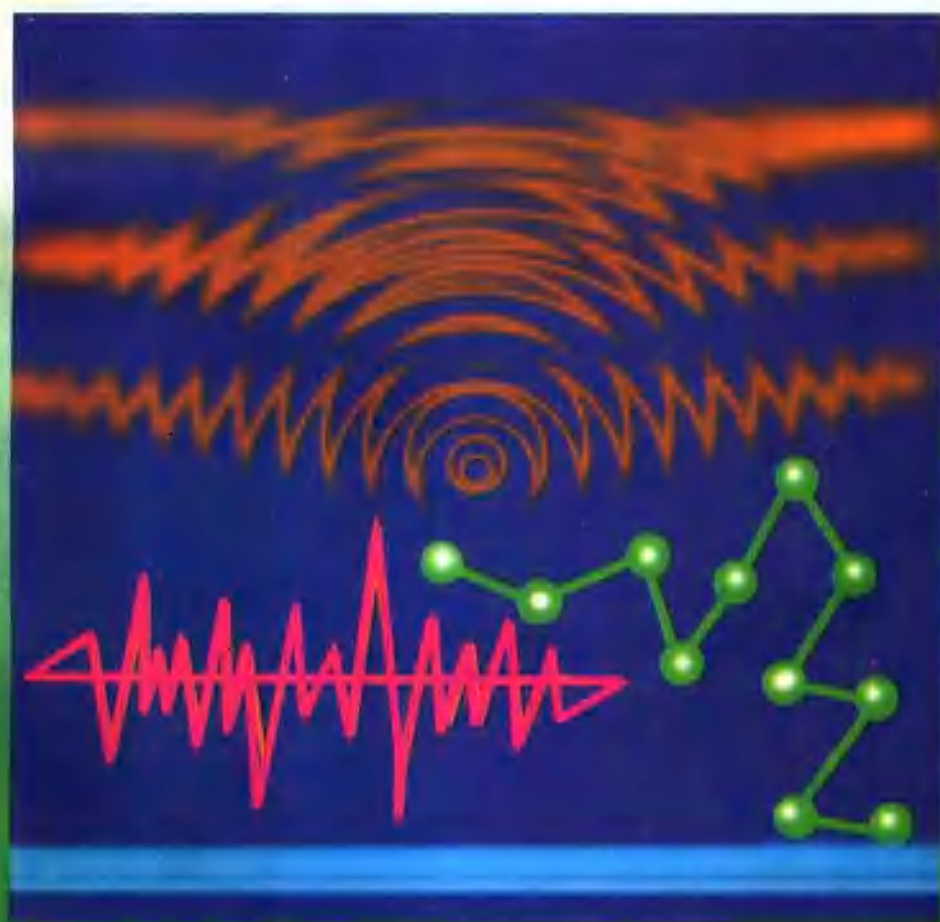


高中数理化基础知识
思维方法专题讲座丛书

高中物理基础知识专题讲座 思维方法专题讲座

卢浩然 张耀华 主编



珠海出版社

高中数理化基础知识
思维方法专题讲座丛书

高中物理基础知识专题讲座 思维方法

卢浩然 张耀华 主编

珠海出版社

《高中数理化基础知识思维方法专题讲座》丛书

编 委 会

主 编:吴永沛

编 委:张耀华 吴同传

牛德胜 郭晓光

(粤)新登字 17 号

图书在版编目(CIP)数据

高中物理基础知识思维方法专题讲座

ISBN 7-80607-342-6 ￥20.00 元

I. 高...

II. ①卢... ②张...

III. 高中-物理-讲座

IV. G633.7

高中物理基础知识思维方法专题讲座

◎卢浩然 张耀华主编

策 划:郭晓光 詹家宜

终 审:成 平

责任编辑:雷良波

装帧设计:张勤学 郑建新

出版发行:珠海出版社

电 话:3331403 邮政编码:519015

印 刷:中科院开封印刷厂

开 本:787×1092mm 1/16

印 张:19.75 字数:654千字

版 次:1997年10月第1版

1997年10月第1次印刷

印 数:1-20000

ISBN 7-80607-342-6/G·81

定 价:20.00 元

前 言

《高中数理化^{基础知识}思维方法专题讲座》丛书,是中学生学习报社最新创意并组织编写的。共分数学、物理、化学三科。

为了满足高中物理总复习的教学需要,帮助学生进一步理解高中物理的基础知识,掌握物理学的基本思维方法,提高解决物理问题的能力,我们组织长期耕耘在教学第一线的部分特级和高级教师,精心编写了《高中物理^{基础知识}思维方法专题讲座》一书。

本书根据现行《中学物理教学大纲》和《普通高等学校招生全国统一考试物理科说明》的要求,将必修和选修课本(人教版)的内容有机地结合起来,以专题的形式按十八章编写。每章均编写若干知识专题和思维方法专题,知识专题能覆盖高考要求的全部知识内容,并且对知识的重点、难点和易混点进行了深入的分析;思维方法专题着重对学生进行思维方法和解题技巧的指导。每个专题还选编了一些典型例题和课堂练习题,以便学生在解决问题的实践中,加深对基础知识的理解,掌握解决物理问题的常用思维方法。

本书既可作高三物理总复习的优选资料,也可供高一、高二同学同步学习物理时参考,对高中物理教师的教学亦有较高的参考价值。

参加该书编写的有(按姓氏笔画排序)马九克、牛真锁、王现超、王海泉、王少剑、王育杰、全书忠、白正欣、田浩、刘宁、刘峰、刘平安、刘玉敬、刘安美、刘福顺、朱登海、许文彬、李国纲、李康道、李畅、任会常、师武军、何乃新、吴祥志、范亚平、周敬梓、周久璋、郑青岳、张耀华、张保云、张保和、张有光、张振玉、姜水根、郭思旭、徐汉屏、郝君、阎福威、陶佩霞、黄泮明、韩长文、谢秉坚、崔长文、杨隆海、裴家量、滕崇勇等。本书由郑州四中特级教师卢浩然和中学生学习报社副编审张耀华同志审定。李政、许文彬同志绘制了全书插图。

编 者

目 录

第一章	力 物体的平衡	(1)
第二章	直线运动	(24)
第三章	牛顿运动定律	(37)
第四章	曲线运动 万有引力	(58)
第五章	动量和动量守恒	(73)
第六章	能量和能量守恒	(91)
第七章	机械振动和机械波	(112)
第八章	分子运动论 热和功	(133)
第九章	气体的性质	(137)
第十章	电场	(169)
第十一章	恒定电流	(189)
第十二章	磁场	(210)
第十三章	电磁感应	(234)
第十四章	交流电	(259)
第十五章	电磁振荡和电磁波	(270)
第十六章	光的反射和折射	(273)
第十七章	光的本性	(299)
第十八章	原子和原子核	(305)

第一章 力 物体的平衡

(一) 力 重力

一、力是物体对物体的作用

1. 力的物质性: 力是物体对物体的作用, 力的作用离不开物质. 不论是直接接触的物体间的相互作用, 还是不直接接触通过场发生的相互作用; 不论是宏观物体间的力的作用, 还是微观粒子间的力的作用, 有力就一定存在施力物体和受力物体, 力不能离开物体而独立存在.

2. 力的矢量性: 力是矢量, 既有大小, 还有方向. 力可以用一根带有箭头的线段来表示, 线段的长度表示力的大小, 箭头的指向表示力的方向, 箭尾(或箭首)画在力的作用点上; 这种表示力的方法叫做力的图示.

