

第二章 相互作用——力

第1讲 重力 弹力

课标要求

认识重力、弹力；通过实验，了解胡克定律。

必备知识·强基固本

一、力

- 1.定义：力是一个物体对另一个物体的作用。
- 2.作用效果：使物体发生形变或改变物体的_____（即产生加速度）。

【答案】运动状态

- 3.性质：力具有物质性、相互性、矢量性、独立性等特征。

二、重力

- 1.产生：由于地球的吸引而使物体受到的力。
- 2.大小： $G = mg$ 。
- 3.方向：总是_____。
- 4.重心：物体的各部分都受到重力的作用，从效果上看，可以认为各部分受到的重力作用集中于一点，这一点叫作物体的重心。

【答案】竖直向下

三、弹力

- 1.定义：发生形变的物体，要_____，对与它接触的物体会产生力的作用，这种力叫作弹力。

【答案】恢复原状

- 2.产生的条件：a.两物体_____；b.发生_____。

【答案】相互接触；弹性形变

- 3.方向：与施力物体形变方向_____。

【答案】相反

4. 胡克定律

（1）内容：弹簧发生弹性形变时，弹力 F 的大小跟弹簧伸长（或缩短）的长度 x 成_____。

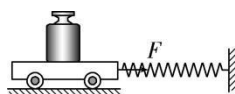
（2）表达式： $F = kx$ 。式中的 k 是弹簧的_____，单位符号为 N/m， k 的大小由弹簧_____决定。 x 是弹簧长度的_____，不是弹簧形变以后的长度。

【答案】（1） 正比

（2） 劲度系数；自身性质；变化量

教材挖掘。（人教版必修第一册第三章第1节）

弹簧被拉长，要恢复原状，对与其相连接的小车产生了拉力 F 。假如小车下面的接触面光滑，请描述一下弹簧从图示状态开始到第二次恢复原状，对小车的弹力大小和方向都发生怎样的变化。

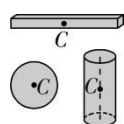


提示：弹簧第一次恢复原状过程中，弹力逐渐变小，方向向右；之后小车继续压缩弹簧向右运动直至停下，此过程中，弹簧弹力逐渐变大，方向向左；弹簧向左推动小车运动至第二次恢复原状过程中，弹簧弹力逐渐变小，方向向左。

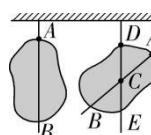
自主评价

1. 依据下面小情境，判断下列说法对错。

（人教版必修第一册改编）形状规则的均匀物体的重心如图甲所示；利用“悬挂法”确定薄板的重心如图乙所示。



甲



乙

- （1） 重力就是地球对物体的吸引力。（ ）
- （2） 形状规则的物体的重心一定在物体的几何中心。（ ）
- （3） 重心就是物体上最重的一点。（ ）
- （4） 悬挂薄板的轻绳长度虽无明显变化，但一定发生了弹性形变。（ ）
- （5） 悬挂薄板的轻绳产生的弹力方向一定沿着绳并指向绳收缩的方向。（ ）

【答案】（1） ×

（2） ×

（3） ×

（4） ✓

（5） ✓

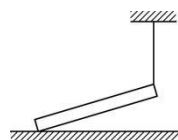
2. 如图所示为一辆洒水车及其剖面图。洒水车的水罐内装满了水，当洒水车在水平路面上进行洒水作业时，水罐和水的共同重心将（ ）



- A. 先上升后下降
- B. 一直上升
- C. 一直下降
- D. 先下降后上升

【答案】D

3. （人教版必修第一册改编）质量均匀的钢管，一端支在水平地面上，另一端被竖直绳悬吊着，如图所示，有关钢管的叙述错误的是（ ）



- A. 钢管的重心在几何中心
- B. 钢管对绳的拉力是由于绳子形变产生的
- C. 钢管对地面存在压力
- D. 绳子对钢管的拉力沿绳子收缩的方向

【答案】B

关键能力·核心突破

考点一 重力和重心

1. [2025·湖南长沙模拟] **重力概念及性质** 我们知道，放置在地球表面的物体会受到重力作用。关于重力，下列说法正确的是（ ）

- A. 重力的方向总是垂直于支持面向下
- B. 重力的方向总是指向地心
- C. 某物体在长沙受到的重力小于其在北京受到的重力
- D. 在喜马拉雅山，某物体在山脚受到的重力小于其在山顶受到的重力

【答案】C

【解析】重力的方向总是垂直于水平地面向下，即竖直向下，故 A、B 错误；重力 $G = mg$ ，在地表附近， g 随纬度的升高而增大，随高度的增加而减小，所以某物体在长沙受到的重力小于其在北京受到的重力，在喜马拉雅山，某物体在山脚受到的重力大于其在山顶受到的重力，故 C 正确，D 错误。

2. [2024·河南南阳模拟] **重心** 如图所示为仰韶文化时期的一款尖底瓶，该瓶装水后“虚则欹、中则正、满则覆”（瓶未装水时倾斜、装适量水时直立，装太满时又倾倒）。现持续有水流入瓶中，过一段时间瓶会翻转一次，下面有关瓶（包括瓶中的水）的说法正确的是（ ）

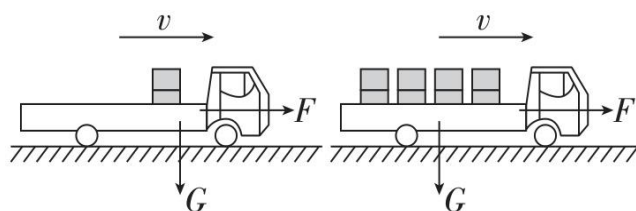


- A. 瓶的重心一定在两条绳子连线的交点上
- B. 往空瓶里不断加水时，瓶的重心一直降低
- C. 决定瓶能否翻转的主要因素是瓶与水整体重心的位置
- D. 装入瓶中水的多少不会影响瓶的重心位置

【答案】C

【解析】 瓶的重心不一定在两条绳子连线的交点上，往空瓶里不断加水过程中，重心在变化，故 A 错误；往空瓶里不断加水时，瓶的重心先降低后升高，故 B、D 错误；有水流入瓶中，过一段时间瓶会翻转一次，说明水流入一定量之后，导致瓶与水整体的重心向上移动，竖直向下的重力作用线偏离中心转轴，导致瓶不能平衡，发生翻转，C 正确。

3. [2024·四川南充模拟] **重力与重心** 如图，两辆车在以相同的速度做匀速运动，根据图中所给信息和所学知识，可以得出的结论是（ ）



- A. 物体各部分都受重力作用，认为物体各部分所受重力集中于一点，即重心
- B. 重力的方向总是垂直向下
- C. 物体重心的位置与物体形状和质量分布无关
- D. 用重心代替重力的作用点运用了理想模型法

【答案】A

【解析】物体各部分都受重力作用，认为物体各部分所受重力集中于一点，即重心，A 正确；重力的方向总是竖直向下，B 错误；物体重心的位置与物体形状和质量分布有关，C 错误；用重心代替重力的作用点运用了等效法，D 错误。

核心提炼

1.对重心的理解

重心是重力的等效作用点，并非只有物体的重心才受到重力作用而其他部分不受重力作用。

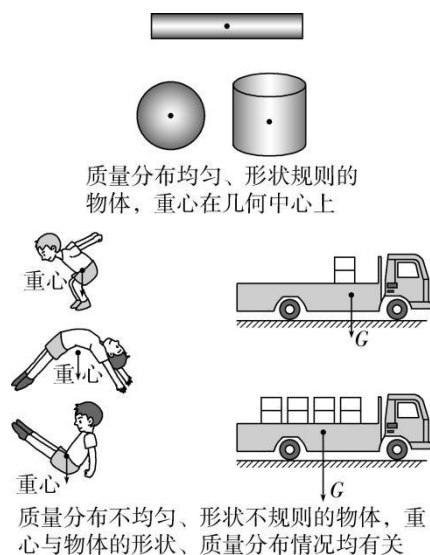
2.重心的位置及决定因素

(1) 位置：重心的位置可以在物体上，也可以在物体外。

(2) 决定因素

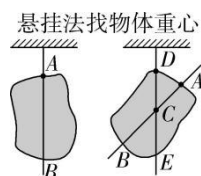
①物体质量分布情况。

②物体的形状。



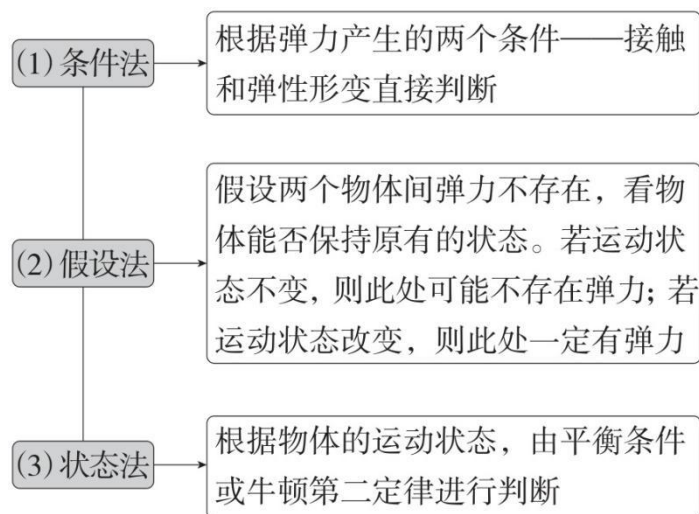
3.薄板类物体重心的确定

可用支撑法或悬挂法来确定重心。如图所示，C点即物体的重心。



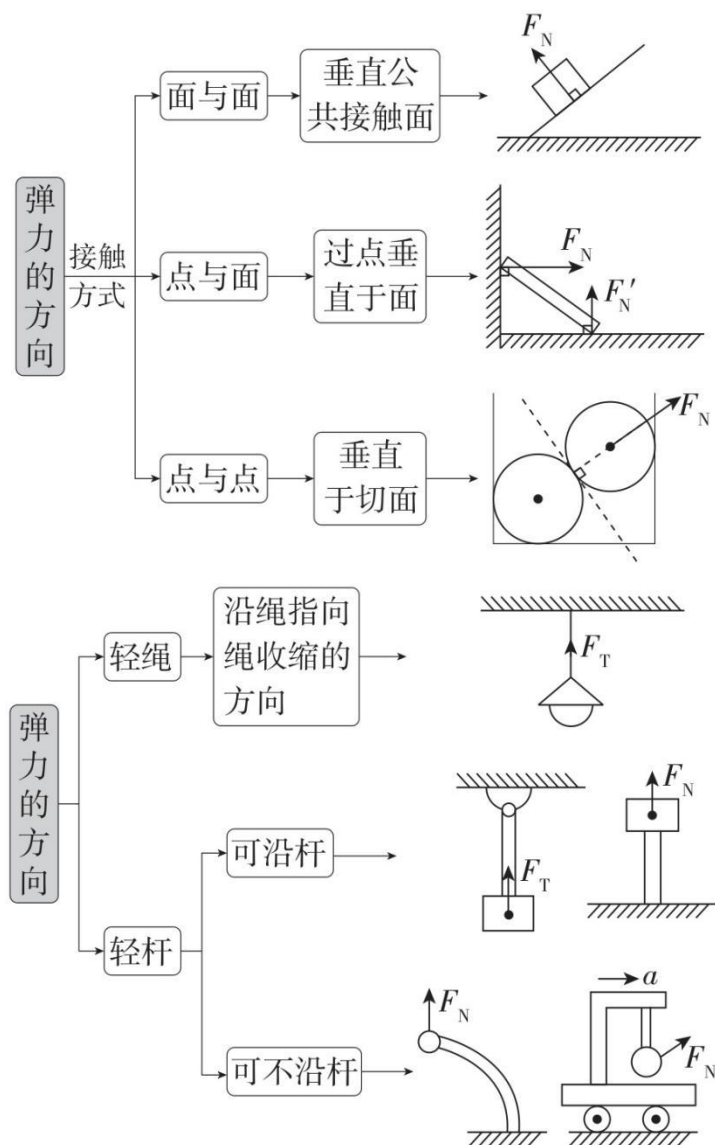
考点二 弹力的分析与计算

1.弹力有无的判断“三法”



2. 弹力方向的判断方法

(1) 常见模型中弹力的方向

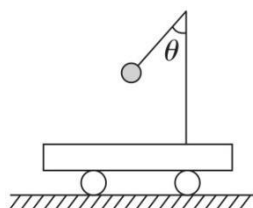


(2) 根据共点力的平衡条件或牛顿第二定律确定弹力的方向。

3.计算弹力大小的三种方法

- (1) 根据胡克定律进行求解。
- (2) 根据力的平衡条件进行求解。
- (3) 根据牛顿第二定律进行求解。

例 1 [2024·河北承德模拟] 多选 如图所示，小车位于水平地面上，固定在小车上的支架的斜杆与竖直杆的夹角为 θ ，在斜杆下端固定有质量为 m 的小球。下列关于杆对球的作用力 F 的说法中，正确的是（重力加速度为 g ）（ ）



- A. 小车静止时， $F = mg\sin\theta$ ，方向沿杆向上
- B. 小车静止时，一定有 $F = mg$ ，方向竖直向上
- C. 小车向右做匀加速运动时，一定有 $F > mg$ ，方向可能沿杆向上
- D. 小车向右做匀速运动时， $F = mg\cos\theta$ ，方向垂直于杆向上

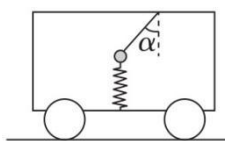
思路点拨

轻杆弹力的方向不一定沿杆，合力产生加速度，且合力与加速度方向一致。

【答案】BC

【解析】 小车静止时，由共点力的平衡条件可知杆对小球的作用力方向为竖直向上，大小等于小球的重力 mg ，A 错误，B 正确；当小车向右做匀加速运动时， $F_y = mg$ ， $F_x = ma$ ， $F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} = \sqrt{(ma)^2 + (mg)^2} > mg$ ，只有当 $\frac{ma}{mg} = \tan\theta$ ，即 $a = g\tan\theta$ 时，杆对小球的作用力 F 才沿杆向上，C 正确；小车向右做匀速运动时，小车和小球的加速度为零，杆对小球的作用力方向为竖直向上，大小为 mg ，D 错误。

迁移应用 1. [2024·四川成都模拟] 如图，将一轻质弹簧竖直固定在小车底部，轻质细绳与竖直方向成 α 角且处于伸直状态，二者共同拴接一小球，小车与小球保持相对静止且一起在水平地面上运动，重力加速度大小为 g 。下列说法正确的是（ ）

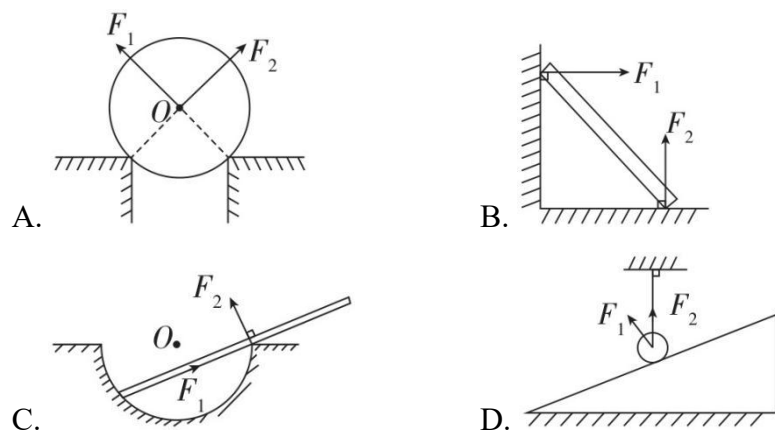


- A. 弹簧一定处于压缩状态
- B. 弹簧一定处于拉伸状态
- C. 弹簧对小球不一定有弹力，细绳对小球一定有拉力
- D. 小球的加速度大小可能为 $g \tan \alpha$

【答案】D

【解析】弹簧弹力、细绳拉力与小车运动的状态有关，所以弹簧可能处于拉伸状态、压缩状态、原长状态，故 A、B 错误；当小车做匀速运动时，弹簧的弹力大小等于小球的重力大小，此时细绳的拉力 $F_T = 0$ ，故 C 错误；当弹簧处于原长状态时，小球的加速度大小为 $a = g \tan \alpha$ ，故 D 正确。

迁移应用 2. [2024 · 广西贺州模拟] 多选 如图所示，所有接触面均光滑，球和杆均静止，则对球和杆的弹力分析正确的图是 ()



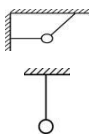
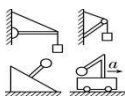
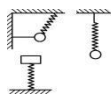
【答案】AB

【解析】接触面间的弹力方向要垂直于接触面指向受力物体，A 图中为圆弧面，所以过圆心，故 A 正确；B 图中 F_1 、 F_2 分别过接触点垂直于接触面，故 B 正确；C 图中 F_1 的方向应该垂直接触面过圆心，故 C 错误；D 图中因为绳是竖直的，所以球和斜面间不存在弹力，否则无法平衡，故 D 错误。

