

EXERCISES FOR
The
Feynman
LECTURES
ON
PHYSICS

The
New Millennium
Edition



费恩曼

物理学讲义习题集

新千年版

[美] 理查德·费恩曼 罗伯特·莱顿等 / 著

[美] 迈克尔·戈特利布 鲁道夫·法伊弗 / 编

杨文超 / 译



上海科学技术出版社
SHANGHAI SCIENTIFIC & TECHNICAL PUBLISHERS

费恩曼物理学讲义习题集

(新千年版)

[美] 理查德·费恩曼 罗伯特·莱顿 马修·桑兹等 著

[美] 迈克尔·戈特利布 鲁道夫·法伊弗 编

杨文超 译

上海科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

费恩曼物理学讲义习题集：新千年版 / (美) 费恩曼(Feynman, R. P. et al)等著; 杨文超译. —上海:

上海科学技术出版社, 2017.6

ISBN 978 - 7 - 5478 - 3512 - 8

I. ①费… II. ①费… ②杨… III. ①物理学—高等学校—习题集 IV. ①04 - 44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 067254 号

费恩曼物理学讲义习题集(新千年版)

[美] 理查德·费恩曼 罗伯特·莱顿 马修·桑兹等 著

[美] 迈克尔·戈特利布 鲁道夫·法伊弗 编

杨文超 译

上海世纪出版股份有限公司 出版

上海科学技术出版社

(上海钦州南路 71 号 邮政编码 200235)

上海世纪出版股份有限公司发行中心发行

200001 上海福建中路 193 号 www.ewen.co

苏州望电印刷有限公司印刷

开本 787×1092 1/16 印张 21

字数 450 千字

2017 年 6 月第 1 版 2017 年 6 月第 1 次印刷

ISBN 978 - 7 - 5478 - 3512 - 8/O · 54

定价: 78.00 元

本书如有缺页、错装或坏损等严重质量问题, 请向工厂联系调换

序

现在的这本与《费恩曼物理学讲义》相配套的习题全集有 3 个来源：莱顿(Robert Leighton)和沃格特(Rochus Vogt)的《物理学导论习题集》[*Exercises in Introductory Physics* (Addison-Wesley, 1969)]以及加州理工学院编写的《费恩曼物理学讲义习题集》[*Exercises for The Feynman Lectures on Physics*(Addison-Wesley, 1964—1965)]的第 2 卷和第 3 卷。原先的习题以全新的面貌呈现：图形进行重绘,使用现代单位制*。《费恩曼物理学讲义习题集》的第 2 卷和第 3 卷新加了很多题目,同时提供了习题解答,这在以前的版本中是没有的。这是《费恩曼物理学讲义》3 卷的习题首次统一出版,也是首次提供几乎所有习题的答案。

这里的所有习题曾经是加州理工学院两学年必修课程上留给学生的家庭作业以及测验试题;费恩曼本人教学的 1961 年至 1964 年以及随后的近 20 年间(《费恩曼物理学讲义》是必修课指定教材)都是如此。期间,很多人对题目的设计、编写作出了重要贡献,在每一卷前言的感谢中将看到他们的名字。另外,我们还要感谢:

加州理工学院物理系、数学系和天文学系,他们许可我们编写出版这册习题集;

沃格特,他为我们提供了他的笔记本,这是他在加州理工学院多年教学的积累;

考恩(Eugene Cowan),他为我们提供了《费恩曼物理学讲义习题集》第 2 卷、第 3 卷习题解答的复印件;

* 未使用国际单位制(SI)的地方参考附录 A。——译者注

齐默尔曼(Aaron Zimmerman),他审阅了提供给加州理工学院的新资料;

科克伦(Adam Cochran),他和 Basic Books 就出版协议进行了成功的协商。

戈特利布(Michael A. Gottlieb)和法伊弗(Rudolf Pfeiffer)