3. 力的相互性: 任何两个物体之间力的作用总是相互的, 施力物体同时也一定是受力物体.

4. 力的分类:

①根据力的性质命名的力有重力、弹力、摩擦力、分子力、电场力、磁场力等.

②根据力的效果命名的力有拉力、张力、压力、推力、动力、阻力、向心力、回复力等.

③根据研究对象命名的力有外力和内力.

二、重力

1. 重力的产生: 重力是由于地球对物体的吸引而产生的力.

2. 重力的大小: $G=mg$. 请注意: 重力是地球对物体引力的一个分力, 而引力的另一个分力提供物体随地球自转所需的向心力, 因此, 一般说来, 重力的大小不等于地球对物体的引力(两极除外); 重力的方向与地球对物体的引力方向不同(两极及赤道除外). 由于物体随地球自转所需的向心力与物体所受地球的引力相比很小, 所以计算时一般可近似地认为物体重力的大小等于地球对物体的引力. 重力的大小与物体运动的速度、加速度无关. 在加速运动的系统中, 发生超重或失重现象, 超重或失重是指物体对悬线的拉力或对水平支承物的压力大于或小于物体的重力, 在发生超重或失重现象时, 物体的重力

大小仍为 mg .

3. 重力的方向: 竖直向下.

4. 重力的反作用力: 是物体对地球的引力, 作用在地球上.

5. 重心: 物体所受重力的等效作用点. 质量均匀分布的物体, 重心的位置只跟物体的形状有关, 有规则形状的均匀物体, 它的重心就在其几何中心上; 不均匀物体的重心位置,



图 1-1

除跟物体的形状有关外, 还跟物体内部质量的分布有关. 对于形状不规则或者质量不均匀分布的薄板, 可用悬挂法测定其重心位置. 因为重心为一等效概念, 所以物体的重心不一定在物体上, 例如图 1-1 所示物体的重心就不在物体上.

课堂训练题

1. 关于力, 下列说法中错误的是 ()

①根据效果命名的不同名称的力, 性质可能相同.

②物体受几个力同时作用时, 运动状态一定发生改变.

③弹簧秤是测量力的仪器.

④在国际单位制中, 力的单位是牛. 1 千克力 = 9.8 牛.

2. 下列关于力的说法中, 正确的是 ()

①力是不能离开施力物体和受力物体而独立存在的.

②力可以离开物体而独立存在.

③受力物体同时也是施力物体, 施力物体同时也是受力物体.

④马拉车前进, 马对车有拉力, 但车对马没有拉力作用.

3. 在重力、弹力、摩擦力、浮力、支持力、压力、动力、阻力、向心力、回复力、内力、外力、分子力、电场力、磁场力、核力中, 按力的效果命名的有____; 按力的性质命名的有____; 按研究对象命名的有____.

4. 关于重力的产生, 下列说法中正确的是

()

- ① 只有静止的物体才受重力.
- ② 只有在空中运动的物体才受重力.
- ③ 绕地球运转的人造地球卫星不受重力.
- ④ 地球本身不受重力.

5. 关于物体重力的大小, 下列说法中正确的是

()

- ① 等于地球对物体的万有引力的大小.
- ② 等于物体压在水平支持物上的力的大小.
- ③ 跟物体所处的地理纬度和经度有关, 跟物体的速度无关.

的速度无关.

- ④ 可以用杆秤测量.

6. 关于物体的重心, 下列说法中正确的是

()

- ① 重心就是物体内最重的一点.
- ② 重心是物体各部分所受重力的合力的等效作用点.

③ 任何有规则形状的物体, 它的重心必在其几何中心.

④ 重心是物体所受重力的作用点, 所以重心总是在物体上, 不可能在物体外.

(二) 弹 力

一、弹力的概念

发生弹性形变的物体, 会对跟它接触并使它发生形变的另一物体产生力的作用, 这种作用叫做弹力.

二、弹力的产生条件

1. 接触.
2. 有弹性形变.

弹性形变是弹力产生的必要条件, 相互接触的物体间不一定存在弹力, 只有当物体在相互接触处产生挤压、拉伸或扭转等弹性形变时, 相互接触的物体间才会产生弹力.

三、用假设法判断弹力的有无

用假设法判断弹力有无的基本思路是: 假设将与研究对象接触的物体解除接触, 判断研究对象的运动状态是否发生改变, 若运动状态不变, 则此处不存在弹力; 若运动状态改变, 则此处一定存在弹力.

【例 1】如图 1-2 所示, 一个钢球放在茶杯中, 钢球在茶杯的底部和左侧壁相接触, 处于静止状态, 若钢球和茶杯都是光滑的, 侧壁对钢球有无弹力作用?

【分析与解答】假设解除茶杯左侧壁与钢球的接

触, 则钢球受重力 G 与水平杯底对它的支持力作用, 在这两个力的作用下, 钢球仍将处于静止状态, 故钢球与茶杯左侧壁只存在接触, 而没有发生弹性形变, 所以茶杯左侧壁对钢球没有弹力作用.



图 1-2

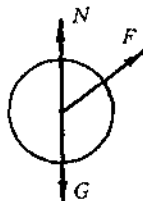


图 1-3

判断弹力有无的另一种思路是: 假设所有接触处对研究对象都施加了弹力作用, 作出假设状态下的研究对象的受力图, 判断物体受力情况与原运动状态是否矛盾, 若不发生矛盾, 假设正确, 若发生矛盾, 假设不正确, 现再用这种思路分析上例. 假设钢球除受重力 G 和水平杯底支持力 N 之外, 还受到杯左侧壁的弹力 F , 作出如图 1-3 所示的力图. 从图可见, F 的水平分力将使钢球产生水平向右的加速度. 这与题设条件(钢球静止)相矛盾, 所以原假设不正确, 茶杯左侧壁对钢球没有弹力.

四、弹力方向的判断

1. 根据物体产生形变的方向判断: 弹力方向与物体形变的方向相反, 作用在迫使这个物体发生形变的那个物体上, 具体情况有以下几种:

- ① 轻绳的弹力方向沿绳且离开受力物体.
- ② 点与平面接触, 弹力方向垂直于平面, 点与曲面接触, 弹力方向垂直于曲面接触点所在切面.
- ③ 平面与平面接触, 弹力方向垂直于平面, 且指向受力物体; 球面与球面接触, 弹力方向沿两球球心连线方向, 且指向受力物体.

根据上述原则, 不难判断图 1-4 中各物体所受弹力的方向(各个接触面均光滑).

