

SIBAO



中国教育电视台讲座用书

特高级教师 编著

双色版

四导新优化

[新大纲 新教材 新理念]

导教

梳理章节要点,构架内部联系,提出学习的方法与建议,准确、高效地把握知识点和能力点。

导学

精选典型例题,解读重点,突破难点,透视疑点,展示技巧与诀窍,拓展知识的深度和广度。

高一物理(上)

导练

有针对性地设计优化训练题,难易适中,覆盖面广,举一反三,触类旁通,提升解题能力。

导测

科学安排各类试题的比例,突出综合应用和创新开放题,有效检验学生对考点的掌握程度。

SIBAO



中国教育电视台讲座用书

特高级教师 编著

双色版

四导新优化

〔新大纲 新教材 新理念〕

高一物理(上)

中国少年儿童出版社

图书在版编目(CIP)数据

《四点导学·四导新优化》丛书:高一物理/《四点导学·四导新优化》
编写组编. - 北京:中国少年儿童出版社,1998.7
ISBN 7-5007-4323-8

I. 四… II. 四… III. 物理课-高中-教学参考资料 IV. G633
中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 16851 号

本册编著 聂士胜 宋学渊 黄建华 赵 瑾

GAO YI WU LI



出版发行:中国少年儿童出版社

出版人: /

责任编辑:周 蓉 董振邦	美术编辑:徐 欣
社址:北京东四十二条 21 号	邮政编码:100708
电话:086-010-64032266	传 真:086-010-64012262
印刷:北京四季青印刷厂	经销:新华书店
开本:787×1092 1/16	印张:7.75
2004 年 7 月北京修订版	2004 年 7 月北京第 6 次印刷
字数:194 千字	本次印数:10000 册
ISBN 7-5007-4323-8/G·3090	定价:11.80 元

图书若有印装问题,请随时向本社出版科退换
版权所有,侵权必究

前言

本丛书由北师大附中、北大附中、清华附中、人大附中、首都师大附中和黄冈、启东等地名校的上百位特、高级教师深入研究了现代教育理论，吸收国内教育领域最新的科研成果，依据人民教育出版社最新教材紧扣新大纲编写而成。

丛书在编写过程中注重将“教案与学案统一、教学与练测统一、目标与过程统一、技能与技巧统一”四大理念全程融入“导教、导学、导练、导测”四导之中，其栏目设置与功能特色如下：

知识聚焦

用图表、网络的形式梳理章节要点，构架内部联系，准确、高效地把握知识点和能力点。

重点解读

紧扣大纲重点，选择具有代表性、典型性的精典例题进行解析，不仅注重知识应用，而且突出思维方法的传授和解题技巧的展示。

难点突破

对章节的难点，以例题的形式，结合理论，逐一解读，各个击破，鼓励学生在解题过程中进行知识的重组和能力的迁移。

疑点透视

汇集平时遇到的误区疑点，分析易错结果和原因，进行类推训练和思维拓展，让学生领悟正确的解题思路，引导学生“学而思”。

高考链接

精心选择近几年的典型高考试题进行剖析、探究，让学生提前触摸高考，从中感受高考的命题趋势、命题立意和难易程度。

单元测试

阶段性测试，考察学习技能，检测学习方法，查漏补缺，夯实基础，提升能力。

期中(末)测试题

科学地安排各类试题的比例，突出综合应用和创新的测练，有效检验学生对考点的掌握程度。

丛书的编写，既融入了众多教师的汗水和心血，也是现代教育成果的集中展示，我们由衷地盼望这套丛书对广大师生有所助益。虽多次修订修改，书中不妥之处仍在所难免，欢迎广大中小学师生及社会各界朋友一如既往地提出批评和指导。

编者

第1章 力

知识聚焦

●理解力的概念、认识力是使物体发生形变或改变运动状态的原因,而不是维持物体运动的原因。理解力的矢量性,力不仅有大小、方向,而且力的运算遵从平行四边形定则。

●掌握重力的概念、定义、产生条件及物体所受重力大小的决定因素,重力矢量的方向为竖直向下。理解重心的概念和物体重心位置的決定因素,掌握测量物体重心位置的实验方法(二次悬挂法)和基本原理(二力平衡原理)。

●掌握弹力的概念、定义、产生条件,明确弹力与物体形变之间的关系,正确区分弹簧弹力和非弹簧弹力,能应用胡克定律正确求出弹簧弹力的大小和方向,并理解胡克定律的应用条件。

●掌握摩擦力的概念、定义、产生条件,能够根据滑动摩擦定律,正确求解滑动摩擦力的大小和方向;理解静摩擦力为变力,其大小等于使物体有相对运动趋势的、沿两物体间公切面方向的外力(或外力的分力)的大小,其方向与物体相对运动的趋势方向相反;理解最大静摩擦力的概念,正确处理最大静摩擦力的大小和方向,了解静摩擦因数。

●掌握合力和分力的概念,理解力的合成和力的分解都遵从矢量运算的平行四边形定则;掌握在两共点力大小不变的条件下,其合力大小随两力夹角变化的规律及合力大小的取值范围。在力的分解中,掌握力的分解有惟一解的条件,即将该力向其作用效果方向分解;并认真体会在力的正交分解法中,以代数运算代替矢量运算,以解直角三角形代替解斜三角形解法的优点。



●本章只要求初步熟悉物体受力分析,不要求学生分析较为复杂的受力情况。从运动状态找力、用多共点力作用下物体的平衡条件找力等等,可分别在学

习第三章牛顿运动定律和第四章物体的平衡知识后再做分析。对物体受力情况分析的要求,应体现在整个力学的学习中,应分阶段达标并提高认识水平。

●学习本章知识,除平行四边形定则要达到B级要求水平外,其余均要求达到A级水平。



重点导读

重点概述

●本章在力学中的地位

(1)力学的基础地位:学习力的基本知识和基本方法(即物体受力分析方法,力的合成与力的分解的平行四边形定则)为学习力学知识打下扎实的基础。

(2)分析和解决力学问题的关键和前提地位:力是物体间的相互作用,力的作用效果是使受力物体发生形变或改变物体的运动状态,即物体的一定的运动状态,总是与其一定的受力情况相对应的。因此,正确

地分析物体的受力情况就成为解决有关物体运动的动力学问题的关键和重要前提。

② 对力的概念的认识和理解

(1) 力是一个物体对另一物体的作用, 力具有四个基本特性:

① 物质性: 只要有力的作用, 就一定有施力物体和受力物体, 离开物体(或物质)就不可能有力, 即没有施力物体, 就不会有这个力; 同样道理, 没有受力物体, 也就不会有这个力。

② 一个力一定与两个物体相对应, 即受力物体和施力物体。

③ 相互性: 一个物体对另一个物体发生作用的同时, 另一个物体对这个物体也一定有作用力。也就是说, 施力物体同时一定受力, 在自然界里不存在仅对其它物体施力而不受其它物体对它作用的物体; 也不存在仅受力而不对其他物体施力的物体, 因此一个物体谈不上力, 在牛顿第三运动定律一节, 我们还要进一步学习到两物体间相互作用力, 总是大小相等, 方向相反, 作用在一条直线上。

a. 相互作用的物体有些是接触的, 有些不接触。

b. 力的大小可以用弹簧秤测量。

④ 矢量性: 力不仅有大小, 而且有方向, 遵守矢量运算的平行四边形定则, 故力为矢量。力的大小、方向、作用点称为力的三要素。在力的这三个要素中, 有一个要素发生变化, 则力的作用效果(受力物体发生形变或改变运动状态)都将发生变化。

力矢量为滑移矢量, 即将力沿其作用线平移, 其作用效果不变。例如, 沿水平方向推车, 在力的大小和方向保持不变的条件下, 由推车改为拉车, 二者等效。力是滑移矢量, 可将某力沿力线平移仍等效, 这在物体的受力分析中将经常使用, 更在共点力概念中体现出来。

⑤ 作用效果: 有力必有其作用效果。一个物体受力, 其形状、体积大小一定发生变化, 即发生形变, 任何微小的形变, 都可以用多次光放大等实验手段观察到。所谓光放大实验手段, 就是在物体表面放置一平面镜, 使一束垂直于镜面的光投射到平面镜上, 经镜面反射, 可以在入射光跟镜面法线所决定的平面内与镜面平行放置的标尺上得一光点。当垂直物体表面施

加一外力 F 后, 物体发生形变使平面镜偏转, 从而使法线偏转某一角度。在入射光束方向不变的条件下, 因入射角的改变引起反射光束方向的改变, 可在标尺上观察到光点的位置发生迁移, 由此可以证明反射光束偏转角度总是法线偏转角的 2 倍。

(2) 有力的作用时, 受力物体必定发生形变; 但是不一定会使受力物体改变运动状态, 例如, 一物块放在水平桌面上, 若对该物块施加一个竖直向下的压力 F , 则仅使物块发生形变, 而不会使物块的运动状态发生改变; 若对这一物块施加一个水平方向的推力 F' , 且当水平推力 F' 大于桌面对该物块的最大静摩擦力 F_m 时, 物块发生形变的同时, 其运动状态也将随之改变; 当水平推力 F' 小于或等于桌面对该物块的最大静摩擦力时, 物块仍保持原来的平衡状态, 仅发生形变。

力对物体的作用效果是使受力物体发生形变或者改变运动状态。

③ 从力的产生条件入手, 分析物体的受力状况

在中学阶段, 通常把物理学中的力分为场力(包括万有引力、电场力、磁场力)、接触力(包括弹力、摩擦力)、分子力和核力四大类, 其中场力是主动力, 而接触力则是被动力——不仅两物体接触, 而且还需满足一定的产生条件, 才可获得该力。因此, 从每一种力的产生条件入手, 分析研究对象的受力情况是重要的分析方法之一。

重力的产生条件为: 凡在地球表面及表面附近的物体都要受到地球对它的吸引而受到竖直向下方向的重力。

弹力的产生条件为: 在相互接触的物体间发生弹性形变时, 就会产生垂直于公切面并指向形变消失方向的弹力。

摩擦力的产生条件则必须同时满足以下四项条件: (1) 两物体互相接触; (2) 两物体间接触处不光滑; (3) 在接触处存在相互作用的弹力; (4) 相互接触的物体间存在有相对滑动(或相对滑动的趋势), 因摩擦力可分为滑动摩擦力和静摩擦力、最大静摩擦力, 故在摩擦力的产生条件中, 其中前三条为各种摩擦力产生的公共条件, 而第四条为分类条件, 即在满足产生摩擦力的前三项条件后, 由物体间相对滑动可判定存在滑动摩擦力; 由物体间有相对滑动的趋势可判定存在静摩擦力; 由物体启动的瞬间或即将滑动可判定物体

间存在最大静摩擦力。

④ 共点力的合成和力的分解

学好这部分知识的基础是掌握合力和分力的概念及矢量运算的平行四边形定则的正确使用。对合力和分力的概念应该从力在效果上可以进行等效代换这一点上去理解。在处理实际问题时,可以根据需要灵活运用共点力的合成或力的分解方法,有时可用一个力等效代替同时作用于同一物体上的另几个力;有时也可将某一个力分解为两个分力。在多种解法中,以分析、解决问题简便为最佳解法。

注意 合力与分力之间的关系是一种等效替代的关系。

一个力可以有多个分力,反过来想,多个力的作用效果可由一个力来替代。

求两分矢量的合矢量,遵从矢量运算的平行四边形定则,即用表示两分矢量的线段为邻边可以做(也只可以做)一个平行四边形,共点对角线表示合矢量的大小和方向。在处理矢量的合成或分解问题时,经常应用到的数学方法有解直角三角形的三角函数法、解斜三角形的正弦定理法和余弦定理法、应用相似三角形的性质的解法等。应用平行四边形定则不仅可以定量计算某些未知矢量的大小和方向,而且还可以通过平行四边形两邻边和对角线长短的关系或变化规律,做一些较为复杂的定性分析,得出正确的结论,比用数学解析法去分析、求解要简明得多。

在求共点力的合力,尤其是三个以上的共点力的合力的解法中,最佳解法当首推正交分析法——运用逆向思维,欲求诸共点力的合力,却先将各力正交分解,再求它们的合力的方法。它的优点为可以标量运算代替矢量运算,并用解直角三角形代替解斜三角形,从而使求合力大小、方向的过程大为简化。