《费恩曼物理学讲义：新千年版》编者

2013年12月

目 录

序

第1卷

导言 / 3

- 1 原子的运动 / 4
- 2 能量守恒,静力学 / 7
- 3 开普勒定律与引力 / 15
- 4 运动学 / 19
- 5 牛顿定律 / 24
- 6 动量守恒 / 29
- 7 矢量 / 33
- 8 三维空间中的非相对论性两体碰撞 / 37
- 9 力 / 44
- 10 势与场 / 49
- 11 单位和量纲 / 55
- 12 相对论性运动学和动力学,质量和静止能量等效性 / 58
- 13 相对论性能量和动量 / 60
- 14 二维转动,质心 / 63
- 15 角动量,转动惯量 / 67
- 16 三维转动 / 73
- 17 简谐振子,线性微分方程 / 83
- 18 代数 / 90
- 19 受迫阻尼振荡 / 93
- 20 几何光学 / 102
- 21 电磁辐射:干涉 / 107
- 22 电磁辐射:衍射 / 111
- 23 电磁辐射:折射,色散,吸收 / 115
- 24 电磁辐射:辐射阻尼,散射 / 117
- 25 电磁辐射:偏振 / 119
- 26 电磁辐射:相对论效应 / 122
- 27 量子行为:波,粒子
以及光子 / 126
- 28 气体分子动理论 / 131
- 29 统计力学原理 / 134
- 30 分子动理论的应用:均分定理 / 138
- 31 分子动理论的应用:输运现象 / 140
- 32 热力学 / 143
- 33 热力学示例 / 147
- 34 波动方程,声 / 151
- 35 线性波系统:拍,模 / 154
- 36 波的傅里叶分析 / 158

第2卷

导言 / 163

- 37 电磁学 / 164
- 38 矢量场的微分学 / 166
- 39 矢量积分学 / 169
- 40 静电学 / 171
- 41 高斯定律的应用 / 172

- 42 在各种情况下的电场 / 175
- 43 在各种情况下的电场(续) / 179
- 44 静电能 / 180
- 45 电介质 / 182
- 46 在电介质内部 / 184
- 47 静电模拟 / 186
- 48 静磁学 / 188
- 49 在各种不同情况下的磁场 / 190
- 50 矢势 / 193
- 51 感应定律 / 194
- 52 麦克斯韦方程组在自由空间中的解 / 198
- 53 有电流和电荷时麦克斯韦方程组的解 / 199
- 54 交流电路 / 202
- 55 空腔共振器 / 209
- 56 波导 / 210
- 57 用相对论符号表示的电动力学 / 214
- 58 场的洛伦兹变换 / 216
- 59 场的能量和场的动量 / 218
- 60 电磁质量 / 221
- 61 电荷在电场和磁场中的运动 / 222
- 62 稠密材料的折射率 / 224
- 63 表面反射 / 225
- 64 物质的磁性 / 226
- 65 顺磁性与磁共振 / 227
- 66 铁磁性 / 228
- 67 弹性 / 230

- 68 干水的流动 / 232
- 69 湿水的流动 / 233

第3卷

- 导言 / 237
- 70 概率幅 / 238
- 71 全同粒子 / 242
- 72 自旋 1 / 247
- 73 自旋 1/2 / 249
- 74 概率幅对时间的依赖关系 / 253
- 75 哈密顿矩阵 / 254
- 76 氦微波激光器 / 256
- 77 其他双态系统 / 257
- 78 再论双态系统 / 258
- 79 氢的超精细分裂 / 260
- 80 在晶格中的传播 / 261
- 81 半导体 / 264
- 82 独立粒子近似 / 266
- 83 振幅对位置的依赖关系 / 268
- 84 角动量 / 271
- 85 氢原子与周期表 / 274

附录

- A 单位和量纲 / 279
- B 物理学常数、常量 / 281
- C 答案 / 285

第 1 卷

导 言

这些习题编辑成册是为了在加州理工学院的第一学年基础物理课程上和《费恩曼物理学讲义》第 1 卷搭配使用。这些习题按照和《费恩曼物理学讲义(第 1 卷)》的内容一样的次序安排。在每一个主题内,根据普适性或难度,习题被细分为几个类别。在一个章节内,习题依照以下次序排列:证明和基本概念,简单习题,中等难度习题,更加复杂的题目。通常,证明和基本概念部分是对《费恩曼物理学讲义》中涉及的论述的补充,需要学生理解并能够使用。对于简单习题,一般水平的学生不应有什么困难。一般水平的学生也应该能在适当的时间内完成大部分中等难度习题——每个习题大概需要 10—20 分钟。更加复杂的题目往往需要具有更深刻的物理洞察力或更开阔的思想,这部分习题主要是为优秀学生设置的。