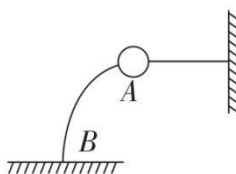
考点三 “轻绳、轻杆、轻弹簧”三类模型

轻绳、轻杆和轻弹簧三类模型比较

项目	轻绳	轻杆	轻弹簧
----	----	----	-----

图示				
形变特点		只能发生微小形变	只能发生微小形变	既可伸长，也可压缩
弹力特点	方向特点	只能沿绳，指向绳收缩的方向	不一定沿杆，固定杆中可以是任意方向	沿弹簧轴线，与形变方向相反
	作用效果特点	只能提供拉力	可以提供拉力、支持力	可以提供拉力、支持力
	大小突变特点	可以发生突变	可以发生突变	一般不能发生突变

例 2 如图所示，一重力为 10N 的球固定在 AB 杆的上端，绳子一端系于球上并水平向右拉球，使杆发生弯曲，绳子另一端固定于墙上，已知绳的拉力为 7.5N，则 AB 杆对球的作用力（ ）



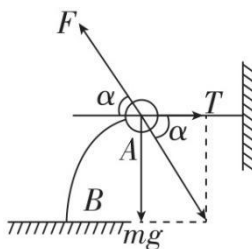
- A. 大小为 7.5N
- B. 大小为 10N
- C. 方向与水平方向成 53° 角斜向右下方
- D. 方向与水平方向成 53° 角斜向左上方

【答案】D

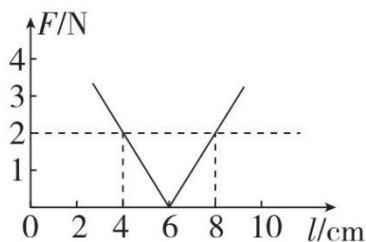
【解析】对球受力分析，球受重力 mg 、绳子的拉力 T 及杆的弹力 F 而处于平衡状态，如图所示，则重力与绳子的拉力的合力与杆的作用力 F 等大反向，则可得

$F = \sqrt{10^2 + 7.5^2} \text{N} = 12.5 \text{N}$ ，方向与水平方向的夹角的正切值为

$\tan \alpha = \frac{10}{7.5} = \frac{4}{3}$ ，故 $\alpha = 53^\circ$ ，斜向左上方。故选 D。



迁移应用 3. [2024·贵州黔东南模拟] 多选 如图所示为一轻质弹簧的长度和弹力的关系图像（轻质弹簧未超过弹性限度），下列说法正确的是（ ）



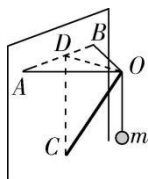
- A. 弹簧的原长为 6cm
- B. 弹簧的劲度系数为 100N/m
- C. 弹簧的长度为 12cm 时弹簧弹力的大小为 5N
- D. 该弹簧两端各加 1N 压力时，弹簧的长度为 5cm

【答案】ABD

【解析】当弹簧弹力为零时，弹簧处于原长，由题图可知弹簧的原长为 6cm，故 A 正确；根据胡克定律，弹簧的劲度系数为 $k = \frac{\Delta F}{\Delta x} = 100\text{N/m}$ ，故 B 正确；弹簧的长度为 12cm 时弹簧弹力的大小为 $F_1 = k(l_1 - l_0) = 6\text{N}$ ，故 C 错误；该弹簧两端各加 1N 压力时，弹簧的弹力为 1N，根据胡克定律可知，弹簧的长度为 $F_2 = k(l_0 - l_2) = 1\text{N}$ ，解得 $l_2 = 5\text{cm}$ ，故 D 正确。

迁移应用 4. 如图所示，A、B 为竖直墙面上等高的两固定点，AO、BO 为长度相等的两根轻绳，CO 为一根轻杆，铰链 C 在 AB 中点 D 的正下方，A、O、B 在同一水平面内， $\angle AOB = 120^\circ$ ， $\angle COD = 60^\circ$ 。若在 O 点处悬挂一个质量为 m 的小球，则平衡后绳 AO 所受的拉力和杆 CO 所受的压力分别为（重力加速度为 g）

（ ）



A. $\frac{\sqrt{3}}{3}mg, 2mg$

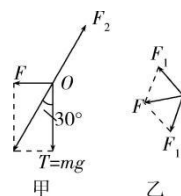
B. $mg, 2mg$

C. $\frac{2\sqrt{3}}{3}mg, \frac{\sqrt{3}}{3}mg$

D. $\frac{\sqrt{3}}{3}mg, \frac{2\sqrt{3}}{3}mg$

【答案】D

【解析】设绳AO和绳BO拉力的合力为F，以O点为研究对象，O点受到向下的拉力T、杆的支持力F₂和绳AO与绳BO拉力的合力F，如图甲所示。



根据平衡条件得

$$F = mg \tan 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{3}mg$$

$$F_2 = \frac{mg}{\cos 30^\circ} = \frac{2\sqrt{3}}{3}mg$$

设绳AO的拉力大小为F₁，将F分解，如图乙所示。因为∠AOB = 120°，根据几何知识得F₁ = F = $\frac{\sqrt{3}}{3}mg$ ，结合牛顿第三定律可知，D 正确，A、B、C 错误。

温馨提示 请完成《分层突破训练》课时作业 6

第2讲 摩擦力

课标要求

认识摩擦力；知道滑动摩擦和静摩擦现象，能用动摩擦因数计算滑动摩擦力的大小。

必备知识·强基固本

1. 两种摩擦力的对比

项目	静摩擦力	滑动摩擦力
定义	两个具有_____的物体间在接触面上产生的阻碍相对运动趋势的力	两个具有_____的物体间在接触面上产生的阻碍_____的力
产生条件 (必要条件)	(1) 接触面粗糙； (2) 接触处有弹力； (3) 两物体间有_____ (仍保持_____)	(1) 接触面粗糙； (2) 接触处有弹力； (3) 两物体间有_____

	相对静止)	
大小	(1) 静摩擦力的大小与正压力大小无关，满足_____； (2) 最大静摩擦力 $F_{f\max}$ 的大小与正压力大小_____	滑动摩擦力的大小与正压力大小成正比，即 $F_f = \mu F_N$ (μ 为动摩擦因数，取决于接触面的_____及粗糙程度， F_N 为正压力大小)
方向	沿着接触面，并且跟物体相对运动趋势的方向_____	沿着接触面，并且跟物体相对运动的方向_____

【答案】相对运动趋势； 相对运动； 相对运动； 相对运动趋势； 相对运动；
 $0 < F_f \leq F_{f\max}$ ； 有关； 材料； 相反； 相反

2. 动摩擦因数

定义：彼此接触的物体发生_____时，摩擦力大小和正压力大小的比值，即 $\mu = \frac{F_f}{F_N}$ 。

【答案】相对运动

教材挖掘。（人教版必修第一册第三章第2节）

用水平力推沙发，为什么沙发被推动之前感觉更费力？推动之后，沙发缓慢和快速前进受到的摩擦力相同吗？



提示：沙发被推动前，推力要达到最大静摩擦力，而最大静摩擦力比滑动摩擦力略大。沙发被推动后，受滑动摩擦力， $F_f = \mu F_N$ ，滑动摩擦力与速度大小无关。

自主评价

1. 依据下面小情境，判断下列说法对错。（鲁科版必修第一册改编）把手掌压在桌面或其他物体的表面，在大小不同的压力下向前平移或保持向前移动的趋势。



- (1) 手掌在桌面上向前平移过程中受到的是滑动摩擦力。（ ）
- (2) 滑动摩擦力的方向与物体的运动方向一定相反。（ ）
- (3) 运动的物体不可能受到静摩擦力作用。（ ）
- (4) 受静摩擦力作用的物体一定处于静止状态。（ ）
- (5) 正压力越大，摩擦力可能越大，也可能不变。（ ）

【答案】(1) ✓

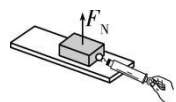
(2) ✗

(3) ✗

(4) ✗

(5) ✓

2. （人教版必修第一册改编）用弹簧测力计拖动水平固定木板上的木块，关于板块间的滑动摩擦力，以下说法正确的是（ ）



- A. 滑动摩擦力和弹力的方向不一定垂直
- B. 拉木块的速度越大，木块所受摩擦力越大
- C. 改变木块和木板间的压力，摩擦力的大小也随之改变
- D. 滑动摩擦力的大小与接触面的粗糙程度无关

【答案】C

3. 多选（人教版必修第一册改编）用手握住瓶子，使瓶子在竖直方向悬空静止，如图所示。关于瓶子所受的摩擦力，下列说法正确的是（ ）



- A. 向瓶子中加水，摩擦力变大

- B. 只要瓶子不动，摩擦力的大小就与握力的大小无关
- C. 如果握力加倍，则摩擦力的方向由向下变成向上
- D. 手越干越粗糙，摩擦力越大

【答案】AB

关键能力·核心突破

考点一 静摩擦力的分析与计算

1. 静摩擦力有无及方向的判断“三法”

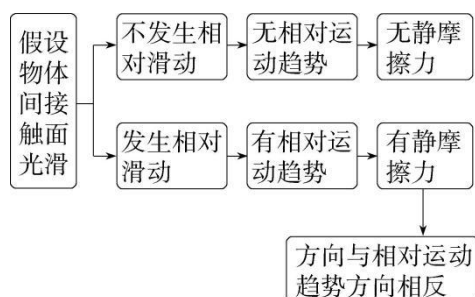
(1) 状态法

根据平衡条件、牛顿第二定律判断静摩擦力的有无及方向。

(2) 牛顿第三定律法

先确定受力较少的物体受到的静摩擦力的方向，再根据牛顿第三定律确定另一物体受到的静摩擦力方向。

(3) 假设法

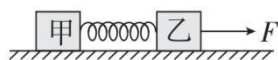


2. 静摩擦力大小的分析与计算

(1) 物体处于平衡状态（静止或匀速直线运动）时，利用力的平衡条件来计算静摩擦力的大小。

(2) 物体有加速度时，根据 $F_{\text{合}} = ma$ ，先求合力，再求静摩擦力。若只有静摩擦力提供加速度，则 $F_f = ma$ 。

例 1 [2024·山东潍坊期末] 如图所示，木块甲、乙中间夹有一压缩的轻弹簧，弹簧的劲度系数为 300N/m ，压缩量为 3cm ，用 $F = 2\text{N}$ 的水平拉力作用在木块乙上，甲、乙均静止不动。下列说法正确的是（ ）



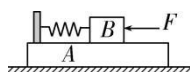
- A. 木块甲所受摩擦力的大小为 7N ，方向水平向右
- B. 木块甲所受摩擦力的大小为 9N ，方向水平向右
- C. 木块乙所受摩擦力的大小为 11N ，方向水平向右

D. 木块乙所受摩擦力的大小为 2N，方向水平向左

【答案】B

【解析】甲静止不动，木块甲所受摩擦力与弹簧弹力平衡，则木块甲所受摩擦力的大小为 $f_1 = kx = 300 \times 3 \times 10^{-2} \text{N} = 9\text{N}$ ，方向水平向右，故 A 错误，B 正确；乙静止不动，根据平衡条件可得木块乙所受摩擦力的大小为 $f_2 = kx + F = 11\text{N}$ ，方向水平向左，故 C、D 错误。

迁移应用 1. 多选 如图所示，长木板 A 与物体 B 叠放在水平地面上，物体与木板左端立柱间放置水平轻质弹簧，在水平外力 F 作用下，木板和物体都静止不动，弹簧处于压缩状态。将外力 F 缓慢减小到零，物体始终不动，在此过程中 ()

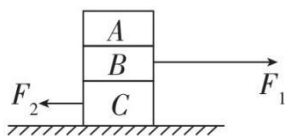


- A. 弹簧弹力不变
- B. 物体 B 所受摩擦力逐渐减小
- C. 物体 B 所受摩擦力始终向左
- D. 木板 A 所受地面的摩擦力逐渐减小

【答案】AD

【解析】将外力 F 缓慢减小到零，物体始终不动，弹簧的长度不变，则弹力不变，选项 A 正确；对物体 B，因开始时所受摩擦力的方向不确定，则随 F 的减小，物体 B 所受摩擦力的大小变化和方向都不能确定，选项 B、C 错误；对 A、B 与弹簧组成的整体，在水平方向，力 F 与地面对 A 的摩擦力平衡，则随 F 的减小，木板 A 所受地面的摩擦力逐渐减小，选项 D 正确。

迁移应用 2. [2024 · 江苏常州模拟] 如图所示，A、B、C 三个物体叠放在水平地面上，物体 B 受到大小为 15N、方向水平向右的力 F_1 的作用，物体 C 受到大小为 5N、方向水平向左的力 F_2 的作用，三者均处于静止状态，则 ()



- A. 物体 B 对物体 A 的摩擦力方向水平向右
- B. 物体 C 对物体 B 的摩擦力方向水平向右
- C. 地面与物体 C 之间的摩擦力大小为 10N
- D. 地面与物体 C 之间无摩擦力

【答案】C

【解析】A处于静止状态，所受外力的合力为0，用隔离法对A进行受力分析，其只受重力与支持力，如果A、B之间存在摩擦力，则A不能保持静止，所以A、B之间没有摩擦力，故A错误；因物体A、B整体处于静止状态，所以合力为零，对物体A、B组成的整体受力分析可知物体C对物体B的摩擦力与 F_1 等大反向，即物体C对物体B的摩擦力方向水平向左，故B错误；因物体A、B、C整体处于静止状态，所以合力为零，对物体A、B、C组成的整体受力分析，在水平方向上根据受力平衡可得地面对物体C的摩擦力大小为 $f = F_1 - F_2 = 10\text{N}$ ，方向水平向左，故C正确，D错误。

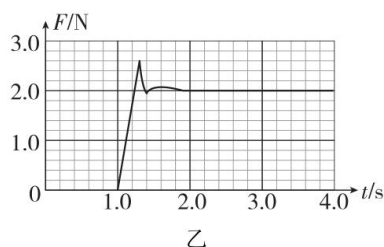
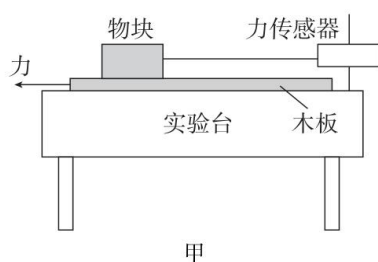
考点二 滑动摩擦力的分析与计算

滑动摩擦力的大小用公式 $F_f = \mu F_N$ 来计算，应用此公式时要注意以下两点：

(1) μ 为动摩擦因数，其大小与接触面的材料、粗糙程度有关； F_N 为两接触面间的正压力，其大小不一定等于物体的重力。

(2) 滑动摩擦力的大小与物体的运动速度和接触面积的大小均无关。

例2 [2025·四川南充模拟] 多选 为研究木板与物块之间的摩擦力，某同学在粗糙的长木板上放置一物块，物块通过细线连接固定在实验台上的力传感器，如图甲所示。水平向左拉木板，力传感器记录的 $F-t$ 图像如图乙所示。下列说法中正确的是 ()



- A. 物块受到的摩擦力方向始终水平向左
- B. 1.0~1.3s 时间内，木板与物块间的摩擦力大小与物块对木板的正压力成正比

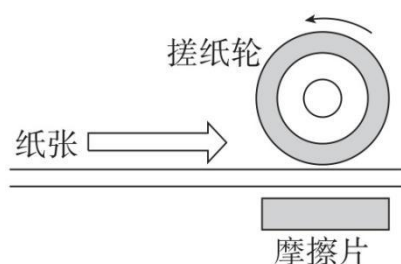
C. 1.0~1.3s 时间内，物块与木板之间的摩擦力为静摩擦力

D. 2.4~3.0s 时间内，木板可能做变速直线运动

【答案】ACD

【解析】木板始终向左运动或有向左运动的趋势，可得物块对木板的摩擦力方向始终向右，所以物块受到木板对其的摩擦力方向始终水平向左，故 A 正确；根据图乙可知，在 1.0 ~ 1.3s 时间内物块受到的摩擦力发生变化，所以此阶段摩擦力为静摩擦力，而静摩擦力的大小与物块对木板的正压力无关，故 B 错误，C 正确；2.4 ~ 3.0s 时间内传感器示数不再变化，说明此阶段摩擦力已经变为滑动摩擦力，木板可能做变速直线运动，故 D 正确。

迁移应用 3. [2025 · 贵州六盘水模拟] 打印机在正常工作的情况下，进纸系统能做到每次只进一张纸。进纸系统的结构示意图如图所示，设图中刚好有 50 张相同的纸，每张纸的质量均为 m ，搓纸轮按图示方向转动并带动最上面的第 1 张纸向右运动，搓纸轮与纸张之间的动摩擦因数为 μ_1 ，纸张与纸张之间、纸张与底部摩擦片之间的动摩擦因数均为 μ_2 ，工作时搓纸轮对第 1 张纸的压力大小为 F 。打印机正常工作时，下列说法正确的是（ ）



A. 第 2 张纸受到第 3 张纸的摩擦力方向向右

B. 若 $\mu_1 = \mu_2$ ，则进纸系统不能进纸

C. 第 50 张纸与摩擦片之间的摩擦力为 $\mu_2(F + 50mg)$

D. 第 20 张纸与第 21 张纸之间的摩擦力大小可能为 $\mu_2(F + 20mg)$

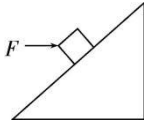
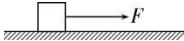
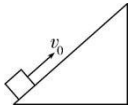
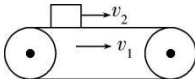
【答案】B