说明 正交分析法可概括为以下四步:第一,选取最佳坐标系的位置,所谓最佳坐标系,即使尽量多的力的方向落在两坐标轴方向上;第二,逐一正交分解各力,即找出各力沿两坐标轴方向上的分量,并分别用带有正号或负号的数值和单位表示这些分矢量(某分矢量与坐标正方向相同,可用带有正号的数值表示之;若某分矢量与坐标正方向相反,则可用带有负号的数值表示);第三,分别沿两坐标轴,求出各分量的代数和。

$$F_x = F_{1x} + F_{2x} + \cdots + F_{nx}$$

$$F_y = F_{1y} + F_{2y} + \cdots + F_{ny}$$

即第四,求合力的大小和方向,即为

$$\Sigma \vec{F} = \vec{F}_x + \vec{F}_y$$

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

$\tan \varphi = \frac{F_y}{F_x}$, φ 为合外力 $\Sigma \vec{F}$ 与 x 轴正方向之间

夹角。

在力的分解中,首要的问题是掌握好力的分解有惟一解的条件。从几何学角度看,力的分解有惟一解,必须满足用以表示合力与两分力的三条有向线段可以而且仅可构成一个封闭的三角形。又由加法交换律可演变成两个封闭的三角形,如图 1-1 所示。



图 1-1

$$\therefore \vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 = \vec{F}_2 + \vec{F}_1$$

$$\therefore \vec{F}_1 = \vec{F} - \vec{F}_2 \text{ 或 } \vec{F}_2 = \vec{F} - \vec{F}_1$$

注意 一个力可以分解成无数对分力,但对于一个确定的物体所受到的力进行分解时,应考虑实际效果,即进行有意义的分解。

从物理学角度分析,将某力向它的作用效果方向分解必有惟一解。如放在斜面上物体受的重力,它对物体的作用效果为:其一,沿斜面向下,使物体有下滑趋势的作用效果;其二,使物体沿垂直于斜面向下有压紧斜面的作用效果。亦可将力的分解有惟一解的条件叙述为:已知一个分力的大小和方向,求另一分力的大小和方向;或者已知两分力的方向,求两分力的大小。但是若已知某力的一个分力的方向和另一分力的大小,求这个分力的大小和另一分力的方向,则力的分解能否有惟一解呢? 正确的回答是,不能有惟一解。根据如下(如图 1-2 所示):

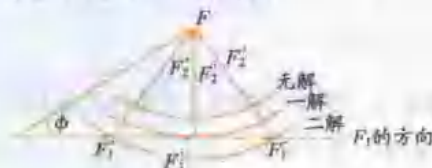


图 1-2

以表示合力 $\vec{F}$ 的有向线段的箭头为圆心,以另一分力 $\vec{F}_2$ 的大小为半径做圆弧,与表示分力 $\vec{F}_1$ 方向的射线可能无交点,也可能相切,还有可能相隔——分别表示力的分解无解、有一解或有二解,故这种情况下,力的分解没有惟一解。

5 物体受力情况的分析

基本方法——隔离法:即将研究对象从相互作用的物体系中隔离出来,只分析周围物体对研究对象的作用,而不去分析研究对象对其周围各物体的作用。

受力分析的原则:第一,严格从各力的产生条件分析物体受力的原则,正确的受力分析,须从各种基本性质力的产生条件出发,严格据条件分析,判断物体是否受到该力作用,并按照力的三要素,做出正确的受力图示。第二,受力分析的原则:物体的受力情况总是跟物体的运动状态有着严格的、一一对应的关系:当物体处于平衡状态时,作用在物体上的各力一定互为平衡力;当物体的运动状态发生变化时,它所受外力的合力一定不为零,而且合外力一定与物体运动的加速度有瞬时对应关系,因此,根据物体的运动状态确定其受力情况,为物体受力分析提供了又一重要途径。

说明 受力分析的思维顺序:在对物体做受力分析时,依据各种基本性质力的产生条件由简到繁,按照先找场力,后找接触力;在接触力中,先找弹力,后找摩擦力的思维顺序,依次确定物体所受各力。在分析物体所受摩擦力的过程中,要先根据题目所述现象确定摩擦力的性质是属于滑动摩擦力,还是静摩擦力或最大静摩擦力;再抓住摩擦力总是阻碍物体间相对滑动(或抵消相对滑动趋势)的特点,确定摩擦力的方向;最后定摩擦力的大小——由滑动摩擦定律可知 $F_f = \mu F_N$ 且 $\mu < 1$, 则有 $F_f < F_N$; 或根据平衡条件确定摩擦力的大小,要注意静摩擦力为变力,其取值范围是 $0 < F_f \leq F_m$ 。

例题新析

例 1 三共点力在同一平面内互成 120° 角,大小分别为 20N 、 30N 和 40N ,求这三共点力的合力大小和方向。

分析 求这三共点力的合力,如若应用矢量运算的平行四边形定则,则先要求出其中两力的合力大小和方向,再确定前两力合力与第三个力之间的夹角,并再次应用平行四边形定则,求出三个力合力的大小和方向,不仅解题过程层次繁杂,而且多为解斜三角形和求解一般角的三角函数,如果应用正交分析法求解合力,不仅可将矢量运算转换为代数运算,简化运算定则,减少解题层次;而且把解斜三角形问题转化为解直角三角形,使运算过程大为简化,故正交分析法当属最佳解法。

解 如图 1-3 所示



图 1-3

$$\begin{aligned} F_x &= F_{1x} + F_{2x} + F_{3x} = F_1 \cos 30^\circ - F_2 \cos 30^\circ \\ &= (20 - 30) \times \frac{\sqrt{3}}{2} = -5\sqrt{3}\text{N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_y &= F_{1y} + F_{2y} + F_{3y} = F_1 \sin 30^\circ + F_2 \sin 30^\circ - F_3 \\ &= (20 + 30) \times \frac{1}{2} - 40 \\ &= -15\text{N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{由 } \Sigma \vec{F} &= \vec{F}_x + \vec{F}_y, \\ \Sigma F &= \sqrt{F_x^2 + F_y^2} \\ &= \sqrt{(-5\sqrt{3})^2 + (-15)^2} = 17.32\text{N} \end{aligned}$$

$$\tan \varphi = \left| \frac{F_y}{F_x} \right| = \frac{15}{5\sqrt{3}} = \sqrt{3}$$

$\therefore \varphi = 60^\circ$ 为 $\Sigma \vec{F}$ 与 x 轴负方向之间的夹角。

例 2 在河水有一条小船,沿水平面上受到两个拉力作用, $F_1 = 500\text{N}$, $F_2 = 300\text{N}$; 两力与中心航线夹角分别为 $\alpha = 37^\circ$, $\beta = 30^\circ$, 欲使小船能沿河道的中心航线行驶,则需要对小船施加的最小外力 F_3 的大小和方向如何?

