

TONGXIANG DAXUE ZHILU

通向大学之路丛书

9114

高中物理解析

上海交通大学附中物理教研组 编

第三版

PHYSICS

上海交通大学出版社



通向大学之路丛书(第三版)

高中物理解析

交大附中物理教研组 编

上海交通大学出版社

内 容 提 要

本书内容包括力学、热学、电学、光学和原子物理学,共 17 章。每章简述有关的基础知识,精析几个重点、难点问题,并通过大量有启发性的例题和习题帮助学生提高分析问题和解演习题的能力。书中每章末都提供一套门类齐全的练习题,书末附有两套综合练习,以供学生会考复习和高考复习使用。

本书可供高中学生特别是高三学生复习用,也适宜自学者使用,是进理工科大学的预备读物。

高中物理解析 (第三版)

上海交通大学出版社出版发行

上海市番禺路 877 号 邮政编码 200030

电话 64281208 传真 64683798

全国新华书店经销

上海交通大学印刷厂·印刷

开本:850×1168(mm)1/32 印张:11 字数:284 千字

版次:1999 年 1 月 第 3 版

印次:1999 年 1 月 第 9 次 印数:124001—134000

ISBN 7-313-01265-9/G·116

定价:15.00 元

本书任何部分文字及图片,如未获得本社书面同意,
不得用任何方式抄袭、节录或翻印。

(本书如有缺页、破损或装订错误,请寄回本社更换。)

第三版 前 言

80年代末,我们编撰了《通向大学之路》丛书,深受读者欢迎,成为许多高中学生的主要辅助读物。

近年来,教学改革有很大进展,各地区普遍实行会考制度,各种新版教材陆续开始使用。在此情况下,我们应该向高中学生提供一套能适用于会考复习和高考复习的参考资料。为此,我们在大幅度改写的基础上,编写了第三版《通向大学之路》丛书。

新编的第三版《通向大学之路》仍由上海交通大学附属中学高年资有丰富教学经验的教师编写。丛书凝聚了30多年来交大附中教学经验之精粹。它包括语文、数学、英语、物理、化学等五种。新编的丛书保留了第一版、第二版丛书的优点,着重论述基础知识,突出剖析重点和难点,力求提高学生分析问题和解决问题的能力,并紧扣考试要求,既重视基本概念的复习,帮助读者取得会考的好成绩,又针对高考特点选编大量有难度的例题和练习题。丛书由浅入深,难易适度,可以指导和帮助同学们更好地学习,达到事半功倍的目的。

我们热忱希望,第三版《通向大学之路》带领同学们顺利地在通向大学之路上迈进。

本书共分十七章。每章分为基础知识、重点和难点、例题、练习题四大部分。每章末都附有一套门类齐全的练习题,以供学生复习、巩固已学的知识。最后还选编了两套供高考前复习用的综合练习题,供学生系统复习后,模拟考试自测水平。

本书的基础知识部分,只按考试大纲列出简要内容,不作详细叙述。学生应利用教科书认真复习。每章都有一些容易搞错或必

须进一步领会的问题。本书在重点和难点部分剖析了这些问题。本书例题具有一定的典型性,通过分析、解演和说明,阐明了一般的解题思考方法。例题和练习题都紧扣大纲,且启发性强、覆盖面广。各种练习题都附有答案,可供读者参考。

本书由交大附中物理教研室张林、胡希安、朱润生、王铁桦、龚进、徐捷、王晓敏、成瑾、朱长兴等老师编写。

我们热忱希望,《通向大学之路》第三版能指引同学们通向大学之路。

目 录

第一章 力、物体的平衡	1
第二章 直线运动	28
第三章 运动和力	46
第四章 物体的相互作用、动量	63
第五章 曲线运动、万有引力定律	83
第六章 能和功	101
第七章 机械振动和机械波	127
第八章 分子动理论、热和功	144
第九章 气体、固体和液体的性质	152
第十章 电场	175
第十一章 稳恒电流	199
第十二章 磁场	223
第十三章 电磁感应	238
第十四章 交流电、电磁振荡和电磁波	257
第十五章 光的反射和折射	271
第十六章 光的波动性和光的粒子性	290
第十七章 原子物理的初步知识	306
综合测试题(一)	316
综合测试题(二)	326
答案	336