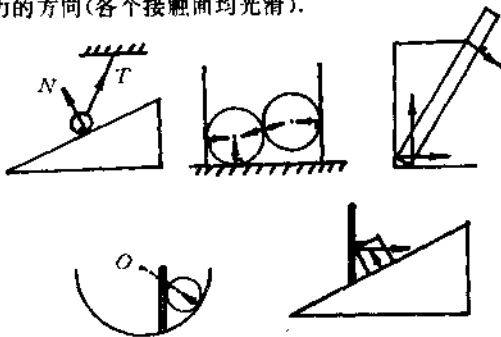


图 1-4

2. 根据物体的运动情况, 利用平衡条件或动力

学规律判断。

【例2】如图1-5所示，小车上固定着一根弯成 α 角的曲杆，杆的另一端固定一个质量为 m 的球。试分析下列两种情况下杆对球的弹力方向：①小车处于静止状态；②小车以加速度 a 水平向右运动。

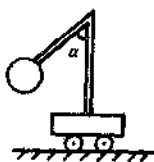


图1-5

【分析与解答】①根据物体平衡条件可知，杆对球的弹力方向竖直向上，且大小等于球的重力 mg 。

②选小球为研究对象，假设小球所受杆的弹力方向与竖直方向的夹角为 θ ，如图1-6所示，根据牛顿第二定律有

$$F \sin \theta = ma,$$

$$F \cos \theta = mg.$$

两式相除得

$$\tan \theta = \frac{a}{g}.$$

由此可见，杆对球的弹力方向与球的运动状态有关，并不一定沿杆的方向，这与轻绳所产生的弹力方向是有区别的。

五、弹力大小的计算

1. 在弹性限度内，弹簧的弹力大小跟弹簧伸长（或缩短）的长度 x 成正比（胡克定律），即 $F=kx$ 。 k 是弹簧的倔强系数，表示弹簧本身的一种属性，它的数值与弹簧的材料、弹簧丝的粗细、弹簧圈的直径及弹簧的原长相关；在其它条件一定时，弹簧越长， k 越小。

2. 除弹簧外，其它物体的弹力大小，通常应根据研究对象运动情况，利用平衡条件或动力学规律建立方程求解。

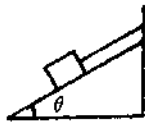


图1-7

【例3】质量为 m 的木块通过一根与斜面平行的轻绳连结后，放在光滑的斜面上。求下列两种情况下，绳及斜面对木块的弹力大小。①系统处于静止状态；②系统竖直向上以加速度 a 做匀加速运动。

【分析与解答】①选木块为研究对象，受力情况如图1-8所示，由平衡条件得

$$N = mg \cos \theta,$$

$$T = mg \sin \theta.$$

②木块受力情况仍见图1-8，由牛顿运动定律得

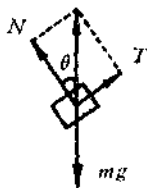


图1-8

则

$$\frac{N}{\cos \theta} - mg = ma,$$

同理

$$N = m(g+a) \cos \theta.$$

则

$$\frac{T}{\sin \theta} - mg = ma,$$

$$T = m(g+a) \sin \theta.$$

课堂训练题

7. 关于弹力的下列说法中，正确的是 ()

①相互接触的物体间一定有弹力。

②只有发生弹性形变的物体，才会对它接触的物体产生弹力。

③只有受弹簧作用的物体，才受到弹力。

④弹簧的弹力总是与弹簧的伸长量成正比。

8. 关于弹力，下列说法中错误的是 ()

①通常所说的压力、支持力和绳的拉力都是弹力。

②压力和支持力的方向总是垂直于接触面。

③轻杆一端所受弹力的作用线一定与轻杆方向重合。

④轻绳一端所受弹力的作用线一定与轻绳方向重合。

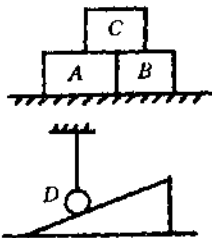


图1-9

9. 如图1-9所示，A、B两物体并排放在水平面上，C物体叠放在A、B上；D物体悬挂在竖直线下端，且与斜面接触。若接触面均光滑，下列说法中正确的是 ()

①B对地面的压力大小等于B的重力。

②B对A的弹力方向水平向左。

③斜面对D的支持力垂直斜面向上。

④D对斜面没有压力作用。

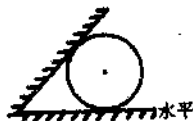


图1-10

10. 画出图1-10中各静止物体所受到的弹力方

向(各接触面均光滑)。

11. 一根倔强系数 $k=10^3$ 牛/米的弹簧, 两端均受 500 牛的压力作用时, 长度为 33 厘米, 当不受外力作用时, 弹簧的长度为_____。

12. 竖直悬挂着的弹簧下端挂一个质量为 m_1 的物体时, 弹簧长度为 L_1 ; 当物体质量增至 m_2 时, 弹簧长度为 L_2 (在弹性限度内)。求弹簧的原长 L_0 和倔强系数 k 。

13. 一个弹簧秤, 由于更换弹簧, 不能直接在原来准确的均匀刻度上读数。经测试, 不挂重物时, 示数为 2 牛; 挂 100 牛的重物时, 示数为 92 牛 (弹簧仍在弹性限度内); 那么当读数为 20 牛时, 所挂物体的实际重为_____。

14. 如图 1-11 所示, 弹簧秤的自重及绳与滑轮间的摩擦均不计, 若 $G_1=40$ 牛, $G_2=10$ 牛, 则弹簧秤 A 的读数为_____, 弹簧秤 B 的读数为_____, 弹簧秤 C 的读数为_____。

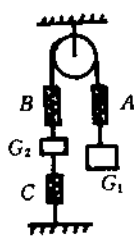


图 1-11

(三) 摩擦力的有无和方向的判断

一、摩擦力的概念: 相互接触且发生形变的粗糙物体间, 有相对运动 (或相对运动趋势) 时, 在接触面上所受的阻碍相对运动 (或相对运动趋势) 的力。

二、摩擦力的产生条件: 1. 接触面粗糙; 2. 有正压力; 3. 有相对运动 (或相对运动趋势)。以上三个条件中任缺一个, 都不会产生摩擦力。如图 1-12①所示, 当物体 A 沿粗糙竖直墙壁向上滑动时, 由于物体 A 与墙壁无正压力, 所以物体与墙壁间无摩擦力; 但是在图 1-12②中, 物体 A 与墙壁间有滑动摩擦力。

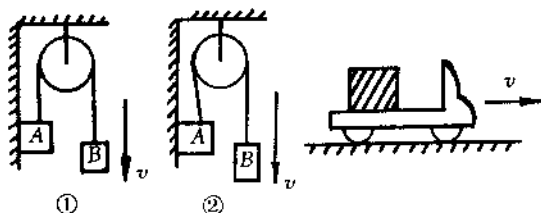


图 1-12

图 1-13

如图 1-13 所示, 汽车沿水平路面匀速运动时, 集装箱与汽车具有相同的速度, 由于它们之间既无相对运动, 又无相对运动趋势, 所以它们的接触面上没有摩擦力。

三、滑动摩擦力方向的判断: “滑动摩擦力的方

向与物体相对运动的方向相反”是判断滑动摩擦力方向的依据。这里特别要注意“相对运动”的含义, 它是指研究对象相对于被接触物体所进行的运动, 判断滑动摩擦力方向的具体操作程序是:

1. 选研究对象 (受滑动摩擦力作用的物体)。
2. 选跟研究对象接触的物体为参照物。
3. 找出研究对象相对参照物的速度方向。
4. 滑动摩擦力的方向与相对速度的方向相反。

【例 1】如图 1-13 所示, 集装箱放在汽车上, 当汽车沿水平路面加速运动时, 集装箱沿车箱水平底板向后滑动, 这时集装箱所受的滑动摩擦力方向如何?

