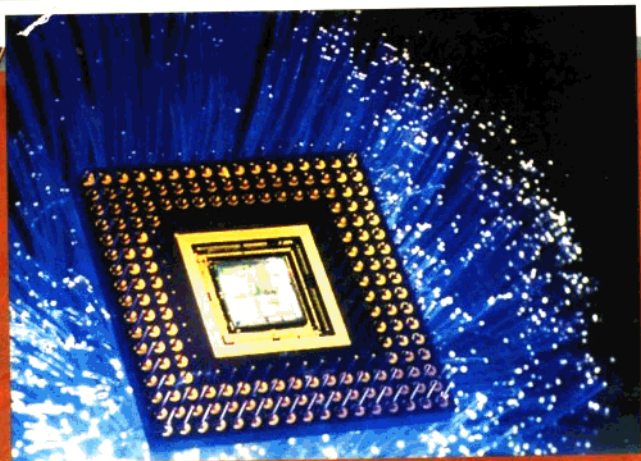


物理能力试题 创意设计 百例

WULI NENGLI SHITI
CHUANGYI SHEJI
BAI LI

● 赵高潮/著



山东教育出版社

代前言——

《物理能力试题创意设计百例》特点概述

物理试题的主要功能是区分学生的物理水平，而这种水平又是物理能力的反映。

随着物理知识的学习积累，物理能力逐渐形成，并且不再依附于物理知识而存在于人的思维活动当中，即使不是面对物理问题，物理思维也不会停止活动。物理能力是物理思维、方法、技能、知识及经验等方面的概括性说法。根据物理学科的特点，可将物理能力划分为理解能力、推理能力、分析综合能力、应用数学处理物理问题的能力、实验能力、发现问题的能力、创新能力和表述能力。这些能力相互联系和交叉，从多个方面反映物理思维和方法。

对物理试题的研究主要有四种情况。一种是从教学的角度研究试题的内容与教学的联系，这种研究反映了考试对教学的影响力。一种是从解题的技巧来研究，这种研究反映了试题的选拔功能所产生的作用。还有一种是从试题的功能来研究，如试题的效度、区分度、信度和难度等。除这三种外还有一种是从命题的目的、方法和技巧来研究的。本书就是这种研究的成果。

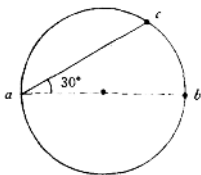
我每年要承担青岛市高中各年级统考的命题任务，以及山东省会考命题和其他一些命题研究，一年中要独立设计创意大约80道新题，在长期的命题研究中积累了大量素材，于是萌发了将这些素材进行整理和编写的念头，在山东教育出版社韩义华先生的鼓励和支持下，我从创意设计的大量试题中筛选出100道题目，系统地剖析命题思想和设计方法，使读者不但知道试题，而且了解命题过程。

根据命题要求进行命题称为限定性命题,命题要求包括知识内容、能力特点、题型、难度等,这些要求也称为命题指向,命题指向越明确,对命题的约束也越大,但思考的问题也相对集中.没有明确命题指向的命题称为非限定性命题.绝大部分的命题都是限定性命题,而且一道题目不是孤立的,还要考虑整份试卷因素.

题目的创意设计包括五个环节,即知识选点、情境立意、能力障碍、数据编制、题意表述.每个环节包含相应的命题方法和技术.除此之外,命题还体现出思维的灵感.

判断试题的质量有六个标准,即科学性、目的性、新颖、能力含量、简洁、睿智.对试题的总体印象源于这些标准,其中任何一项有明显不足都将大大影响试题质量,而不是只产生 $1/6$ 的影响.从试题的功能来判断试题质量,是对效度、区分度、信度、和难度四项数据的分析,这种分析具有科学性和规范性,与从命题的方法角度判断试题质量的六个标准是相容的,或者说是从不同角度来反映实质相同的问题.下面的试题是本书中 100 个范例其中一个,符合上述六个标准.

如图所示, ab 是半径为 r 的圆的一条直径,匀强电场与该圆处于同一平面内,场强大小为 E ,方向一定.在圆周平面内将一带电量为 $+q$ 的小球从 a 点以相同的动能抛出.抛出方向不同时,小球经过圆周上的位置不同,在所有的位置中,只有到达 c 点时小球的动能最大.已知 $\angle cab = 30^\circ$, 小球仅受电场力,试求



- (1) 电场方向与 ac 间的夹角 θ 为多少?
- (2) 若小球在 a 点时初速度方向与电场方向垂直,则小球恰好能达到 c 点,则初动能 E_k 为多大?