所选习题由很多人提供并进行了严格评估。大多数习题来源于原始的费恩曼讲座系列,由莱顿(R. B. Leighton)提供;一些题目经允许复制于斯特朗(Foster Strong)编辑的扩展习题集;很多习题由沃格特(R. E. Vogt)改编自加州理工学院基础物理课程上的测试题目。对于这些有名的,以及其他无名的贡献者,本书作者表示诚挚的感谢。

作者认为目前的工作远未完成。衷心希望,在日后的课程中,本书作者或加州理工学院的其他人会更新材料,增加新的习题和解释。这样,本习题集最终也许会成为一个可供自学的工作册,其用处将超越目前此书的使用范围。

莱顿(Robert B. Leighton)

沃格特(Rochus E. Vogt)

1 原子的运动

参阅《费恩曼物理学讲义(第1卷)》第1—3章。

运用这些章节所讲述的想法,并结合你的经验,发挥你的想象力,来分析以下习题。在大部分情况下,不要奢求得到精确的数值结果。

- 1.1 如果热仅仅是分子运动,那么一个热的、静止的棒球与一个冷的、快速运动的棒球有什么区别?
- 1.2 既然一切物体的原子都处于永恒的运动中,为何可以有恒定的物体存在,例如经年历久的印章痕迹?
- 1.3 定性解释:运动的物体为什么可以产生热?怎样产生热?如果你可以,也请解释:反过程为什么不可行,即利用热产生有意义的运动?
- 1.4 化学家已经发现,橡胶是由纵横交错的长链组成的。那么,请解释:当橡胶带被拉伸时,为什么会变热?
- 1.5 一个悬挂有一定重量的橡胶带,当被加热时,将会有什么现象发生?(试着通过实验看看结果如何。)
- 1.6 你能解释为什么晶体不可能由正五边形组成吗?(正三角形、正方形以及正六边形是晶体组成的常见形式。)
- 1.7 在你面前有大量铁球——直径全部是 d , 以及一个容器——体积是 V 。在任意维度上,容器的长度都远远大于铁球的直径。

请问,把铁球放进容器里,最多可以放进多少个?

- 1.8 气体的压强 P 如何随气体中单位体积的原子数 n 以及原子的平均速率 $\langle v \rangle$ 变化? (是线性变化吗? 还是 P 的变化行为比线性关系更迅速或更缓慢?)
- 1.9 一般空气的密度大约是 0.001 g cm^{-3} , 液态空气的密度是 1.0 g cm^{-3} 。请估测:
- 1 cm^3 一般空气中的分子数 n_G ; 1 cm^3 液态空气中的分子数 n_L 。
 - 一个空气分子的质量 m 。
 - 在常温、常压的情况下 (20°C , 1 个标准大气压), 在与其他分子碰撞前, 一个空气分子所行走的平均距离 L 。这个距离被称为平均自由程。
 - 真空系统应在多少压强 P (用标准大气压表示) 下运行, 以使得分子平均自由程大概为 1 m ?
- 1.10 在 $6.0 \times 10^{-4} \text{ mmHg}$ 压强下, 通过 1.0 mm 厚度的氩原子层后, 一准直钾原子平行光束的强度降低了 3% 。计算每个氩原子的有效靶面积。
- 1.11 X 射线研究表明 NaCl 晶体是立方晶格结构。最近邻格点之间的距离是 2.820 \AA 。查阅 NaCl 的密度以及分子质量, 计算阿伏伽德罗常数 N_A 。(这是测量阿伏伽德罗常数最精确的实验方法之一。)
- 1.12 博尔特伍德 (Boltwood) 和卢瑟福 (Rutherford) 发现: 在镭及其裂变产物处于平衡时, 每克镭每秒钟可以产生 13.6×10^{10} 个氦原子。他们同样测量出在标准温度及压强 (Standard Temperature and Pressure, 简称为 STP, 指 0°C , 1 个标准大气压) 下, 192 mg 镭的裂变每天可以产生 0.0824 mm^3 的氦。利用这些数据计算:
- 在 STP 情况下, 1 cm^3 氦气中氦原子的数目 N_H 。
 - 阿伏伽德罗常数 N_A 。

- 1.13 瑞利发现,当 0.81 mg 橄榄油展开在水表面时,会形成直径 84 cm 的单层分子层。假定橄榄油的构成分子 $\text{H}(\text{CH}_2)_{18}\text{COOH}$ 大致呈线性链状排列,橄榄油的密度为 0.8 g cm^{-3} ,据此判断阿伏伽德罗常数 N_A 应是多少?

