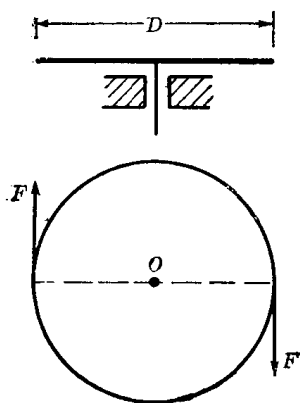


图 1.2.10

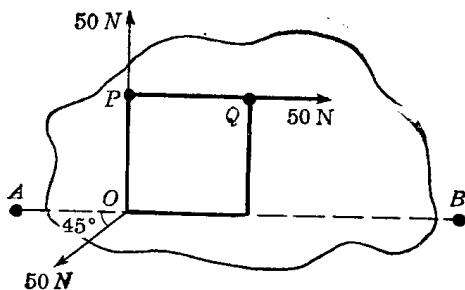


图 1.2.11

0.100 m 的正方形的三个角上。求能使钢板保持平衡的第四个力。给出其大小、方向及在 AB 线上作用点的位置。

A-10 在无摩擦的情况下,当重物 W_1 、 W_2 从静止开始移过某一距离 D 时,它们的移动速度是多少 ($W_1 > W_2$)? (见图 1.2.12)

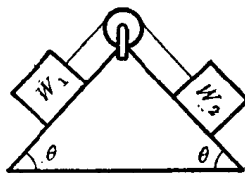


图 1.2.12

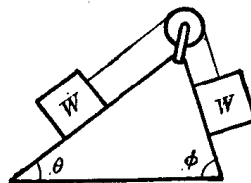


图 1.2.13

A-11 图 1.2.13 中两物体重量相等,摩擦不计。如果该系统从静止状态被释放,当它们移过某一距离 D 时,它们的速度大小如何?

B-1 如图 1.2.14,物体 M_1 在高为 H 的斜面上滑动。一条柔软的绳子跨过一个小滑轮(不计绳子和滑轮质量)把物体 M_1 和另一竖直悬挂的质量与之相等的物体 M_2 连接起来。绳子的长度可以使二物体都处于高度为 $H/2$ 的位置。与 H 相比,物体及滑轮的尺寸可以忽略不计。在 $t=0$ 时,释放两物体。

- 当 $t > 0$ 时,计算 M_2 的竖直加速度。
- 哪个物体向下运动? 它碰到地面的时间 t_1 为多少?
- 在问题(b)中,一物体因碰地面停止时,另一物体还保持运动,说明它能否碰到滑轮?

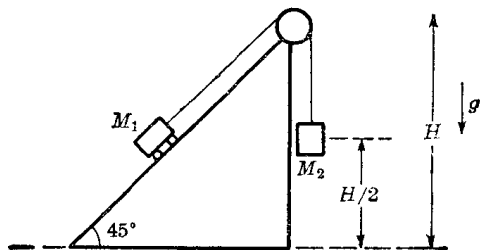


图 1.2.14

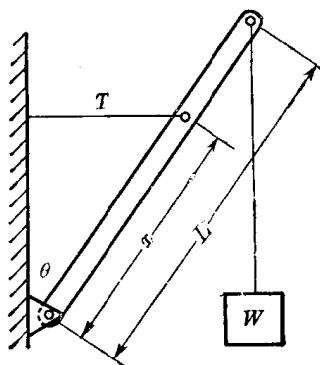


图 1.2.15

B-2 见图 1.2.15, 起重机由长为 L 、重为 W 的均匀支杆构成, 杆的下端装在轴上; 用一条水平绳系在支杆上(系点距轴为 a), 把支杆撑在和竖直线成 θ 角的方向, 重物 W 从支杆上端起吊。求水平绳索上的张力。

B-3 一个顶端带有滚轮的均匀梯子靠在光滑的竖直墙壁上。梯长 3.05 m , 梯重为 13.61 kg 。一重为 27.22 kg 的物体, 挂在距梯顶端 0.76 m 的横木上, 见图 1.2.16。试求:

- 滚轮对墙壁的压力。
- 梯子作用在地面上的水平力和竖直力。

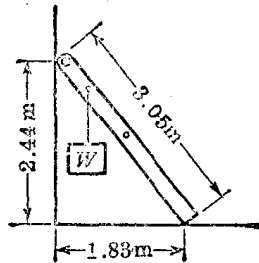


图 1.2.16

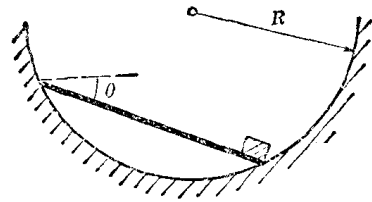


图 1.2.17

B-4 重为 W 、长为 $\sqrt{3}R$ 的平板, 放在半径为 R 的光滑圆形槽内, 板的一端有一物体重为 $\frac{W}{2}$ 。计算板在平衡位置时的角 θ (见图 1.2.17)。

B-5 长为 L 重为 W 的均匀棒, 其端部由二斜面支撑(见图 1.2.18)。用虚功原理(忽略摩擦)求棒处于平衡状态下的 α 。

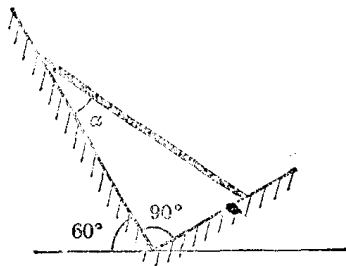


图 1.2.18

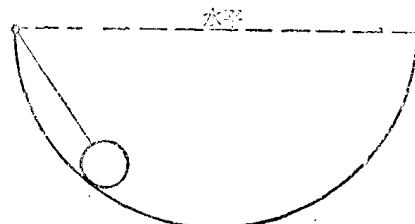


图 1.2.19

B-6 半径 4.5 cm , 重 W 的刚性小球挂在半径为 49 cm 光滑的半球形的钵沿上(见图 1.2.19)。发现绳子一旦短于 40 cm 就会断裂。用虚功原理求绳子的抗断强度。

B-7 国际展览会会场的装饰物是由四个相同的无摩擦的金属球制成, 每个球重 $2\sqrt{6} \times 10^3\text{ kg}$ 。球的排列如图 1.2.20 所示: 三个球放在水平面上, 彼此相切, 第四个球自由地放在这三个球上。为使下面的三个球不分开, 在它们的接触点上加以点焊。如果安全系数取 3, 焊点应能承受多大张力?

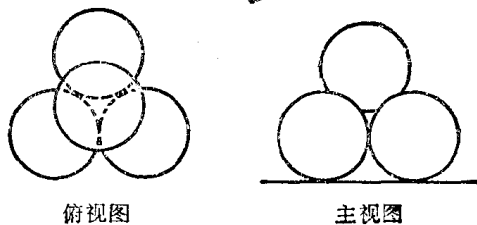


图 1.2.20

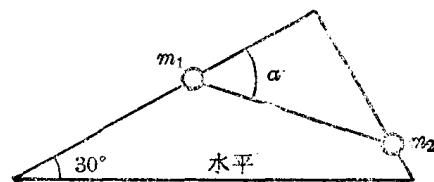


图 1.2.21

B-8 在竖直平面内,一硬金属线框架构成直角三角形(见图 1.2.21),两个质量分别为 $m_1=100\text{g}$, $m_2=300\text{g}$ 的珠子,在框架上无摩擦地滑动,它们之间由绳子连接。当系统处于静平衡时,绳子的张力是多少?绳子和第一条框架线形成的角 α 有多大?

B-9 如果没有摩擦,为保持小车平衡,张力 T 应多大(见图 1.2.22)?

