

第三章 运动和力的关系

第1讲 牛顿运动定律

课标要求

理解牛顿运动定律；知道国际单位制中的力学单位；了解单位制在物理学中的重要意义。

必备知识·强基固本

一、牛顿第一定律 惯性

1. 内容：一切物体总保持_____状态或__状态，除非作用在它上面的力迫使它改变这种状态。

【答案】匀速直线运动； 静止

2. 意义

(1) 指出了一切物体都有惯性，因此牛顿第一定律又叫惯性定律。

(2) 指出力不是__物体运动状态的原因，而是__物体运动状态的原因，即产生_____的原因。

【答案】维持； 改变； 加速度

3. 惯性

(1) 定义：物体保持原来匀速直线运动状态或静止状态的性质。

(2) 普遍性：惯性是一切物体都具有的性质，是物体的固有属性，与物体的运动情况和受力情况无关。

(3) 量度：__是惯性大小的唯一量度，__大的物体惯性大，__小的物体惯性小。

【答案】质量； 质量； 质量

二、牛顿第二定律

1. 内容：物体加速度的大小跟它受到的作用力成__，跟它的质量成__，加速度的方向跟作用力的方向__。

【答案】正比； 反比； 相同

2. 表达式： $F = ma$ 。

3. 力学单位制

(1) 单位制：基本单位和导出单位一起就组成了单位制。

(2) 基本单位：基本量的单位。国际单位制中基本量共七个，其中力学有三个，是长度、质量、时间，单位分别是米、千克、秒。

物理量名称	物理量符号	单位名称	单位符号
长度	l	米	m
质量	m	千克（公斤）	kg
时间	t	秒	s
电流	I	安[培]	A
热力学温度	T	开[尔文]	K
物质的量	$n, (\nu)$	摩[尔]	mol
发光强度	$I, (I_v)$	坎[德拉]	cd

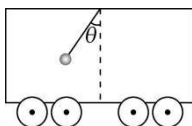
（3）导出单位：由基本量根据_____推导出来的其他物理量的单位。

【答案】物理关系

教材挖掘。（人教版必修第一册第四章第3节）

某同学在列车车厢的顶部用细线悬挂一个小球，在列车以某一加速度渐渐启动的过程中，细线就会偏过一定角度 θ 并相对车厢保持静止，如图所示，通过测定偏角的大小就能确定列车的加速度。如果列车在刹车过程中，小球和细线摆到了前面，正好也偏过角度 θ 并且相对车厢静止，请求列车的加速度。

（重力加速度为 g ）



提示：小球受到重力和细线的拉力，在这两个力的作用下，小球产生水平方向的加速度 a 。根据力的合成法则求解合力，再根据牛顿第二定律求出小球的加速度，从而获得列车的加速度。因为列车是刹车，所以加速度大小是 $g\tan\theta$ ，方向向左。

三、牛顿第三定律

1. 作用力和反作用力：两个物体之间的作用总是___的，一个物体对另一个物体施加了力，后一个物体同时对前一个物体也施加了力。

【答案】相互

2. 内容：两个物体之间的作用力和反作用力总是大小相等、方向___、作用在_____。

【答案】相反；同一条直线上

3.表达式： $F = -F'$ 。

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）赛车质量小、动力大，容易在短时间内获得较大的速度，也就是说，赛车的加速度大。



- (1) 赛车运动很快，不易停下，说明速度大，惯性大。（ ）
- (2) 赛车与地面间有摩擦力，这对作用力与反作用力的性质可以不同。（ ）
- (3) 赛车加速度的两个单位 N/kg 和 m/s^2 是等价的。（ ）
- (4) 由牛顿第二定律可知，赛车质量大，其加速度一定小。（ ）
- (5) 任何情况下，赛车的加速度方向始终与它所受的合外力方向一致。（ ）