【解析】第 2 张纸相对第 3 张纸有向右运动的趋势，所以第 2 张纸受到第 3 张纸的摩擦力方向向左，故 A 错误；若 $\mu_1 = \mu_2$ ，则有 $\mu_1 F < \mu_2(F + mg)$ ，可知搓纸轮与第 1 张纸之间会发生相对滑动，而第 1 张纸静止不动，所以进纸系统不能正常进纸，故 B 正确；工作时搓纸轮对第 1 张纸的压力大小为 F ，第 1 张纸对第 2 张纸的压力为 $F + mg$ ，则第 1 张纸与第 2 张纸之间的滑动摩擦力为 $f_{12} =$

$\mu_2 N_{12} = \mu_2 (F + mg)$ ，由于第 2 张及第 2 张以下的纸没有相对运动，只有相对运动趋势，所以第 2 张以下的纸之间以及第 50 张纸与摩擦片之间的摩擦力均为静摩擦力，大小均为 $f_{\text{静}} = f_{12} = \mu_2 (F + mg)$ ，故 C、D 错误。

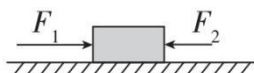
考点三 摩擦力的突变

当物体的受力情况发生变化时，摩擦力的大小和方向往往会发生变化，有可能导致静摩擦力和滑动摩擦力之间的相互转化。常见的摩擦力突变模型如下：

分类	示例及解读
“静—静”突变	 在水平力 F 作用下物体静止于斜面上，F 突然增大时物体仍静止，则物体所受静摩擦力的大小或方向将“突变”
“静—动”突变	 物体放在粗糙水平面上，作用在物体上的水平力 F 从零逐渐增大，当物体开始滑动时，物体受水平面的摩擦力由静摩擦力“突变”为滑动摩擦力
“动—静”突变	 滑块以 v_0 冲上斜面做减速运动，当到达某位置时速度减为零，而后静止在斜面上，滑动摩擦力“突变”为静摩擦力
“动—动”突变	 水平传送带的速度 v_1 大于滑块的速度 v_2，滑块受到的滑动摩擦力的方向水平向右，当传送带突然被卡住时，滑块受到的滑动摩擦力方向“突变”为向左

考向 1 “静—静”突变

例 3 [2024 · 安徽马鞍山模拟] 如图所示，一质量为 m 的木块放在水平地面上，在水平方向受到 F_1 和 F_2 作用而处于静止状态，其中 $F_1 = 10\text{N}$ ， $F_2 = 3\text{N}$ 。已知木块与地面间的动摩擦因数为 0.1，最大静摩擦力等于滑动摩擦力。现撤去 F_1 保留 F_2 。则木块在水平方向受到的摩擦力为 ()



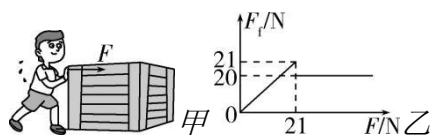
- A. 10N，方向向左 B. 3N，方向向左
C. 3N，方向向右 D. 0

【答案】C

【解析】因为 $F_1 = 10\text{N}$ ， $F_2 = 3\text{N}$ 且木块保持静止，可知木块受到的静摩擦力大小为 $f = F_1 - F_2 = 7\text{N}$ ，方向向左，木块受到的最大静摩擦力 $f_m \geq 7\text{N}$ ；现撤去 F_1 保留 F_2 ，因 $F_2 = 3\text{N} < f_m$ ，则木块仍静止，此时木块在水平方向受到的摩擦力为 3N，方向向右。故选 C。

考向 2 “静—动”突变

例 4 多选 如图甲所示，一人用由 0 逐渐增大的水平力 F 推静止于水平地面上质量为 10kg 的木箱，木箱所受的摩擦力 F_f 与 F 的关系如图乙所示， g 取 10m/s^2 ，下列说法正确的是（ ）



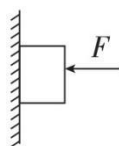
- A. 木箱所受的最大静摩擦力 $F_{f\max} = 21\text{N}$
B. 木箱所受的静摩擦力先增大后不变
C. 木箱与地面间的动摩擦因数 $\mu = 0.21$
D. 木箱与地面间的动摩擦因数 $\mu = 0.2$

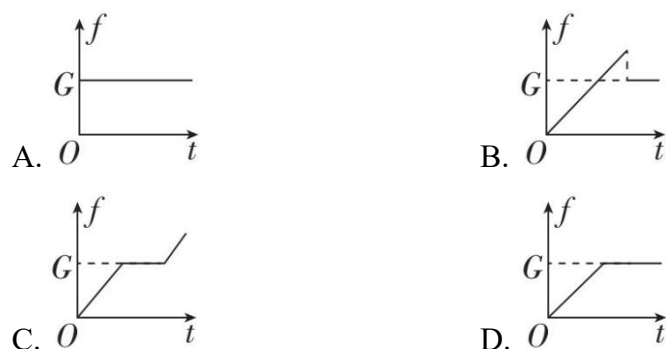
【答案】AD

【解析】由图乙可知，木箱所受的最大静摩擦力 $F_{f\max} = 21\text{N}$ ，A 正确；木箱所受的静摩擦力逐渐增大，达到最大静摩擦力后突变为滑动摩擦力，B 错误；木箱与地面间的滑动摩擦力为 20N，则动摩擦因数 $\mu = 0.2$ ，C 错误，D 正确。

考向 3 “动—静”突变

例 5 如图所示，把一重力为 G 的物体，用一水平方向的推力 $F = kt$ (k 为恒量， t 为时间) 压在竖直的足够高的平整墙壁上，从 $t = 0$ 开始物体所受的摩擦力 f 随时间 t 的变化关系图是选项中的（ ）



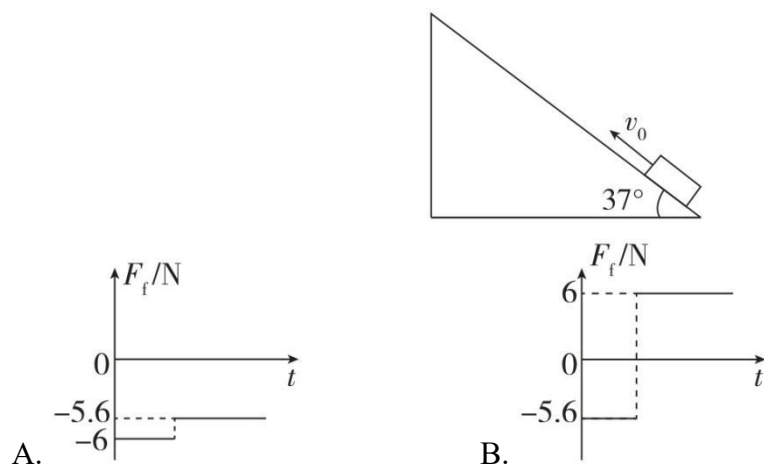


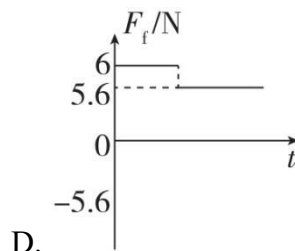
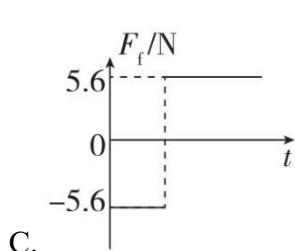
【答案】B

【解析】当墙壁对物体的摩擦力 f 小于重力 G 时，物体加速下滑；当 f 增大到等于 G 时（即加速度为零时），物体速度达到最大，物体继续下滑；当 $f > G$ 时，物体减速下滑。上述过程中物体所受的摩擦力 $f = \mu F = \mu kt$ ，即 $f - t$ 图像是一条过原点的斜向上的线段。当物体速度减到零后，物体静止，物体受到的滑动摩擦力突变为静摩擦力，由平衡条件知 $f = G$ ，此时图像为一条水平线，B 正确。

考向 4 “动—动”突变

例 6 如图所示，斜面固定在地面上，倾角为 37° ，质量为 1kg 的滑块以初速度 v_0 从斜面底端沿斜面向上滑行，斜面足够长，该滑块与斜面间的动摩擦因数为 0.7 ，则该滑块所受摩擦力 F_f 随时间变化的图像是（最大静摩擦力等于滑动摩擦力，取初速度 v_0 的方向为正方向， g 取 10m/s^2 ， $\sin 37^\circ = 0.6$ ， $\cos 37^\circ = 0.8$ ）（ ）





【答案】C

【解析】滑块上升过程中受到滑动摩擦力作用，由 $F_f = \mu F_N$ 和 $F_N = mg \cos \theta$ ，联立解得 $F_f = 5.6 \text{ N}$ ，方向沿斜面向下。当滑块的速度减为零后，由于重力沿斜面向下的分力 $mg \sin \theta > \mu mg \cos \theta$ ，滑块继续下滑，滑块所受的摩擦力为滑动摩擦力，方向为沿斜面向上，故 C 项正确。

温馨提示 请完成《分层突破训练》课时作业 7

第 3 讲 力的合成与分解

课标要求

通过实验，了解力的合成与分解。

必备知识·强基固本

一、力的合成

1. 合力与分力

(1) 定义：假设一个力单独作用的效果跟某几个力共同作用的效果相同，这个力就叫作那几个力的合力，那几个力叫作这个力的分力。

(2) 关系：合力与分力之间是一种_____的关系，合力作用的效果与分力共同作用的效果相同。

【答案】等效替代

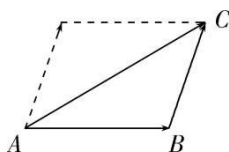
2. 力的合成:求几个力的___的过程。

【答案】合力

3. 力的运算法则

(1) 平行四边形定则：求互成角度的两个力的合力，如果以表示这两个力的有向线段为邻边作平行四边形，这两个邻边之间的对角线就表示合力的___和___。

(2) 三角形定则：把两个矢量_____从而求出合矢量的方法。



【答案】（1）大小；方向

（2）首尾相连

二、力的分解

1. 力的分解

（1）定义：求一个力的__的过程。力的分解是_____的逆运算。

（2）遵循的原则：平行四边形定则或三角形定则。

【答案】分力；力的合成

2. 力的效果分解法

（1）根据力的_____确定两个实际分力的方向；

（2）再根据两个实际分力的方向画出_____；

（3）最后由数学知识求出两分力的大小。

3. 正交分解法

（1）定义：将已知力按_____的两个方向进行分解的方法。

（2）建立坐标系的原则：以少分解力和容易分解力为原则（即尽量多的力在坐标轴上）。

【答案】互相垂直

教材挖掘。（教科版必修第一册第三章第5节）

如图所示，为了行车方便和安全，高大的桥往往有很长的引桥，引桥可以简化为一个斜面，引桥越长，斜面的倾角 θ 越小。在引桥上，汽车的重力有什么作用效果？从力的分解的角度分析，引桥很长有什么好处？



提示：汽车重力有两个作用效果，一个是垂直桥面向下使汽车压桥面，另一个是沿桥面向下使汽车下滑或阻碍汽车上行。高大的桥建造很长的引桥可以减小桥面的坡度，即减小汽车重力沿桥面向下的分力，使行车更安全。

自主评价

1. 依据下面小情境，判断下列说法对错。

（粤教版必修第一册改编）如图所示，提起一桶水，既可以一个成年人单独提，也可以两个孩子一起提。



- (1) 一个成年人提水时施加的一个力与两个孩子共同提水时施加的两个力的合力作用效果相同。()
- (2) 合力及其分力可以同时作用在物体上。()
- (3) 两个孩子对水桶施加的力分别为 8N 、 10N ，则其合力一定为 18N 。()
- (4) 成年人所施加的力一定大于任何一个孩子所施加的力。()
- (5) 两个小孩提一桶水时，两手臂夹角 θ 越大越费力。()

【答案】(1) $\checkmark$

(2) $\times$

(3) $\times$

(4) $\times$

(5) $\checkmark$

2. (人教版必修第一册改编) 一个物体受到三个共点力 F_1 、 F_2 、 F_3 作用，其合力为0，这三个力的大小分别为 20N 、 18N 、 30N ，现将 F_3 突然减小到 18N ，三个力的方向仍保持不变，则此时它们的合力为()

- A. 8N B. 10N C. 12N D. 18N

【答案】C

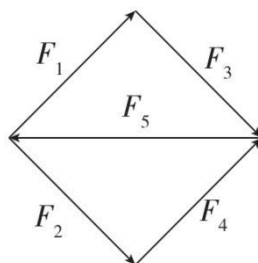
3. (人教版必修第一册改编) 如图所示，倾角不同的光滑斜面固定于水平地面上，挡板垂直固定于斜面。四个相同的小球靠着挡板静止于斜面上，则球对挡板压力最大的是()



【答案】D

关键能力·核心突破
考点一 共点力的合成

1. [2024·河南南阳模拟]多个力的合成多选 5 个共点力的情况如图所示。已知 $F_1 = F_2 = F_3 = F_4 = F$ ，且这四个力恰好为一个正方形， F_5 是其对角线。下列说法正确的是（ ）



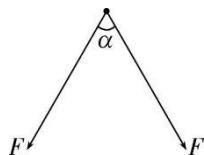
- A. 除 F_5 以外的 4 个力的合力的大小为 $\sqrt{2}F$
 B. 这 5 个力能合成大小为 $2F$ 、相互垂直的两个力
 C. F_1 和 F_5 的合力与 F_3 大小相等，方向相反
 D. 这 5 个力的合力恰好为 $\sqrt{2}F$ ，方向与 F_1 和 F_3 的合力方向相同

【答案】CD

【解析】根据平行四边形定则得，除 F_5 以外的 4 个力的合力的大小为 $2 \times$

$\sqrt{F_1^2 + F_3^2} = 2\sqrt{2}F$ ，方向与 F_5 方向相反， F_5 大小为 $\sqrt{2}F$ ，所以这 5 个力的合力恰好为 $\sqrt{2}F$ ，方向与 F_1 和 F_3 的合力方向相同，故 A、B 错误，D 正确；根据三角形定则， F_1 和 F_5 的合力，与 F_3 大小相等，方向相反，故 C 正确。

2. [2023·重庆卷·1，4 分]力的合成的计算矫正牙齿时，可用牵引线对牙施加力的作用。若某颗牙受到牵引线的两个作用力大小均为 F ，夹角为 α ，如图所示，则该牙所受牵引力的合力大小为（ ）



- A. $2F\sin\frac{\alpha}{2}$ B. $2F\cos\frac{\alpha}{2}$ C. $F\sin\alpha$ D. $F\cos\alpha$

【答案】B

【解析】根据平行四边形定则可知，该牙所受两牵引力的合力大小为 $F_{\text{合}} = 2F\cos\frac{\alpha}{2}$ ，故选 B。

核心提炼

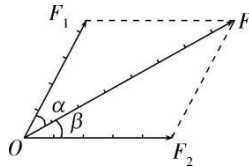
1.合力大小的范围

(1) 两个共点力的合成： $|F_1 - F_2| \leq F \leq F_1 + F_2$ 。即两个力的大小不变时，其合力随夹角的增大而减小，当两个力共线反向时，合力最小，为 $|F_1 - F_2|$ ；当两个力共线同向时，合力最大，为 $F_1 + F_2$ 。

(2) 三个共点力的合成：①三个力共线且同向时，其合力最大，为 $F = F_1 + F_2 + F_3$ ；②任取两个力，求出其合力的范围，如果第三个力在这个范围之内，则三个力的合力最小值为零；如果第三个力不在这个范围内，则合力最小值等于最大的力减去另外两个力。

2.共点力合成的常用方法

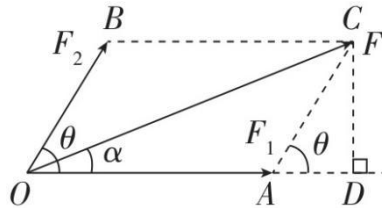
(1) 作图法



(2) 计算法

①若两个力 F_1 、 F_2 的夹角为 θ ，如图所示，合力的大小可由余弦定理得： $F =$

$$\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2\cos\theta}, \tan\alpha = \frac{F_2\sin\theta}{F_1 + F_2\cos\theta}.$$



②几种特殊情况的共点力的合成

类型	作图	合力的计算
互相垂直		$F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2} \tan\theta = \frac{F_1}{F_2}$
两力等大， 夹角为 θ		$F = 2F_1\cos\frac{\theta}{2}$ F 与 F_1 夹角为 $\frac{\theta}{2}$
两力等大且 夹角为 120°		合力与分力等大

3.重要结论

(1) 两个分力大小一定时，夹角 θ 越大，合力越小。

(2) 合力可以大于分力，等于分力，也可以小于分力。

考点二 力的分解

1. 分解方法

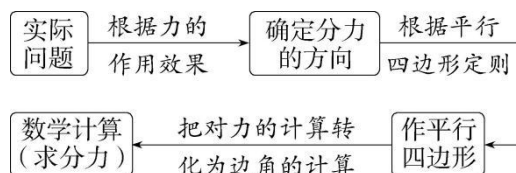
(1) 按力产生的效果分解。

(2) 正交分解法。

点拨

分解的目的是将矢量运算转化为代数运算，便于求合力。

2. 按力的作用效果分解（思路图）

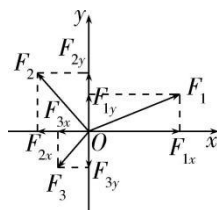


3. 正交分解法

(1) 定义：将已知力按互相垂直的两个方向进行分解的方法。

(2) 建立坐标系的原则：一般选共点力的作用点为原点。在静力学中，以少分解力和容易分解力为原则（即尽可能让更多的力在坐标轴上）；在动力学中，以加速度方向和垂直加速度方向为坐标轴建立坐标系。

