

通向大学之路丛书
(第二版)

高中物理解析

王通钦 王祖善 编



上海交通大学出版社

•通向大学之路丛书(第二版)

高中物理解析

王祖善 王通钦 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。练习题分A、B两部分,可供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,是理工科大学的预备读物。

(沪)新登字 205 号

高中物理解析
通向大学之路丛书(第二版)

出版: 上海交通大学出版社
(上海市华山路1954号·200080)

字数: 380000

发行: 新华书店上海发行所

版次: 1994年1月 第2版

印刷: 常熟市文化印刷厂

印次: 1994年1月 第1次

开本: 850×1168(毫米) 1/32

印数: 1—10000

印张: 14.75

科目: 306-256

ISBN 7-313-01265-9/G·633·7

定价: 9.50 元

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。考试大纲经几度修改已基本稳定。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,我们编写了第二版《通向大学之路》丛书。

新编的《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萃。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典型的例题和练习题。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。

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。练习题分A、B两套,A套供会考前复习用,B套供高考前复习用。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。

本书在上海交通大学出版社支持下顺利出版。本书1~9章由高级教师王通钦执笔,10~17章由特级教师王祖善执笔。

我们热忱希望,《通向大学之路》第二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	32
第三章 运动和力	59
第四章 物体的相互作用	84
第五章 曲线运动和万有引力	110
第六章 机械能	130
第七章 振动和波	159
第八章 分子运动论 热和功	181
第九章 固体、液体、气体性质	193
第十章 电场	223
第十一章 稳恒电流	252
第十二章 磁场	285
第十三章 电磁感应	315
第十四章 交流电、电磁振荡和电子技术	347
第十五章 光的反射和折射	368
第十六章 光的波动性和光的粒子性	393
第十七章 原子结构和原子核	410
综合练习题(一)	423
综合练习题(二)	433
答案	442

第一章 力、物体的平衡

一、基础知识

1. 力的概念

(1) 力是物体对物体的作用,单位:牛顿。

(2) 力的三要素:大小、方向、作用点。

(3) 力的图示法:用一根带箭头的线表示力的方向和作用点。

2. 重力、弹力、摩擦力

(1) 重力是由于地球的吸引而使物体受到的力,方向竖直向下,作用点为物体的重心。

(2) 发生形变的物体,由于要恢复原状,对跟它接触的物体作用的力叫弹力。桌面对物体的支持力是一种弹力,它的方向垂直于支持面,指向被支持物。绳子拉力也是一种弹力,它的方向总是沿绳子的。

(3) 两个相互接触的物体,表面凹凸不平,当它们有相对运动或有相对运动趋势时,接触面之间产生一种阻碍运动的力,这种力叫做摩擦力。1) 滑动摩擦力 $f = \mu N$, μ 为摩擦系数, N 为正压力;2) 静摩擦力的大小由平衡条件确定,方向与运动趋势相反。

3. 胡克定律

(1) 公式: $f = kx$ 。

(2) 适用条件:弹性限度以内。

(3) k 是弹簧的倔强系数,单位:牛/米; x 是伸长(或缩短)的长度,不是伸长或缩短后的长度。

4. 牛顿第三定律

牛顿第三定律:两个物体之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。

(1) 作用力和反作用力必须与平衡力区别开来。前者作用于

两个物体,是同种性质的力;后者作用于同一物体,不一定是同种性质的力。

(2) 施力物体同时也是受力物体,力总是成对出现的。

5. 力矩

$M = FL$, 单位: 牛顿·米。

(1) 力臂 L 是转动轴或支点到力的作用线的距离。

(2) 力矩有方向性。若规定使物体逆时针转动的力矩为正,则使物体顺时针转动的力矩应为负。

6. 物体平衡的条件

(1) 静止及作匀速直线运动、匀速转动的物体都是平衡物体。平衡物体所受合力为零,合力矩为零。

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

(3) 有固定转动轴的物体的平衡条件: 合力矩为零 ($\Sigma M = 0$)。

二、重点与难点

1. 首先要知道什么叫做平衡。高中物理所讨论的平衡有两类: (1) 共点力作用下物体的平衡; (2) 有固定转动轴的物体的平衡。平衡力所指的平衡是共点力平衡。大小相等,方向相反,作用于同一质点的力叫做平衡力。