- 1.14 在 1860 年左右,麦克斯韦提出气体的黏度可以表示为,

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

其中, ρ 是气体密度, v 是分子平均速率, l 是分子平均自由程。麦克斯韦早前已经提出:

$$l = \frac{1}{\sqrt{2} \pi N_g \sigma^2},$$

其中, σ 是分子直径, N_g 是 STP 状态下 1 cm^3 气体中所含有的分子数。洛施密特于 1865 年利用实验测量值 $\eta, \rho(\text{气体}), \rho(\text{固体})$ 以及焦耳计算得到的 v 值,求得了 N_g 。

已知: $\eta = 2.0 \times 10^{-4} \text{ g cm}^{-1} \text{ s}^{-1}$, $\rho(\text{气体}) = 1.0 \times 10^{-3} \text{ g cm}^{-3}$, $\rho(\text{固体}) = 1.0 \text{ g cm}^{-3}$ 以及 $v = 500 \text{ m s}^{-1}$, 计算 N_g 。

- 1.15 一整杯水放于加利福尼亚的某个户外窗台上。
- 你认为这一杯水完全被蒸发掉需要多少时间 T ?
 - 求以此蒸发速率,每秒、每立方厘米离开杯子的水分子数 J ?
 - 以上答案与全球平均降雨量有关系吗? 如果有,请简述之。
- 1.16 午后,雷阵雨降临,一个雨滴落在一片古生代泥土之上,并留下一个印记。后来,这雨滴被一个又热又渴的地质学学生当作化石捡起。在他喝光水壶里的水,无所事事之际,想知道那滴古老的水滴中有多少水分子。运用你所知道的数据进行计算。(对你所不清楚的必要信息进行合理假设。)

2 能量守恒,静力学

参阅《费恩曼物理学讲义(第1卷)》第4章。

- 2.1 图 2-1 所示是一非等臂杠杆。利用虚功原理(Principle of Virtual Work),建立平衡状态时应满足的方程(忽略杠杆本身的重量):

$$W_1 l_1 = W_2 l_2。$$

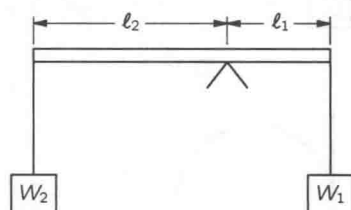


图 2-1

- 2.2 对于在离支点不同距离处悬挂多个重物的情形,推广习题 2.1 的结论。(对于支点一边的位置,距离取正值,对于支点另一边的位置,距离取负值。)

- 2.3 n 个力作用在一个物体上,物体处于静止状态。利用虚功原理证明:

- (a) $n = 1$ 的情形: 力的大小为零。(一个显而易见的例子。)
- (b) $n = 2$ 的情形: 两个力大小相等,方向相反,作用在同一直线上。
- (c) $n = 3$ 的情形: 三个力共面,且三个力的作用线交于一点。
- (d) 对于任意 n : 所有力的大小 F_i 及其与任意确定直线的夹角 Δ_i 的余弦之积的总和等于 0:

$$\sum_{i=1}^n F_i \cos \Delta_i = 0。$$

- 2.4 在无摩擦的情况下,有关静平衡的问题通过虚功原理可以简化为纯几何问题“当一点移动一确定距离时,另一点向何处移动?”运用下述三角形的性质(图 2-2),很多情况下问题变得很容易回答。

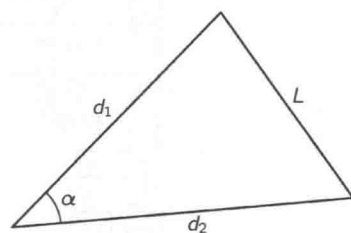


图 2-2

- (a) 当三角形的两个边长 d_1 和 d_2 保持不变,而角 α 有一小的

改变量 $\Delta\alpha$ 时,角 α 的对边 L 的变化量为:

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

(b) 如果直角三角形的三边 a, b, c (c 为斜边) 的改变量分别为 $\Delta a, \Delta b, \Delta c$, 则

$$a\Delta a + b\Delta b = c\Delta c.$$

证明之。

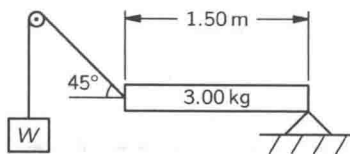


图 2-3

2.5 长度为 1.50 m、质量为 3.00 kg 的均匀平板,一端安放在支撑轴上,如图 2-3 所示。在重物和滑轮的作用下,平板平衡在水平位置。求为达到此平衡,求重物的重量 W 。忽略摩擦力。

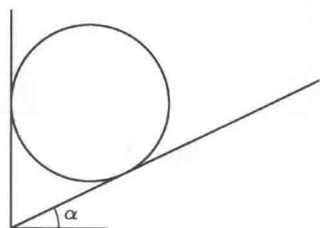


图 2-4

2.6 如图 2-4 所示,半径为 3 cm、质量为 1.00 kg 的球放在与水平方向成 α 角的平板上,同时和竖直墙壁相切。摩擦力可忽略。求球作用于墙上的力 F_w 和作用于板上的力 F_p 。

2.7 如图 2-5 所示,联结而成的平行四边形框架 $AA'BB'$ 安放在枢轴 P 和 P' 上(在竖直平面内)。A、A'、B、B'、P、P' 处的摩擦力都可以忽略。部件 $AA'CD$ 和 $B'BGH$ 是刚性的,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,由于 w_c 的作用,框架处于平衡状态。如果质量为 0.50 kg 的重物 W_1 挂在 D 点,为了达到平衡,挂在 H 点的重物 W_2 质量应为多少?

2.8 图 2-6 所示系统处于平衡状态。利用虚功原理求重物 A 和 B 的质量。忽略绳子的重量和滑轮上的摩擦。

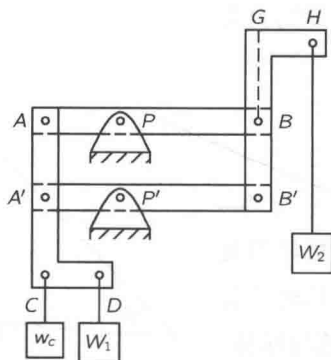


图 2-5

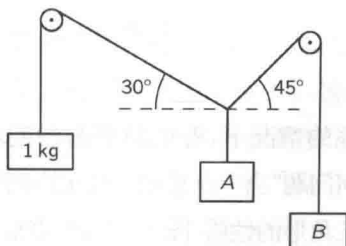


图 2-6

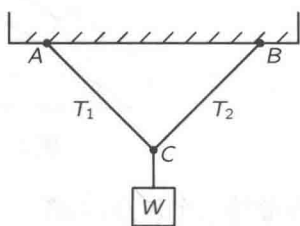


图 2-7

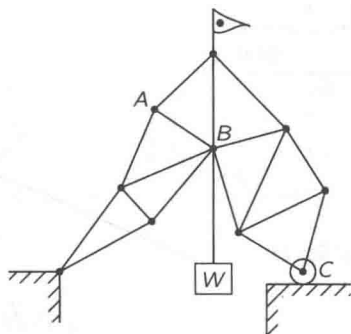


图 2-8

2.9 如图 2-7 所示,质量为 50 lb 的重物悬挂在金属丝 ACB 的中点。AC = CB = 5 ft, AB = $5\sqrt{2}$ ft。求金属丝上的张力 T_1 和 T_2 。

2.10 图 2-8 所示的桁架由轻铝杆在各端点铰接而成,在 C 点有一个可在光滑平面上滑动的滑轮。当一个工人加热部件 AB 时,观察到长度增加了 x ,并且负载 W 在竖直方向上移动了 y 。

(a) W 的运动是向上还是向下?

(b) 求作用在部件 AB 上的力 F 。此力是张力还是压力?

2.11 如图 2-9 所示,为把重 W 、半径为 R 的轮子推上高度为 h 的障碍物,需要多大的水平力 F (作用在轮轴上)?