分析 欲使小船沿河道的中心航线行驶,则必须使小船所受外力的合力方向沿中心航线。在解法上,依据力的等效性,先求力 F_1 和 F_2 的等效合力,而力矢量 F_1 与 F_2 之间夹角为 67° ,并不是特殊角,因此需要利用一般角的三角函数值,解斜三角形求出力 F_1 与 F_2 的合力。再根据小船所受合力方向为沿河道中心航线,求所需要施加的最小的第三个力,必为沿垂直于河道中心线的方向,使合力与两分力构成直角三角形。(如图1-4所示)



图1-4

这种解斜三角形的方法比较繁琐,并非最佳解法。若采用正交分析法,则可将解斜三角形转变为解直角三角形,将矢量运算转化为标量运算。即只要保证小船在与河道中心线垂直的方向上所受合力为零,而沿河道中心线方向上合力不为零,就可求出满足条件应施加的最小的第三个力。也就是说,所施加第三个力沿平行于河道中心线方向上无分力时,则该力为最小值。

取河道的中心线方向为 x 轴,与河道中心线垂直的方向为 y 轴。(如图1-5所示)



图1-5

解 由 $\Sigma F_y = 0$ 条件,可得 $F_1 \sin \alpha - F_2 \sin \beta - F_3 = 0$

$$\therefore F_3 = F_1 \sin \alpha - F_2 \sin \beta$$

$$F_3 = 500 \times 0.6 - 300 \times 0.5$$

$$F_3 = 150 \text{ N 即为所求。}$$

1 正确判断物体所受摩擦力问题

说明 分析物体所受摩擦力的问题,要依据摩擦力的产生条件:物体间接触,粗糙,有形变,相对滑动(或相对滑动的趋势),并且四个条件缺一不可。

例3 跨过光滑的定滑轮,用一根轻绳的两端各拴住质量分别为 m_A 、 m_B 的 A 、 B 两物块,物块 A 与水平面,物块 B 与竖直平面间滑动摩擦因数均为 μ 。当物块 A 沿水平面向右方,物块 B 沿竖直平面向下在匀速滑动的过程中,求物块 A 、 B 所受摩擦力各是多少?

分析 如图1-6所示,由 A 、 B 两物块的受力情况,物块 A 与水平面之间满足相互接触、接触面粗糙、接触面有形变且 $F_{NA} = m_A g$ (在数值上),物块 A 相对水平面向右匀速滑动,故水平面对物块 A 有向左方的滑动摩擦力;物块 B 与竖直平面向下接触,接触面是粗糙的,虽有相对滑动,但物块 B 所受重力和绳对物块 B 的拉力,其方向均在竖直方向上,没有任何力或分力对物块 B 有压紧竖直平面的作用效果,即物块 B 与竖直平面向无压力,不满足摩擦力的产生条件,则竖直平面对物块 B 无摩擦力作用。



图1-6

解 水平面对物块 A 有滑动摩擦力作用

$$f_{kA} = \mu F_{NA} = \mu m_A g, \text{ 方向水平向左方}$$

竖直平面对物块 B 无摩擦力作用

$$f_{kB} = \mu F_{NB}, \text{ 而 } F_{NB} = 0, \text{ 则 } f_{kB} = 0.$$

例4 如图1-7所示,试分析正在沿直线路径行进的自行车,其前、后轮所受摩擦力的性质和方向各如何。



图 1-7

分析 对自行车来说,其后轮为主动轮,前轮为从动轮,人脚踏踏板,通过链条传动使后轮转动起来,使后轮与地面之间的切点 B 相对地面总是有向后的运动趋势,因此地面对自行车后轮的摩擦力为静摩擦力 f_s (或最大静摩擦力 f_m),其方向与切点 B 相对地面向后的滑动趋势方向相反,即向前方。由于自行车的后轮所受静摩擦力向前,为动力,使自行车向前方改变运动状态,通过车架子、前叉子对自行车前轮的轴产生一向前方的推力,使前轮相对地面向前方滑动,因此前轮与地面间的切点 A 相对地面为向前滑动,使前轮受到地面对其摩擦力为滑动摩擦力,其方向为向后方。

2 确定物体所受摩擦力的思维顺序

根据摩擦力的产生条件判断物体是否受到摩擦力作用,在进一步的判断中要遵从这样的思维顺序:即先定摩擦力的性质——可根据摩擦力的分类条件,由题意判断物体与接触面之间是相对滑动,或是有相对滑动的趋势,确定物体所受摩擦力的性质为滑动摩擦力,或是静摩擦力,或是最大静摩擦力;再定摩擦力的方向——总是跟物体与接触面之间相对滑动(或相对滑动趋势)方向相反的;最后定摩擦力的大小——若是滑动摩擦力,则遵从滑动摩擦定律,即 $f_k = \mu \cdot F_N$;若是最大静摩擦力,亦遵从摩擦定律, $f_m = \mu_0 F_N$ 。

注意 一般情况下可认为 $\mu_0 = \mu$;而物体所受到的静摩擦力,其大小总是与使物体有相对滑动趋势的、沿接触面的公切面方向的外力或外力的分力大小相等、方向相反,在一条直线上的。

例 5 如图 1-8 所示,用一个与竖直方向成 θ 角且斜向上方的外力,将一质量为 m 的物块压紧在竖直墙壁上,物块与墙壁之间摩擦系数为 μ ,若使该物块保持静止状态,则所用外力的大小为多少?