常有人把作用力和反作用力误认为是一对平衡力,有这种错误认识的同学应注意以下两点:

(1) 作用力和反作用力作用在两个物体上,前者的施力物是后者的受力物;一对平衡力必作用在同一物体上,是共点力。

(2) 如果两个力互为作用力和反作用力,这两个力的性质必相同;如果两个力互为平衡力,这两个力产生的效果互相抵销。

2. 物体的受力情况分析

分析物体的受力情况,应先确定受力物体,然后分析有哪些施力物体。在本章,先着重学会分析物体所受的弹力和摩擦力。

(1) 怎样确定接触物体间有无弹力?

弹力产生于接触物体之间,但相互接触的物体之间不一定有

弹力,只有在物体形变时,才会有弹力。一般来说,绳索有无形变比较容易判断,“支持面”的形变有时较难觉察。判断“支持面”与受力物之间有无弹力,可采用以下三种思考方法:

1) 悄悄撤除被接触物体,受力物仍能平衡,说明被接触物体并不起“支持”作用。接触物体间无弹力作用。反之,可能有弹力。

2) 设想在接触面之间有松软填充物。填充物会形变,说明接触物体之间有挤压作用,有弹力。反之,无弹力。

3) 有摩擦力的接触物体之间,必有弹力。

(2) 怎样确定弹力的方向?

前面已经说过,压力总是垂直于支持面,拉力总是沿着绳子的。除此以外,判断弹力方向应注意以下两点:

1) 如果支持面是曲面,应过接触点做曲面的切面。压力总是垂直于这个切面。也就是说,弹力总是法向的。

2) 硬棒形变时产生的弹力不一定沿硬棒的轴线方向。只发生拉伸或压缩形变的硬棒,产生的弹力才是沿棒的轴线方向的。如果硬棒上有三个或三个以上受力点,硬棒就不一定只发生拉伸或压缩形变,硬棒产生的弹力不一定沿棒的轴线方向。

(3) 怎样分析摩擦力?

摩擦力产生于相互接触的物体之间。在分析物体的受力情况时,应逐个考察与分析对象(受力物)接触的物体,判断有无摩擦力。通常根据以下几点判断:

1) 物体间有无压力。如果没有压力,一定没有摩擦力。

2) 物体间有无相对运动或相对运动趋势。

3) 根据物体的平衡或运动状态判断。

怎样计算摩擦力的大小?

滑动摩擦力公式 $f = \mu N$ 表明,滑动摩擦力大小与接触面粗糙程度有关,与物体间压力有关,而与接触面积大小无关。

静摩擦力往往根据物体的平衡条件或运动状态计算,而不能用公式 $f = \mu N$ 计算。应该注意到,在粗糙程度不变的情况下,最大静摩擦力与正压力成正比。

怎样判断摩擦力的方向？

滑动摩擦力的方向与物体间相对运动的方向相反。甲乙两物体相互摩擦，若要判断甲物体所受摩擦力的方向就应以乙物体为参照物观察甲物体的运动方向。甲物体所受的摩擦力与此方向相反。

静摩擦力的方向与物体间相对运动的趋势方向相反。怎样判断“趋势”？可以假设接触面绝对光滑，观察物体将如何运动。这个运动方向就是运动“趋势”的方向。例如：匀速转动的电唱机盘上放一个刷子。刷子随盘作匀速圆周运动时，受到向着圆心的静摩擦力。为什么刷子的运动趋势是背离圆心的呢？假设刷子和圆盘接触面绝对光滑，刷子将飞出。若以电唱机轴为参照物，可认为刷子沿切线方向飞出。若以转盘为参照物，应认为刷子背离圆心运动。背离圆心的运动就是刷子的运动趋势。