(3) 应用：物体受到 F_1 、 F_2 、 F_3 、 $\dots$ 多个力作用，求合力 F 时，可把各力沿相

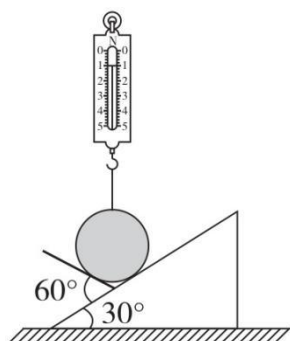


互垂直的 x 轴、 y 轴分解（如图）。

x 轴上的合力： $F_x = F_{1x} + F_{2x} + F_{3x} + \dots$ y 轴上的合力： $F_y = F_{1y} + F_{2y} + F_{3y} + \dots$

$\dots$ 合力的大小： $F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}$ 合力方向：与 x 轴夹角为 θ ，则 $\tan\theta = \frac{F_y}{F_x}$ 。

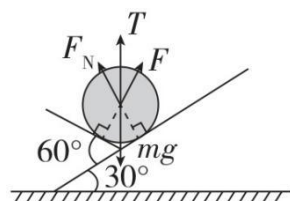
例 1 [2024·河北卷·5，4分]如图，弹簧测力计下端挂有一质量为 0.20kg 的光滑均匀球体，球体静止于带有固定挡板的斜面上，斜面倾角为 30° ，挡板与斜面夹角为 60° 。若弹簧测力计位于竖直方向，读数为 1.0N ， g 取 10m/s^2 ，挡板对球体支持力的大小为（ ）



- A. $\frac{\sqrt{3}}{3}$ N B. 1.0 N C. $\frac{2\sqrt{3}}{3}$ N D. 2.0 N

【答案】A

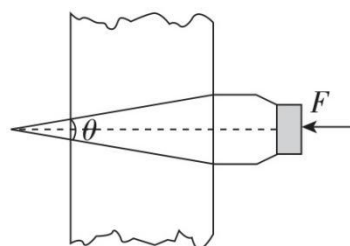
【解析】对小球受力分析如图所示，由几何关系可知 F 、 F_N 与竖直方向的夹角均为 30° ，因此由正交分解法可得 $F_N \sin 30^\circ = F \sin 30^\circ$ ， $F_N \cos 30^\circ + F \cos 30^\circ + T = mg$ ，解得 $F = F_N = \frac{\sqrt{3}}{3}$ N，故选 A。



迁移应用 1. [2024 · 广东清远期末] 多选 传统手工榨油利用“油锤”撞击“进桩”挤压油饼出油，如图甲所示。假设“进桩”为等腰三角形木楔，简化模型如图乙所示，木楔的顶角为 θ ，现在木楔右端施加力 F ，方向如图乙所示，木楔两侧产生推力 N ，则（ ）



甲



乙

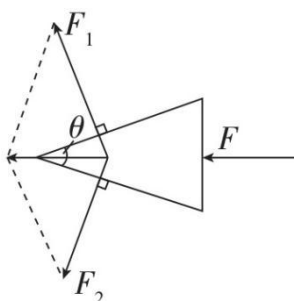
- A. 若 F 一定， θ 越小， N 越大 B. 若 F 一定， θ 越大， N 越大
C. 若 θ 一定， F 越大， N 越大 D. 若 θ 一定， F 越小， N 越大

【答案】AC

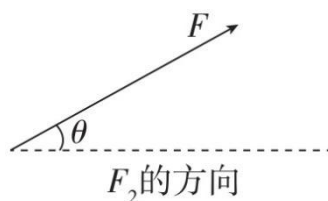
【解析】选木楔为研究对象，木楔受到水平向左的力 F ，把力 F 进行分解如图所示，根据题意有 $F_1 = F_2 = N$ ，得 $F = F_1 \cos(90^\circ - \frac{\theta}{2}) + F_2 \cos(90^\circ - \frac{\theta}{2}) = 2F_1 \cdot$

$\cos(90^\circ - \frac{\theta}{2}) = 2F_1 \sin \frac{\theta}{2}$, 所以 $N = \frac{F}{2\sin \frac{\theta}{2}}$, 当 F 一定时, θ 越小, N 越大; 当 θ 一

定时, F 越大, N 越大。故选 A、C。



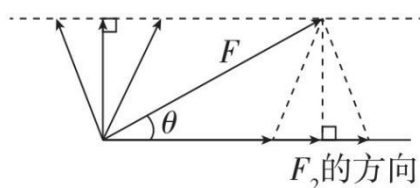
迁移应用 2. [2024 · 浙江杭州模拟] 如图将力 F (大小已知) 分解为两个分力 F_1 和 F_2 , F_2 和 F 的夹角 θ 小于 90° 。则关于分力 F_1 , 以下说法中正确的是 ()



- A. 当 $F_1 > F \sin \theta$ 时, 肯定有两组解
- B. 当 $F \sin \theta < F_1 < F$ 时, 有唯一一组解
- C. 当 $F_1 < F \sin \theta$ 时, 有唯一一组解
- D. 当 $F_1 < F \sin \theta$ 时, 无解

【答案】D

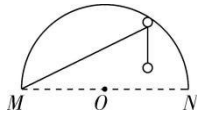
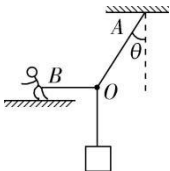
【解析】 如图所示, 当 $F > F_1 > F \sin \theta$ 时, 根据平行四边形定则可知, 有两组解; 当 $F_1 > F \sin \theta$, 且 $F_1 > F$ 时, 只有一组解, 故 A、B 错误; 当 $F_1 = F \sin \theta$ 时, 两分力和合力恰好构成直角三角形, 有唯一解, 当 $F_1 < F \sin \theta$ 时, 分力和合力不能构成三角形, 无解, 故 D 正确, C 错误。



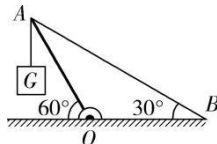
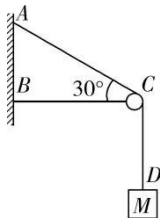
考点三 “活结”和“死结”、“动杆”和“定杆”模型

1. “活结”和“死结”模型

模型	示例及解读
“活结”模	“活结”一般是由绳跨过滑轮或者绳上挂一光滑挂钩而形成的。绳子虽

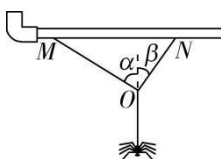
型	然因“活结”而弯曲，但实际上是同一根绳，所以由“活结”分开的两段绳子上弹力的大小一定相等，两段绳子合力的方向一定沿这两段绳子夹角的角平分线 
“死结”模型	“死结”两侧的绳因结而变成了两根独立的绳，故由“死结”分开的两段绳子上的弹力不一定相等 

2. “动杆”和“定杆”模型

模型	示例及解读
“动杆”模型	对于一端有转轴或有铰链的轻杆，其提供的弹力方向一定是沿着轻杆的方向 
“定杆”模型	一端固定的轻杆（如一端插入墙壁或固定于地面），其提供的弹力方向不一定沿着轻杆的方向，力的方向只能根据具体情况进行分析，如根据平衡条件或牛顿第二定律确定杆中弹力的大小和方向 

考向 1 “活结”和“死结”问题

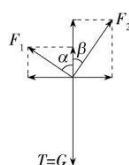
例 2 [2022 · 辽宁卷 · 4, 4 分] 如图所示，蜘蛛用蛛丝将其自身悬挂在水管上并处于静止状态。蛛丝 OM 、 ON 与竖直方向夹角分别为 α 、 β ($\alpha > \beta$)。用 F_1 、 F_2 分别表示 OM 、 ON 的拉力，则 ()



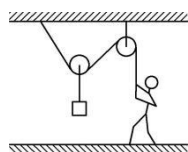
- A. F_1 的竖直分力大于 F_2 的竖直分力
- B. F_1 的竖直分力等于 F_2 的竖直分力
- C. F_1 的水平分力大于 F_2 的水平分力
- D. F_1 的水平分力等于 F_2 的水平分力

【答案】D

【解析】对结点 O 受力分析如图所示，根据平衡条件可知在水平方向 F_1 的分力与 F_2 的分力大小相等，即 $F_1 \sin \alpha = F_2 \sin \beta$ ，由题可知 $\alpha > \beta$ ，且 α 、 β 都是锐角，所以 $F_1 < F_2$ ，又 $\cos \alpha < \cos \beta$ ，则在竖直方向 F_1 的分力 $F_1 \cos \alpha$ 小于 F_2 的分力 $F_2 \cos \beta$ ，D 正确。



迁移应用 3. [2023 · 海南卷 · 3, 3 分] 如图所示，工人利用滑轮组将重物缓慢提起，下列说法正确的是 ()



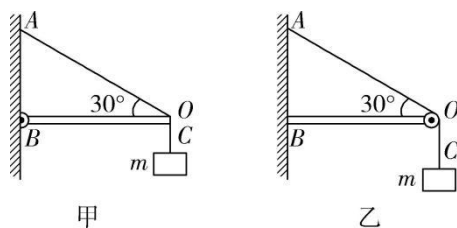
- A. 工人受到的重力和支持力是一对平衡力
- B. 工人对绳的拉力和绳对工人的拉力是一对作用力与反作用力
- C. 重物缓慢提起的过程中，绳子拉力变小
- D. 重物缓慢提起的过程中，绳子拉力不变

【答案】B

【解析】工人受到三个力的作用，即绳的拉力、地面的支持力和重力，三力平衡，A 错误。工人对绳的拉力和绳对工人的拉力是一对作用力与反作用力，B 正确。将动滑轮和重物以及两者之间的绳看作一个整体，对整体受力分析，设绕过动滑轮的绳的拉力为 T ，绳与竖直方向的夹角为 θ ，动滑轮和重物所受重力为 G ，由平衡条件有 $2T \cos \theta = G$ ，重物提起过程中，两绳的张角变大， θ 变大，拉力 T 变大，C、D 错误。

考向 2 “动杆”和“定杆”问题

例 3 如图甲所示，轻杆 OB 可绕 B 点自由转动，另一端 O 点用细绳 OA 拉住，固定在左侧墙壁上，质量为 m 的重物用细绳 OC 悬挂在轻杆的 O 点，轻杆 OB 水平， OA 与轻杆的夹角 $\angle BOA = 30^\circ$ 。乙图中水平轻杆 OB 一端固定在竖直墙壁上，另一端 O 装有小滑轮，用一根细绳跨过滑轮后悬挂一质量为 m 的重物，图中 $\angle BOA = 30^\circ$ ，以下说法正确的是（ ）

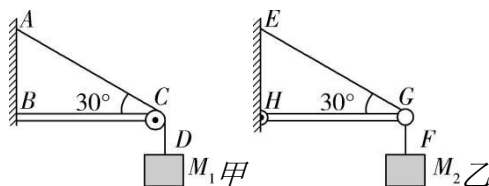


- A. 甲图中绳对杆的压力不沿杆
- B. 乙图中滑轮对绳的支持力与水平方向成 30° 角指向右上方
- C. 两图中，绳所受的支持力与绳 OA 段的拉力的合力方向一定不同
- D. 甲图中绳 OA 与绳 OC 的拉力大小相等

【答案】B

【解析】甲图中轻杆可绕 B 点自由转动，绳对杆的压力一定沿杆方向，故 A 错误；乙图中 O 端为滑轮， B 端固定，细绳上的张力大小相等，根据几何关系结合牛顿第三定律可得滑轮对绳的支持力与水平方向成 30° 角指向右上方，故 B 正确；两图中，绳所受的支持力与绳 OA 段的拉力的合力与重物的重力等大反向，这两个力的合力方向都是竖直向上，方向相同，故 C 错误；甲图中，以结点 O 为研究对象，受力分析可知绳 OC 的拉力大小 $F = mg$ ，绳 OA 的拉力大小为 $F_{T1} = \frac{mg}{\sin 30^\circ} = 2mg$ ，则甲图中绳 OA 与绳 OC 的拉力大小不相等，故 D 错误。

变式．如图甲所示，轻绳 AD 跨过固定在水平横梁 BC 右端的定滑轮挂住一个质量为 10kg 的物体， $\angle ACB = 30^\circ$ ；如图乙所示，轻杆 HG 一端用铰链固定在竖直墙上，另一端 G 通过轻绳 EG 拉住， EG 与水平方向成 30° 角，在轻杆的 G 点用轻绳 FG 悬挂一个质量也为 10kg 的物体，下列说法正确的是（ ）

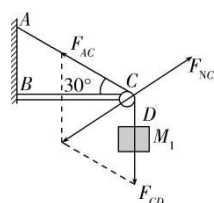


- A. 横梁 BC 对 C 端的弹力方向沿着 BC 向右

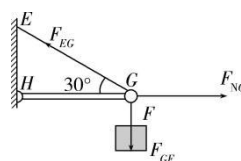
- B. 轻绳 AC 段的张力与轻绳 EG 的张力之比为 2:1
 C. 横梁 BC 对 C 端的弹力大小与轻杆 HG 对 G 端的弹力大小之比为 $\sqrt{3}:1$
 D. 横梁 BC 对 C 端的弹力大小与轻杆 HG 对 G 端的弹力大小之比为 $1:\sqrt{3}$

【答案】D

【解析】题图甲和乙中的两个物体都处于平衡状态，根据平衡条件可判断，与物体相连的轻绳拉力大小等于物体的重力，分别取 C 点和 G 点为研究对象，进行受力分析如图（a）（b）所示。图（a）中，根据几何关系得 $F_{AC} = F_{CD} = M_1g$ ，且二者夹角为 120° ，故可得横梁 BC 对 C 端的弹力大小为 $F_{NC} = F_{AC} = M_1g$ ，方向与水平方向成 30° 角斜向右上方，A 错误；图（b）中由 $F_{EG}\sin 30^\circ = M_2g$ ， $F_{EG}\cos 30^\circ = F_{NG}$ ，得 $F_{EG} = 2M_2g$ ， $F_{NG} = \sqrt{3}M_2g$ ，所以有 $\frac{F_{AC}}{F_{EG}} = \frac{1}{2}$ ， $\frac{F_{NC}}{F_{NG}} = \frac{1}{\sqrt{3}}$ ，B、C 错误，D 正确。



图（a）



图（b）

温馨提示 请完成《分层突破训练》课时作业 8

第 4 讲 受力分析 共点力的平衡及应用

课标要求

熟练掌握受力分析，会判断弹力、摩擦力的有无及方向；能用共点力的平衡条件分析生产生活中的问题。

必备知识·强基固本

一、受力分析

1. **受力分析**：把研究对象（指定物体）在特定的物理情境中受到的所有力都找出来，并画出_____的过程。

【答案】受力示意图

2. 受力分析的一般顺序

- （1）首先分析场力（__、电场力、磁场力）。
- （2）其次分析接触力（弹力、_____）。
- （3）最后分析其他力。

【答案】重力； 摩擦力

二、共点力的平衡条件

1. 平衡状态 物体处于__或__状态，即 $a = 0$ 。

【答案】静止； 匀速直线运动

2.平衡条件

$$F_{\text{合}} = 0 \text{ 或 } \begin{cases} F_x = 0 \\ F_y = 0 \end{cases}$$

三、平衡条件的推论

1. 二力平衡：如果物体在两个共点力的作用下处于平衡状态，这两个力必定大小__、方向__。

【答案】相等； 相反

2. 三力平衡：如果物体在三个共点力的作用下处于平衡状态，其中任何一个力与其余两个力的__大小相等、方向相反。

【答案】合力

3. 多力平衡：如果物体在多个共点力的作用下处于平衡状态，其中任何一个力与__大小相等、方向相反。

【答案】其余几个力的合力

教材挖掘。（鲁科版必修第一册第4章“章末练习”）

自卸货车准备倾倒砂石，车厢的倾角 θ 缓慢增大，相对车厢静止的砂石能看成处于平衡状态吗？砂石受到哪几个力的作用？方向各指向哪里？

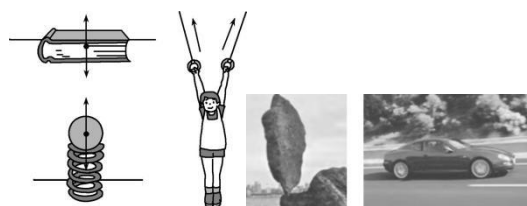


提示：砂石随着车厢缓慢转动，转动过程中的每一个状态都可以近似看成平衡状态。砂石受到竖直向下的重力、垂直车厢底面向上的支持力和沿车厢底面向上的静摩擦力作用。

自主评价

1. 依据下面情境，判断下列说法对错。

（教科版必修第一册改编）如图所示，书本、小球、小孩、石头和汽车都处于平衡状态。



- (1) 对人受力分析时，只画人受到的力，人对吊环施加的力不能画出来。（ ）
- (2) 桌面上的书、静止的石头，都受到重力、支持力和摩擦力作用。（ ）
- (3) 汽车匀速前进时处于平衡状态，其加速度为零。（ ）
- (4) 弹簧上静止的小球，所受重力和弹力一定等大反向。（ ）
- (5) 平衡状态包括速度为零和匀速直线运动两种。（ ）

【答案】(1) ✓

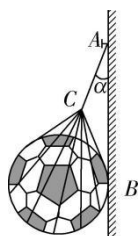
(2) ✗

(3) ✓

(4) ✓

(5) ✗

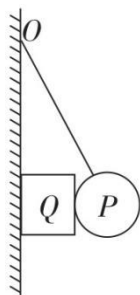
2. (人教版必修第一册改编) 如图所示，在光滑墙壁上用网兜把足球挂在 A 点，足球与墙壁的接触点为 B 。足球的重力为 G ， AC 绳与墙壁的夹角为 α ，墙壁对球的支持力为 F_N ， AC 绳的拉力为 F_T ，不计网兜的重力。则下列关系式正确的是（ ）



- A. $F_T = F_N$ B. $F_T < F_N$ C. $F_T > G$ D. $F_T < G$

【答案】C

3. 多选 (人教版必修第一册改编) 一根轻绳一端系小球 P ，另一端系于光滑墙壁上的 O 点，在墙壁和小球 P 之间夹有一长方体物块 Q ，如图所示，在小球 P 、物块 Q 均处于静止状态的情况下，下列有关说法正确的是（ ）



- A. 物块 Q 受 3 个力
- B. 小球 P 受 4 个力
- C. 若 O 点下移，物块 Q 受到的静摩擦力将增大
- D. 若 O 点上移，绳子的拉力将变小

【答案】BD

关键能力·核心突破

考点一 受力分析

1. [2020·浙江7月选考卷·3, 3分] 单物体受力分析 矢量发动机是喷口可向不同方向偏转以产生不同方向推力的一种发动机。当歼20隐形战斗机以速度 v 斜向上飞行时，其矢量发动机的喷口如图所示。已知飞机受到重力 G 、发动机推力 F_1 、与速度方向垂直的升力 F_2 和与速度方向相反的空气阻力 F_f 。下列受力分析示意图可能正确的是（ ）

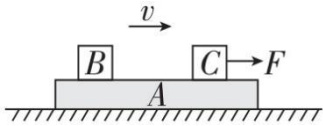


- A.
- B.
- C.
- D.