a) 用虚功原理求解。 b) 用相应的分力求解。

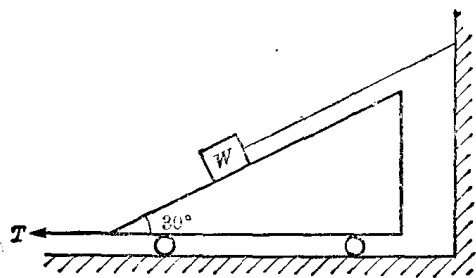


图 1.2.22

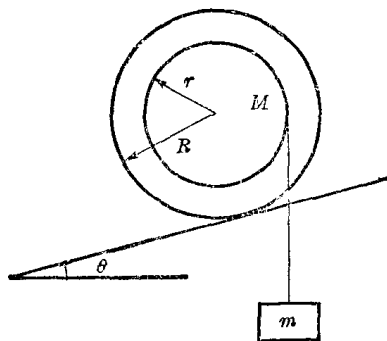


图 1.2.23

B-10 一个质量 $M=3\text{kg}$ 的线轴由一半径 $r=5\text{cm}$ 的中枢圆柱体及半径 $R=6\text{cm}$ 二端板构成,见图 1.2.23。把线轴放在一个带沟槽的斜面上,它将在斜面上滚动而不是滑动。一个质量 $m=4.5\text{kg}$ 的物体用绕在线轴上的绳子悬挂,使该系统处于平衡状态。求斜面的倾角 θ 。

B-11 整个重量为 W 的柔软链环,放在一个光滑的正圆锥的一水平圆周上,圆锥底半径为 r ,高为 h ,轴在竖直方向(见图 1.2.24)。求链环的张力(忽略摩擦)。

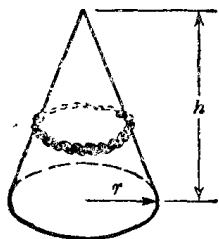


图 1.2.24

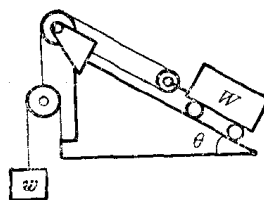


图 1.2.25

B-12 斜面上的车子被重物 w 平衡,如图 1.2.25。忽略各部分的摩擦,求车的重量。

B-13 桥梁的桁架结构如图 1.2.26 所示。所有的连接点可以看成是无摩擦的枢轴,而且全部构件可看成是刚性、无重和等长的,求反作用力 F_1 、 F_2 及构件 DF 所受的力。

B-14 在图 1.2.27 所示的桁架中,所有斜向支杆长均为五个单位,而水平支杆长均为六个单位。全部接点都是自由交连的,桁架的重量可以忽略。

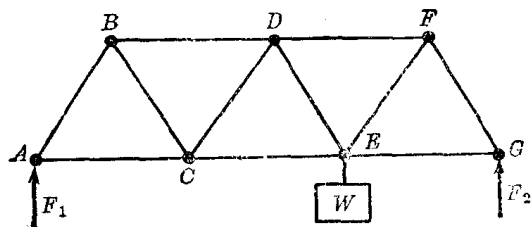


图 1.2.26

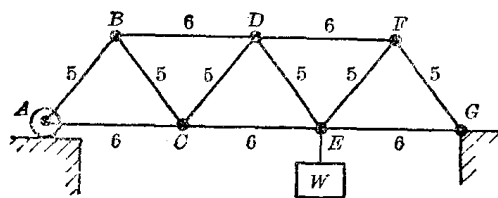


图 1.2.27

a) 对于图示的负载位置, 哪一个零件能用柔软的绳索代替。

b) 求支杆 BD 和 DE 的受力。

B-15 在图 1.2.28 所示系统中, 重为 w 的摆锤起初由线 A 保持竖直位置。烧断线 A 后, 摆锤被释放向左摆动, 它的最大摆幅刚好达到天棚。求物体 W 的重量(忽略摩擦、滑轮半径及重物的有限尺寸)。

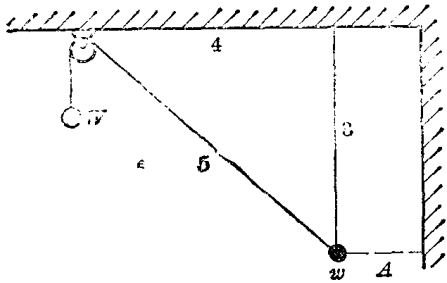


图 1.2.28

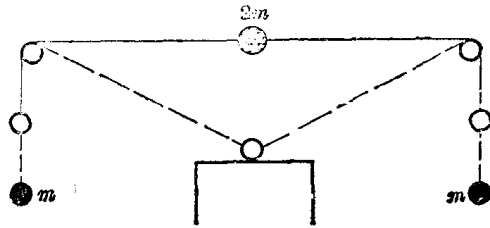


图 1.2.29

B-16 图 1.2.29 所示, 两条等长的细线把两个质量为 m 的物体系到第三个质量为 $2m$ 的物体上, 细线通过两个相距为 100 cm 不计摩擦的小滑轮。起初, $2m$ 物体置于连接两滑轮的水平线上, 并处于两者正中间, 然后从静止开始释放, 当它降下 50 cm 时碰上台顶, 求此时它的运动速度。

B-17 一个截面积为 A 的大桶装着密度为 ρ 的液体。液体从小孔中自由地射出来, 小孔的截面积为 a , 位于液面下 H 处(见图 1.2.30)。若液体无内摩擦(粘滞性), 将以多大速度流出?