【分析与解答】要分析集装箱 (研究对象) 所受的滑动摩擦力方向, 应选与它接触的汽车为参照物, 由于集装箱相对汽车的速度方向向后, 所以集装箱所受的滑动摩擦力向前。顺便指出, 集装箱所受的滑动摩擦力是集装箱加速向右运动的动力, 而不是运动的阻力。注意: 滑动摩擦力总是起着阻碍相对运动的作用, 并不总是起着阻碍运动的作用。

四、静摩擦力方向的判断

1. 相对运动趋势方向的判断: 关于相对运动趋势方向的判断, 一般是采用化“静”为“动”的思路: 假设研究对象与被接触物体之间光滑, 若它们之间发生相对滑动, 则其相对滑动方向便是原先的相对运动趋势方向; 若它们之间不发生相对滑动, 则说明它们之间原先并无相对运动趋势。

2. 静摩擦力方向的判断: 判断静摩擦力方向的依据是“静摩擦力的方向总是跟接触面相切, 并且跟相对运动趋势的方向相反”。其操作程序是:

- ①选研究对象 (受静摩擦力作用的物体)。
- ②选跟研究对象接触的物体为参照物。
- ③假设接触面光滑, 找出研究对象相对参照物的速度方向 (即相对运动趋势的方向)。
- ④静摩擦力方向与相对运动趋势的方向相反。

【例 2】如图 1-14

所示, A、B 两物体的接触面粗糙, 水平地面光滑, 水平力 F 作用在 A 上, 使两者一起运动, 试分析两物体所受的静摩擦力方向。

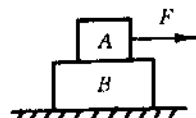


图 1-14

【分析与解答】要分析 A 物体 (研究对象) 所受的静摩擦力方向, 应选 B 物体为参照物; 假设 A、B 间的接触面光滑, 则 A 相对 B 的速度方向水平向右, 即在实际情况下 A 的相对运动趋势方向向右, A 所受的静摩擦力方向水平向左。

要分析 B 物体(研究对象)所受的静摩擦力方向,应选 A 为参照物;假设 A 、 B 间的接触面光滑,则 B 相对 A 的速度方向向左, B 所受的静摩擦力方向水平向右。

顺便指出:在本例中, B 所受的静摩擦力是 B 向右做加速运动的动力,而 A 所受的静摩擦力是运动的阻力,可见静摩擦力与滑动摩擦力都既可以是阻力,也可以是动力。

课堂训练题

15. 关于摩擦力,下列说法中正确的是 ()

- ①物体受到摩擦力作用时,一定受到弹力。
- ②只有运动的物体才能受到滑动摩擦力。
- ③只有静止的物体才能受到静摩擦力。
- ④具有相对运动的两个物体间一定有摩擦力。

16. 关于摩擦力的方向,下列说法中正确的是 ()

- ①摩擦力一定跟物体的运动方向相反。
- ②摩擦力一定跟物体间相对运动或相对运动趋势的方向相反。
- ③摩擦力的方向与物体运动方向总是在同一直线上。

④两物体接触面上的摩擦力方向一定与弹力的方向垂直。

17. 如图 1-15 所示, A 、 B 两物体叠放在斜面上,处于静止状态。下列说法中正确的是 ()

- ① B 相对 A 的运动趋势方向沿斜面向上。
- ②斜面相对 B 的运动趋势方向沿斜面向上。
- ③ A 对 B 的静摩擦力方向沿斜面向上。
- ④ B 对斜面的静摩擦力方向沿斜面向上。

18. 如图 1-16 所示,物体 A 、 B 、 C 叠放在水平桌面上,水平力 F 作用于 C 物体,使 A 、 B 、 C 以共同速度向右匀速运动,且三者相对静止,那么关于摩擦力的说法正确的是 ()

- ① C 不受摩擦力作用。
- ② B 不受摩擦力作用。

③ A 受摩擦力的合力为零。

④以 A 、 B 、 C 为整体,整体受的摩擦力为零。

19. 图 1-17 是主动轮 P 通过皮带带动从动轮 Q 的示意图, A 与 B 、 C 与 D 分别是皮带与轮缘相互接触的点,如果皮带不打滑,则下列判断中错误的是 ()

- ① A 与 B 、 C 与 D 处于相对静止状态。
- ② B 点相对 A 点运动趋势的方向与 B 点的运动方向相反。
- ③ D 点相对 C 点运动趋势的方向与 C 点的运动方向相反。
- ④主动轮受到的摩擦力是阻力,从动轮受到的摩擦力是动力。

20. 卡车上放一只木箱,卡车在水平路面上运动。下面说法中正确的是 ()

- ①当卡车启动时,木箱给卡车的摩擦力向后。
- ②当卡车做匀速直线运动时,卡车给木箱的摩擦力向前。
- ③当卡车做匀速直线运动时,卡车对木箱的静摩擦力为零。
- ④当卡车突然制动时,木箱获得向前的摩擦力,使木箱向前滑动。

(四)摩擦力大小的计算

在计算摩擦力的大小之前,必须首先分析物体的运动情况,判定是滑动摩擦,还是静摩擦。

一、滑动摩擦力大小的计算:滑动摩擦力的大小遵从摩擦定律, $f = \mu N$,式中 μ 叫滑动摩擦系数,它的数值跟两个相关物体的材料和接触面的粗糙程度有关; N 是接触面的正压力,它与物体的重力 G 是两种不同性质的力, N 的大小、方向与 G 的大小、方向均不一定相同;滑动摩擦力的大小跟物体的运动速度、接触面积的大小没有关系。

计算滑动摩擦力大小的关键是根据法向的平衡方程式或动力学方程式计算正压力 N 。

二、静摩擦力大小的计算:一般应根据物体的运动情况(静止、匀速运动或加速运动),利用切向的平衡方程式或动力学方程式求解。静摩擦力的大小与物体的运动情况有关,其数值在 $0 \sim f_m$ 之间(f_m 为最

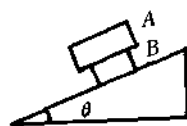


图 1-15

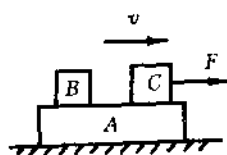


图 1-16

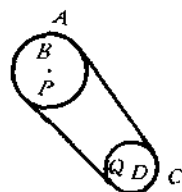


图 1-17

大静摩擦力), f_m 略大于滑动摩擦力 f , 在要求不高时, 可近似认为 $f_m = f$.

【例 1】在粗糙的水平面上放一物体 A, A 上再放一质量为 m 的物体 B. A、B 间的滑动摩擦系数为 μ (如图 1-18), 施一水平力

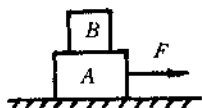


图 1-18

F 于 A, 计算下列情况下 A 对 B 的摩擦力的大小: ①当 A、B 一起做匀速运动时. ②当 A、B 一起以加速度 a 向右匀加速运动时. ③当力 F 足够大而使 A、B 发生相对滑动时. ④当 A、B 发生相对滑动, 且 B 物体的 $\frac{1}{5}$ 长伸到 A 的外面时.

【分析与解答】①因 A、B 向右匀速运动, 因此对 B 物体来说合力的零, 所以 B 物体受到的摩擦力为零.

②因 A、B 无相对滑动, 所以 B 受到的摩擦力是静摩擦力, 这种情况下不能用滑动摩擦力公式 $f = \mu N$ 来计算. 对 B 物体用牛顿第二定律有: $f = ma$.

③因 A、B 发生相对滑动, B 受到的摩擦力是滑动摩擦力, 所以 $f = \mu N = \mu mg$.

④因滑动摩擦力大小与物体间的接触面积大小无关, 所以 $f = \mu mg$.

【例 2】把一重为 G 的物体, 用一个水平的推力 $F = kt$ (k 为恒量, t 为时间) 压在竖直的足够高的平整的墙上 (图 1-19), 从 $t=0$ 开始物体所受的摩擦力

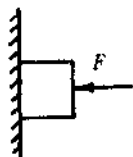


图 1-19

f 随 t 的变化关系是图 1-20 中的哪一个?