图 1-8

分析 物块被一个与竖直方向成 θ 角斜向上方的外力压紧在竖直墙壁上,使物块与竖直墙壁之间相互接触、接触面粗糙不平、接触面有形变且压力的大小为 $F_N = F \sin \theta$,而物块保持静止状态,其相对于墙壁的滑动趋势方向依外力 F 大小而定:当外力 F 取最大值时,物块相对墙壁的滑动趋势为竖直向上,物块所受最大静摩擦力方向向下;当外力 F 取最小值时,物块相对竖直墙壁有向下方向的滑动趋势,此时物块所受最大静摩擦力方向竖直向上。

解 当外力 $F = F_{\max}$ 时,受力情况如图 1-9 所示,由 $\sum \vec{F} = 0$

$$\begin{aligned} & \text{得 } \begin{cases} F_N = F_{\max} \cdot \sin \theta \\ F_{\max} \cdot \cos \theta = mg + \mu F_N \end{cases} \\ & \therefore F_{\max} \cdot \cos \theta = mg + \mu \cdot F_{\max} \cdot \sin \theta \\ & \text{则 } F_{\max} = \frac{mg}{\cos \theta - \mu \sin \theta} \end{aligned}$$

当外力 $F = F_{\min}$ 时,物块受力情况如图 1-10 所示,由 $\sum \vec{F} = 0$



图 1-9



图 1-10

$$\begin{aligned} & \text{得 } \begin{cases} F'_N = F_{\min} \sin \theta \\ F_{\min} \cos \theta + \mu F'_N = mg \end{cases} \\ & \therefore F_{\min} \cos \theta + \mu F_{\min} \sin \theta = mg \\ & \text{则 } F_{\min} = \frac{mg}{\cos \theta + \mu \sin \theta} \end{aligned}$$

$$\text{故外力取值为 } \frac{mg}{\cos \theta + \mu \sin \theta} \leq F \leq \frac{mg}{\cos \theta - \mu \sin \theta}$$

时,可使物块保持静止状态。

例 6 如图 1-11 所示,在两块相同的竖直平板 M 、 N 之间有四块质量同为 m ,相同材料的物块。现用两个大小都为 F ,方向相反的水平力 F 压木板 M 、 N ,使四物块 A 、 B 、 C 、 D 悬空并处于静止状态,则木板 M 对物块 A 、物块 A 对 B 、物块 B 对 C 的摩擦力各是多少? 方向如何?

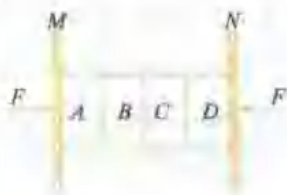


图 1-11

分析 因为木板与物块之间、物块与物块之间的摩擦力均为未知量,若分别取物块 A 、 B 、 C 、 D 为研究对象,根据平衡条件,逐一求解这诸多个摩擦力,势必增加解题层次和难度。因此首先应取四个物块整体为研究对象,可将四物块之间相互作用的摩擦力作为内力,暂且减少未知量的个数,先求出木板 M 对物块 A (或木板 N 对物块 D) 的摩擦力大小和方向;然后取物块 A 为研究对象,确定物块 B 对 A 的摩擦力;再以物块 B 为研究对象,确定物块 C 对 B 的摩擦力,使问题得以简化。

对四物块组成的物体系,其所受重力 $4mg$ 方向为竖直向下,使四物块物体系相对木板 M 、 N 有向下滑动的趋势,因此木板 M 对物块 A 、木板 N 对物块 D 的摩擦力为静摩擦力,方向与下滑趋势方向相反为竖直向上的,静摩擦力的大小由平衡条件可得 $f_{M1} = f_{N1} = \frac{1}{2} \times 4mg = 2mg$ 。如图 1-12 所示。

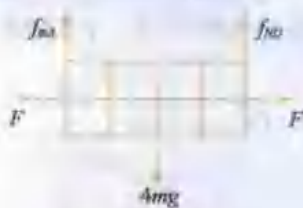


图 1-12

对物块 A 来说,其所受重力与木板 M 对 A 的静摩擦力 f_{M1} 的合效果,使物块 A 相对物块 B 有上滑趋势,因此物块 B 对物块 A 的静摩擦力,方向为竖直向下,大小由平衡条件可求出 $f_{BA} = f_{M1} - mg = 2mg - mg = mg$ 。而对物块 B 来说,其所受重力与物块 A 对 B 的静

摩擦力(根据牛顿第三定律可确定其方向为竖直向上,大小为 mg)互相平衡,故物块 C 对物块 B 的摩擦力为零。如图 1-13 所示。

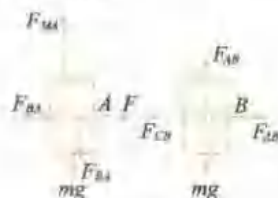


图 1-13

3.1 柔绳与刚性杆模型

在一些物理问题中,常常会遇到柔绳和弹簧所施的弹力或柔绳与硬杆所施的弹力,这时在对研究对象做受力分析时就要特别注意到它们之间的区别。虽然弹力的产生是以物体发生弹性形变为前提的,但是当施力物体发生的形变很小时,以致它们的形变量往往可以忽略的情况下,我们可以只考虑它们施于研究对象的弹力而不考虑它们的形变。这样就形成了在物理学中常说的“刚体”,非弹性绳就是这样的理想化模型。

说明 在刚体模型中,刚性直杆与非弹性绳之间亦存在着不同之处,即非弹性绳产生弹力时,弹力方向永远是沿绳指向绳的内部,只能是拉力——绳只能受到拉伸作用,而不能受压,故绳只能提供拉力;而刚性杆产生弹力时,其弹力方向不一定是沿杆方向,即使是沿杆方向的弹力,那既可能是拉力,也可能是支持力——直杆既可以受压提供支持力,又可以受拉而提供拉力。

在实际问题中必须加以注意。

例 7 如图 1-14 所示,质量相等的 A 、 B 两球之间,用一轻弹簧相连,并通过一根轻绳将 A 球悬挂在天花板上。 A 、 B 两球均处于静止状态。当将轻绳剪断的瞬间,判断两球的受力情况。



图 1-14

分析 在由两个小球 A、B 和轻绳、轻弹簧组成的物体系统处于静止状态时,轻弹簧必处于伸长状态,由平衡条件对 B 球做受力分析,可知弹簧上的弹力应等于 B 球所受到的重力。当将轻绳剪断的瞬间,弹簧仍处于原来的伸长状态(因为弹簧由伸长状态恢复到原长需要经历一段时间,在此瞬间弹簧的伸长形变还未来得及恢复),弹簧上的弹力尚未变化;而轻绳由于被剪断,绳上的弹力立即消失。