第一章 力、物体的平衡

一、概念公式

1. 力的概念

力是物体对物体的作用,矢量。单位:牛顿(简称牛)。

(1) 力是物体发生形变和改变运动状态的原因。

(2) 力的三要素:力的大小、方向和作用点。力的三要素影响力的作用效果。

(3) 力的图示法:以带箭头的有向线段在纸面上表示力的大小、方向和作用点的方法。

(4) 力的分解、合成运算:运用平行四边形法(或三角形法)等矢量运算法则。

2. 重力、弹力、摩擦力

(1) 重力:由于地球的吸引而使物体受到的力。方向竖直向下,作用点是物体重心。

(2) 弹力:发生形变的物体,由于要恢复原状,对使它发生形变的接触物产生的一种作用力。弹力的方向与形变的方向相反,即垂直于接触面而指向恢复原状的方向。压力、支持力、拉力都是弹力。例如,绳子的拉力总是沿着绳子而指向绳收缩的方向。

(3) 摩擦力:两个相互挤压的物体,当它们有相对运动或相对运动趋势时,接触面之间产生一种阻碍物体相对运动的力。摩擦力的方向总是与接触面相切,并且与物体的相对运动或相对运动趋势相反。摩擦力分为:

① 滑动摩擦力:物体之间有相对滑动时的摩擦力。滑动摩擦力 $f_{\text{动}} = \mu N$, μ 为动摩擦系数; N 为物体间正压力;

② 静摩擦力:物体之间无相对滑动、只有相对运动趋势时的摩擦力。在不超过最大静摩擦力值 f_m 的限度内,静摩擦力随外力的变化而变化,即 $0 \leq f_{\text{静}} \leq f_m$ 。推动物体的最小外力即静摩擦力最大值 $f_m = \mu_0 N$, μ_0 为静摩擦系数; N 为物体间正压力。

3. 胡克定律

(1) 公式: $F = kX$ 。

(2) 运用范围:弹性形变。

(3) x 为弹簧形变伸长(或缩短)的长度,注意:不是伸长或缩短后弹簧的总长,单位:米; k 为弹簧倔强系数,单位:牛/米。

4. 牛顿第三定律

牛顿第三定律:两个物体间的作用力和反作用力总是大小相等,方向相反,作用在一条直线上。作用力和反作用力分别作用在两个物体上。

5. 力矩

力矩: $M = FL$, 单位:牛·米。

(1) 力臂 L 为转动轴或支点到力作用线的垂直距离。

(2) 力矩的正负性:在力矩运算时,注意不同方向力矩的正负性。在一题内,若规定使物体顺时针方向转动的力矩为正向,则逆时针方向转动的力矩就为负向。

6. 物体的平衡

(1) 物体的平衡状态和条件:

1) 物体的平衡状态:物体静止、匀速直线运动状态或有固定转动轴物体的匀速转动状态。

2) 物体的平衡条件:物体所受的合力为零、合力矩为零;

(2) 共点力平衡的条件:合力为零 ($\sum F_x = 0, \sum F_y = 0$)。

(3) 有固定转动轴物体平衡的条件:合力矩为零 ($\sum M = 0$)。

二、要点

1. 物体的受力分析

物体正确的受力分析是各种力学题求解的基础,而静力学的分析常常需判断物体是否平衡。

(1) 物体的平衡。高中物理讨论两类平衡:

1) 共点力作用的平衡;

2) 力矩的平衡。

当本身大小不关紧要的物体处于静止或匀速直线运动状态(或在某一方向上位移为零或匀速直线运动状态)时,表明物体是共点力平衡(或该方向上是力平衡)的。

受非共点力的物体处于静止或绕固定轴作匀速转动,表明物体是力矩平衡和合力平衡的。

(2) 平衡力和作用力、反作用力。勿将一个物体上的平衡力和作用力、反作用力混淆起来。此时应注意:

1) 平衡力是作用于同一物体上的,即作用的对象相同;平衡力是个数为两个或两个以上,作用彼此可以相互平衡的力;力的性质未必相同;几个平衡力之间也不存在同生同灭关系,即平衡力之中有的可以自行消失,使平衡破坏。

2) 作用力、反作用力是分别作用于不同对象(即分别作用于施力物和受力物)上的,所以彼此不能互相平衡;作用力、反作用力总是成对出现、性质相同、作用时间相同(同生同灭),不可能存此去彼的。