摩擦力作用于物体会产生什么效果？

摩擦力作用于物体可耗散能量，也可传递能量。摩擦生热，耗散机械能。摩擦传动，把机械能从一个物体传递给另一物体。人在地上行走时，地面对脚底的静摩擦力是人得以前进的动力。汽车的动力轮转动时，地面对车轮的静摩擦力是汽车得以前进的动力。传送带匀速运行，当货物刚放到传送带上时，货物速度小于传送带速度，两者有相对运动，货物受到滑动摩擦力。这个滑动摩擦力是货物由静止变为运动的动力。因此，滑动摩擦力和静摩擦力都有可能成为物体的动力。在利用摩擦传递能量时，对于输出机械能的物体来说，摩擦力是阻碍力，而对于输入机械能的物体来说，摩擦力是动力。

3. 受力图的绘制

正确分析物体所受的力，才能画出正确的受力图。此外，作图时还应注意以下几点：

(1) 首先要学会力的图示法。根据矢量图示法则，可以用有向线段表示力的大小方向和作用点。

用作图法解题。物体所受的各个力都应根据标度准确地画

出。标度应根据力的有效数位数和使用的刻度尺精度选定。例如：机车对列车水平向右的牵引力 $F = 1.50 \times 10^5$ 牛。用毫米刻度尺作图，可选定 1 厘米长的线段表示 1.00×10^5 牛。力 F 的图示应如图 1-1 所示。

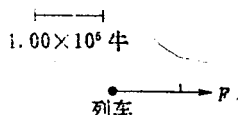


图 1-1

用计算法解题。受力图可画成示意图。画受力示意图可不定标度，但力的方向应基本正确，力符号 (mg、 F 或 N) 和受力物体应注明。

(2) 受力图上所画的力都是按力的性质命名的，如重力、弹力、电场力等。施力物、受力物相同，性质也相同的力应归并为一个力。如果所画的受力图明显与物体的运动状态不符，就说明受力图中有多余的力或漏画错画的力。应逐个检查各力的来历和物体间的作用情况。

(3) 研究共点力平衡条件时，要画出质点的受力图。物体所受的各个力都当作作用在同一点上，不考虑力的转动作用。为了使得各个力的作用点都移到同一点上，各力可以沿着力的作用线移动力的作用点，也可以平移。

(4) 研究有固定转动轴的物体平衡条件时，要画出物体的受力图。轴对物体的作用力可以不画，因为这些力没有转动作用。可以沿着力的作用线移动力的作用点，但不可以平移任何一个力，也不可以任意改变力的方向。否则力的转动作用就改变了。

(5) 不要急于分解物体所受的力。有的同学，受力图上的力还没有画全，就急于把某个力分解掉。例如，把静止在斜面上的物体的受力图画成图 1-2 那样，并错误地认为物体除受重力外，还受到下滑力 F_1 和压力 F_2 。

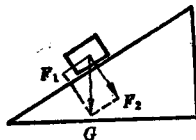


图 1-2

应该明确：一个力可以分解为几个分力。合力作用在物体跟几个分力共同作用在物体上效果相同。力的合成与分解是力的运算法则。我们应该先把物体的受力情况完整无缺地反映出来，即把受力图画全，然后进行运算。

4. 关于力矩的方向

力矩是矢量。高中物理只研究有固定转动轴的物体的平衡。有固定转动轴的物体只能在垂直于轴线的平面内转动，其转动方向用逆时针方向或顺时针方向来说明就可以了。应该注意到，正面观察者看到物体逆时针方向转动则在反面观察的人将看到物体是顺时针方向转动的。

为了正确地判断力矩的方向，解题时可将笔或其他物体当作转动物体作模拟实验，从而判断力的转动作用的方向。

5. 正交分解法

多个共点力合成的简易方法是正交分解法。正交分解法广泛运用于共点力运算，其方法和步骤如下：

先把每个力沿正交的两个方向(x 轴和 y 轴)分解成两个分力，如图 1-3(a) 所示， F_1 分解为 F_{1x} 和 F_{1y} ， F_2 分解为 F_{2x} 和 F_{2y} ， F_3 分解为 F_{3x} 和 F_{3y} ，然后求得 x 方向的合力