该题的命题指向:静电场和平抛运动;理解能力和推理能

力；难度在整份试卷最大。

使用背景：青岛市高三统考。

命题指向是根据整份试卷设定的，是命题的前期工作和依据。命题过程遇到的两个难点是，关于静电场和平抛运动很容易想到带电粒子在平行板电容器中的运动，但物理情境不新颖，不能突破“老面孔”、不能体现对推理能力的考查。命题采取隐去电场方向，设计了“小球在 c 点动能最大”这一推理线索，解决了命题中的难点。

命题过程就是创意过程，物理情境和物理能力的构思和立意是创造力的表现，这是本书书名的涵义。

本书选择的 100 个范例覆盖了高中物理全部知识章节，包含了各种题型，对综合试题也进行了研究。每一个范例介绍了设计思想，并给出命题所设计的解法，探讨命题过程的一些思考和技术。对命题中思路的延伸和研究以“范例变化”的形式进行介绍，使读者能进一步了解试题的产生过程。试题的定位主要是高考水平，少数试题达到物理竞赛水平。

命题过程相当艰苦，任何一个环节或细节都可能造成困难而不得不花费大量精力去研究，甚至因为某处的瑕疵而放弃一道立意不错的题目。

本书可供物理教研员和中学物理教师使用，也可供高等师范院校物理系学生，以及有一定基础的普通高级中学学生学习参考。本书对提高教师的命题水平，理解和认识物理试题的内涵将起到积极作用；有利于培养学生物理思维方法，把握高中物理知识内容，增强考试的适应能力。书中有些范例并非完善和成熟，需要进一步修改和充实，恳请读者批评指正。

赵高潮

2000 年 9 月于青岛

目 录

静力学·····	1
【范例 1】(1)【范例 8】(28)	
质点运动学·····	31
【范例 9】(31)【范例 16】(54)	
牛顿运动定律·····	59
【范例 17】(59)【范例 21】(72)	
能量和动量·····	76
【范例 22】(76)【范例 35】(108)	
圆周运动 万有引力定律·····	112
【范例 36】(112)【范例 41】(124)	
振动和波·····	127
【范例 42】(127)【范例 48】(139)	
热学·····	141
【范例 49】(141)【范例 60】(165)	
静电场·····	167
【范例 61】(167)【范例 74】(201)	
恒定电流·····	205
【范例 75】(205)【范例 79】(214)	
磁场·····	218
【范例 80】(218)【范例 88】(237)	
电磁感应 电磁振荡·····	240
【范例 89】(240)【范例 93】(251)	
光学·····	255

【范例 94】(255) 【范例 96】(261)

原子物理学..... 264

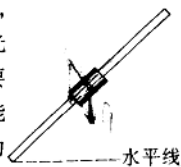
【范例 97】(264) 【范例 98】(266)

综合能力试题..... 268

【范例 99】(268) 【范例 100】(271)

静 力 学

【范例 1】如图 1—1 所示，重量为 G 的物体套在倾斜的光滑直杆上，为使物体平衡，需要给物体施加一个拉力，在所有能使物体平衡的拉力中，最小拉力



$F_{\min} = \frac{1}{2} G$ ，当拉力 $F = 2G$ 且

图 1—1

使物体平衡时，试求 F 的方向。（可用反三角函数表示）

【设计思想】本题是在青岛市 2000 年高三统考命题研究中设计的。

能力考查：理解能力和推理能力。

知识载体：①力的合成与分解。②物体的平衡。

能力的考查一般是以知识为载体进行的，或者说是以知识为基础的。当能力含量较高时，知识载体已不再占据主要位置，命题的焦点不是哪个知识点更重要，而是选择什么知识点作为载体更能有利于能力的考查。当然，作为整个试卷中份量较重的题目，也应体现知识内容在物理学中的地位。物体

的平衡是贯穿整个中学物理、大学普通物理乃至物理学的重点内容。在中学物理中，对平衡问题侧重于建立平衡方程，如果设计多项不确定的因素且对学生是比较“陌生”的，是对能力的一种考验和锻炼。

本题的主要障碍分三个层次。第一个层次，理解物理术语“最小拉力”所隐含的物理情境，进而推得光滑直杆与水平线间的夹角为 30° 。第二个层次，重力 G 的大小和方向已确定，直杆对物体的弹力 N 的方向必定与杆垂直（需注意有两个方向），由此推得重力 G 和弹力 N 与拉力 F 的合成图（有两种情况）。第三个层次，灵活运用处理平衡问题的方法和数学知识，得出最后结果。这三个层次均有较高难度。