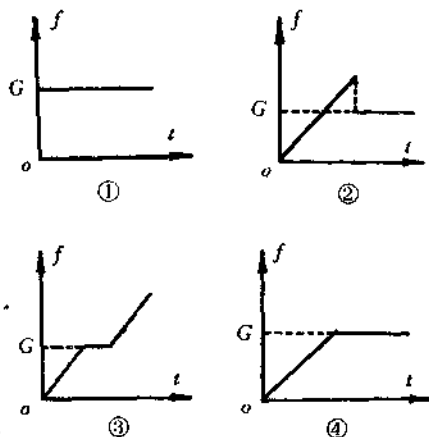


图 1-20

【分析与解答】当墙壁对物体的摩擦力 $f < G$ 时, 物体加速下滑; 当 f 增大到等于 G 时, 物体下滑的加速度为零, 速度达到最大值; 当 $f > G$ 时, 物体减速下滑. 在上述过程中, 物体受的摩擦力都是滑动摩擦力, 其大小为

$$f = \mu N = \mu F = \mu kt.$$

也就是说, 在上述物理过程中 f 正比于 t , 是一段过原点的直线.

当物体的速度减小为零后, 物体静止, 物体受的摩擦力是静摩擦力, 根据平衡条件可知, 静摩擦力的大小 $f = G$.

综上所述, 正确的 $f-t$ 图像是②.

课堂训练题

21. 滑动摩擦系数的大小 ()

- ①跟滑动摩擦力的大小成正比.
- ②跟正压力的大小成反比.
- ③跟相对运动的速度大小有关.
- ④跟相互接触的两物体的材料和接触面的情况有关.

22. 滑动摩擦力的大小 ()

- ①跟接触面的粗糙程度有关.
- ②跟接触面上的正压力成正比.
- ③跟相对运动速度的大小有关.
- ④一定小于这两个物体间的静摩擦力.

23. 重 500 牛的物体放在水平地面上, 物体与地面间的摩擦系数为 0.4, 当用 180 牛的水平力推物体时, 物体所受的摩擦力大小为 _____ 牛; 当用 400 牛的水平力推物体时, 物体所受的摩擦力大小为 _____ 牛.

24. 如图 1-21 所示, 一根质量为 m 、长为 L 的均匀长方体木料放在水平桌面上, 木料与桌面间摩擦系数为 μ , 现用一水平力 F 推木料, 当木料经过



图 1-21

图示位置时, 桌面对它的滑动摩擦力大小为 _____.

25. 如图 1-22 所示, 用水平力 F 将物体压在竖直墙壁上, 始终保持静止状态, 物体所受的摩擦力的大小 ()

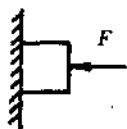


图 1-22

- ①随 F 的增大而增大.
- ②随 F 的减小而减小.
- ③等于物体重力的大小.
- ④可能大于物体重力的大小.

26. 如图 1-23 所示, 重力大小为 20 牛的物体在滑动摩擦系数为 0.1 的水平面上向左运动, 同时受到大小为 10 牛、方向向右的水平力 F 的作用, 则物体所受摩擦力的大小和方向是

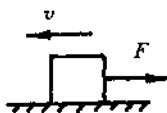


图 1-23

- ①2 牛, 水平向左.
- ②2 牛, 水平向右.
- ③10 牛, 水平向左.
- ④12 牛, 水平向右.

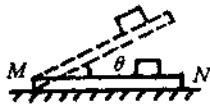
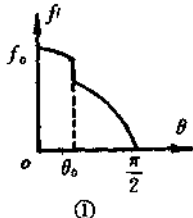
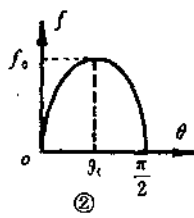


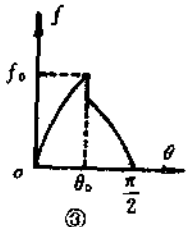
图 1-21



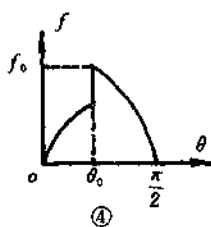
①



②



③



④

图 1-25

27. 如图 1-24 所示, 物体放在粗糙的木板上, 木板可绕 M 端自由转动, 若将其 N 端缓慢地抬起, 木板与水平地面的夹角为 θ , 物体所受木板的摩擦力为 f , 那么物体所受摩擦力 f 的大小随 θ 角变化的图像是图 1-25 中的哪个图?

28. 如图 1-26 所示, 质量为 m 的物体放在质量为 M 的物体上, M 系于固定在墙上的水平弹簧的一端且置于光滑的水平面



图 1-26

上. 若弹簧的倔强系数为 k , 将 M 向右拉离平衡位置 x , 然后无初速释放, 在以后的运动过程中, M 和 m 保持相对静止, 那么 m 在运动中受到的最小摩擦力为 _____, 最大摩擦力大小为 _____.

29. 如图 1-27 所示, 物体 A 与 B 相对静止, 共同沿斜面匀速下滑时

① A 、 B 间无静摩擦力.

② B 受斜面所施的滑动摩擦力作用, 大小等于 $m_B g \sin \alpha$.

③ B 与斜面间的滑动摩擦系数为 $\mu = \tan \alpha$.

④ 斜面受 B 施加的滑动摩擦力作用, 方向沿斜面向下.

30. 物体 A 的质量为 1 千克, 置于水平地面上.

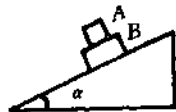
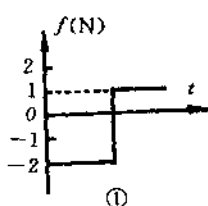
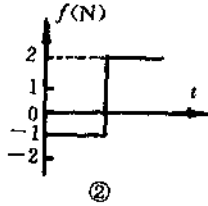


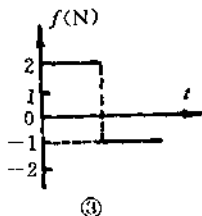
图 1-27



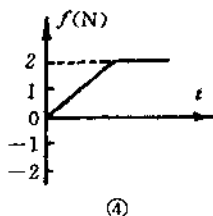
①



②



③



④

图 1-28

物体与地面的摩擦系数为 $\mu = 0.2$, 从 $t = 0$ 开始物体以一定初速 v_0 向右滑行的同时, 受到一个水平向左的恒力 $F = 1$ 牛的作用, 则反映物体受到的摩擦力 f 随时间变化的图像是图 1-28 中的哪一个 (取向右为正方向, $g = 10$ 米/秒²)?

(五) 平衡力与相互作用力的比较

一、平衡力: 物体在几个共点力的共同作用下, 若处于静止或匀速直线运动状态, 则物体所受的这几个共点力叫做平衡力. 有时也把这几个力中的某一个力叫做其余的力的平衡力.

二、相互作用力: 两个物体相互作用的一对力叫做作用力和反作用力. 作用力与反作用力大小相等、方向相反、作用在同一条直线上、性质相同、同时存在、同时消失、分别作用在两个相关物体上. 上述作用力与反作用力之间的关系在任何情况下都是成立的, 与物体是否处于平衡状态无关.