$$R_x = F_1 \cos \alpha + F_2 \cos \beta + F_3 \cos \gamma,$$

y 方向的合力

$$R_y = F_1 \sin \alpha + F_2 \sin \beta + F_3 \sin \gamma,$$

最后解得合力

$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2},$$

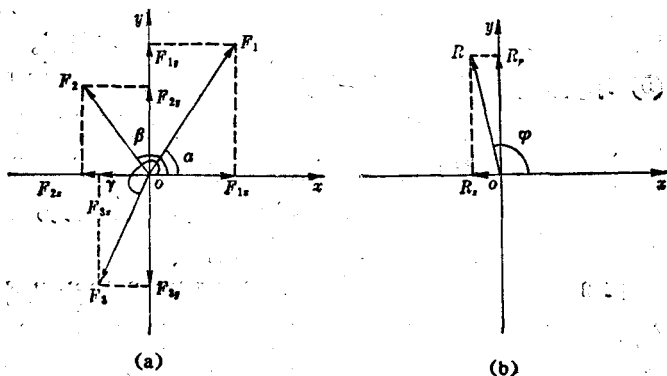


图 1-3

合力与 α 轴的夹角

$$\varphi = \arctg \frac{R_y}{R_x},$$

如图 1-3(b) 所示。

三、例题

例 1-1 图 1-4 所示各静止物体 (C 、 C_1 、 C_2) 的重力 G 都等于 20.0 牛。用作图法求出图 1-4(a) 中 AC 绳的拉力和图 1-4(b) 中地面的压力。

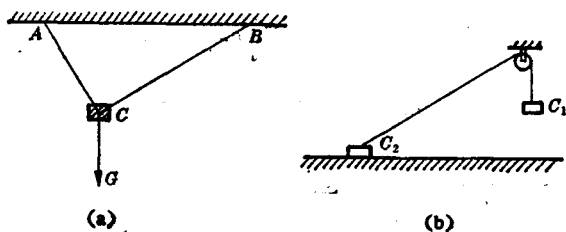


图 1-4

分析 (1) 图 1-4(a) 中, $G = 20.0$ 牛原题已经画出, 故应选定 1 厘米长的线段表示 20.0 牛。如果作图时用毫米刻度尺测量线段的长度, 答案的末位数(估计值)只可能是偶数。

(2) 用作图法解题, 应简要说明作图步骤和解演理由。

解 求图 1-4(a) 中 AC 绳的拉力。

按题意选定 1 厘米长的线段表示 20.0 牛。作 G 的平衡力 F 。把 F 分解为两个分力 T_A 和 T_B 。量得 T_A 线段长 8.7 毫米。解得

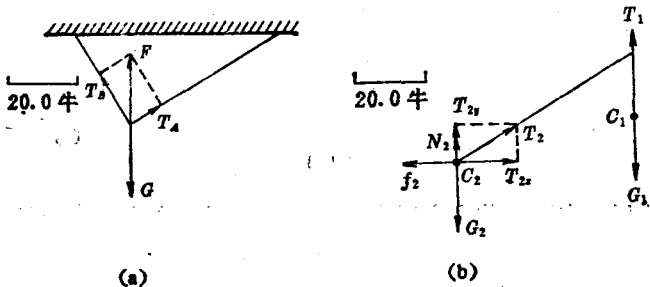


图 1-5

$$T_A = 17.4 \text{ 牛}.$$

求图 1-4(b) 中地面压力。

选定 1 厘米长的线段表示 10.0 牛。

画出 C_1 的受力图, 解得绳子拉力 $T_1 = 20.0$ 牛。

作 C_2 的受力图。作重力 G_2 和绳子拉力 T_2 。把 T_2 分解为两个分力: 水平分力 T_{2x} 、竖直分力 T_{2y} 。量得 T_{2y} 线段长 1.20 厘米, 解得 $T_{2y} = 12.0$ 牛。根据物体平衡条件, 地面对 C_2 的支持力 $N_2 = G_2 - T_{2y} = 20.0 \text{ 牛} - 12.0 \text{ 牛} = 8.0 \text{ 牛}$ 。作 N_2 , 线段长度为 0.80 厘米, 方向竖直向上。作静摩擦力 f_2 , 大小与 T_{2x} 相等, 方向向左。