(3) 物体受力情况分析:解题中,总是将所求物理量有关的物体作为研究对象,即受力物体,然后一一分析其所受的力,再以物体的运动状态确定各作用力之间的关系。通常物体的力分析,总不外乎考虑重力、支持力、摩擦力等作用。

1) 弹力作支持力的分析:弹力存在于两个接触并产生形变的物体之间。

弹力是否存在的判断:

(A) 当研究对象——受力体与几个物体接触,要判断哪个是弹性支持力来源时,可在想象中把这几个接触物先后逐一撤去:当撤去某接触物而不会影响研究对象的现有平衡时,说明现有的弹性支持力必不是该接触物产生的,反之则是。

(B) 在存在摩擦力的接触面之间,必有弹力。

弹力方向判断:

(A) 弹力总是垂直于接触面,绳子拉力总是指向绳子自身。对接触面是曲面的,弹力垂直于接触点的切面方向。

(B) 硬质细杆(棒)产生的弹力不一定是沿着杆轴方向的。只有两个受力点的平衡细杆,其弹力才是沿着杆向的,如有三个或三个以上的受力点的杆棒,其弹力就未必沿杆向了。

2) 摩擦力的分析:摩擦力产生的三个必要条件:

(A) 在两个相互接触且有挤压变形的物体之间产生;

(B) 在两个有相对运动或相对运动趋势的物体之间产生;

(C) 在两个“不光滑”的接触表面之间产生。

摩擦力总是与接触面相切、与相对运动方向相反。注意物体的运动方向与相对运动方向未必相同。如在一圆盘边沿上跟着一一起旋转的木块,其运动方向是圆周运动的切线方向,而相对于圆盘的运动趋势却是圆盘径向离心方向,所以作为向心力的静摩擦力是指向圆盘中心的。

静摩擦力与滑动摩擦力的区别:在最大静摩擦力的限度之内,静摩擦力是随主动力的变化而变化的。只有静摩擦力的最大值 f_m 才有 $f_m = \mu_0 N$ 的关系。 μ_0 是静摩擦系数,一般练习中对静摩擦系数和滑动摩擦系数 μ 往往是不加区别的。在主动力超过移动物体的最小力时,物体产生相对位移,静摩擦力就转化为滑动摩擦力了。

对机械运动来说,摩擦既有阻碍运动、耗散能量的一面,又有充当动力,传输能量的一面。“摩擦生热”,滑动摩擦必然伴随着机

机械能的耗散;摩擦传动,又能把机械能传递给所需要的物体。人在步行时,地面对脚底的静摩擦力对人就是前进的动力。匀速前进的传送带与放于其上的物品之间的滑动或静摩擦力,对物品就是前进动力,对传送带就是阻力和损耗。

2. 物体受力图

绘制物体受力图,既可对物体受力状况作分析示意,亦可在图上对所求物理量作定量求解。

(1) 力的图示和作图法求解。根据矢量图示法则,以有向线段表示力的大小、方向和作用点。在以作图法求解物理量时,每个力的大小都应根据标度准确画出。标度则应依据已知力的有效数位数和所用的刻度尺精度来确定。所得的结果也需按标度来测定数量。例:已知 A 物重 1.80 牛,以毫米刻度尺作图,选 1.00 厘米作为 1.00 牛的标度,则 A 物的重力 G 如图 1-1 所示。

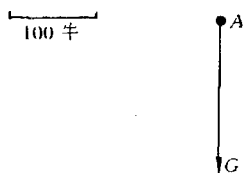


图 1-1

(2) 受力示意图。以解析法来解力学题,仅需作示意图来表示物体受力状况。示意图不需按标度精确作图,仅需在物体各受力点上画出各力的适当取向,和大致合理的长度,标上受力的符号(如重力 mg 、弹力 N 、外力 F 等)。

研究共点力平衡时,物体可当作一个质点,受到的各力作用线交于一点。力作用点可沿作用线移动,也可平移;而在研究有固定转动轴物体的平衡时,作用点可沿力的作用线移动,但不允许平移,因为平移就意味着改变该力的力矩大小了。

画物体受力图时,一定要将所受的各力一一分析清,不要遗漏,也不要急于将某力的分力画上,致使将某力及其分力一起都作为该物的受力来计算了。例如,不要将斜面上物体的重力和分解出的下滑力都作为物体的受力(见图 1-2),以致重复。