【答案】A

【解析】由题意可知所受重力 G 竖直向下，空气阻力 F_f 与速度方向相反，升力 F_2 与速度方向垂直，对比图中选项可知只有 A 选项符合题意。故选 A。

2. 多物体受力分析如图所示，物体A、B、C叠放在水平桌面上，水平力F作用于物体C上，使A、B、C以共同的速度向右匀速运动，则物体A的受力个数为（ ）



- A. 4 个 B. 5 个 C. 6 个 D. 7 个

【答案】C

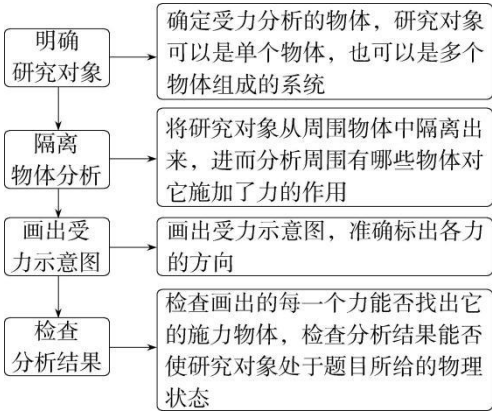
【解析】以整体为研究对象，整体匀速运动，受力平衡，故桌面对A有摩擦力作用，以A为研究对象，受重力、B的压力、C的压力和摩擦力、桌面的支持力和摩擦力，共6个力，C项正确。

核心提炼

1.受力分析的三个常用判据

- （1）条件判据：不同性质的力产生条件不同，进行受力分析时最基本的判据是力的产生条件。
- （2）效果判据：有时候是否满足某力产生的条件是很难判定的，可先根据物体的运动状态进行分析，再运用平衡条件或牛顿第二定律判定未知力。
- （3）特征判据：从力的作用是相互的这个基本特征出发，通过判定其反作用力是否存在来判定该力是否存在。

2.受力分析的一般步骤

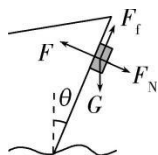


考点二 共点力的平衡条件及应用
分析静态平衡问题的常用方法

方法	内容
----	----

合成法	物体受三个共点力的作用而平衡，则任意两个力的合力一定与第三个力大小相等、方向相反
效果分解法	物体受三个共点力的作用而平衡，将某一个力按力的效果分解，则其分力和其他两个力满足平衡条件
正交分解法	物体受到三个或三个以上力的作用而平衡，将物体所受的力分解为相互垂直的两组，每组力都满足平衡条件
力的三角形法	对受三个力作用而平衡的物体，将力的矢量图平移，使三个力组成一个首尾依次相接的矢量三角形，根据正弦定理、余弦定理或相似三角形等数学知识求解未知力

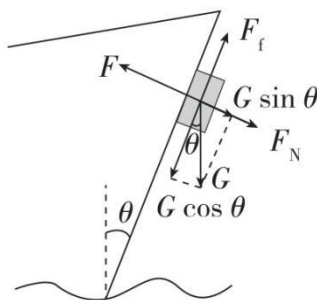
例 1 [2023 · 广东卷 · 2, 4 分] 如图所示，可视为质点的机器人通过磁铁吸附在船舷外壁面检测船体。壁面可视为斜面，与竖直方向的夹角为 θ 。船和机器人保持静止时，机器人仅受重力 G 、支持力 F_N 、摩擦力 F_f 和磁力 F 的作用，磁力垂直壁面。下列关系式正确的是 ()



- A. $F_f = G$ B. $F = F_N$ C. $F_f = G \cos \theta$ D. $F = G \sin \theta$

【答案】C

【解析】如图所示，将重力按垂直于斜面方向和沿斜面方向分解。沿斜面方向，由平衡条件得 $F_f = G \cos \theta$ ，故 A 错误，C 正确；垂直斜面方向，由平衡条件得 $F = G \sin \theta + F_N$ ，故 B、D 错误。



迁移应用 1. [2023 · 浙江 6 月选考卷 · 6, 3 分] 如图所示，水平面上固定两排平行的半圆柱体，重为 G 的光滑圆柱体静置其上， a 、 b 为相切点，

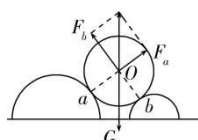
$\angle aOb = 90^\circ$ ，半径 Ob 与重力的夹角为 37° 。已知 $\sin 37^\circ = 0.6$ ， $\cos 37^\circ = 0.8$ ，则圆柱体受到的支持力 F_a 、 F_b 大小为（ ）



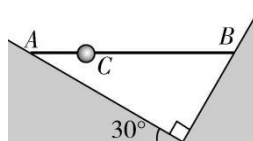
- A. $F_a = 0.6G$ ， $F_b = 0.4G$ B. $F_a = 0.4G$ ， $F_b = 0.6G$
C. $F_a = 0.8G$ ， $F_b = 0.6G$ D. $F_a = 0.6G$ ， $F_b = 0.8G$

【答案】D

【解析】对光滑圆柱体受力分析如图，有 $F_a = G\sin 37^\circ = 0.6G$ ， $F_b = G\cos 37^\circ = 0.8G$ ，故选 D。



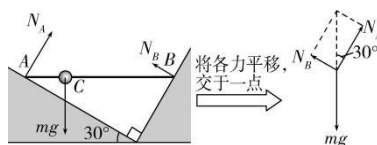
迁移应用 2. [2023·河北卷·4，4分]如图，轻质细杆 AB 上穿有一个质量为 m 的小球 C ，将杆水平置于相互垂直的固定光滑斜面上，系统恰好处于平衡状态。已知左侧斜面与水平面成 30° 角，重力加速度为 g ，则左侧斜面对杆 AB 支持力的大小为（ ）



- A. mg B. $\frac{\sqrt{3}}{2}mg$ C. $\frac{\sqrt{3}}{3}mg$ D. $\frac{1}{2}mg$

【答案】B

【解析】对轻杆和小球组成的系统进行受力分析，如图。设左侧斜面对杆 AB 支持力的大小为 N_A ，由平衡条件有 $N_A = mg\cos 30^\circ$ ，得 $N_A = \frac{\sqrt{3}}{2}mg$ ，B 正确。



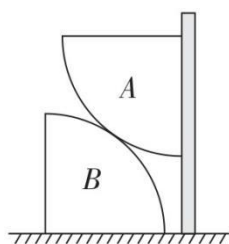
考点三 整体法与隔离法的应用

整体法和隔离法的比较

项目	整体法	隔离法
概念	将加速度相同的几个物体作为一个整体	将研究对象与周围物体分隔开来

	体来分析的方法	分析的方法
优缺点	(1) 优点：一般受力分析较简单，计算简单； (2) 缺点：不能分析系统内物体间的力	(1) 优点：能分析系统内物体间的力； (2) 缺点：一般受力分析较复杂，计算复杂
选用原则	研究系统外的物体对系统的作用力或求系统的加速度	研究系统内物体之间的相互作用力
注意事项	画受力分析图时，注意不能再分析系统内物体间的力	一般选择受力较少的物体为研究对象
说明	求解具体问题时，很多情况下需要同时运用两种方法，应根据已知条件灵活选用整体法和隔离法。一般遵从“先整体、后部分”的原则；若已知某个物体的受力，则遵从“先部分、后整体”的原则	

例 2 [2025 · 河北唐山模拟] 两个完全相同的截面为四分之一光滑圆面的柱体 A 、 B 按如图所示叠放， A 的右侧有一光滑竖直的挡板， A 和 B 的质量均为 m 。现将挡板缓慢地向右移动，整个过程中 B 始终保持静止，当 A 将要落至水平地面时，下列说法正确的是（重力加速度为 g ）（ ）

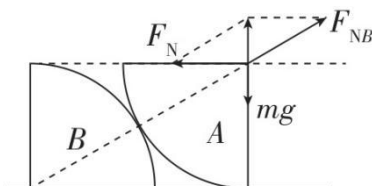


- A. A 对 B 的压力大小为 mg
- B. B 对地面的压力大小为 mg
- C. A 对竖直挡板的压力大小为 $2mg$
- D. B 受到水平地面的摩擦力大小为 $\sqrt{3}mg$

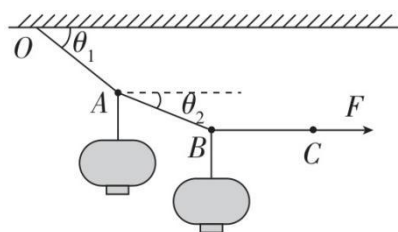
【答案】D

【解析】对 A 受力分析如图所示，由几何关系可知， B 对 A 的支持力 F_{NB} 与竖直方向夹角为 60° ，则 B 对 A 的支持力为 $F_{NB} = \frac{mg}{\cos 60^\circ} = 2mg$ ，即 A 对 B 的压力大小为 $2mg$ ，A 错误；对 A 、 B 整体受力分析可知，地面对 B 的支持力大小为 $2mg$ ，即

B 对地面的压力大小为 $2mg$ ， B 错误；挡板对 A 的支持力为 $F_N = mg \tan 60^\circ = \sqrt{3}mg$ ，可知 A 对竖直挡板的压力大小为 $\sqrt{3}mg$ ， C 错误；对整体分析可知， B 受到水平地面的摩擦力大小等于挡板对 A 的支持力大小，即 $f = F_N = \sqrt{3}mg$ ， D 正确。



迁移应用 3. 挂灯笼的习俗起源于西汉时期，现已成为中国人喜庆的象征。某次挂灯笼的情景如图所示，准备由 3 根等长的轻质细绳悬挂起 2 个质量均为 m 的灯笼，用水平力 F 拉 BC 细绳使系统处于静止状态，另外两根细绳与水平面所成的角度分别为 θ_1 和 θ_2 ，重力加速度为 g 。下列关系式正确的是 ()



A. $F_{OA} = \frac{mg}{\sin \theta_1}$

B. $F_{AB} = \frac{mg}{\tan \theta_2}$

C. $\tan \theta_1 = 2 \tan \theta_2$

D. $F = \frac{2mg}{\sin \theta_1}$

【答案】C

【解析】将两个灯笼作为整体，受力分析，根据平衡条件得 $F_{OA} \sin \theta_1 = 2mg$ ， $F_{OA} \cos \theta_1 = F$ ，联立解得 $F_{OA} = \frac{2mg}{\sin \theta_1}$ ， $F = \frac{2mg}{\tan \theta_1}$ ，A、D 错误；对结点 B 受力分析，由平衡条件得 $F_{AB} \sin \theta_2 = mg$ ， $F_{AB} \cos \theta_2 = F$ ，联立解得 $F_{AB} = \frac{mg}{\sin \theta_2}$ ， $F = \frac{mg}{\tan \theta_2}$ ，由 $F = \frac{2mg}{\tan \theta_1}$ 和 $F = \frac{mg}{\tan \theta_2}$ ，联立解得 $\tan \theta_1 = 2 \tan \theta_2$ ，B 错误，C 正确。

迁移应用 4. [2022 · 海南卷 · 8, 3 分] 具有拱券结构的赵州桥展示了我国古代人民高超的造桥技术。如图，某同学用 6 块形状相同的楔形块搭成一个半圆形的拱券结构桥梁模型，其中 1 号与 6 号楔形块固定在水平面上，2 号与 5 号楔形块的质量均为 m ，3 号与 4 号楔形块的质量均为 m' 。若不计楔形块之间的摩擦力，则 $\frac{m}{m'}$ 为 ()



A. $\frac{\sqrt{3}}{2}$

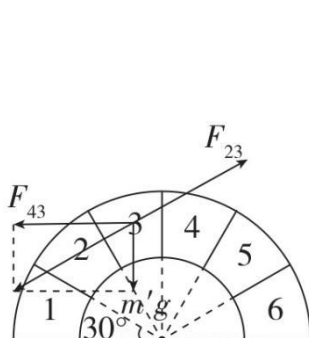
B. 1

C. $\sqrt{3}$

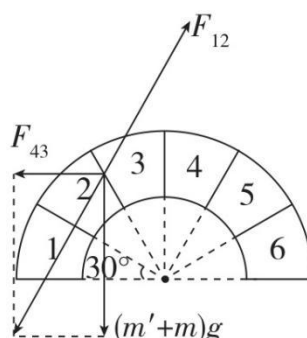
D. 2

【答案】D

【解析】由题意可知，每块楔形块对应的圆心角均为 $\frac{180^\circ}{6} = 30^\circ$ ，对楔形块 3 进行受力分析，如图甲，由平衡条件可得 $\tan 30^\circ = \frac{m'g}{F_{43}}$ ；把楔形块 2 和 3 看成整体，并对其进行受力分析，如图乙，由平衡条件可得 $\tan 60^\circ = \frac{(m+m')g}{F_{43}}$ ；联立解得 $\frac{m}{m'} = 2$ ，故 D 正确。



甲



乙

温馨提示 请完成《分层突破训练》课时作业 9

专题突破 2 动态平衡问题 平衡中的临界、极值问题

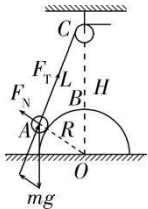
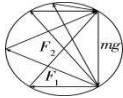
关键能力·核心突破

题型一 动态平衡问题

1.动态平衡：通过控制某些物理量，使物体的状态发生缓慢变化，但在变化过程中，每一个状态均可视为平衡状态。

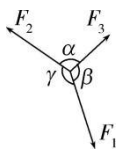
2.解决动态平衡问题的常用方法

方法	适用的受力情况	基本矢量图
解析法	物体受三个力作用，一个力恒定，另一个力始终与恒定的力垂直，三力可构成直角三角形	
图解法	物体受三个力作用，一个力大小、方向均不变（如重力），另一个力方向不变	

	(大小一般改变)，第三个力大小、方向都变化	
相似三角形法	物体受三个力作用，一个力大小、方向均不变（通常是重力），另外两个力的方向均发生变化，但可以找到与力构成的矢量三角形相似的几何三角形	 基本关系式：$\frac{mg}{H} = \frac{F_N}{R} = \frac{F_T}{L}$
动态圆法	物体受三个力作用，一个力大小、方向均不变（通常是重力），另外两个力方向、大小都在变，但两力的夹角不变	

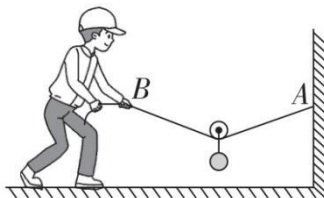
点拨

动态圆法也叫辅助圆法，通常能用动态圆法求解的问题也可用拉密定理法（或正弦定理法）求解。拉密定理：同一平面内，当三个共点力的合力为零时，其中任意一个力与其他两个力夹角正弦的比值相等，即 $\frac{F_1}{\sin\alpha} = \frac{F_2}{\sin\beta} = \frac{F_3}{\sin\gamma}$ 。其实质就是正弦定理的变形。