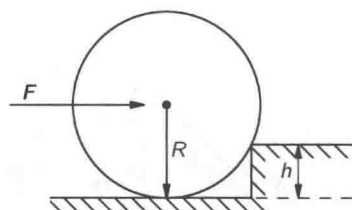


图 2-9

2.12 如图 2-10 所示,直径为 D 的水平转台安装在摩擦可忽略不计的轴承上。在转台平面内,两大小相等、相互平行、方向相反的水平力作用在转台直径相对两端。

(a) 求作用在轴承上的力 F_B 。

(b) 对于过 O 点的竖直轴,力矩 τ_P 是多少?

(c) 对于过平面内任意一点 P 的竖直轴,力矩 τ_P 是多少?

(d) 下面的命题正确还是错误? 请解释。

“作用在同一物体上的任意两个力可以合成一个单一的合力,对于物体其和原来的两个力有一样的效果。”

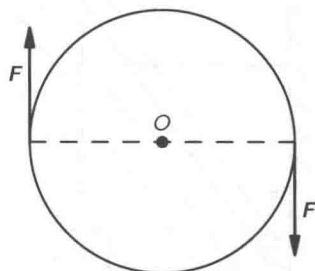
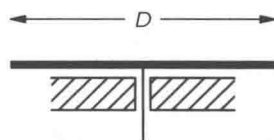


图 2-10

2.13 浮在水银上的钢质平板受到三个力的作用,力作用点位于边

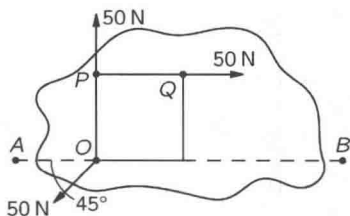


图 2-11

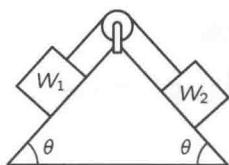


图 2-12

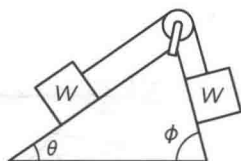


图 2-13

长为 0.100 m 的正方形的三个顶点,如图 2-11 所示。为了保持平板平衡,求第四个力 F (单一的一个力)。给出大小、方向以及沿直线 AB 的作用点。

- 2.14 在没有摩擦的情况下,图 2-12 所示的重物 W_1 和 W_2 由静止开始,运动了距离 D 后,速度 v 是多少?
- 2.15 在图 2-13 中,两物体重量相等,摩擦可忽略。如果系统由静止释放,在移动距离 D 之后,物体的速率 v 是多少?

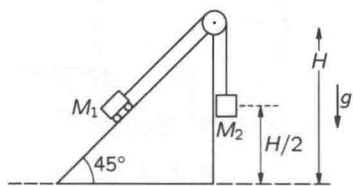


图 2-14

- 2.16 物体 M_1 在高为 H 、倾斜角为 45° 的斜面上滑动。一根柔软的绳子跨过一个小滑轮(质量不计)把 M_1 和同样质量的 M_2 相连。 M_2 被垂直悬挂,如图 2-14 所示。绳子的长度恰好能使两物体都静止在 $H/2$ 的高度。与 H 相比,两物体和滑轮的尺寸可以忽略。在 $t=0$ 时刻,两物体被释放。

- (a) 对 $t > 0$, 计算物体 M_2 的垂直加速度 a 。
- (b) 哪个物体向下运动?
- (c) 求(b)中物体落地时的时间 t_1 。
- (d) 当(b)中的物体落地停止运动后,另一物体继续运动,它将碰到滑轮吗?

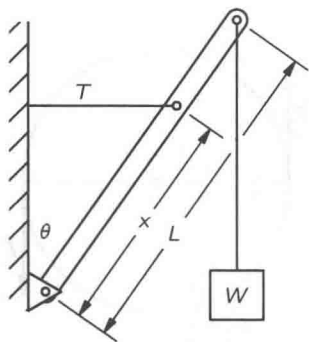


图 2-15

- 2.17 如图 2-15 所示,起重机由长度为 L 的均匀吊杆和重物 w 组成,吊杆的下端安装在轴承上。在水平绳子的作用下(绳子系在吊杆上离轴承距离为 x 的一点),吊杆与竖直方向成 θ 角。重物 W 悬吊于吊杆顶端的绳子上。求水平绳子上的张力 T 。