【答案】(1) ×

(2) ×

(3) ✓

(4) ×

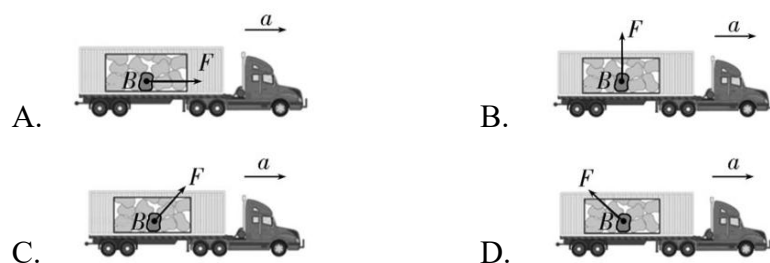
(5) ✓

2. （人教版必修第一册改编）下列关于惯性的说法中，正确的是（ ）

- A. 物体跟接触面间的摩擦力越小，其惯性就越大
- B. 物体所受的合力越大，其惯性就越大
- C. 物体的质量越大，其惯性就越大
- D. 物体的速度越大，其惯性就越大

【答案】C

3. (人教版必修第一册改编) 如图所示, 一辆装满石块的货车在平直道路上运动。当货车向右加速运动时, 石块B周围与它接触的物体对石块B作用力的合力为 F , 关于 F 的方向, 下列图中可能正确的是 ()



【答案】C

关键能力·核心突破

考点一 牛顿第一定律的理解及应用

1. 惯性与质量大型油罐车内部设置了一些固定挡板, 如图所示。油罐车在水平路面上行驶, 下列说法正确的是 ()



- A. 油罐车匀速前进时, 油没有惯性
- B. 挡板间油的质量相对小, 可以有效增加变速时油的涌动
- C. 油罐车加速前进时, 油的液面前低后高
- D. 油罐车减速前进时, 油的液面前低后高

【答案】C

【解析】惯性是物体的固有属性, 与运动状态无关, 故 A 错误; 质量是惯性大小的唯一量度, 挡板间油的质量相对小, 可以有效减小变速时油的涌动, 故 B 错误; 油罐车加速前进时, 车体加速, 而油由于惯性相对车体向后涌动, 油的液面前低后高, 同理, 油罐车减速前进时, 油的液面前高后低, 故 C 正确, D 错误。

2. [2025·山东菏泽模拟] 牛顿第一定律与惯性 2024 年 8 月中国某运动员斩获巴黎奥运会乒乓球男单冠军, 实现大满贯! 这样的夺冠现场让人动容。关于乒乓球运动中蕴含的力学知识, 下列说法正确的是 ()

- A. 乒乓球在空中飞行时受到了向前的推力
- B. 乒乓球的质量小, 惯性小, 所以容易被快速抽杀

C. 空中飞行的乒乓球，如果所受的力全部消失，它将立即停止

D. 球拍击球时，只能改变乒乓球的运动方向

【答案】B

【解析】由于惯性，乒乓球在空中飞行，并没有受到向前的推力，故 A 错误；由牛顿第一定律可知，乒乓球的质量小，惯性小，所以容易被快速抽杀，故 B 正确；根据牛顿第一定律可知，空中飞行的乒乓球，如果所受的力全部消失，它将以原来的速度做匀速直线运动，故 C 错误；球拍击球时，不但可以改变乒乓球的运动方向，而且还可以改变乒乓球的速度大小，故 D 错误。