考向 1 解析法的应用

例 1 [2024·重庆模拟] 如图所示，绕过滑轮的轻绳一端固定在竖直墙上，站在地面上的人用手拉着绳的另一端，滑轮下吊着一个小球，处于静止状态，不计滑轮摩擦。保持 A 点高度不变，手与绳无相对滑动且球不碰地。在手缓慢向上移动一小段距离的过程中（ ）



- A. 绳上张力变大
- B. 人对地面的压力变大
- C. 滑轮受到绳的作用力变大
- D. 地面对人的摩擦力不变

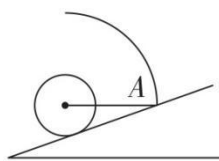
【答案】D

【解析】因为同一根绳子上的拉力相等，所以两部分绳子是对称的，与水平方向夹角是相等的。设绳子的长度为 L ，绳子与水平方向的夹角为 θ ，根据几何关系可得， A 、 B 之间的水平距离等于 $L\cos\theta$ ，手缓慢向上移动一小段距离，绳子的长度不变， A 、 B 之间的水平距离不变，则 θ 不变，

由 $2T\sin\theta = (m_{\text{球}} + m_{\text{滑}})g$ ，解得 $T = \frac{(m_{\text{球}} + m_{\text{滑}})g}{2\sin\theta}$ ，可知绳上的张力 T 不变，故 A 错误；对人受力分析，由平衡条件有 $N = m_{\text{人}}g + T\sin\theta$ ， $f = T\cos\theta$ ，由上述分析可知， T 和 θ 均不变，故地面对人的支持力不变，地面对人的摩擦力不变，由牛顿第三定律可知，人对地面的压力不变，故 B 错误，D 正确；对滑轮与小球整体分析可知，滑轮受到绳的作用力 $F = (m_{\text{球}} + m_{\text{滑}})g$ ，即滑轮受到绳的作用力不变，故 C 错误。

考向 2 图解法的应用

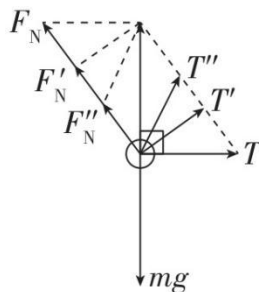
例 2 光滑斜面上固定着一根刚性圆弧形细杆，小球通过轻绳与细杆相连，此时轻绳处于水平方向，球心恰位于圆弧形细杆的圆心处，如图所示。将悬点 A 缓慢沿杆向上移动，直到轻绳处于竖直方向，在这个过程中，轻绳的拉力（ ）



- A. 逐渐增大
- B. 大小不变
- C. 先减小后增大
- D. 先增大后减小

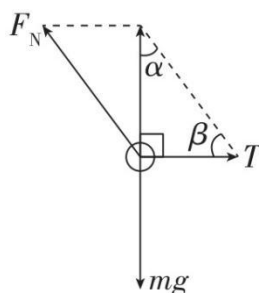
【答案】C

【解析】解法一（图解法）：将悬点 A 缓慢沿杆向上移动的过程中，小球始终处于平衡状态，小球所受重力 mg 的大小和方向都不变，支持力的方向不变，对小球进行受力分析如图甲所示，由图甲可知，拉力 T 先减小后增大，C 正确。



甲

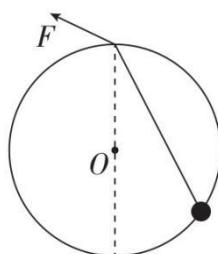
解法二（解析法）：如图乙所示，由正弦定理得 $\frac{T}{\sin\alpha} = \frac{mg}{\sin\beta}$ ，得 $T = \frac{mg\sin\alpha}{\sin\beta}$ ，由于 mg 和 α 不变，而 $\sin\beta$ 先增大后减小，可得 T 先减小后增大，C 正确。



乙

考向 3 相似三角形法的应用

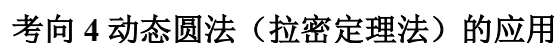
例 3 [2024 · 湖北模拟] 如图所示，一小球套在竖直固定的光滑圆环上，在圆环的最高点有一个光滑小孔，一根轻绳的下端系着小球，上端穿过小孔用力拉住，开始时小球在圆环最低点的右侧。现缓慢拉动轻绳，使小球沿圆环缓慢上升一小段距离，对该过程，下列说法正确的是（ ）



- A. 小球对轻绳的拉力增大
- B. 小球对轻绳的拉力减小
- C. 小球对圆环的压力增大
- D. 小球对圆环的压力减小

【答案】B

【解析】 小球受重力 G 、轻绳拉力 F 和圆环的弹力 N 的作用。如图所示，由平衡条件可知，重力 G 与弹力 N 的合力 F' 大小等于轻绳拉力 F 大小，方向与 F 相反，根据力的矢量三角形与几何三角形相似，有 $\frac{G}{R} = \frac{F'}{AB} = \frac{N}{R}$ ，解得 $F = F' = \frac{AB}{R}G$ ， $N = G$ ，当 A 点上移时，半径 R 不变， AB 减小，故 F 减小， N 不变，由牛顿第三定律可知小球对轻绳的拉力减小，小球对圆环的压力不变，故 A、C、D 错误，B 正确。

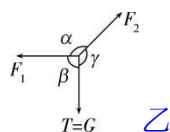


- 【答案】B

[illegible]

45/67

角变为锐角， $\sin\gamma$ 先变大后变小，则 F_1 先增大后减小， β 由 90° 变为钝角，则 $\sin\beta$ 变小， F_2 逐渐减小，故 B 正确。



视野拓展

“晾衣绳类”模型

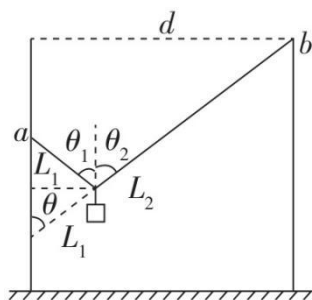
1. 识别条件

- (1) 重物挂在长度不变的轻绳上；
- (2) 悬挂点（“活结”）可在轻绳上自由移动。

2. 模型特点

- (1) 悬挂点（“活结”）：两侧轻绳上拉力大小相等；
- (2) 悬挂点（“活结”）：两侧轻绳与竖直方向夹角相等。

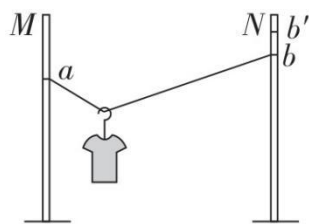
3. 证明：如图所示，悬挂点（“活结”）两侧绳上拉力大小相等，因结点所受水平分力相等，即 $F\sin\theta_1 = F\sin\theta_2$ ，故 $\theta_1 = \theta_2 = \theta$ ，根据几何关系可知 $\sin\theta = \frac{d}{L_1 + L_2} = \frac{d}{L}$ （ L 为绳长），若两杆间距离 d 不变，则上下移动悬线结点时， θ 不变，若两杆间距离 d 减小，则 θ 减小，由 $2F\cos\theta = mg$ ，可知 $F = \frac{mg}{2\cos\theta}$ 也减小。



4. 结论

- (1) 夹角 θ 只与横向间距 d 和绳长 L 有关，与悬挂重物的质量 m 无关，而拉力 F 的大小与夹角 θ 和重物质量 m 有关。
- (2) 若横向间距 d 不变，在竖直方向上移动结点 a 或 b ，夹角 θ 与轻绳拉力均不变；若横向间距 d 变大，则夹角 θ 增大，轻绳拉力也增大。

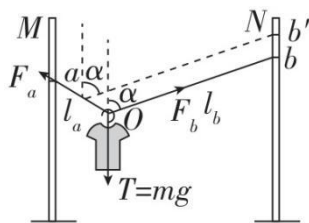
例 5 [2024·陕西渭南模拟] 多选 如图所示，轻质不可伸长的晾衣绳两端分别固定在竖直杆 M 、 N 上的 a 、 b 两点，悬挂衣服的衣架钩是光滑的，挂于绳上处于静止状态。如果只人为改变一个条件，当衣架静止时，下列说法正确的是（ ）



- A. 绳的右端上移到 b' ，绳子拉力不变
- B. 将杆 N 向右移一些，绳子拉力变大
- C. 绳的两端高度差越小，绳子拉力越小
- D. 若换挂质量更大的衣服，则衣架悬挂点右移

【答案】AB

【解析】设两竖直杆间距离为 d ，绳长为 l ， Oa 、 Ob 段长度分别为 l_a 和 l_b ，则 $l = l_a + l_b$ ，两部分绳子与竖直方向夹角为 α ，对悬挂处受力分析如图所示，绳子中各部分张力相等， $F_a = F_b = F$ ， $2F\cos\alpha = mg$ ， $d = l_a\sin\alpha + l_b\sin\alpha$ ，即 $\sin\alpha = \frac{d}{l}$ ， $F = \frac{mg}{2\cos\alpha}$ ， d 和 l 均不变，则 $\sin\alpha$ 不变， α 不变， $\cos\alpha$ 不变，绳子的拉力保持不变，故A正确，C、D错误。将杆 N 向右移一些， d 增大，则 $\sin\alpha$ 增大， $\cos\alpha$ 减小，绳子的拉力增大，故B正确。



题型二 平衡中的临界、极值问题

1.临界问题：当某物理量变化时，会引起其他物理量发生变化，从而使物体所处的平衡状态“恰好出现”或“恰好不出现”，在问题中常用“刚好”“刚好能”“恰好”等语言描述。临界问题常见的种类：

- (1) 由静止到运动，摩擦力达到最大静摩擦力。
- (2) 绳子恰好绷紧，拉力 $F = 0$ 。
- (3) 刚好离开接触面，支持力 $F_N = 0$ 。

2.极值问题：平衡物体的极值，一般指在力的变化过程中的最大值和最小值问题。

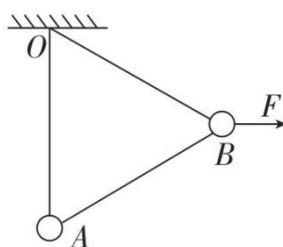
3.解决临界和极值问题的三种方法

图解	根据平衡条件，作出力的矢量图，通过对物理过程的分析，利用平行四
----	---------------------------------

法	边形定则进行动态分析，确定极大值和极小值
数学 分析 法	通过对问题分析，根据平衡条件列出物理量之间的函数关系式（画出函数图像），用数学方法求极值（如求二次函数极值、三角函数极值）
极限 分析 法	正确进行受力分析和变化过程分析，找到平衡的临界点和极值点；临界条件必须在变化中寻找，不能在一个状态上研究临界问题，要把某个物理量推向极大或极小

考向 1 图解法的应用

例 6 [2024 · 广东阳江模拟] 如图所示，两个相同的小球 A 和 B ，质量均为 m ，用长度相同的两根轻质细线把 A 、 B 两球悬挂在水平天花板上的同一点 O ，并用长度相同的细线连接 A 、 B 两球。在水平外力 F 的作用下，小球 A 、 B 均处于静止状态，三根细线均处于拉直状态，其中 OA 细线位于竖直方向。现保持小球 B 的位置不变，将外力 F 逆时针缓慢旋转 90° 角，已知重力加速度为 g ，则下列关于此过程的分析正确的是（ ）

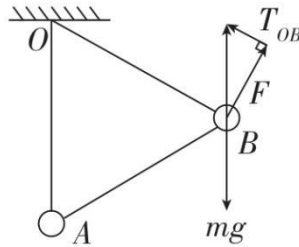


- A. 细线 OA 的弹力大小可能大于 mg
- B. 细线 OB 的弹力大小可能为 $2.5mg$
- C. 外力 F 的最小值为 $\frac{\sqrt{3}}{2}mg$
- D. 外力 F 的最小值为 $\frac{1}{2}mg$

【答案】C

【解析】 对 A 球受力分析，受重力和细线 OA 的拉力，根据受力平衡可知，细线 AB 的拉力为零，细线 OA 的拉力 $T_{OA} = mg$ ，故 A 错误；对 B 球受力分析，受重力、细线 OB 的拉力和外力 F ，根据三力平衡条件知，任意两个力的合力必定与第三个力等大、反向、共线，所以当 F 与细线 OB 垂直时，有最小值，如图所示，结合几何关系可得 $F_{\min} = mg \sin 60^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2}mg$ ，故 C 正确，D 错误；对 B 球

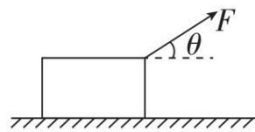
受力分析，受重力、细线 OB 的拉力和外力 F ，根据动态三角形可知当 F 水平时， OB 的拉力最大，即 $T_{OB} = \frac{mg}{\cos 60^\circ} = 2mg$ ，故 B 错误。



考向 2 数学分析法的应用

例 7 质量为 $m = 10\text{kg}$ 的木箱置于水平地面上，它与地面间的动摩擦因数

$\mu = \frac{\sqrt{3}}{3}$ ，重力加速度取 $g = 10\text{m/s}^2$ ，其受到一个与水平方向成 θ 角斜向上的拉力 F ，如图所示，为使木箱做匀速直线运动，拉力 F 的最小值以及此时 θ 分别是 ()



- A. $50\text{N}30^\circ$ B. $50\text{N}60^\circ$ C. $\frac{200}{3}\text{N}30^\circ$ D. $\frac{200}{3}\text{N}60^\circ$

【答案】A

【解析】解法一：对木箱进行受力分析，木箱受重力 mg 、拉力 F 、地面的支持力 N 和滑动摩擦力 f 作用，木箱做匀速直线运动，根据平衡条件得 $F\cos\theta = f$ ，

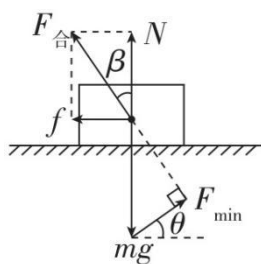
$F\sin\theta + N = mg$ ，又 $f = \mu N$ ，联立解得 $F = \frac{\mu mg}{\cos\theta + \mu\sin\theta} = \frac{\mu mg}{\sqrt{1+\mu^2}\sin(\theta+\alpha)}$ ，其中

$\tan\alpha = \frac{1}{\mu} = \sqrt{3}$ ， $\alpha = 60^\circ$ ，由数学知识可知，当 $\theta + \alpha = 90^\circ$ ，即 $\theta = 30^\circ$ 时， F

有最小值，且最小值为 $F_{\min} = \frac{\mu mg}{\sqrt{1+\mu^2}} = \frac{\frac{\sqrt{3}}{3} \times 10 \times 10}{\sqrt{1+(\frac{\sqrt{3}}{3})^2}}\text{N} = 50\text{N}$ ，故 A 正确，B、C、

D 错误。

解法二：四力平衡转化为三力平衡，再结合图解法分析。 f 与 N 的合力 $F_{\text{合}}$ 方向不变，当 F 的方向与 $F_{\text{合}}$ 的方向垂直时， F 最小，如图所示。设 $F_{\text{合}}$ 与竖直方向的夹角为 β ，则 $\tan\beta = \frac{f}{N} = \mu$ ， $\beta = 30^\circ$ ， $F_{\min} = mg\sin\beta = \frac{1}{2}mg = 50\text{N}$ ，此时 $\theta = \beta = 30^\circ$ ，故选 A。



考向 3 极限分析法的应用

例 8 [2024·江西抚州模拟]某同学做家务时，使用拖把清理地板，如图所示。

假设拖把头的质量为 1kg ，拖把杆的质量不计，拖把杆与水平地面成 53° 角。当对拖把头施加一个沿拖把杆向下、大小为 10N 的力 F_1 时，恰好能推动拖把头向前匀速运动。重力加速度 g 取 10m/s^2 ， $\sin 53^\circ = 0.8$ ， $\cos 53^\circ = 0.6$ 。



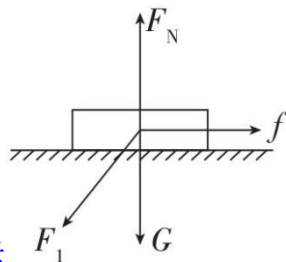
(1) 求拖把头与地板间的动摩擦因数 μ 。

(2) 当拖把静止时，对拖把头施加一个沿拖把杆向下的力 F_2 ，拖把杆与地面的夹角为 θ 。当 θ 增大到某一值时，无论 F_2 多大，都不能推动拖把头，求此时的 $\tan\theta$ 值。（为方便起见，本问可忽略拖把头的重力，且认为最大静摩擦力等于滑动摩擦力）

【答案】 (1) $\frac{1}{3}$

(2) 3

【解析】



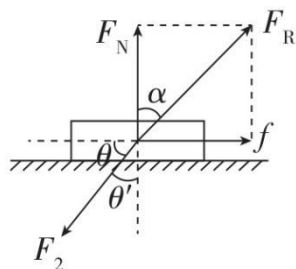
(1) 对拖把头进行受力分析，如图甲所示

甲

拖把头做匀速直线运动，水平方向和竖直方向受力平衡，水平方向有

$$F_1 \cos 53^\circ = f \text{ 竖直方向有 } F_N = mg + F_1 \sin 53^\circ \text{ 而 } f = \mu F_N \text{ 解得 } \mu = \frac{1}{3}$$

(2) 解法一：忽略拖把头的重力，若不能推动拖把头，需满足 $F_2 \cos \theta \leq \mu F_2 \sin \theta$ 即 $\tan \theta \geq \frac{1}{\mu} = 3$ 解法二：摩擦角解法，如图乙所示。