本题命题的方法运用了“条件换量法”，就是说用其他物理量或条件来替换通常的已知物理量。例如，直杆与水平线间的夹角通常都是已知量，而本题用“最小拉力 $F_{\min} = \frac{1}{2}G$ ”的条件，来替换“直杆与水平线间的夹角为 30° ”，这种替换增加了对思维能力的要求。再如，本题用“当拉力 $F = 2G$ ……”来替换“当拉力与竖直线成 α 角 ……”，已知力的方向求力的大小比较容易把握，而已知力的大小来确定方向则难度明显增加，结果可能不是唯一的。

【解法1】据力的合成三角形定则，得到图1—2，从图中可以看出，最小拉力 $F_{\min}$ 与杆对物体的支持力 N 垂直，所以，

$$\sin\theta = \frac{F_{\min}}{G} = \frac{\frac{G}{2}}{G} = \frac{1}{2}$$

因此，直杆与水平线间的夹角 $\theta = 30^\circ$ 。

当拉力大小 $F = 2G$ 时，直杆对物体的支持力 N 有两个方向，即垂直直杆方向向上或垂直直杆方向向下。由力的合成三角

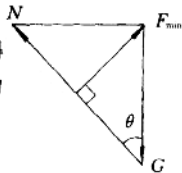


图 1—2

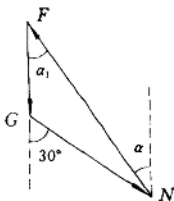


图 1—3

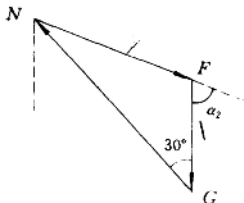


图 1—4

形定则可得到图 1—3 和图 1—4.

由图 1—3, 据拉密定理得

$$\frac{G}{\sin(30^\circ - \alpha_1)} = \frac{2G}{\sin(180^\circ - 30^\circ)} \quad (1)$$

化简得

$$\sin(30^\circ - \alpha_1) = \frac{1}{4}$$

所以,

$$\alpha_1 = 30^\circ - \arcsin \frac{1}{4}$$

拉力 F 指向竖直线左上方与竖直线成 $(30^\circ - \arcsin \frac{1}{4})$ 角.

由图 1—4, 据拉密定理得

$$\frac{G}{\sin(\alpha_2 - 30^\circ)} = \frac{2G}{\sin 30^\circ} \quad (2)$$

化简得

$$\sin(\alpha_2 - 30^\circ) = \frac{1}{4}$$

所以,

$$\alpha_2 = 30^\circ + \arcsin \frac{1}{4}$$

拉力 F 指向竖直成右下方与竖直线成 $(30^\circ + \arcsin \frac{1}{4})$ 角.

[解法 2] 在中学物理阶段不讲拉密定理, 下面给出一种在中学阶段比较适合的解法.

本题中直杆对物体的支持力 N 是未知量, 解题时应尽可能不涉及 N , 这就是解题技术中的“回避无关量原则”. 为此可根图 1—3 建立直角坐标系 xOy , 如图 1—5 所示. 沿 y 方向 (与 N 垂直的方向) 拉力 F 和重力 G 的分量大小相等、方向相反, 可得平衡方程

$$F \sin (30^\circ - \alpha_1) = G \sin 30^\circ$$

解得

$$\alpha_1 = 30^\circ - \arcsin 0.25$$

图 1—5

同理, 可根据图 1—4 建立沿 N 方向和垂直 N 方向的直角坐标系, 将拉力 F 和重力 G 沿垂直 N 的方向分解, 可得平衡方程

$$F \sin (\alpha_2 - 30^\circ) = G \sin 30^\circ$$

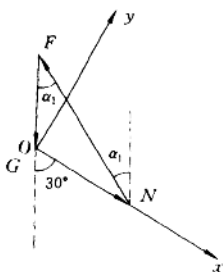
解得

$$\alpha_2 = 30^\circ + \arcsin 0.25.$$

这种解法选择适当的方向分解外力, 巧妙地避开了未知量 N , 只须建立 y 方向一组平衡方程即可求出拉力 F 与竖直线间的夹角 α .