核心提炼

1. 牛顿第一定律的理解

(1) 提出惯性的概念：牛顿第一定律指出一切物体都具有惯性，惯性是物体的一种固有属性。

(2) 揭示力的本质：力是改变物体运动状态的原因，而不是维持物体运动状态的原因。

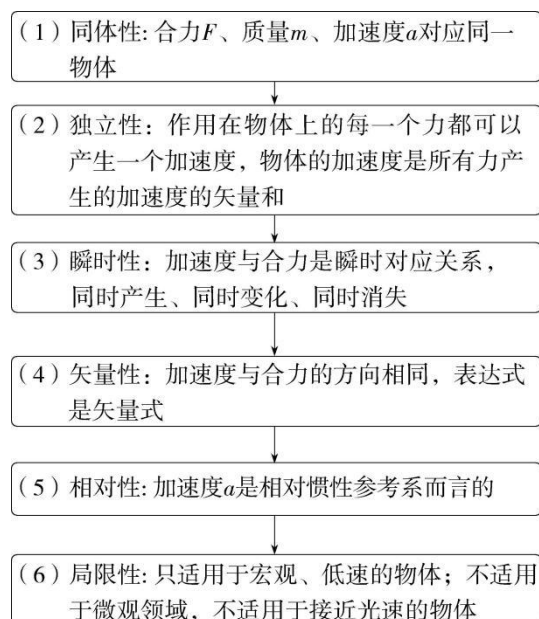
2. 惯性的两种表现形式

(1) 物体在不受外力或所受的合外力为零时，惯性表现为使物体保持原来的运动状态不变（静止或匀速直线运动）。

(2) 物体受到的合外力不为零时，惯性表现为抗拒运动状态改变的能力。惯性大，物体的运动状态较难改变；惯性小，物体的运动状态容易改变。

考点二 牛顿第二定律的理解及应用

1. 牛顿第二定律的六个性质



2.合力、加速度、速度间的决定关系

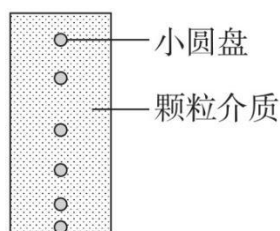
(1) 物体的加速度由所受合力决定, 与速度无必然联系。

(2) 合力与速度夹角为锐角时, 物体加速; 合力与速度夹角为钝角时, 物体减速。

(3) $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ 是加速度的定义式, a 与 Δv 、 Δt 无直接关系; $a = \frac{F}{m}$ 是加速度的决定式, $a \propto F$, $a \propto \frac{1}{m}$ 。

(4) 速度的改变需经历一定的时间, 不能突变, 但加速度可以突变; 有力就一定有加速度, 但有力不一定有速度。

例 1 [2024·贵州卷·1, 4分]某研究人员将一铁质小圆盘放入聚苯乙烯颗粒介质中, 在下落的某段时间内, 小圆盘仅受重力 G 和颗粒介质对其向上的作用力 f 。用高速相机记录小圆盘在不同时刻的位置, 相邻位置的时间间隔相等, 如图所示, 则该段时间内下列说法可能正确的是 ()



A. f 一直大于 G

B. f 一直小于 G

C. f 先小于 G , 后大于 G

D. f 先大于 G , 后小于 G

【答案】C

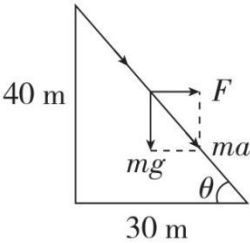
【解析】由题图可知连续相等时间内铁质小圆盘向下的位移先增大后减小，则其速度先增大后减小，加速度先向下后向上，即 f 先小于 G ，后大于 G ，C 正确。

迁移应用 1. [2025·重庆忠县模拟]某次无人机演练中，静止于 40m 高处的无人机发现正前方 30m 的地面上有一军事目标，于是以 12.5m/s^2 的加速度沿直线冲向目标。设该无人机的质量为 2kg ，重力加速度取 10m/s^2 ，则加速过程中空气对无人机的作用力大小为（ ）

- A. 8N B. 10N C. 15N D. 20N

【答案】C

【解析】由题意可知，无人机运动的方向与水平方向夹角满足 $\tan\theta = \frac{4}{3}$ ，可知 $\theta = 53^\circ$ ，由于合加速度在竖直方向的分量 $a_y = a \cdot \sin\theta = 10\text{m/s}^2 = g$ ，所以加速过程中空气对无人机的作用力沿水平方向，如图所示，则空气对无人机的作用力大小为 $F = \sqrt{(ma)^2 - (mg)^2} = 15\text{N}$ 。故选 C。



考点三 牛顿第三定律的理解及应用

1.作用力与反作用力的“六同、三异、二无关”

- (1) 六同 大小相同、性质相同、同一直线、同时产生、同时变化、同时消失。
- (2) 三异 方向相反、不同物体、不同效果。
- (3) 二无关 与物体的运动状态无关、与物体是否受其他力无关。

2.一对平衡力和作用力与反作用力的不同点

项目	一对平衡力	作用力与反作用力
作用对象	同一个物体	两个相互作用的不同物体
作用时间	不一定同时产生、同时消失	一定同时产生、同时消失
力的性质	不一定相同	一定相同

作用效果	可相互抵消	不可抵消
------	-------	------

考向 1 牛顿第三定律的理解

例 2 巴黎奥运会于 2024 年 8 月 11 日闭幕，我国运动健儿取得了优异成绩。跳水一直是我国的优势项目。如图所示，一运动员站在跳板上，图中 F_1 表示人对跳板的弹力， F_2 表示跳板对人的弹力，则（ ）