解 分别隔离小球 A、B,在轻绳被剪断的瞬间,其受力情况如图 1-15 所示。

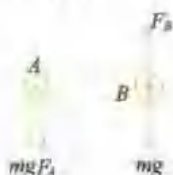


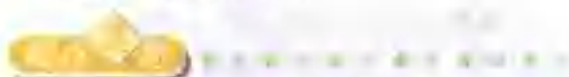
图 1-15

根据 $\sum \vec{F} = 0$

$$F_B = mg$$

而 $F_A = F_{A'}$ (在数值上)

$$\therefore \sum F_A = F_A + mg = 2mg.$$



在利用物体平衡条件分析时,必须明确

研究对象和受力情况。

1 若两物体间仅接触,而接触处无形变,则两物体间无压力。

例 8 将一质量为 m 的匀质球放置在水平面与斜平面之间,试对匀质球做受力情况分析。

误解:弹力的产生条件应为:两物体相接触,且接触面处发生弹性形变。在实际分析中没有分析两物体接触面是否发生形变,因此误认为斜平面对匀质球有斜向上方向的弹力。如图 1-16 所示。



图 1-16

分析 匀质球在其所受到的重力作用下,沿竖直向下方向使匀质球压紧水平面,所以水平面对匀质球有竖直向上方向的支持力 F_N ;而匀质球与斜平面接触,却没有任何力或它们的分力使匀质球压紧斜平面,球与斜平面之间仅为接触而没有发生形变,因此斜平面对匀质球没有弹力作用,故匀质球在所受重力和水平面对其支持力的作用下而处于平衡状态。

例 9 将重量为 G ,横截面圆的半径为 R 的圆柱形石碾,在水平推力 F 的作用下,缓慢地翻转越过高度为 h ($0 < h < R$) 的障碍物,试对圆柱形石碾做受力情况分析。

误解:如图 1-17 所示,在受力分析中,没有注意到将石碾在水平推力作用下翻转即将越过障碍物这一临界状态下,石碾与水平地面间仅接触,即将脱离接触,不会发生形变,因此水平地面对石碾无支持力;而是错误地认为石碾与水平地面间有形变,地面对石碾有竖直向上的支持力 F_{N2} 。



图 1-17

分析 要考虑到石碾翻转即将脱离水平地面的这一临界状态下,地面对石碾无支持力。而在重力和水平推力的作用下石碾斜向下方向挤压障碍物,使石碾与障碍物不仅接触,而且发生压缩形变,障碍物对石碾的支持力 F_N 方向为沿径向指向石碾截面圆的圆心,因此石碾在三力作用下处于平衡状态。如图 1-18 所示。



图 1-18

2 物体所受摩擦力的方向应与物体间相对滑动(或相对滑动趋势)方向相反,并非与外力方向相反。

注意 不要把“物体的相对运动方向”与“物体



的运动方向“等同”。且“相对”既不是“对”地,也不是对“观察者”,“相对”的是跟它接触的物体。

例10 如图1-19所示,重量为 $G=15\text{N}$ 的物体与水平地面之间的滑动摩擦因数为 $\mu=0.2$,物体运动速度方向为沿水平向右方向。若该物体受到的沿水平向左方的推力 F 的大小为 7N ,则该物体所受滑动摩擦力 F_f 的大小和方向各如何?



图 1-19

误解:该物体所受滑动摩擦力 F_f 的方向为沿水平方向向右方,与水平推力 F 的方向相反。

分析 出现上述错误的原因在于:没有判断准确题述的物体运动的物理图景,该物体虽然受到水平向左方的推力 F ,但是物体运动速度方向为水平向右方,即物体相对水平地面的运动方向为水平向右方;又由于物体与水平地面间互相接触、接触面粗糙不平、接触面有形变且压力大小 $F_N=G$ (数值上),物体相对地面向右方滑动,因此该物体所受到的地面对其滑动摩擦力 $F_f=\mu F_N=\mu G=0.2\times 15=3\text{N}$,摩擦力的方向为水平向左方。不能错误地将物体所受滑动摩擦力方向判定为与水平推力 F 方向相反。

例11 如图1-20所示,跳伞员连同装备总重量为 G ,在跳离飞机后,由于水平方向风的影响,使跳伞员沿着与竖直方向成 θ 角斜向下,以速度 v 匀速下落,则跳伞员和装备整体所受到的空气阻力大小和方向为 ()

- A. $G/\cos\theta$,与速度 v 方向相反
- B. $G\cdot\cos\theta$,与速度 v 方向相反
- C. G ,竖直向上方向
- D. 无法判断



图 1-20



图 1-21

误解:如图1-21所示,跳伞员和装备整体所受空气阻力的方向为与其下落速度 v 方向相反;而阻力 f 的大小为:

$$F_N = f \cdot \sin\theta$$

$$f \cos\theta = G$$

$$\therefore f = G/\cos\theta \quad \text{选择答案 A.}$$

分析 跳伞员和装备整体在跳离飞机后的匀速下落过程中,一方面随风(流动的空气)水平向右方漂流,在水平方向上,跳伞员相对空气为静止,风对跳伞员无作用力。另一方面跳伞员在竖直方向上相对空气在下落,故空气对跳伞员的阻力方向与其相对运动方向相反,为竖直向上方向,阻力的大小为 $f=G$ (在数值上)。

注意 滑动摩擦力的大小与接触面积无关,与接触面的粗糙程度有关,而与接触面的面积大小无关。

注意 将物体所受滑动摩擦力的大小错误地理解为与两物体间接触面积成正比。

例12 如图1-22所示,将全长为 L ,重量为 G 的木板放在水平桌面上,它们之间的滑动摩擦因数为 μ ,木板的一端探出桌面的长度为木板全长 L 的 $\frac{1}{3}$,欲将该木板缓慢地沿水平方向推回桌面内,则需要用多大的水平推力?