命题设计不仅要考虑题目的立意、能力含量、难度等, 而且要考虑解题过程是否繁杂, 答案结果是否简明等因素. 为此, 需要对题目中提供的数据反复斟酌, 以求题目设计的完美性. “范例 1” 中给出了两个数据, 第一个数据是保持平衡的最小拉力 $F_{\min} = \frac{1}{2}G$, 由该数据可以求出光滑直杆与水平面间的夹角为

30° . 若该数据为 $F_{\min} = \frac{\sqrt{3}}{2}G$, 则直杆的倾角将变为 60° . 第二个数据是给出拉力 $F = 2G$, 求 F 的夹角, 若改变该数据则会对解题过程产生影响. 见 [范例变化].



【范例变化】重量为 G 的物体套在倾斜的光滑直杆上，为使物体平衡，需要给物体施加一个拉力，在所有能使物体平衡的拉力中，最小拉力 $F_{\min} = \frac{1}{2}G$ 。当拉力 $F = G$ 且使物体平衡时，试求 F 的方向。

【解答】为保持物体平衡且拉力最小，只需与重力沿直杆方向的分力平衡，即

$$F_{\min} = G \sin \theta$$

$$\frac{1}{2}G = G \sin \theta$$

所以， $\sin \theta = \frac{1}{2}$ ， $\theta = 30^\circ$

当拉力为 G 时，有两种情况，如图 1—6 和图 1—7 所示。

在图 1—6 中，直杆对物体的支持力 $N = 0$ ，拉力 F 竖直向上。

图 1—7 中的三个力可根据力的三角形定则画成图 1—8，这是一个等腰三角形， F 与竖直线间的夹角 $\alpha = 60^\circ$ 。

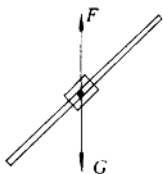


图 1—6

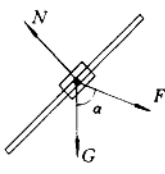


图 1—7

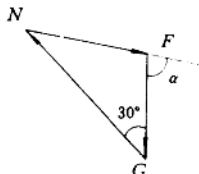


图 1—8

“范例变化”保留了“范例 1”中的物理涵义，题干更为精炼（去掉了“可用反三角函数表示”的说明性词语），解答中降低了对数学知识能力的要求，从高考要求的角度看，“范例变化”比“范例 1”更适合于作为高三试题。于是，最后确定了“范例

变化”作为高三统一考试试题，难度抽样统计为 0.31。“范例 1”的物理内涵比较深刻，对能力的要求较高，适合于作为物理竞赛试题或练习题。

【范例 2】如图 2—1 所示，足够长的轻绳跨过一个定滑轮后，两端分别系住质量为 M 和 m ($M > m$) 的物体 A 和 B。已知水平桌面足够长，无论物体 A 放在水平桌面的任何位置，物体 A、B 均能保持静止。求物体 A 与桌面间的静摩擦因数 μ 应满足什么条件？滑轮处摩擦不计。

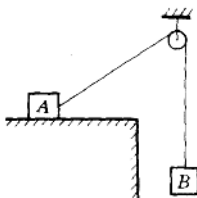


图 2—1

【设计思想】本题是为 1988 年辅导物理竞赛而设计的。

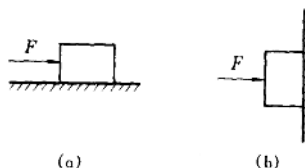
能力考查：①理解能力，正解理解最大静摩擦力的概念。

②求解平衡问题的方法。

知识载体：物体的平衡。

最大静摩擦力 $f_{\max} = \mu N$ 对

物理课外小组的学生来说相当熟悉。通常考查静摩擦力概念主要有两种情况，在图 2—2



(a) 中，水平推力 F 增大时，

物体保持静止不动，静摩擦力

图 2—2

随着 F 的增大而增大，当 F 增大到某一值时，静摩擦力达到最大值 $f_{\max}$ ，这时 $f_{\max} = \mu N$ 。在图 2—2 (b) 中，水平推力 F 增大时，物体保持静止不动，静摩擦力大小不变。这两种考查对初学者正确理解静摩擦力概念是比较有力的，但对较高水平的学生，未能得到更深刻的考查。