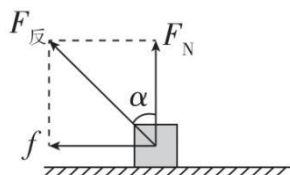


乙

全反力 F_R 与竖直方向的夹角为 α ，只要推力 F_2 与竖直方向的夹角 $\theta' \leq \alpha$ ，那么无论推力 F_2 多大，都不能推动拖把头，综上所述，可得 $\tan(\frac{\pi}{2} - \theta) \leq \tan \alpha = \mu = \frac{1}{3}$ 整理可得 $\tan \theta \geq 3$

总结归纳

1. 全反力：物体在粗糙平面滑动时，支持力 F_N 与摩擦力 f 的合力就是全反力 $F_{反}$ 。



2. 摩擦角：全反力 $F_{反}$ 与支持力 F_N 的夹角 α ，称为摩擦角， $\tan \alpha = \frac{\mu F_N}{F_N} = \mu$ 。

3. 自锁现象：当各个主动力合力 $F_{合}$ 的作用线落在摩擦角（锥）之内或者与其边界重合时，则无论此合力有多大，总有全反力与之平衡，所以物体必定处于静止状态，这就是自锁现象。

温馨提示 请完成《分层突破训练》课时作业 10

实验 2 探究弹簧弹力与形变量的关系

必备知识·强基固本

一、实验目的

1. 探究弹力与弹簧伸长量之间的关系。
2. 学会利用列表法、图像法、函数法处理实验数据。
3. 能根据 $F-x$ 、 $F-l$ 图像求出弹簧的劲度系数。

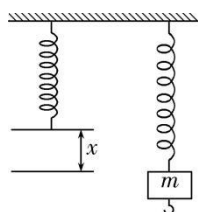
二、实验器材

铁架台、轻质弹簧（一根）、钩码若干、_____、坐标纸等。

【答案】 刻度尺

三、实验原理

1. 弹力 F 的测量:如图所示,在弹簧下端悬挂钩码时弹簧会伸长,平衡时弹簧的弹力与所挂钩码的重力___,即满足 $F = \underline{\hspace{2cm}}$;



【答案】相等; mg

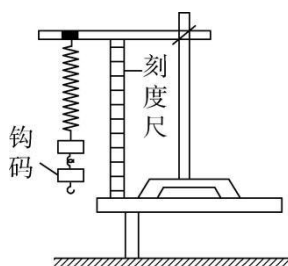
2. 弹簧的伸长量 x 的确定:用刻度尺测出弹簧的原长 l_0 与挂上钩码后弹簧的长度 l ,其伸长量可用挂上钩码后弹簧的长度减去___来求得,即 $x = \underline{\hspace{2cm}}$;

【答案】原长; $l - l_0$

3. 图像法处理实验数据:作出弹簧弹力 F 与弹簧伸长量 x 的关系图像,根据图像可以分析弹簧弹力和弹簧伸长量的关系。

四、实验步骤

1. 如图所示,将弹簧的一端挂在铁架台上,让其自然下垂,用刻度尺测出弹簧自然下垂状态时的长度 l_0 ,即弹簧原长。



2. 在弹簧下端挂质量为 m_1 的钩码,测出此时弹簧的长度 l_1 ,记录 m_1 和 l_1 。

3. 改变所挂钩码的质量,重复步骤 2,记录 m_2 、 m_3 、 m_4 、 m_5 、 $\cdots$ 和相应的弹簧长度 l_2 、 l_3 、 l_4 、 l_5 、 $\cdots$ 。

4. 计算出每次弹簧的伸长量 $x(x = l - l_0)$ 和弹簧的弹力 $F(F = mg)$,并将数据填入表格。

五、实验数据处理

1. 以弹簧的弹力 F 为纵轴、以弹簧伸长量 x 为横轴,建立直角坐标系,根据测量数据在坐标纸上描点,作出 $F - x$ 图像。

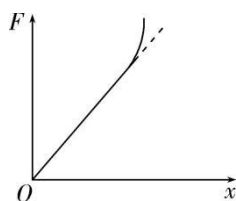
2. 以弹簧的伸长量为自变量,写出图像所对应的函数表达式。

3. 得出弹簧弹力和伸长量之间的定量关系,解释函数表达式中常数的物理意义。

六、误差分析

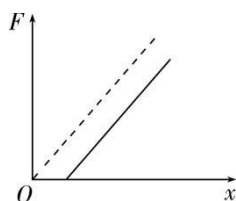
1.钩码标值不准确、弹簧长度测量不准确以及画图时描点连线不准确等都会引起实验误差。

2.悬挂钩码数量过多，导致弹簧超出了其弹性限度，不再符合胡克定律($F = kx$)，故图像发生弯曲，如图甲。



甲

3.水平放置弹簧测量其原长，由于弹簧自身有重力，将其悬挂起来后会有一定的伸长量，故图像横截距不为零，如图乙。



乙

七、注意事项

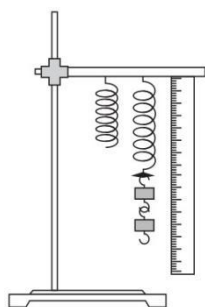
- 1.所挂钩码不要过重，以免弹簧被过分拉伸，超出它的弹性限度。
- 2.测量弹簧的原长时要让它自然下垂。测弹簧长度时，一定要在弹簧竖直悬挂且处于平衡状态时测量，以减小误差。
- 3.测量有关长度时，应区分弹簧原长 l_0 、实际总长 l 及伸长量 x 三者之间的不同，明确三者之间的关系。
- 4.建立平面直角坐标系时，两轴所取的标度要适当。
- 5.描点画线时，所描的点不一定都落在同一条图线上，但应注意一定要使各点（偏差较大的点除外）均匀分布在图线的两侧。描出的线不应是折线。
- 6.记录数据时要注意弹力与弹簧伸长量的对应关系及单位。

关键能力·核心突破

探究点一 教材原型实验

例 1 [2025·广东东莞模拟]某同学做“探究弹簧弹力和弹簧形变量的关系”实验。

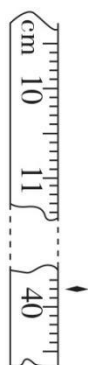
(1) 实验装置如图甲，下列操作规范的有_____。



甲

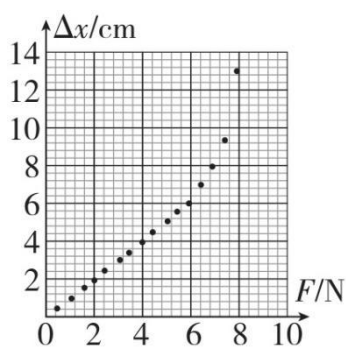
- A. 实验前，必须先把弹簧水平放置测量其原长
- B. 逐一增挂钩码，记下每增加一个钩码后指针所指的标尺刻度和对应的钩码总重
- C. 随意增减钩码，记下增减钩码后指针所指的标尺刻度和对应的钩码总重
- D. 实验结束后，不需要整理并复原实验器材

(2) 该同学在实验过程中，每次都待弹簧处于静止状态时读出弹簧的长度，某次测量指针指在刻度尺的位置如图乙所示，则该读数为_____cm。



乙

(3) 该同学根据记录的数据进行处理，描绘出弹簧的伸长量 Δx 与弹力 F 相关的点如图丙所示。



丙

(4) 请你根据所学知识用线来拟合这些点，并根据拟合的线，回答以下问题：

① 根据所测得的数据和关系曲线可以判断，弹簧形变长度在 0~6cm 范围内弹力大小与弹簧伸长量的关系满足胡克定律，这种规格弹簧的劲度系数 $k = \underline{\hspace{1cm}} \text{N/m}$ ；（结果保留 3 位有效数字）

② 图线中后半部分明显偏离直线，你认为造成这种现象的主要原因是

_____。

【答案】 (1) B

(2) 39.80

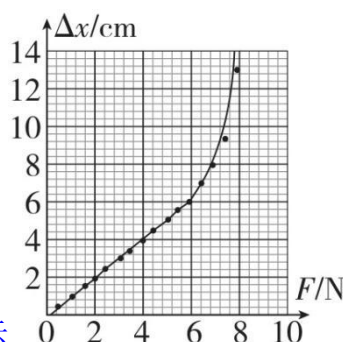
(4) 图见解析

(4) ① 100

② 超过弹簧的弹性限度

【解析】

(1) 实验前，为了防止因弹簧本身的重力造成的误差，则必须把弹簧竖直悬挂测量其原长，故 A 错误；实验时应逐一增挂钩码，记下每增加一个钩码后指针所指的标尺刻度和对应的钩码总重，不能随意增减钩码，故 B 正确，C 错误；实验结束后，应拆除实验装置，整理并复原实验器材，故 D 错误。

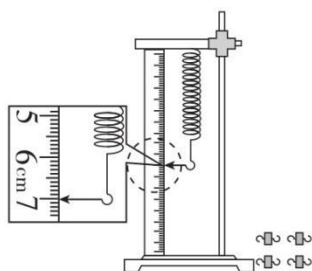


(4) 作出拟合的图线如图所示

(4) ① 这种规格弹簧的劲度系数 $k = \frac{6}{0.06} \text{N/m} = 100 \text{N/m}$ ；

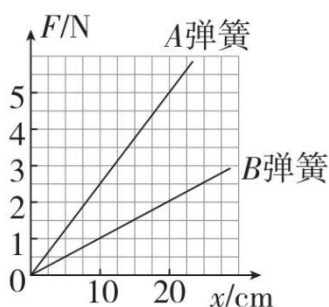
② 解析图线中后半部分明显偏离直线，造成这种现象的主要原因是超过弹簧的弹性限度。

迁移应用．[2024·河北邯郸模拟]用铁架台、带挂钩的不同弹簧若干、50g 的钩码若干、刻度尺等，安装如图甲所示的装置，探究弹簧弹力 F 的大小与伸长量 x 之间的定量关系。



甲

- (1) 未挂钩码时， B 弹簧原长如图甲所示，可读得原长 $L_0 = \underline{\quad\quad}$ cm。
- (2) 由图乙可知劲度系数较大的是 弹簧；还可算出 B 弹簧的劲度系数为 N/m 。



乙

- (3) 若某同学做实验时，读取弹簧 B 长度为 22cm，则此时弹簧产生的弹力大小 $F = \underline{\quad\quad}$ N。
- (4) 若要制作一个精确度较高的弹簧测力计，应选弹簧 (选填“ A ”或“ B ”)。

【答案】 (1) 7.00

(2) A ; 10

(3) 1.5

(4) B

【解析】

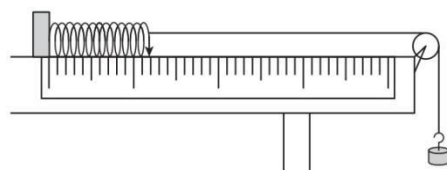
(2) 图像的斜率表示劲度系数，由图乙可知， A 弹簧的劲度系数大于 B 弹簧的劲度系数； B 弹簧的劲度系数 $k = \frac{2}{20 \times 10^{-2}} \text{N/m} = 10 \text{N/m}$ 。

(3) 根据胡克定律有 $F = k\Delta x = 10 \times (22 - 7) \times 10^{-2} \text{N} = 1.5 \text{N}$ 。

(4) 若把两个弹簧分别制作成弹簧测力计，由于弹簧 B 的劲度系数更小，测同样大小的力，弹簧 B 的形变量更明显，即 B 的精确度更高。

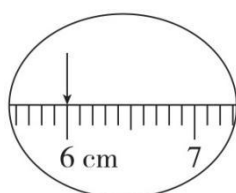
探究点二 创新拓展实验

例 2 [2024·山东烟台期末]在“探究弹簧弹力与形变量的关系”实验中，实验装置如图甲所示，实验步骤如下：



甲

①将弹簧左端固定，水平放置并处于自然状态，右端与细绳连接，使细绳与水平桌面平行，将毫米刻度尺的零刻度线与弹簧左端对齐，弹簧的右端附有指针，此时指针的位置 l_0 如图乙所示；

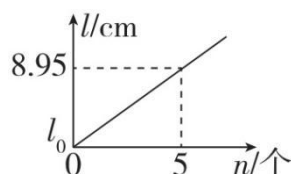


乙

②在绳下端挂上一个钩码（每个钩码质量 $m = 50\text{g}$ ），系统静止后，记录指针的位置 l_1 ；

③逐次增加钩码个数，并重复步骤②（保持弹簧在弹性限度内），记录钩码的个数 n 及指针的位置 l ；

④用获得的数据作出 $l - n$ 图像，如图丙所示，图线斜率用 a 表示。



丙

回答下列问题：

(1) 图乙所示读数为__cm。

(2) 弹簧的劲度系数表达式为 $k = \underline{\hspace{2cm}}$ （用钩码质量 m 、重力加速度 g 和图线的斜率 a 表示）。若 g 取 9.8m/s^2 ，则本实验中 $k = \underline{\hspace{2cm}}\text{N/m}$ （结果保留 3 位有效数字）。

(3) 考虑弹簧与桌面、滑轮与轴间有摩擦，则弹簧劲度系数的测量值与真实值相比将__（选填“偏大”“偏小”或“相等”）。

【答案】 (1) 6.00

(2) $\frac{mg}{a}$; 83.1

(3) 偏大

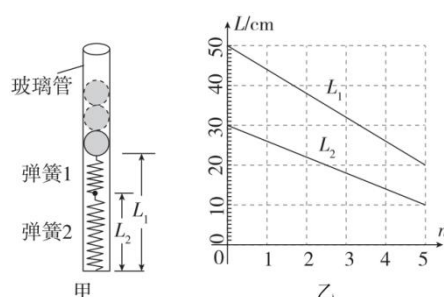
【解析】

(2) 根据胡克定律有 $nmg = k(l - l_0)$, 变形得 $l = \frac{mg}{k}n + l_0$, 结合图像有 $\frac{mg}{k} = a$, 解得 $k = \frac{mg}{a}$, 代入数据得 $k = \frac{50 \times 10^{-3} \times 9.8}{\frac{(8.95 - 6.00) \times 10^{-2}}{5}} \text{ N/m} \approx 83.1 \text{ N/m}$ 。

(3) 由于弹簧与桌面、滑轮与轴间有摩擦, 导致弹簧的弹力小于钩码的重力, 则弹簧劲度系数的测量值与真实值相比将偏大。

例 3 [2024 · 重庆渝中期末] 物理兴趣小组测量一缓冲装置中弹簧的劲度系数。

如图甲所示, 把两根弹簧“串联”起来组成该装置, 弹簧 2 的一端固定在竖直放置的透明有机玻璃管底端, 再将单个质量为 100g 的钢球 (直径略小于玻璃管内径) 逐个从管口放入, 每放入一个钢球后待弹簧静止, 测出弹簧 1 上端到弹簧 2 上端到玻璃管底端的距离 L_1 、 L_2 。在坐标纸上画出 L_1 、 L_2 与钢球个数 n 的关系 $L - n$ 图像, 如图乙所示。不计弹簧自身重力的影响, 重力加速度 g 取 10 m/s^2 。



(1) 弹簧 1 的原长为_____m; (结果保留 3 位有效数字, 下同)

(2) 该弹簧系统的劲度系数为___N/m;

(3) 弹簧 1 的劲度系数为___N/m;

(4) 由实验所测数据可得, “串联”弹簧组的劲度系数 $k_{\text{串}}$ 与两弹簧劲度系数 k_1 、 k_2 的关系为 $k_{\text{串}} = \underline{\hspace{2cm}}$ 。

【答案】 (1) 0.200

(2) 16.7

(3) 50.0

(4) $\frac{k_1 k_2}{k_1 + k_2}$

【解析】

(1) 由题图乙可知，未放钢球时，两弹簧的总长度为 $L_1 = 50\text{cm}$ ，弹簧 2 的长度 $L_2 = 30\text{cm}$ ，则弹簧 1 的原长为 $L_1 - L_2 = 20\text{cm} = 0.200\text{m}$ 。

(2) 该弹簧系统的形变量 $\Delta x_{\text{总}} = 50\text{cm} - 20\text{cm} = 30\text{cm}$ ，劲度系数 $k_{\text{总}} = \frac{5mg}{\Delta x_{\text{总}}} \approx 16.7\text{N/m}$ 。

(3) 弹簧 2 的形变量 $\Delta x_2 = 30\text{cm} - 10\text{cm} = 20\text{cm}$ ，劲度系数 $k_2 = \frac{5mg}{\Delta x_2} = 25.0\text{N/m}$ ，弹簧 1 的形变量 $\Delta x_1 = \Delta x_{\text{总}} - \Delta x_2 = 10\text{cm}$ ，劲度系数 $k_1 = \frac{5mg}{\Delta x_1} = 50.0\text{N/m}$ 。

(4) 每个弹簧受力都是 F ，“串联”弹簧组的劲度系数 $k_{\text{总}}$ 与两弹簧劲度系数 k_1 、 k_2 满足 $F = k_1 x_1$ ， $F = k_2 x_2$ ， $F = k_{\text{总}}(x_1 + x_2) = k_{\text{总}}(\frac{F}{k_1} + \frac{F}{k_2})$ ，解得 $k_{\text{总}} = \frac{k_1 k_2}{k_1 + k_2}$ 。