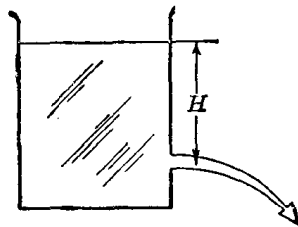


图 1.2.30

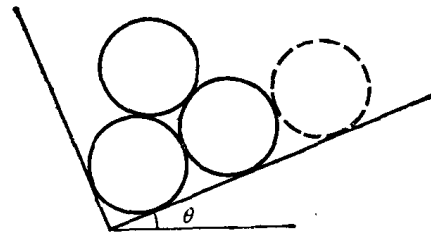


图 1.2.31

C-1 载重汽车上装着光滑的相同的圆木, 车驶离公路并平稳地停在与水平面成 θ 角的路基上。卸车时, 移去图 1.2.31 中虚线所示圆木, 恰使剩下的三棵圆木处在即将滑动的状态, 即: 若 θ 角再小一点, 圆木就要塌落。求角 θ 。

C-2 绕线轴重为 w , 半径为 r 和 R (见图 1.2.32)。绕在小径轴上的两条线挂在固定的支柱下。另有两条线绕在半径较大的轴上, 此二线下悬一重物 W , W 的选择恰好使绕线轴平衡, 求 W 。

C-3 一吊桥跨过 54 m 宽的深谷, 见图 1.2.33。间距为 9.00 m 的六对竖直缆绳悬挂着钢构架的桥身。每条缆绳承受的重量相等, 均为 $4.80 \times 10^3\text{ kg}$ 。位于中间的两对缆绳长为 2.00 m 。求其余竖直缆绳的合适长度。如果跨河谷的两条纵向缆绳的端部和水平方向成 45° 角, 求这两条纵向缆绳所受的最大张力?

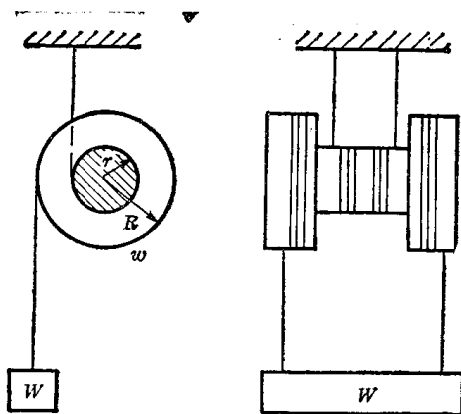


图 1.2.32

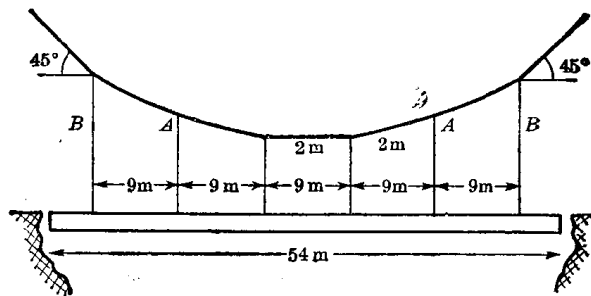


图 1.2.33

C-4 坦德姆范德格拉夫 (Tandem Van de Graaff) 孤立支撑结构可以表示为密度大致均匀, 长为 L 、高为 h 、重为 W 的两个组件, 它们被球形枢轴颈 (A 和 B) 支撑在竖直壁上, 中心用起重螺旋施力 F , 把两者隔开 (见图 1.2.34)。因为这两个组件不能承受张力, 所以必须对起重螺旋加以适当控制, 使得位于上面的枢轴颈受力为零。

- a) 需要多大的施力 F ?
- b) 加在下面一个枢轴颈 A 上的合力是多少?