本题设计了需要区别最大静摩擦力和静摩擦力最大两个不同概念的物理情境。在一般问题中，最大静摩擦力与静摩擦力最大是相等的，但本题则不然，物体 A 无论放在桌子上任何位置，所受的绳子拉力 T 的大小是一定的 ($T = mg$)。当物体 A 位于左边足够远时，静摩擦力 f 的大小趋近于 mg ，是物体 A 位于所有位置中所受的静摩擦力中最大的，这时 $f = mg$ 是否就是最大静摩擦力呢？判断最大静摩擦力不是根据摩擦力的大小，而是根据两个特征。第一，静摩擦力是否遵循 $f = \mu N$ ，遵循该规律则是最大静摩擦力，不遵循该规律，无论摩擦力多大都不是最大静摩擦力。第二，物体是否将与接触面发生相对运动。显然， $f = mg$ 不符合最大静摩擦力的两个特征。在 $f = mg$ 时，地面对物体的支持力 $N = mg$ ，是物体 A 在桌面上所有位置中所受的支持力中最大的，但 $f < \mu N$ 。而物体 A 在某一位置，静摩擦力 f_0 小于 mg ，支持力 N_0 小于 Mg ，但却满足 $f_0 = \mu N_0$ 。

本题设计的主要障碍是，不能正确理解最大静摩擦力概念，误将静摩擦力的最大值 $f = mg$ 当作最大静摩擦力；确定出现最大静摩擦力的位置。选择合理、简明的解题方法也是相当重要的。

本题命题应用了两种方法，一是相似概念干扰，二是变换物理情境。前一种方法前面已提及，对后一种方法，只须与常见情况相比较，即可发现变换物理情境增加了能力含量。在图 2—3 中，用大小已定的拉力 F 作用在静止于水平地面的物体，拉力 F 与水平面成多大角度 θ ，最可能拉动物体？物理知识水平较高的学生对图 2—3 的物理情

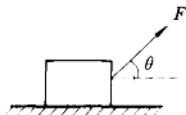


图 2—3

境并不陌生，这一情境没有突出最大静摩擦力和静摩擦力最大的区别，所以能力要求相应降低。

〔解法 1〕由于物体 B 保持静止，所以绳子拉力大小 $T = mg$ 。

物体 A 受力分析如图 2—4 所示. 采取矢量三角方法求解. 将摩擦力 f 与支持力 N 合成一个力 P , 如图 2—5 所示. 由于 $\tan \alpha = \frac{f}{N} \leq \mu$, 所以当物体 A 与桌面间出现最大静摩擦力时, α

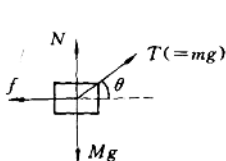


图 2—4

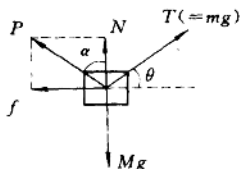


图 2—5

角最大.

将重力 Mg (大小方向均已定), 拉力 T (大小已定, 方向未定) 和 P (大小和方向均未定), 按力的矢量首尾相连, 必定构成闭合三角形 (表示力的平衡), 得到图 2—6. 改变拉力 T 的方向, 则 T 的末端在一个圆弧上, 当 P 与圆弧相切时, α 角最大, 表示这种情况下, 静摩擦力为最大静摩擦力.

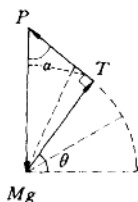


图 2—6

从图中可知. 出现最大静摩擦力时, 拉力与水平面的夹角

$$\sin \theta = \sin \alpha = \frac{mg}{Mg} = \frac{m}{M}$$

所以, 摩擦因数

$$\mu = \tan \alpha = \tan \theta = \frac{\sin \theta}{\sqrt{1 - \sin^2 \theta}} = \frac{m}{\sqrt{M^2 - m^2}}$$

在绳子与水平桌面成 $\theta = \arcsin \frac{m}{M}$ 时, 只要物体 A 与桌面间的摩

擦因数 $\mu \geq \frac{m}{\sqrt{M^2 - m^2}}$, 则物体 A 将保持静止. 物体 A 在桌面

上其他位置时，一定能保持静止。

假如物体 A 在桌面上的任何位置都满足 $f = \mu N$ ，则在各位置中，物体 A 与桌面间的摩擦因数 μ 是不同的，可记为 μ_1 、 μ_2 、 μ_3 ……，其中， μ 的最大值 $\mu_{\max} = \frac{m}{\sqrt{M^2 - m^2}}$ 。若物体 A 与桌面间的摩擦因数处处相等，即 $\mu = \frac{m}{\sqrt{M^2 - m^2}}$ ，则只要绳子与桌面的夹角 $\theta = \arcsin \frac{m}{M}$ 时，物体 A 不滑动，其他各处，物体 A 将一定能保持静止。