3. 力的正交分解法和平衡力三角形法

(1) 正交分解法:多个共点力的分解、合成通常都采用正交分解法。其方法和步骤如下:

1) 先在该题的具体情况下,选定两个正交的方向—— x 轴和 y 轴的方向。为方便起见,通常将物体的运动方向(例斜面方向)或物体的某一个力的方向(例斜面的弹力)选作 x 或 y 轴。

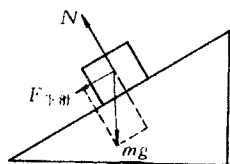


图 1-2

2) 将物体所受的各力都按选定的方向全部分别分解为正交的两个方向的分量,如图 1-3(a)所示。

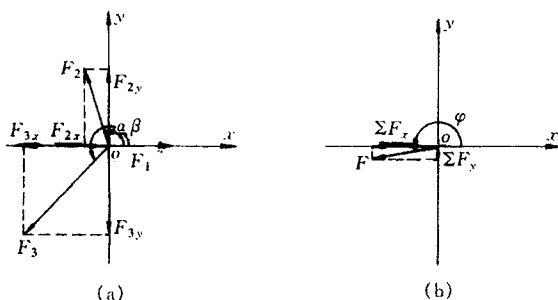


图 1-3

3) 然后将各力的 x 轴分量和 y 轴分量分别求代数和:

$$\Sigma F_x = F_1 - F_{2x} - F_{3x} = F_1 + F_2 \cos \alpha + F_3 \cos \beta.$$

$$\Sigma F_y = f_{2y} - F_{3y} = F_2 \sin \alpha + F_3 \sin \beta.$$

(2) 最后将两个轴向的分力和 ΣF_x 与 ΣF_y 合成为合力 F (见图 1-3(b)):

$$F = \sqrt{(\Sigma F_x)^2 + (\Sigma F_y)^2},$$

$$\varphi = \arctan \left(\frac{\Sigma F_y}{\Sigma F_x} \right).$$

(3) 平衡力三角形法:若有处于平衡中的三个共点力,则代表

该三个力的有向线段必可组成一个首尾相接的封闭三角形,这就是三个共点力平衡的三角形法。如图 1-4 (a) 中的三个平衡共点力 mg 、 T 、 N , 必可组成图 1-4 (b) 中的封闭三角形。该三角形各边长的关系应符合三角形的正弦定理,而各边长之比又相当于各平衡力大小之比,因而有

$$\frac{mg}{\sin(\alpha + \beta)} = \frac{N}{\sin\alpha} = \frac{T}{\sin\beta}.$$

注意:平衡力三角形各边必须与原受力图上各力相应平行(见图 1-4(a)、(b))。请勿误认为力三角形只要与原体系的几何图形相似就一定对。例图 1-5(a) 的平衡力三角形就不应是(b)图而只能是(c)图。

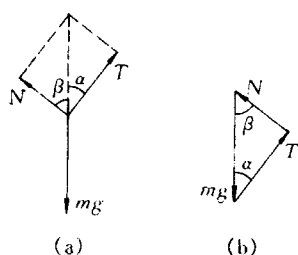


图 1-4

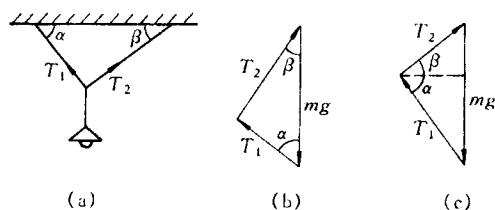


图 1-5

三、例题解析

例 1-1 如图 1-6 中细杆 AB (不计重量), A 端与墙以铰链相接, 杆可在竖直平面内无摩擦转动; B 端连一细绳 BC , BC 水平地固定在墙上, 杆 B 端向下又自由悬挂一重物, 其重量为 mg , 求细绳 BC 拉力和杆 AB

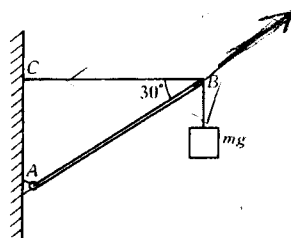


图 1-6

弹力。

分析 取绳上 B 点作研究对象。 B 点受到的力有三个(见图 1-7):重物的重力 mg 竖直向下, BC 绳拉力沿水平向左, 及有两个受力点的 AB 杆沿杆向外的弹力 N 。