地面所受压力是 N_2 的反作用力。压力大小为 8.0 牛, 方向竖直向下。

例 1-2 图 1-6 所示各静止光滑球的质量都是 m 。画球的受力示意图, 并求各力的大小。

(1) 图 1-6(a) 所示, 球悬于竖直线下端, 并与斜面接触。

(2) 图 1-6(b) 所示, 球在斜面上, 受水平推力 F 。

(3) 图 1-6(c) 所示, 球由不均匀材料组成 (重心不在球心 O 处), 支持点 A 、 B 的高度差为 h , 水平距离 L 。 $\angle AOB = 90^\circ$ 。

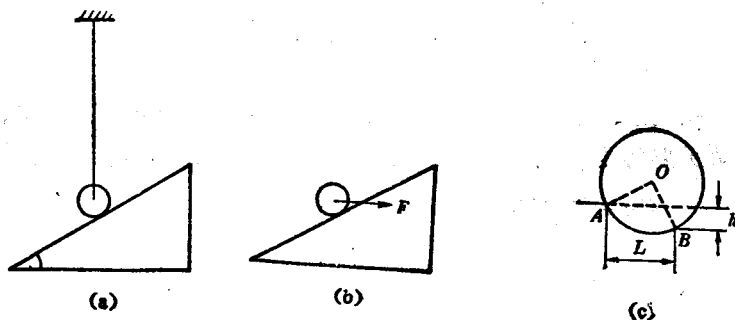


图 1-6

分析 本题是共点力平衡问题。解题时, 应先画出球的受力示意图, 然后根据共点力平衡条件解出各力大小。

在图 1-6(a) 中, 球只受重力和绳子拉力, 球与斜面间没有挤

压作用。

在图 1-6(b) 中, 球受到三个力: mg 、 F 及支持力 N 。

在图 1-6(c) 中, 因为摩擦不计, 球平衡时, 重心应在球心 O 的正下方。重力仍应在过 O 点的竖直线上。支持点对球的弹力是法向的, 也必经过 O 点。各力仍共点于 O 。

解 (1) 图 1-6(a) 中球的受力示意图如图 1-7(a) 所示, 拉力 $T = mg$ 。

(2) 图 1-6(b) 中球的受力图如图 1-7(b) 所示。斜面对球的支持力 $N = mg / \cos \theta$ 。推力 $F = mg \tan \theta$ 。

(3) 图 1-6(c) 中球的受力图如图 1-7(c) 所示。支持力 N_A 和 N_B 的作用点、重力 mg 的作用点都移到球心 O 。 N_A 、 N_B 、 mg 三个共点力平衡。

作水平线 AE 和 DB , 并设 $AE = L_1$, $DE = L_2$, 球半径为 R , N_B 与竖直线夹角 θ , 则

$$L = L_1 + L_2, h = L_1 - L_2, (\sqrt{2}R)^2 = L^2 + h^2.$$

由此可知

$$R = \sqrt{\frac{L^2 + h^2}{2}}, \quad L_1 = \frac{L + h}{2}, \quad L_2 = \frac{L - h}{2}.$$

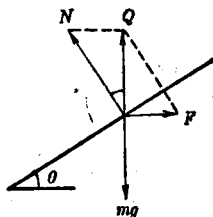
解得

$$N_A = mg \sin \theta = mg \frac{L_2}{R} = mg \cdot \frac{L - h}{\sqrt{2(L^2 + h^2)}},$$

$$N_B = mg \cos \theta = mg \frac{L_1}{R} = mg \cdot \frac{L + h}{\sqrt{2(L^2 + h^2)}}.$$



(a)



(b)



(c)

图 1-7

说明 解演力学题必须画受力图。用作图法解题，要选定标度，要根据已知力画出未知力，要写出作图步骤。用计算法解题，要画出受力示意图，要根据已知力推算未知力，要写出计算步骤。

例 1-3 在同一平面上有四个共点力，其中 $F_1 = 10$ 牛， $F_2 = 5$ 牛， $F_3 = 8$ 牛。它们之间的夹角分别为 90° 、 143° 、 127° 。若这四个力的合力为零，求第四个力 F_4 。

分析 可以用正交分解法解此题。

先建立坐标 xoy ，按题意在坐标上画已知力 F_1 、 F_2 、 F_3 ，它们的合力 F' 与轴夹角为 θ 。为了计算方便 F_1 、 F_2 分别设在 x 轴、 y 轴上。根据 F' 可求出平衡力 F_4 的大小和方向。