三、平衡力与相互作用力的比较

1. 平衡力作用在同一物体上. 作用力和反作用

力分别作用在两个不同物体上。

2. 平衡力的性质不一定相同。作用力和反作用力的性质一定相同。例如静止在水平桌面上的物体,重力与桌面的支持力是一对平衡力;支持力是弹力,与重力的性质不同。

3. 平衡力中的某一个力发生变化或消失时,其它力不一定变化或消失。作用力与反作用力同时产生、同时变化、同时消失。例如抽去桌面时,桌面上物体所受支持力消失,但物体的重力仍保持不变,这时物体的平衡状态被破坏,加速下落;另一方面,物体所受支持力消失的同时,物体对桌面的压力也消失。

4. 平衡力共同作用的效果是使物体处于平衡状态。作用力与反作用力分别对两个物体产生效果。例如物体做自由落体运动时,重力的效果是使物体产生重力加速度 g ,重力的反作用力使地球产生的加速度却可以忽略不计,这是因为地球的质量很大。

注意:判断两个力是不是一对作用力与反作用力时,应分析这两个力是否具有“甲对乙”和“乙对甲”的关系,即受力物体与施力物体是否具有互易关系。否则,一对作用力和反作用力很容易与一对平衡力相混淆,因为它们都具有大小相等、方向相反、作用在同一条直线上的特点。

①它们一定是性质相同的力。

②它们一定是作用力和反作用力。

③它们一定作用在同一物体上。

④它们一定同时变化同时消失。

34. 水平桌面上放着一个静止的物体,下列说法中正确的是 ()

①物体对桌面的压力与桌面对物体的支持力是一对作用力与反作用力。

②物体所受重力与物体对桌面的压力是一对平衡力。

③物体所受重力与桌面对物体的支持力是一对平衡力。

④物体所受重力就是物体对桌面的压力。

35. 马拉车匀速前进时 ()

①马拉车的力与车拉马的力是一对平衡力。

②马拉车的力与车拉马的力是一对相互作用力。

③马拉车的力与地面对车的阻力是一对平衡力。

④地面对马的静摩擦力与车拉马的力是一对平衡力。

(六)共点力的合成与分解

一、矢量与标量的运算法则:标量的运算方法是代数法。矢量的运算方法是平行四边形法则(或三角形法则),也可以采用正交分解法(应用正交分解法的目的是把矢量运算转化为标量运算),力的合成与分解都遵循平行四边形法则。

二、共点力的合成:求几个共点力的合力叫做力的合成。

1. 两个共点力的合力大小与方向:从图 1-29 可以得到

$$F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2\cos\alpha},$$

$$\tan\theta = \frac{F_2\sin\alpha}{F_1 + F_2\cos\alpha}.$$

①两个共点力的合力 F 的大小和方向由 F_1 、 F_2 的大小及其夹角 α 决定。在 F_1 、 F_2 大小一定时, θ ($0 \leq \theta \leq \pi$) 越大, F 越小; θ 越小, F 越大。

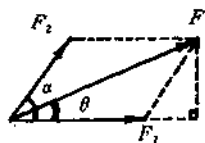


图 1-29

②两个共点力的合力的取值范围为 $|F_1 - F_2| \leq$

课堂训练题

31. 下列说法中正确的是 ()

①凡是大小相等、方向相反、作用在同一物体上的两个力必定是一对作用力和反作用力。

②凡是大小相等、方向相反、作用在同一直线上且分别作用在两个物体上的两个力必定是一对作用力和反作用力。

③弹力和摩擦力总有其反作用力,重力没有反作用力。

④相互作用的两个物体,无论是否接触,也无论做什么运动,牛顿第三定律都是适用的。

32. 甲、乙两队用一条轻绳进行拔河比赛,甲队胜,在比赛过程中 ()

①甲队拉绳子的力大于乙队拉绳子的力。

②甲队与地面间的摩擦力,大于乙队与地面间的摩擦力。

③甲、乙两队与地面间的摩擦力大小相等、方向相反。

④甲、乙两队拉绳子的力大小相等、方向相反。

33. 如果两个力彼此平衡,则 ()

$$F \leq F_1 + F_2.$$

③合力可能比分力大,也可能比分力小,也可能等于某一个分力.

注意:共点力合成必须遵循同物体性与同时性.

2. 共点的三个力,如果任意两个力的合力最小值小于或等于第三个力,那么这三个共点力的合力可能等于零.

三、共点力的分解:由一个已知力求它的分力叫做力的分解.

1. 在分解某个力时,既可以按照这个力产生的实际效果进行分解,也可以进行正交分解.按照效果分解的关键是正确地判断分力的方向.进行正交分解时应灵活地选取坐标轴的方向.

2. 同一个力可以分解成无数对大小、方向不同的分力,下面是有确定解的几种常见情况:

①已知合力和两个分力的方向,求两个分力的大小(有一组解).

②已知合力和一个分力的大小与方向,求另一个分力的大小和方向(有一组解).

③已知合力、一个分力 F_1 的大小与另一分力 F_2 的方向,求 F_1 的方向和 F_2 的大小(有一组解或两组解).

【例 1】大小分别为 4 牛、7 牛、9 牛的三个共点力,它们的最大合力是多少? 最小合力是多少?

【分析与解答】当三个力在同一直线上且方向相同时,合力最大,合力最大值为

$$F_{\max} = F_1 + F_2 + F_3 = 4 + 7 + 9 = 20 \text{ 牛}.$$

由于这三个力中任意两个力的合力的最小值都小于第三个力,所以这三个力的合力的最小值为零.

【例 2】已知两个共点力 F_1 、 F_2 , 且 $F_1 > F_2$, 要使它们的合力 F 不小于 F_1 、 F_2 , 则 F_1 、 F_2 之间的夹角应满足什么条件?

【分析与解答】要使 F 不小于 F_1 、 F_2 , 只要满足 $F \geq F_1$ 即可.

$$\text{因为 } F^2 = F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2\cos\alpha,$$

$$\text{令 } F^2 - F_1^2 \geq 0,$$

$$\text{则 } F_2^2 + 2F_1F_2\cos\alpha \geq 0,$$

$$\cos\alpha \geq -\frac{F_2}{2F_1}.$$

负号表示 α 在第二象限.

课堂训练题

36. 关于合力与其两个分力的关系,下列说法中错误的是 ()

①合力的作用效果与两个分力共同作用的效果相同.

②合力的大小一定等于两个分力的代数和.

③合力可能小于它的任一分力.

④合力大小可能等于某一分力的大小.

37. 有两个大小相等的共点力 F_1 、 F_2 , 当它们间的夹角为 90° 时,合力大小为 F ; 当它们间的夹角为 120° 时,合力的大小为 ()

$$\text{① } 2F. \quad \text{② } \frac{\sqrt{2}}{2}F.$$

$$\text{③ } \sqrt{2}F. \quad \text{④ } \frac{\sqrt{3}}{2}F.$$

38. 同时作用在同一物体上的下列几组力中,不能使物体做匀速运动的有 ()

①3 牛、4 牛、5 牛.

②2 牛、3 牛、6 牛.

③4 牛、6 牛、9 牛.

④5 牛、6 牛、11 牛.

39. 如图 1-30 所示,

若三个共点力 F_1 、 F_2 、 F_3 的大小均为 10 牛,则这三个共点力的合力大小应为 _____ 牛.

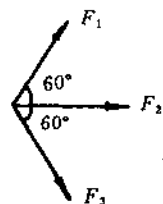


图 1-30

40. 把一个力分解为两个力 F_1 和 F_2 , 已知合力 $F = 40$ 牛, 分力 F_1 与合力 F 的夹角为 30° , 若 F_2 取某一数值, 可使 F_1 有两个大小不同的数值, 则 F_2 的取值范围是 _____.