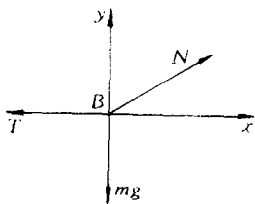


图 1-7

解法一 正交分解法:

按图 1-7 可见
$$\begin{cases} mg = N \sin 30^\circ \\ T = N \cos 30^\circ, \end{cases}$$

解得
$$\begin{cases} N = 2mg & \text{方向右偏上 } 30^\circ \\ T = \sqrt{3}mg & \text{方向水平向左。} \end{cases}$$

解法二 平衡力三角形法:

对 B 点三力共点平衡, 所以 T 、 N 、 mg 三力组成封闭三角形

(见图 1-8), 所以
$$\begin{cases} N = \frac{mg}{\sin 30^\circ} = 2mg \\ T = \frac{mg}{\tan 30^\circ} = \sqrt{3}mg. \end{cases}$$

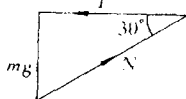


图 1-8

例 1-2 图 1-9 所示各静止光滑球重量均为 mg , 画出球的受力示意图并求各力大小。

- (1) 如图 1-9(a)所示, 球悬于竖直线下端, 并与斜面接触。
- (2) 如图 1-9(b)所示, 球在光滑斜面上, 受沿斜面方向细绳拉力静止于斜面上。
- (3) 如图 1-9(c)所示, 球质不均匀(重心不在 O 处), 球在光滑竖墙和光滑墙角 A 点之间静止。

分析 本题三种情况均属共点力平衡问题。

解 (1) 图 1-9(a)中球只受重力和绳子拉力。倘将斜面撤去, 显然球仍然平衡。若假设斜面弹力存在, 则细绳将无法成竖直悬垂。故而垂直悬垂的球只能是拉力、重力二力平衡, 所以

$$mg = T \quad (\text{见图 1-10(a)}).$$

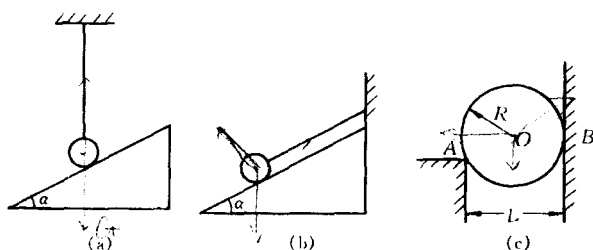


图 1-9

(2) 图 1-9(b)中,球受三个力:重力 mg , 斜面弹力 N 和细绳拉力 T 。所以 $\begin{cases} N = mg \cos \alpha \\ T = mg \sin \alpha \end{cases}$ (见图 1-10(b))。

(3) 图 1-9(c)中, 因为 A 、 B 对球均无摩擦, A 、 B 的弹力分别垂直于接触面, 即均过球心 O ; 根据三力平衡原理, 该三力必然交于一点, 可见球所受第三个力重力作用线必然经过 O 点 (见图 1-10(c))。

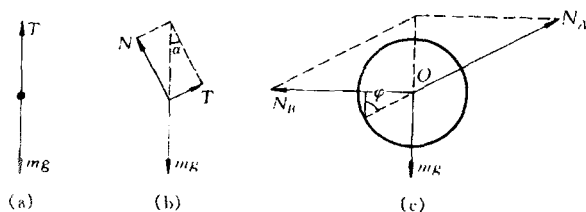


图 1-10

$$\frac{L-R}{R} = \sin \varphi, \quad \cos \varphi = \frac{\sqrt{R^2 - (L-R)^2}}{R} = \frac{\sqrt{2RL - L^2}}{R},$$

$$\begin{cases} N_A = \frac{mg}{\cos \varphi} = \frac{mgR}{\sqrt{2RL - L^2}} = \frac{mgR \sqrt{2RL - L^2}}{L(2R - L)} & \text{斜向右上, 与竖直线成 } \varphi \text{ 角} \\ N_B = N_A \sin \varphi = \frac{(L-R)\sqrt{2RL - L^2}}{(2R - L)L} mg & \text{水平向左} \end{cases}$$

例 1-3 如图 1-11 所示,圆球重 8 牛,直角三角形木块底角 37° ,地面粗糙,其他接触面摩擦不计。已知要使球和木块都静止,至少要对木块施以水平推力 $F=4$ 牛,如果木块所受水平推力 F 增大到 5 牛或 7 牛,则木块所受静摩擦力将变为多大?