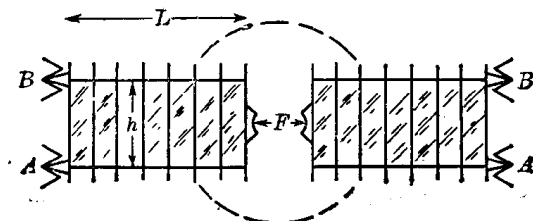


图 1.2.34

第三章 开普勒定律及万有引力

参阅《费曼物理学讲义》第一卷, 第七章。

1. 椭圆的某些性质

椭圆的大小和形状取决于以下任意两个量的数值 (见图 1.3.1):

- a : 长半轴; b : 短半轴;
- c : 椭圆中心到某一焦点的距离; e : 偏心率;
- r_p : 近日距 (从焦点到椭圆的最近距离); r_a : 远日距 (从焦点到椭圆的最远距离)

2. 各量关系如下:

$$a^2 = b^2 + c^2; e = c/a (e \text{ 的定义});$$

$$r_p = a - c = a(1 - e); r_a = a + c = a(1 + e)$$

3. 试证: 椭圆面积 $A = \pi ab$

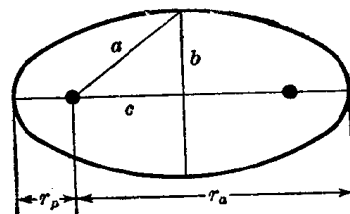


图 1.3.1

A-1 月球到地球中心的距离由在近地点时的 363,300 km 改变到在远地点时的 405,500 km, 变化周期为 27.322 天。某人造地球卫星轨道的近地面高度 225 km, 而远地

面高度为 710 km。地球的平均直径为 12,766 km, 求此卫星的周期。

A-2 地球轨道的偏心率为 0.0167, 求地球在其轨道上的最大速率与最小速率之比。

A-3 地球和月球的半径分别是 6378 km 和 1738 km, 它们的质量比是 81.3:1.000。计算月球表面的重力加速度, $g_e = 9.80 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ 。

A-4 自从 1456 年发现哈雷 (Halley) 彗星以来, 预计 1986 年它将第七次重返近日旅程。它最近一次通过近日点的时间是 1910 年 4 月 19 日, 当时观测到的近日距是 0.60A。(天文单位), 求:

a) 其轨道离太阳的最远点距太阳多远?

b) 最大轨道速率与最小轨道速率之比。

A-5 以圆形轨道近地面运行的地球卫星, 周期约为 100 min。试求当其周期为 24 h 的情况下, 其轨道半径应为多少(以地球半径为单位)?

A-6 考虑两个轨道半径相同的地球人造卫星, 其中一个轨道通过两极, 另一个在赤道平面内。问哪个卫星需要较大的火箭发射器? 为什么?

B-1 与地球同步转动的理想的“同步”卫星, 相对地球表面上某点 P 恒保持固定位置。

a) 考虑地心和卫星的连线, 如果 P 点为连线和地球表面的交点, P 点能位于任意地理纬度吗? 或者说, 交点存在的限制条件是什么? 试解释之。

b) 质量为 m 的同步卫星到地心的距离 r , 是多少? 用地球到月球的距离 r_{me} 为单位来表示 r 。

注: 把地球看作均匀球体, 可以取月球的周期 $T_m = 27$ 天。

B-2 a) 比较地球绕日运动和月球绕地运动的轨道参数, 决定太阳质量与地球质量之比。

b) 木星的一个卫星运转的轨道周期为 1.79 天, 轨道半径为 421800 km, 试确定木星的质量, 以地球的质量为单位。

B-3 两个星体 a 、 b 受彼此的万有引力作用, 相互环绕运动, 若观测到它们的相对轨道长半轴为 R (A.), 它们的运转周期为 T 年, 求两者质量之和 $m_a + m_b$ 的表达式。(以太阳质量为单位。)

B-4 如果一个巨大的球形天体 M 和它的卫星 m 间的万有引力为

$$F = -\frac{GMm}{R^{3+\alpha}} R$$

(其中 R 为两者间的距离矢径), 开普勒第二、第三定律应如何修正? (讨论第三定律时, 可假定轨道为圆。)