图 1-22

误解:由于木板被缓慢(即匀速)推回桌面内,所以满足 $\sum \vec{F}=0$ 。

$$F = F_f = \mu F_N = \mu \cdot \frac{2}{3}G = \frac{2}{3}\mu \cdot G$$

分析 如图1-23所示为木板的受力情况。



图 1-23

木板所受水平桌面对其滑动摩擦力的大小与上述两物体间接触面积的大小无关。

解 木板被缓慢推回水平桌面内,满足二力平衡条件,

$$\text{即 } \sum \vec{F} = 0$$

$$F = F_f = \mu F_N$$

$$F_N = G$$

则 $F = \mu G$, 方向水平向右。

注意 本题在确定静摩擦力和滑动摩擦力的方向时,一定要注意静摩擦力的方向与物体相对运动趋势的方向相反,滑动摩擦力的方向与物体相对运动的方向相反。

注意 滑动摩擦力与静摩擦力的区别:滑动摩擦力是两物体间发生了相对滑动,静摩擦力是两物体间有相对运动趋势。

例 13 如图 1-24,物体 m 放在一木板上,木板与水平面间的夹角由 0 逐渐增加到 90° 的过程中(缓慢地绕支点 O 转动)对木块的摩擦力 ()

- ☐ A. 不断增大
☐ B. 先变太后变小
☐ C. 不断变小
☐ D. 先变小后变大



图 1-24

误解: 答题中主要有两种错误答案:错选答案 A 或 B。选 A 错误的原因是认为物体受的摩擦力始终为静摩擦力,根据 $f = mg \sin \theta$ 知,当 θ 增大时 f 不断增大。选 B 错误的原因是认为物体受的摩擦力始终为滑动摩擦力,根据 $f = \mu mg \cos \theta$ 知,当 θ 增大时 f 不断减小。这两种错误都是不能对过程进行正确分析造成的,没有明确开始物体所受的为静摩擦力,当角度到达一定程度物体开始滑动,静摩擦力变成滑动摩擦力。可见遇到摩擦力问题时必须首先分析是静摩擦力还是滑动摩擦力,如果是滑动摩擦力,其大小满足 $f = \mu F_N$,如果是静摩擦力,必须明确物体所受的其它各力,然后由平衡条件或牛顿定律求解静摩擦力的大小和方向。

板抬起的初期, θ 角较小,重力分力不足以使物体沿斜面下滑,即 $mg \sin \theta < \mu mg \cos \theta$,但物体有沿斜面下滑的趋势,物体和板间存在静摩擦力,其方向沿板向

上,其大小 $f_1 = mg \sin \theta$,在此过程中 f_1 随 θ 的增大而增大,但当角度 θ 增大到一定程度时, $mg \sin \theta > \mu mg \cos \theta$,摩擦力已不能阻止物体下滑,此后物体与板间发生相对滑动,摩擦力已为滑动摩擦力,其方向沿板向上,大小 $f_2 = \mu mg \cos \theta$,随 θ 的增大而减小。所以本题正确答案应为 C。

注意 物体所受弹力的方向一定是垂直于它们的接触面并指向形变恢复的方向。

1 球类物体不论其重心与球心是否重合,所受弹力的方向一定指向球心,而不一定指向球的重心。

例 14 如图 1-25 所示,半径、重量完全相同的三个球形物体被架放在宽度相同的凹形槽上。由于三球形物体的质量分布情况不同,其中 2 球重心 C_2 与球心重合,而 1、3 球的重心 C_1 、 C_3 分别在球心的正上方、正下方。为便于观察和分析,现将三球重心标在一个圆上,若三球形物体均处于平衡状态,则它们对槽口压力大小的关系为 ()

- ☐ A. $F_1 < F_2 < F_3$
☐ B. $F_1 > F_2 > F_3$
☐ C. $F_1 = F_2 = F_3$
☐ D. 不可确定

误解: 选项 A 正确,即 $F_1 < F_2 < F_3$ 。



图 1-25

根据是凹形槽口对三球形物体的支持力方向分别指向各球的重心,而两槽口对球形物体支持力的合力大小与球所受重力平衡,在合力一定的情况下,球形物体 1、2、3 所受两支持力之间的夹角逐渐变大,因此可判定 $F_1 < F_2 < F_3$, 如图 1-26 所示。



图 1-26

【例1】 由于三个球形物体所受到的凹形槽口的支持力方向必定垂直于接触面的公切面指向形变消失方向,即指向球心的。对于球形物体不论其重心与球心是否重合,其所受弹力的方向一定指向球心,而不一定指向球形物体的重心,因此,三球形物体中每一球所受凹形槽口对其支持力的夹角都相同,必然得到 $F_1 = F_2 = F_3$, 选项 C 是正确的。

● 杆类物体提供的支持力方向不一定沿杆的方向,而绳提供的拉力方向一定沿绳指向柔绳的内部。

【例2】 如图 1-27 所示,一根重为 G 的均匀杆 OA 长为 L ,可绕水平轴 O 转动。为使 OA 杆保持水平,可用长也为 L 的轻杆 BC 来支撑。试分析轻杆 BC 对匀质杆 OA 的支持力的方向。

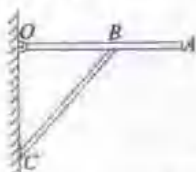


图 1-27

误解: 轻杆 BC 对匀质杆 OA 的支持力方向为沿 CB 延长线方向。

【例3】 如图 1-28 所示,轻杆 BC 与匀质杆 OA 属于点、线接触,接触处的公切面为平行于 OA 的水平面,因此轻杆 B 端对 OA 杆的支持力方向为垂直于 OA 竖直向上;另外轻杆 BC 的 B 端相对于匀质杆 OA 有向右方的滑动趋势, OA 杆对轻杆 BC 的 B 端的静摩擦力 F_f 方向为沿 AO 杆向左方,那么轻杆 BC 的 B 端对 OA 杆亦有静摩擦力作用,其方向为水平向右。又由于轻杆 BC 两端所受的力为沿轻杆方向,因此轻杆 BC 的 B 端对匀质杆 OA 的作用力 F 应该是它们之间支持力 F_N 和静摩擦力 F_f 的合力,即 $\vec{F} = \vec{F}_N + \vec{F}_f$,其方向为沿 CB 的延长线斜向上。

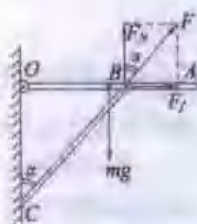


图 1-28

链接

【例4】 (2004,湖北高考题)如图 1-29 所示,四个完全相同的弹簧都处于水平位置,它们的右端受到大小皆为 F 的拉力作用,而左端的情况各不相同:①中弹簧的左端固定在墙上,②中弹簧的左端受大小也为 F 的拉力作用,③中弹簧的左端拴一小物块,物块在光滑的桌面上滑动,④中弹簧的左端拴一小物块,物块在有摩擦的桌面上滑动,若认为弹簧的质量都为零,以 l_1, l_2, l_3, l_4 依次表示四个弹簧的伸长量,则有