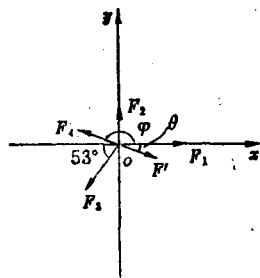


图 1-8

解 作图 1-8。用正交分解法算出 F_1 、 F_2 、 F_3 的合力

$$\begin{aligned} F' &= \sqrt{F_x'^2 + F_y'^2} \\ &= \sqrt{(F_1 - F_3 \cos 53^\circ)^2 + (F_3 \sin 53^\circ - F_2)^2} \\ &= \sqrt{(10 - 8 \times 0.6)^2 + (8 \times 0.8 - 5)^2} \text{ 牛} \\ &= 5.39 \text{ 牛}, \\ \tan \theta &= \frac{F_3 \sin 53^\circ - F_2}{F_1 - F_3 \cos 53^\circ} = \frac{8 \times 0.8 - 5}{10 - 8 \times 0.6} = 0.27, \\ \theta &= 15.1^\circ, \end{aligned}$$

第四个力

$$F_4 = F' = 5.39 \text{ 牛}.$$

设 F_4 与 x 轴的夹角为 φ ，则

$$\begin{aligned} \varphi &= 180^\circ - \theta = 180^\circ - 15.1^\circ \\ &= 164.9^\circ. \end{aligned}$$

例 1-4 重量为 G 的小球固定在轻硬棒 OC 的下端。棒可绕 O 端转动。球搁在光滑斜面 AB 上。斜面与竖直墙夹角为 α ，棒与竖直线夹角为 β (图

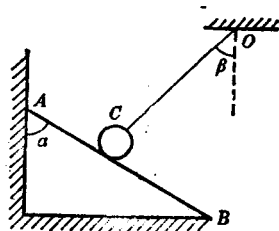


图 1-9

1-9)。求小球所受的各个力。

分析 (1) 小球受到三个力：重力 G 、斜面对球的弹力 N_1 和 OC 杆对小球的弹力 N_2 。前面两个力的方向容易确定，第三个力应是什么方向？

因为棒重不计，所以弹力 N_2 应沿 OC 线，由球的平衡条件可知， N_2 应指向斜面。这个弹力是由 OC 棒压缩形变产生的。

(2) 由实物图可知，杆 CO 与斜面 AB 的夹角为 $\alpha + \beta$ 。各力的方向可由力与 OC 或力与 AB 的夹角表明。这些夹角都可由正交分解法求得。

(3) 以 CO 为 x 轴正交分解各力，由 $\Sigma F_y = 0$ ，可解得 N_1 。以 AB 为 x 轴正交分解各个力，由 $\Sigma F_x = 0$ ，可解得 N_2 。

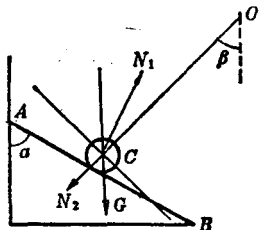


图 1-10

解 作小球的受力图(图 1-10)。

以 CO 为 x 轴正交分解，由 $\Sigma F_y = 0$ ， $N_1 \sin(\alpha + \beta - 90^\circ) = G \sin \beta$ ，解得

$$N_1 = \frac{-G \sin \beta}{\cos(\alpha + \beta)}.$$

以 AB 为 x 轴正交分解，由 $\Sigma F_x = 0$ ， $G \cos \alpha = N_2 \cos(180 - \alpha - \beta)$ ，解得

$$N_2 = \frac{-G \cos \alpha}{\cos(\alpha + \beta)}.$$

说明

(1) N_1 和 N_2 应该都是正的，所以 $\alpha + \beta$ 应大于 90° 。如何证明 $\alpha + \beta > 90^\circ$ 呢？

如果 $\alpha + \beta \leq 90^\circ$ ，那末斜面 AB 挡不住小球，小球将向右摆，题目所述的物理现象不存在。

解物理问题求得答案以后，应检查一下答案的合理性。检查答案主要根据物理现象和物理原理。

(2) 如果 OC 棒重不可略去，怎样计算小球所受的各个力？