C-1 在实验室中做 g 的测量时, 要多大精度才能检测到由于月球引力引起的 g 的日变化? 为简单起见, 设实验所处的位置恰使月球从天顶和天底通过。同时, 略去潮汐的影响。

C-2 一蚀双星系的轨道是和视线几乎共平面的, 因此, 一个星周期性地蚀蔽另一个星, 两星的相对轨道速度可从光谱线的多卜勒频移测得。令 T 与 V 分别为观测到的轨道周期(日)和轨道速度($\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$), 求该星系的整个质量(以太阳质量为单位)。

注: 从地球到太阳的平均距离为 $1.5 \times 10^8 \text{ km}$ 。

C-3 一彗星绕日运行的近日距 $R_p = 1.00 \times 10^6 \text{ km}$, 近日点处的速度为 $500.0 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$,

a) 求轨道在近日点处的曲率半径是多少(km)?

b) 近日点处的曲率半径 $R_c = b^2/a$, 其中 a 为椭圆的长半轴, b 为短半轴。若已知 R_c 和 R_p , 可以找到 a 和此二量之间的关系, 试据此求出 a 。

c) 由 a 计算出行星的周期, 写出关系式, 标注所有的符号。

C-4 以万有引力相互吸引的两质点, 保持不变的距离, 共绕一固定点(它们的质心)运动。试证明它们在该轨道上运动的周期只取决于它们的质量和, 而与它们的质量比完全无关。此结论对于椭圆轨道也成立, 试证之。

C-5 如何可以求得月球的质量?

C-6 天狼星的三角视差(即地球轨道半径对天狼星的张角)为 0.378 弧秒, 由此及图 1.3.2 中所包含数据推出天狼星系的质量(以太阳质量为单位)。(a) 假设轨道平面与视线垂直; (b) 考虑了轨道的实际倾斜。你在 (b) 中求得的值是上限还是下限(或都可能)?

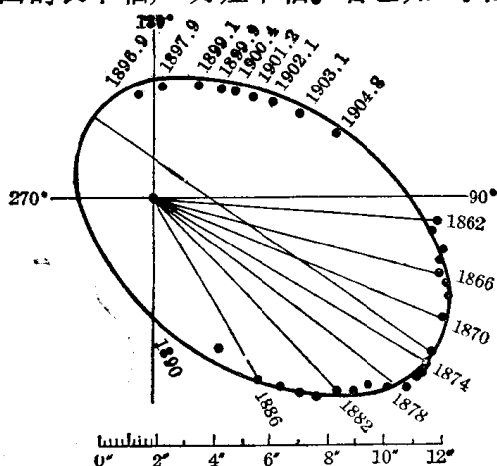


图 1.3.2

第四章 运动学

参阅《费曼物理学讲义》第一卷, 第八章。

1. a) 一个物体做匀加速直线运动。当 $t=0$ 时, 它位于 $x=x_0$ 处并具有速度 $v_x=v_{x0}$ 。求证在时刻 t , 它的位置和速度分别为:

$$x(t) = x_0 + v_{x0}t + \frac{1}{2}at^2$$

$$v_x(t) = v_{x0} + at$$

b) 从上题公式中消去 t , 证明在任意时刻

$$v_x^2 = v_{x0}^2 + 2a(x - x_0)$$

2. 把上面的问题推广到三维运动的情况, 已知沿三个坐标轴的恒加速度分量为 a_x, a_y, a_z 。试证明:

$$a) \quad x(t) = x_0 + v_{x0}t + \frac{1}{2}a_x t^2$$

$$y(t) = y_0 + v_{y0}t + \frac{1}{2}a_y t^2$$

$$z(t) = z_0 + v_{z0}t + \frac{1}{2}a_z t^2$$

$$v_x(t) = v_{x0} + a_x t$$

$$v_y(t) = v_{y0} + a_y t$$

$$v_z(t) = v_{z0} + a_z t$$

$$b) \quad v^2 = v_x^2 + v_y^2 + v_z^2 = v_0^2 + 2[a_x(x - x_0) + a_y(y - y_0) + a_z(z - z_0)]$$

其中

$$v_0^2 = v_{x0}^2 + v_{y0}^2 + v_{z0}^2$$

3. 一段圆弧的长度可以度量它对圆心的张角。设 s 为弧长, R 为半径(见图 1.4.1),