[解法2]由图2—5可写出平衡方程，

$$\text{沿水平方向} \quad mg \cos \theta = f \quad ①$$

$$\text{沿竖直方向} \quad mg \sin \theta + N = Mg \quad ②$$

$$\text{约束关系} \quad f \leq \mu N \quad ③$$

由上述方程组可得

$$m \cos \theta \leq \mu (M - m \sin \theta) \quad ④$$

④式取等号则有

$$m \cos \theta = \mu (M - m \sin \theta)$$

$$\text{即} \quad m \sqrt{1 - \sin^2 \theta} = \mu (M - m \sin \theta)$$

将上式两边平方得

$$m^2 (1 - \sin^2 \theta) = \mu^2 (M - m \sin \theta)^2$$

化简得

$$(1 + \mu^2) m^2 \sin^2 \theta - 2\mu^2 m M \sin \theta + \mu^2 M^2 - m^2 = 0$$

上式是关于 $\sin \theta$ 的一元二次方程，该方程有解必须满足判别式 $\Delta \geq 0$ ，即

$$4\mu^4 m^2 M^2 - 4(1 + \mu^2) m^2 (\mu^2 M^2 - m^2) \geq 0$$

所以解得

$$\mu \leq \frac{m}{\sqrt{M^2 - m^2}}$$

“解法 2”需建立数学方程——一元二次方程的判别式 $\Delta \geq 0$ ，对数学能力有一定的要求。

【典型错解】由于静摩擦力 $f = mg \cos \theta$ ，所以当 $\theta = 0^\circ$ 时， $f = f_{\max} = \mu N$ ，即物体 A 位于左侧无限远时 $f_{\max} = mg$ ， $N = Mg$ ，而 $f_{\max} = \mu N$ ，所以， $mg = \mu Mg$ ， $\mu = \frac{m}{M}$ 。

该解的错误原因在于混淆了最大静摩擦力与静摩擦力最大两个不同的概念。

【范例变化】如图 2—7 所示，质量为 m 的物体静止于水平桌面上，用大小一定的拉力 F 沿不同方向拉物体。有一个方向恰好能拉动物体，这时拉力与水平面间的夹角为 θ_0 ，则下面说法中正确的是

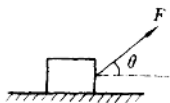


图 2—7

- (A) 当拉力沿水平方向时，静摩擦力最大
- (B) 静摩擦力的最大值等于 F
- (C) 最大静摩擦力等于 $F \cos \theta_0$
- (D) $\theta_0 = 0$

【解答】正解答案为 (A)、(B)、(C)，道理如前面所述。

“范例变化”突出强调了最大静摩擦力与静摩擦力最大两个不同的概念，不涉及求解平衡问题的方法，难度明显比“范例 2”小。

【范例 3】如图 3—1 所示，重量为 G 、长度为 L 的均匀直杆 AB，一端可绕光滑固定轴转动，杆身靠在高为 d 、重为 $2G$ 的物块上，物块静止在水平地面上，试求直杆与水平地面间的夹角

α 为多大时, 物块对水平地面的压力 N 和静摩擦力 f 最大? 最大值各为多少?

【设计思想】本题是为 1989 年辅导物理竞赛而设计的.

能力考查: 建立数学模型意识和能力 (绝对不等式的应用).

知识载体: 物体的平衡.

若直杆与水平地面的夹角 α 为定值, 则物块对地面的压力和静摩擦力是唯一的, 主要以考查平衡方程为主, 而对能力要求不高. 本题设计了通过讨论 α 的值来分析物块对地面的压力 N 和静摩擦力 f 的物理情境, 提高了对数学知识和能力的要求, 增大了难度.

【解答】直杆和物块的受力分析如图 3-2 所示.

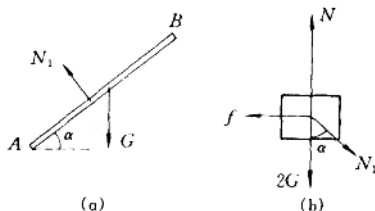


图 3-2

直杆对光滑固定转轴的力矩平衡方程为

$$\frac{N_1 d}{\sin \alpha} = G \frac{L}{2} \cos \alpha \quad (1)$$

对物块, 平衡方程为

$$\text{竖直方向:} \quad N = 2G + N_1 \cos \alpha \quad (2)$$

$$\text{水平方向:} \quad f = N_1 \sin \alpha \quad (3)$$

由①式和③式得