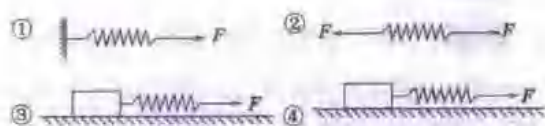


图 1-29

A. $l_2 > l_1$ B. $l_4 > l_3$ C. $l_1 > l_3$ D. $l_2 = l_4$

【例5】 弹簧发生弹性形变时,其中弹力和弹簧伸长量间的关系遵循胡克定律,弹力是弹簧所受到的作用力,如果弹簧是轻弹簧,则对弹簧所施加的作用力与弹簧中的弹力大小相等。本题中弹簧均受拉力 F 作用,所以弹力大小均为 F 。又因弹簧相同,所以劲度系数 k 相同,由胡克定律得:

$$\begin{aligned} \text{① } F &= kl_1 & \text{③ } F &= kl_3 \\ \text{② } F &= kl_2 & \text{④ } F &= kl_4 \end{aligned}$$

$$\text{所以 } l_1 = l_2 = l_3 = l_4$$

【例6】 D

【例7】 (2003,天津高考题)在粗糙水平面上有一个三角形木块,在它的两个粗糙斜面上分别放两个质量为 m_1 和 m_2 的小木块, $m_1 > m_2$,如图 1-30(a)所示。已知三角形木块和两个小木块都是静止的,则粗糙水平面对三角形木块

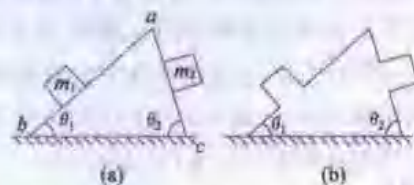


图 1-30

- A. 有摩擦力的作用,摩擦力的方向水平向右
 B. 有摩擦力的作用,摩擦力的方向水平向左
 C. 有摩擦力的作用,但摩擦力的方向不能确定,
 因为 $m_1, m_2, \theta_1, \theta_2$ 的数值并未给出
 D. 以上结论都不对

解析 判断物体是否受摩擦力的作用,关键要看物体相对地面有无运动趋势。

取木块及 m_1 和 m_2 整体为研究对象,等效为如图 1-30(l) 所示情形,一个放在水平面上的物体是不可能相对地有运动趋势的,故粗糙水平面对三角形木块无摩擦力。

答案 D

例 3 (2002, 全国高考题) 如图 1-31 所示, 物体 a, b 和 c 叠放在水平桌面上, 水平力为 $F_b = 5\text{N}$, $F_c = 10\text{N}$ 分别作用于物体 b, c 上, a, b 和 c 仍保持静止, 以 f_1, f_2, f_3 分别表示 a 与 b, b 与 c, c 与桌面间的静摩擦力的大小, 则 ()

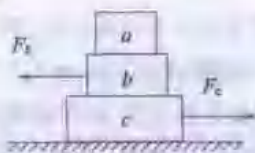


图 1-31

- A. $f_1 = 5\text{N}, f_2 = 0, f_3 = 5\text{N}$
 B. $f_1 = 5\text{N}, f_2 = 5\text{N}, f_3 = 0$
 C. $f_1 = 0, f_2 = 5\text{N}, f_3 = 5\text{N}$
 D. $f_1 = 0, f_2 = 10\text{N}, f_3 = 5\text{N}$

解析 本题中, a, b, c 三个物体叠放在一起, 它们相互作用, a 受力情况最简单, 可以先分析它的受力情况, a 受重力, b 对它的支持力而处于平衡状态, 显然 ab 之间无摩擦力, $f_1 = 0$. b 受重力, c 对它的支持力, a 对它的压力, 外力 F_b , 这四个力不可能达到平衡, 所以 c 必然给它一个摩擦力 f_2 与 F_b 相平衡, 则 $f_2 = F_b = 5\text{N}$, 方向与 F_b 的方向相反. 对于 c 物体, 它所受到的力有重力, 压力, 外力 F_c , 支持力, b 对它的摩擦力, 根据共点力平衡的条件, 这五个力不可能平衡, 它应该受向左的摩擦力 F_3 作用, $f_3 = F_c - f_2 = 5\text{N}$.

答案 C

例 4 (2001, 全国高考题) 如图 1-32 所示, 质

量为 m , 横截面为直角三角形的物块 ABC , $\angle ABC = \alpha$, AB 边靠在竖直墙面上, F 是垂直于斜面 BC 的推力, 现物块静止不动, 则摩擦力的大小为 _____.

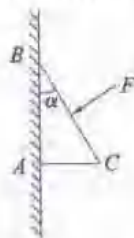


图 1-32

解析 由于题干中已明确说明, 紧压在竖直墙面的楔形木块在力 F 作用下处于静止平衡状态, 只要考生掌握物体的受力分析就不难求解本题。

楔形木块受到的外力有: 重力, 大小为 mg , 方向竖直向下; 作用于木块的压力, 大小为 F , 方向垂直指向斜面 BC ; 墙作用于木块的支持力, 大小 N 待求, 方向垂直指向直角边 AB 面; 墙作用于木块的静摩擦力, 大小 f 待求, 方向沿竖直方向向上。

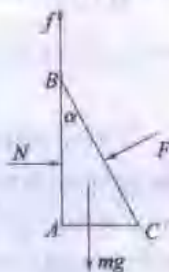


图 1-33

根据题干中的说明, 楔形木块处于静止平衡状态, 于是由静止平衡条件得到

$$\text{沿竖直方向有 } f - mg - F \sin \alpha = 0, \quad (1)$$

$$\text{沿水平方向有 } N - F \cos \alpha = 0, \quad (2)$$

由①、②两式解得墙作用于木块的静摩擦力 $f = mg + F \sin \alpha$, 支持力 $N = F \cos \alpha$.

$$\text{答案 } mg + F \sin \alpha$$

例 5 (2001, 全国高考题) 如图 1-34 所示, 在一粗糙水平面上有两个质量分别为 m_1 和 m_2 的木块 1 和 2, 中间有一原长为 l , 劲度系数为 k 的轻弹簧连接起来, 木块与地面间的滑动摩擦因数为 μ . 现用一水平力向右拉木块 2, 当两木块一起匀速运动时, 两木块之间的距离是 ()