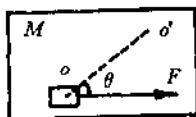


图 1-31

41. 如图 1-31 所示, 物体静止于光滑

水平面 M 上, 力 F 作用于物体 O 点, 现要使物体沿着 OO' 方向做加速运动 (F 和 OO' 都在 M 平面内), 那么, 必须同时再加一个力 F' , 这个力最小值是 ()

$$\text{① } F\sin\theta. \quad \text{② } F\cos\theta. \quad \text{③ } F\sin\theta. \quad \text{④ } F/\sin\theta.$$

42. 有两个互成角度的共点力, 夹角为 θ , 它们的合力 F 随 θ 变化的关系如图 1-32 所示, 那么这两个力的大小分别是

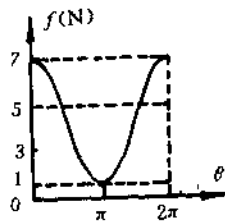


图 1-32

①1 牛和 6 牛.

②2 牛和 5 牛.

③3牛和4牛.

④3.5牛和3.5牛.

43. 如图 1-33 所

示,为了把陷在泥坑里的汽车拉出来,司机用一条结实的绳子把汽车拴在一棵大树上,开始时相距 12 米,

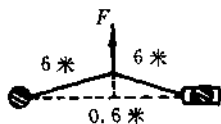


图 1-33

然后在绳的中点用 400 牛的力 F ,沿与绳垂直的方向拉绳,结果中点被拉过 60 厘米,假设绳子的伸长可以不计,求汽车受到的拉力大小.

44. 如图 1-34 所

示,平行四边形 $ABCD$,两对角线交点为 G ,在四边形所在平面上任取一点 O ,作出矢量 OA 、 OB 、 OC 、 OD ,证明:矢量 OA 、 OB 、 OC 、 OD 所代表的四个共点力的合力大小必等于 $4OG$.

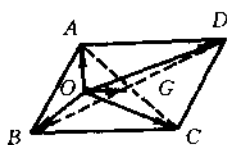


图 1-34

(七)物体受力情况分析

正确地物体进行受力分析,是解决力学问题的前提和关键之一.对物体进行受力分析时,应注意以下几点:

一、首先应认定被研究的物体,并把研究对象隔离出来.

二、要养成按一定步骤分析的习惯,以免漏分析某个力.一般应先分析重力;然后环绕物体一周,找出跟研究对象接触的物体,并逐个分析这些物体对研究对象的弹力和摩擦力;最后再分析其它场力(电场力、磁场力等).

三、每分析一个力,都应找出施力物体,以防止多分析出某些不存在的力.例如汽车刹车时还要继续向前运动,是物体惯性的表现,并不存在向前的“冲力”.又如平抛运动的物体,只受重力,并不存在水平方向的推力.

四、只分析研究对象所受的力,不分析研究对象对其它物体所施的力.例如所研究的物体是 A ,那么只能分析“甲对 A ”、“乙对 A ”、“丙对 A ”……的力,而不要分析“ A 对甲”、“ A 对乙”、“ A 对丙”……的力.也不要把作用在其它物体上的力错误地认为通过“力的传递”作用在研究对象上.

五、合力和分力不能同时作为物体所受的力.例如重为 G 的物体静止在倾角为 θ 的斜面上时,受到重力 G 、支持力 N 、摩擦力 f 等三个力的作用,不能认为物体受到 G 、 N 、 f 、 $G\sin\theta$ 、 $G\cos\theta$ 等五个力的作用.

六、只分析根据性质命名的力(场力、弹力、摩擦力),不分析根据效果命名的力(向心力、下滑力、回复力等).

七、分析物体受力时,除了考虑它与周围物体的作用外,还要考虑物体的运动情况(平衡状态、加速或减速运动、曲线运动).当物体的运动情况不同时,其受力情况往往也不同.例如放在水平传送带上的物体,随传送带一起运动时,若传送带加速运动,物体所受的静摩擦力向前;若传送带匀速运动,物体不受静摩擦力作用.

八、为了使问题简化,常忽略某些次要的力.例如物体运动速度不大时的空气阻力;物体在空气中所受的浮力;物体在水中运动时水的阻力等.

【例 1】用

两根竖直线悬吊着质量为 M 的斜梁,斜梁上放着质量为 m 的物体(图 1-35①),处于静止状态.试分析斜梁受到哪些力的作用.

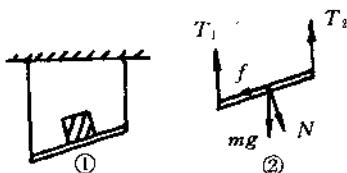


图 1-35

【分析与解答】以斜梁为研究对象.①重力 Mg 作用在斜梁的中点;②有三个接触点(面),两根线与斜梁接触点对斜梁有拉力 T_1 、 T_2 ,物体与斜梁的接触面对斜梁有压力 N ;③物体有下滑趋势,斜梁受到物体对它的斜向下的静摩擦力 f .斜梁受力情况如图 1-35 ②所示.

【例 2】如图

1-36 所示,物体 A 重 $G_A=10$ 牛,物体 B 重 $G_B=10$ 牛,作用在 A 物体上的水平力 $F=4$ 牛,物体都处于静止状态,试分析物体 A 受到哪几个力作用.

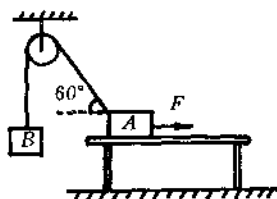


图 1-36

【分析与解答】以物体 A 为研究对象.①受重力 G 的作用.②受拉力 T 和水平力 F 的作用.③是否受到桌面的支持力和静摩擦力,需要结合运动情况进行分析.

行分析. 跨过定滑轮绳子上的张力 $T = G_B = 10$ 牛; 由于物体 A 处于静止状态, 且 $T \sin 60^\circ < G_A$, 所以桌面对物体 A 有竖直向上的支持力 N ; 由于 $T \cos 60^\circ > F$, 所以桌面对 A 物体有向右的静摩擦力 f . 物体 A 共受五个力作用, 其受力情况如图 1-37 所示.

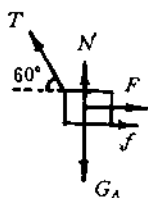


图 1-37

课堂训练题

45. 分别画出图 1-38 中 A 、 B 两物体的受力示意图 (A 和 B 均静止, 球面和竖直墙面光滑, 其它接触面粗糙).

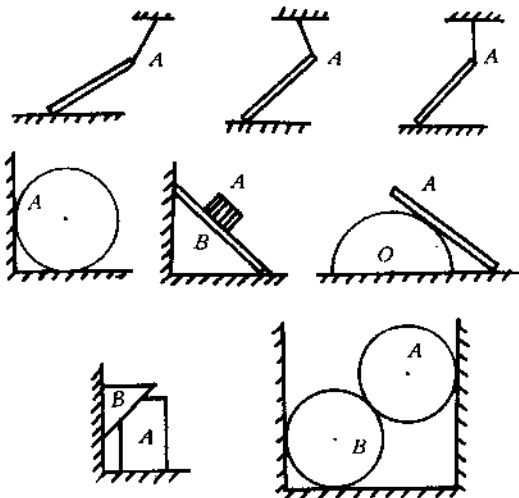


图 1-38

46. 一个重为 G 的物体沿倾角为 θ 的斜面匀速下滑时.