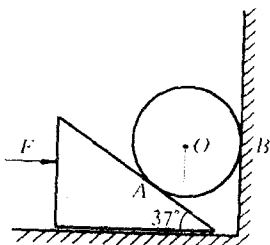


图 1-11

分析 本题为两物相互作用的平衡问题。因求解的静摩擦力是水平方向的,故而解题过程应围绕水平方向力的平衡来进行考察。

解 第一步:为求壁面对球的水平方向弹力而考察球体。

对球,要使之平衡,应有图 1-12 所示的三力平衡。

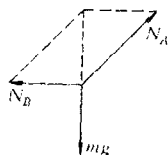


图 1-12

由图 1-12 可见, $N_B = \frac{3}{4} mg = 6$ 牛,墙面对球弹力 N_B 水平向左。

第二步:以木块和球整体为对象。因总体是平衡的,显然,其水平、竖直方向都应力平衡。但因本题的兴趣所在仅在水平方向,故对竖直方向的力可不必涉及。

对球、木块总体的水平方向,只受三个力:墙面弹力 N_B ,外力推力 F 和地面对木块摩擦力 f 。由于墙面向左弹力 $N_B = 6$ 牛,大于向右推力 $F = 4$ 牛。可见,此时地面对木块摩擦力必是向右 $f = N_B - F = 2$ 牛,且此时所用推力是最小的,摩擦力应是最大静摩擦力,即 $f = f_m = 2$ 牛。

考虑到小于最大值的限度下,静摩擦力随主动力变化而变化,即外力 F 变为 F' 时 $f' = N_B - F' = 6 - 5 = 1$ (牛),水平向右,当外力 F 变为 F'' 时 $f'' = F'' - N_B = 7 - 6 = 1$ (牛),方向变为水平向左(见图 1-13)。

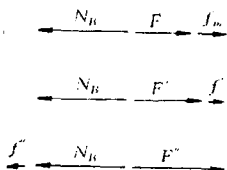


图 1-13

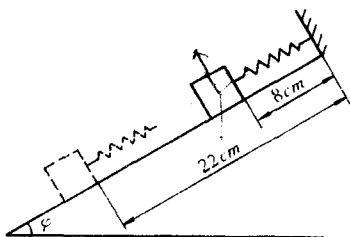


图 1-14

例 1-4 如图 1-14 所示,有一物连一弹簧,弹簧的倔强系数为 $K = 100$ 牛/厘米。物体可静止在斜面上的两个极端位置分别离墙 8 厘米和 22 厘米,求物体在斜面上的最大静摩擦力。

分析 物体所受的静摩擦力沿斜面方向,故本题只需考察物体在斜面方向的平衡即可。

解 设弹簧原来长度处为 0, 则物在右侧平衡点处弹簧压缩量为 Δl_1 , 物在左侧平衡点弹簧伸长量为 Δl_2 。由图 1-15 可见, $\Delta l_1 + \Delta l_2 = 22 - 8 = 14$ (厘米)。对物在左、右两侧平衡

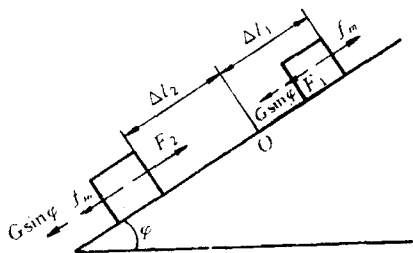


图 1-15

时,物在斜面方向所受力分别是三个:弹力 F_1 (F_2), 下滑力 $G \sin \varphi$ 和最大静摩擦力 f_m 。由图 1-15 可见,物在右、左两侧时力的平衡

$$\begin{cases} f_{m1} = F_1 + G \sin \varphi \\ F_2 = f_{m2} + G \sin \varphi, \end{cases}$$

因为在两处的静摩擦力均是最大值,所以 $f_{m1} = f_{m2} = f_m$, 联立两式得 $2f_m = F_1 + F_2 = K(\Delta l_1 + \Delta l_2)$,

$$f_m = \frac{K}{2}(\Delta l_1 + \Delta l_2) = 700(\text{牛}).$$

例 1-5 如图 1-16 电灯用 OA 和 OB 两绳分别系于侧墙与