温馨提示 请完成《分层突破训练》课时作业 11

实验 3 探究两个互成角度的力的合成规律

必备知识·强基固本

一、实验目的

1. 验证互成角度的两个共点力合成时的平行四边形定则。
2. 培养应用作图法处理实验数据和得出结论的能力。

二、实验器材

方木板、白纸、_____（两个）、橡皮条、小圆环、细绳套（两个）、三角板、_____、图钉（若干）、铅笔。

【答案】弹簧测力计；刻度尺

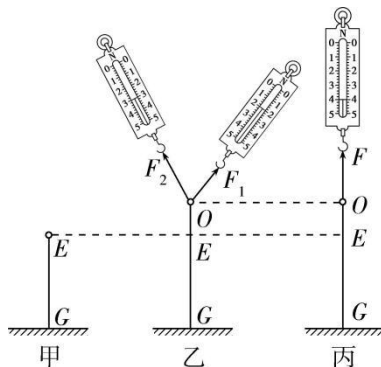
三、实验原理

1. 合力 F 的确定：一个力 F 的作用效果与两个共点力 F_1 和 F_2 共同作用的效果相同，都是把橡皮条拉伸到某点，则 F 为 F_1 和 F_2 的合力。
2. 合力理论值 F' 的确定：根据平行四边形定则作出 F_1 和 F_2 的合力 F' 的图示，求出合力的理论值。
3. 在实验误差允许的范围内，比较 F 和 F' 是否__相等、__相同。

【答案】大小；方向

四、实验步骤

- 1.用图钉把白纸钉在水平桌面上的方木板上。
- 2.轻质小圆环挂在橡皮条的一端，用图钉把橡皮条的另一端固定在木板上 G 点，如图甲所示，橡皮条的长度为 GE 。



3. 如图乙所示，用两个弹簧测力计_____地共同拉小圆环，小圆环受到拉力 F_1 、 F_2 的共同作用，处于 O 点，橡皮条伸长的长度为 EO ，用铅笔描下 O 点的位置及 F_1 、 F_2 的___，记录弹簧测力计的读数。

【答案】互成角度； 方向

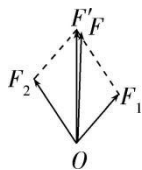
4. 用一个弹簧测力计，把小圆环拉到_____，如图丙所示，用铅笔描下 F 的方向并记录弹簧测力计的读数。

【答案】同一位置 O

- 5.改变拉力 F_1 、 F_2 的大小和方向，重做上述实验。

五、实验数据处理

- 1.由纸上 O 点出发，用力的图示法画出拉力 F_1 、 F_2 和 F 。
- 2.以 F_1 、 F_2 为邻边作平行四边形，并画出 F_1 、 F_2 之间的对角线 F' ，观察 F' 与 F 是否在误差允许的范围内重合。



六、误差分析

- 1.实验中，弹簧测力计的弹簧和外壳之间、指针和外壳之间或弹簧测力计的外壳和纸面之间有摩擦力存在会引起误差。
- 2.两次拉小圆环时，小圆环的位置不可能完全相同会造成误差。
- 3.两个力 F_1 和 F_2 的夹角太小或太大， F 、 F_1 和 F_2 数值太小，应用平行四边形定则作图时，会造成较大误差。

七、注意事项

- 1.实验中的两个弹簧测力计的选取方法是将两个弹簧测力计调零后互钩水平对拉过程中，读数相同，则可选；若读数不同，应另换或调校，直至相同为止。
- 2.使用弹簧测力计测力时，读数应适当大些，但不能超出它的测量范围。
- 3.使用前要检查指针是否指在零刻度线上，若没有指在零刻度线上则应校正零位。
- 4.被测力的方向应与弹簧测力计轴线方向一致，拉动时弹簧及挂钩不可与外壳相碰，避免产生摩擦。
- 5.读数时视线应正对刻度。

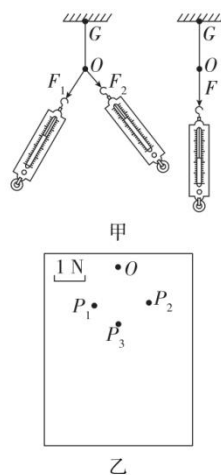
关键能力·核心突破

探究点一 教材原型实验

例 1 [2024·海南卷·14(2)，6分]为验证两个互成角度的力的合成规律，某组同学用两个弹簧测力计、橡皮条、轻质小圆环、木板、刻度尺、白纸、铅笔、细线和图钉等器材，按照如下实验步骤完成实验。

(I) 用图钉将白纸固定在水平木板上；

(II) 如图甲、乙所示，橡皮条的一端固定在木板上的 G 点，另一端连接轻质小圆环，将两细线系在小圆环上，细线另一端系在弹簧测力计上，用两个弹簧测力计共同拉动小圆环到某位置，并标记圆环的圆心位置为 O 点，拉力 F_1 和 F_2 的方向分别过 P_1 和 P_2 点，大小分别为 $F_1 = 3.60\text{N}$ 、 $F_2 = 2.90\text{N}$ ；改用一个弹簧测力计拉动小圆环，使其圆心到 O 点，在拉力 F 的方向上标记 P_3 点，拉力的大小为 $F = 5.60\text{N}$ ，请完成下列问题。



- ① 在图乙中按照给定的标度画出 F_1 、 F_2 和 F 的图示，然后按平行四边形定则画出 F_1 、 F_2 的合力 F' 。

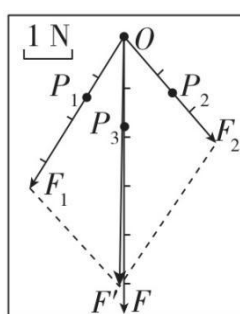
② 比较 F 和 F' ，写出可能产生误差的两点原因：

【答案】① 见解析

② 弹簧测力计、细线、橡皮条未能与木板平行；标记点 P_1 、 P_2 、 P_3 的位置时存在偏差（或其他合理答案）

【解析】

① 连接 O 、 P_1 两点，方向表示力 F_1 的方向，按照给定标度和力的大小绘制长度，同理画出 F_2 和 F 的力的图示，画力 F_1 、 F_2 的合力，绘制平行四边形，连接

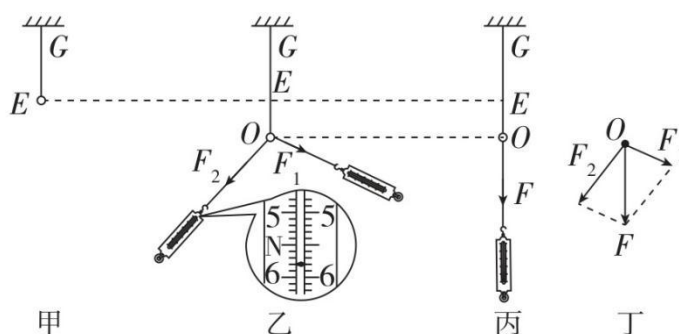


对角线，即可得 F' ，如图所示。

② 弹簧测力计、细线、橡皮条未能与木板平行，力的大小和方向均可能出现误差，导致 F 、 F' 不重合；标记点 P_1 、 P_2 、 P_3 的位置时存在偏差，导致力的方向出现误差；弹簧测力计使用前未调零、读数时未正对刻度读数，导致力的大小测量出现误差。

迁移应用．[2025·重庆忠县模拟]以下是某实验小组探究“两个互成角度的力的合成规律”的过程。首先进行如下操作：

①如图甲，两细绳套拴在橡皮条带小圆环的一端，橡皮条另一端固定在水平木板上，橡皮条的原长为 GE ；



②如图乙，用手通过两个弹簧测力计共同拉动小圆环。小圆环在拉力 F_1 、 F_2 的共同作用下，位于 O 点，橡皮条伸长的长度为 EO ；

③撤去 F_1 、 F_2 ，改用一个力 F 单独拉住其中一根细绳套，仍使小圆环位于 O 点，如图丙。

(1) 图乙中弹簧测力计的示数为___N。

(2) 同学们发现，由于两次橡皮条伸长的长度、方向相同，即橡皮条对小圆环的拉力相同，所以 F 等于 F_1 、 F_2 的合力（如图丁所示），本实验采用的科学方法是_____。

A. 理想实验法

B. 等效替代法

C. 控制变量法

D. 建立物理模型法

(3) 若两个弹簧测力计的读数分别为 6N、8N，且两弹簧测力计拉力方向的夹角为锐角，则___（选填“能”或“不能”）用一个量程为 10N 的弹簧测力计测量出它们的合力。

(4) 若在图乙中， F_1 、 F_2 夹角大于 90° ，现保持 O 点位置不变，拉力 F_2 方向不变，增大 F_1 与 F_2 的夹角，将 F_1 缓慢转至水平方向的过程中，两弹簧测力计示数大小变化为（ ）

A. F_1 先减小后增大， F_2 一直增大 B. F_1 一直增大， F_2 一直增大

C. F_1 一直增大， F_2 一直减小 D. F_1 一直增大， F_2 先减小后增大

【答案】 (1) 5.80

(2) B

(3) 不能

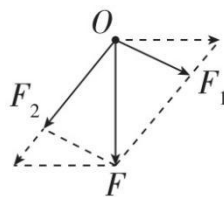
(4) B

【解析】

(2) 此实验用一个力的作用效果代替两个力的作用效果，所以本实验采用的科学方法是等效替代法。

(3) 若两个弹簧测力计的读数分别为 6N、8N，且两弹簧测力计拉力方向的夹角为锐角，则两弹簧测力计拉力的合力满足 $F_{合} > \sqrt{6^2 + 8^2} \text{N} = 10 \text{N}$ ，所以不能用一个量程为 10N 的弹簧测力计测量出它们的合力。

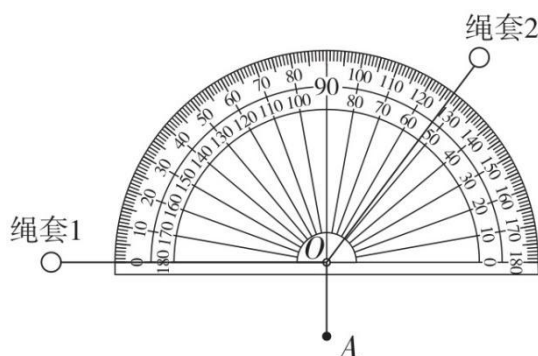
(4) 若在图乙中, F_1 、 F_2 夹角大于 90° , 现保持 O 点位置不变, 则 F_1 、 F_2 的合力不变, 拉力 F_2 方向不变, 增大 F_1 与 F_2 的夹角, 将 F_1 缓慢转至水平方向的过程中, 如图所示, 可知 F_1 、 F_2 均一直增大。



中, 如图所示, 可知 F_1 、 F_2 均一直增大。

探究点二 创新拓展实验

例 2 [2024 · 山东滨州期末] 某中学研究小组的同学们用一个弹簧测力计和一个量角器等器材做“验证力的平行四边形定则”实验。设计的装置如图所示, 固定在竖直木板上的量角器直边水平, 橡皮筋一端固定在量角器圆心 O 正下方的 A 点, 另一端系着绳套 1 和绳套 2。(已知 $\sin 37^\circ = 0.6$, $\cos 37^\circ = 0.8$)



(1) 实验步骤如下:

- ① 将弹簧测力计挂在绳套 1 上, 竖直向上拉橡皮筋, 使橡皮筋的结点到达 O 点, 记下弹簧测力计的示数 F ;
- ② 将弹簧测力计挂在绳套 1 上, 手拉着绳套 2。缓慢拉橡皮筋, 使橡皮筋的结点到达 O 点, 此时绳套 1 沿 0° 方向, 绳套 2 沿 127° 方向, 如图, 记下弹簧测力计的示数为 F_1 ;
- ③ 根据力的平行四边形定则计算②中绳套 1 的拉力大小 $F'_1 = \underline{\hspace{2cm}}$ (用 F 表示);
- ④ 比较 F_1 与 $\underline{\hspace{2cm}}$ (选填 “ F ” 或 “ F'_1 ”) 的大小, 即可验证力的平行四边形定则。

(2) 下列实验要求中正确的是 $\underline{\hspace{2cm}}$ 。

- A. 在实验前弹簧测力计不需要进行校零
- B. 弹簧测力计轴线、细绳、橡皮筋应与木板平面平行

C. 与两绳套相连的细绳之间的夹角越大越好

D. 改变拉力，进行多次实验，每次都要使橡皮筋的结点静止在O点位置

(3) 现保持绳套1及结点在O点位置不变，绳套2沿逆时针方向缓慢转动 27° 过程中，绳套2的拉力的变化情况是_____。

A. 逐渐增大

B. 先增大后减小

C. 逐渐减小

D. 先减小后增大

【答案】③ $\frac{3}{4}F$

④ F'_1

(2) B

(3) C

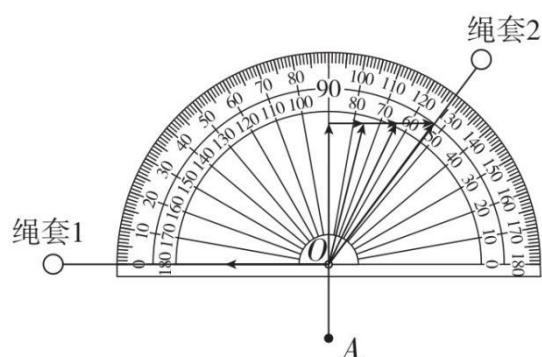
【解析】

③ 根据力的平行四边形定则可得②中绳套1的拉力大小 $F'_1 = F \tan(127^\circ - 90^\circ) = \frac{3}{4}F$ 。

④ 若三力之间满足平行四边形定则，则 $F_1 = F'_1$ ，则比较 F_1 与 F'_1 的大小，即可验证力的平行四边形定则。

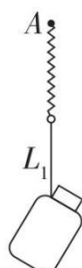
(2) 弹簧测力计在使用前需要校零，故 A 错误；实验时，弹簧测力计轴线、细绳、橡皮筋应与木板平面平行，故 B 正确；为尽量减小误差，与两绳套相连的细绳之间的夹角要适当大一些，但不是越大越好，故 C 错误；同一实验，用一个细绳套拉橡皮筋和用两个细绳套拉橡皮筋，结点O的位置应相同，而不同实验，结点O的位置可以不同，故 D 错误。

(3) 如图所示，保持绳套1及结点在O点位置不变，绳套2沿逆时针方向缓慢转动 27° 过程中，可知绳套2的拉力逐渐减小。



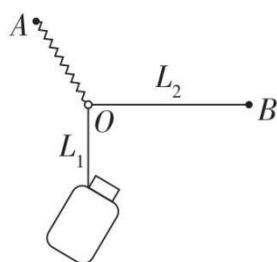
例 3 [2024·湖北武汉期末]小明在家中用一根轻弹簧、水瓶、细线、图钉和贴在墙上的白纸等物品，验证力的平行四边形定则。实验步骤如下：

①先用图钉 A 将弹簧一端固定在白纸上，弹簧另一端通过细绳 L_1 悬挂矿泉水瓶（与墙、纸无摩擦），如图甲所示；



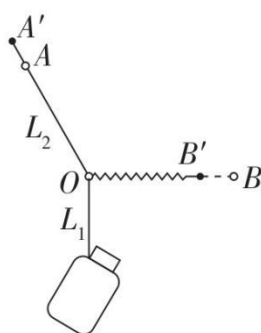
甲

②将另一细绳 L_2 拴于细绳 L_1 上 O 点，并将细绳 L_2 水平拉直后用图钉 B 固定，在白纸上记下 A 、 B 、 O 的位置，如图乙所示；



乙

③在保证 O 点位置不变的情况下，交换弹簧与细绳 L_2 的位置，使其方向与②中对应方向平行，如图丙所示；



丙

④按照上述方法改变弹簧与细绳 L_2 的夹角多测几次。

(1) 对于本实验，下列说法或操作正确的是_____；（选填选项前的字母）

A. 还需要用天平测出矿泉水的质量

B. 还需要测量弹簧的原长以及图甲、乙、丙中弹簧的长度

- C. 为了保证实验结果尽可能准确，弹簧与细绳 L_2 的夹角应该越大越好
- D. 步骤④中每次重复实验时，都应保证 O 点位置与第一次实验记录的位置一致
- (2) 小明在进行步骤③时由于粗心将水瓶中的水洒落了少许，但弹簧和细绳 L_2 的方向都与步骤②中平行， O 点位置也与步骤②中重合，这一操作（选填“会”或“不会”）造成误差。

【答案】(1) B

(2) 会

【解析】

(1) 根据实验原理可知甲图可测量合力，乙、丙图测量分力，结合胡克定律可知还需要测量弹簧的原长以及图甲、乙、丙中弹簧的长度，以便测量三个力的大小，不需要用天平测量矿泉水的质量，故 A 错误，B 正确；为了保证实验结果尽可能准确，弹簧与细绳 L_2 的夹角适当即可，故 C 错误；步骤④中每次重复实验时，不需要保证 O 点位置与第一次实验记录的位置一致，从而使实验更具有普遍性，故 D 错误。

(2) 小明在进行步骤③时由于粗心将水瓶中的水洒落了少许，虽然弹簧和细绳 L_2 的方向都与步骤②中平行， O 点位置也与步骤②中重合，但会导致弹簧弹力变小，从而造成实验误差。

温馨提示 请完成《分层突破训练》课时作业 12