①物体受到重力、下滑力、斜面的支持力和摩擦力等四个力的作用.

②斜面对物体的作用力竖直向上, 大小等于 G .

③物体所受的摩擦力大小为 $G \sin \theta$, 方向沿斜面向上.

④物体所受的合力为零.

47. 有一半圆形光滑容器, 圆心为 O , 有一均匀直杆 AB 如图 1-39 放置; 若杆处于静止状态, 则 ()

① AB 杆受三个力作用.



图 1-39

②杆 A 端受弹力方向沿 AB 方向.

③杆上 C 点受弹力方向沿 CO 方向.

④杆上 C 点受弹力方向与杆垂直.

48. 有三个相同的物体叠放在一起, 置于粗糙的水平地面上, 物体之间不光滑, 如图 1-40 所示. 现用一水平力 F 作用在 B 物上, 三个物体仍保持静止, 下列说法正确的是 ()

① C 受到地面的摩擦力大小为 F , 方向水平向左.

② B 受到六个力作用.

③ B 对 C 的摩擦力大小为 F , 方向水平向右.

④ C 受到五个力作用.

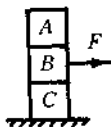


图 1-40

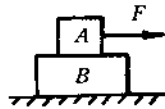


图 1-41

49. 如图 1-41 所示, A 、 B 两物体叠放在水平桌面上, $m_A = 2$ 千克, $m_B = 4$ 千克, A 、 B 之间摩擦系数为 0.2 , B 与桌面间摩擦系数为 0.1 . 当水平力 $F = 5$ 牛作用于 A 物体时.

① A 受到四个力作用.

② B 受到四个力作用.

③桌面对 B 的摩擦力为 5 牛, 方向水平向左.

④桌面对 B 的摩擦力为 4 牛, 方向水平向左.

(八) 物体的平衡状态与平衡条件

一、物体的平衡状态有三种:

1. 静止: 物体的速度和加速度都等于零的状态.

2. 匀速运动: 物体的加速度为零, 速度不为零且保持不变的状态.

3. 匀速转动.

二、共点力作用下物体的平衡条件: 合外力为零, 即 $\Sigma F_{\text{合}} = 0$.

三、平衡条件的推论: 当物体处于平衡状态时, 它所受的某一个力与它所受的其余的力的合力等值反向.

四、三力汇交原理: 物体在作用线共面的三个非平行力作用下处于平衡状态时, 这三个力的作用线必相交于一点 (说明: 这里的三力不一定就是三个力, 也可能是只有三个作用点的多个力).

三力汇交原理在解决共点力平衡问题中有着广泛的应用,最常见的应用是已知两个力,求另一个大小、方向均未知的力,分析这类问题的基本思路是:首先找出已知的两个力的交点,然后根据三力必汇交一点这一特征找出另一个未知力的方向,再将三力在不改变各力方向的前提下,移至汇交点,最后根据平衡条件建立方程求解。

【例1】下列说法中哪些是错误的? ()

- ① 竖直上抛物体达最高点时,物体处于平衡状态。
- ② 做匀速圆周运动的物体,处于平衡状态。
- ③ 单摆通过平衡位置时,摆球处于平衡状态。
- ④ 弹簧振子通过平衡位置时,振子处于静止状态。

【分析与解答】竖直上抛物体到达最高点时,速度为零,加速度为 g ,不是处于平衡状态。做匀速圆周运动的物体,具有不等于零的向心加速度,不是处于平衡状态。单摆通过平衡位置时,摆球具有不为零的向心加速度,不是处于平衡状态。无论是水平弹簧振子,还是竖直弹簧振子,在平衡位置时所受的合外力均为零,加速度也为零,是处于平衡状态,但振子的速度不为零,不是处于静止状态。综上所述,四种说法都是错误的,正确答案是①②③④。

【例2】如图1-42所示,一粗细不均匀的棒长 $L=6$ 米,用轻绳悬挂于两壁之间,保持水平,已知 $\alpha=45^\circ$, $\beta=30^\circ$ 。求棒的重心位置。

【分析与解答】因棒 AB 受到两绳的拉力及重力的作用而处于平衡状态,故这三个力一定汇交于一点,据此可以找出棒的重心位置。作出棒 AB 的受力图如图1-43所示。两绳的拉力 T_1 、 T_2 相交于 O 点,则重力 G 的作用线必过 O 点,与棒相交于 C 点, C 点即为棒的重心。

在 $\triangle AOB$ 中应用正弦定理得

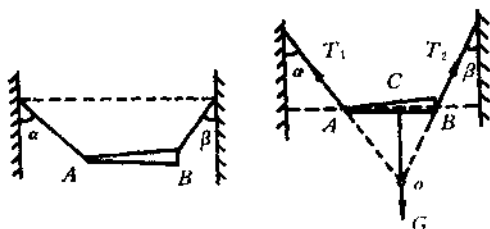


图 1-42

图 1-43

$$\frac{AB}{\sin(\alpha+\beta)} = \frac{BO}{\sin(90^\circ-\alpha)},$$

则 $BO = \frac{\sin(90^\circ-\alpha)}{\sin(\alpha+\beta)} \cdot AB.$

在 $\triangle BCO$ 中, $BC = BO \sin \beta$,所以有

$$\begin{aligned} BC &= \frac{\sin(90^\circ-\alpha)}{\sin(\alpha+\beta)} \cdot AB \cdot \sin \beta \\ &= \frac{\sin 45^\circ \sin 30^\circ}{\sin 75^\circ} \cdot AB = 2.2 \text{ 米}. \end{aligned}$$

可见,棒的重心在棒上 A 、 B 间,距 B 端2.2米处。

课堂训练题

50. 下列说法中正确的是 ()

- ① 斜上抛物体达最高点时,物体处于平衡状态。
- ② 单摆摆球达最大偏开位置时的速度为零,处于静止状态。
- ③ 相对唱片静止随唱片做匀速圆运动的物体,处于平衡状态。
- ④ 竖直弹簧振子的弹簧长度等于自然长度(无形变时长度)时,振子处于非平衡状态。

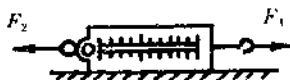


图 1-44

51. 如图1-44所示,一个准确的弹簧秤,置于水平粗糙的地面上,用 $F_1=5$ 牛的水平力拉钩,用 $F_2=5.1$ 牛的水平力拉另一端的圆环,弹簧秤处于静止状态,这时弹簧秤受到的静摩擦力大小是_____牛,方向_____,弹簧秤的示数为_____牛。

52. 一个物体受到不在一条直线上的三个共点力作用处于静止状态,这三个力的大小分别为 $F_1=100$ 牛, $F_2=200$ 牛, $F_3=300$ 牛。下列说法中错误的是 ()

- ① 如果这三个力的大小各减小50牛,方向不变,则物体仍保持静止状态。
- ② 如果这三个力方向不变,而大小各减半,物体仍处于静止状态。
- ③ 如果这三个力大小不变,而它们的方向都沿顺时针方向转过 30° ,物体仍处于静止状态。
- ④ 如果 F_1 减小为零,其余二力不变,物体沿 F_1 的相反方向加速运动。

53. 如图1-45所示,质量为 m 的物体,置于粗糙的水平面上,用一与水平方向夹角为 α 的力 F 恰使

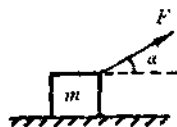


图 1-45