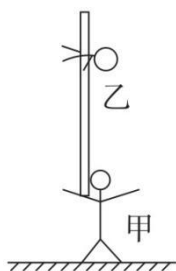
- A. 先有 F_1 后有 F_2
- B. 一旦人离开跳板， F_2 立即消失， F_1 依旧存在
- C. 因人离开跳板前向上运动，所以 F_2 大于 F_1
- D. F_1 和 F_2 大小相等、方向相反，是一对相互作用力

【答案】D

【解析】人对跳板的弹力 F_1 和跳板对人的弹力 F_2 是一对相互作用力，由牛顿第三定律可知，这两个力总是大小相等、方向相反，作用在同一直线上，分别作用在两个物体上，且同时产生、同时变化、同时消失。故选 D。

考向 2 应用牛顿第三定律进行受力分析

例 3 杂技是一种娱乐性很强的表演活动。如图所示为杂技“顶竿”表演，甲表演者站在地上，肩上扛一质量为 M 的竖直竹竿，当竿上质量为 m 的乙表演者以加速度 a 加速下滑时，竿对甲表演者的压力大小为（已知重力加速度为 g ）（ ）

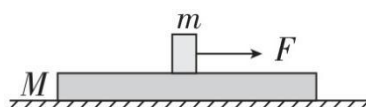


- A. $(M + m)g - ma$
- B. $(M + m)g$
- C. $(M + m)g + ma$
- D. $(M - m)g$

【答案】A

【解析】以乙表演者为研究对象，根据牛顿第二定律有 $mg - f = ma$ ，再以竹竿为研究对象，可知 $F_N = Mg + f = (M + m)g - ma$ ，根据牛顿第三定律可知竿对甲表演者的压力大小为 $F'_N = F_N = (M + m)g - ma$ 。故选 A。

迁移应用 2. [2024 · 浙江杭州模拟] 多选 如图所示，质量为 m 的木块在质量为 M 的长木板上，受到向右的拉力 F 的作用而向右滑行，长木板处于静止状态，已知木块与木板间的动摩擦因数为 μ_1 ，木板与地面间的动摩擦因数为 μ_2 。下列说法正确的是 ()



- A. 木板受到地面的摩擦力的大小一定是 $\mu_1 mg$ ，方向向左
- B. 木板受到地面的摩擦力的大小一定是 $\mu_1 (m + M)g$ ，方向向左
- C. 木板受到木块的摩擦力的大小一定是 $\mu_1 mg$ ，方向向左
- D. 无论怎样改变 F 的大小，木板都不可能运动

【答案】AD

【解析】木块向右滑行，长木板处于静止状态，可知木块受到向左的滑动摩擦力，大小 $f = \mu_1 N = \mu_1 mg$ ，可知木板受到木块的摩擦力的大小是 $\mu_1 mg$ ，方向向右；由于木板处于静止状态，根据受力平衡可知，木板受到地面的摩擦力大小是 $\mu_1 mg$ ，方向向左，故 A 正确，B、C 错误；无论怎样改变 F 的大小，木块与木板间的滑动摩擦力小于木板与地面间的最大静摩擦力，木块受到的滑动摩擦力不变，则木板受到木块的滑动摩擦力不变，木板仍处于静止状态，不可能运动起来，故 D 正确。

温馨提示 请完成《分层突破训练》课时作业 13

第 2 讲 牛顿第二定律的应用

课标要求

能用牛顿运动定律解释生产生活中的有关现象、解决有关问题；通过实验，认识超重和失重现象。

必备知识·强基固本

一、两类动力学问题

1. 动力学的两类基本问题

第一类：已知受力情况求物体的运动情况。

第二类：已知运动情况求物体的受力情况。

2. 解决两类基本问题的方法分析 以_____为“桥梁”，由运动学公式和_____列方程求解。

【答案】加速度； 牛顿第二定律

二、超重 失重

1. 超重

(1) 定义：物体对支持物的压力（或对悬挂物的拉力）__物体所受重力的现象。

(2) 产生条件：物体具有__的加速度。

【答案】大于； 向上

2. 失重

(1) 定义：物体对支持物的压力（或对悬挂物的拉力）__物体所受重力的现象。

(2) 产生条件：物体具有__的加速度。

【答案】小于； 向下

3. 完全失重

(1) 定义：物体对支持物的压力（或对悬挂物的拉力）_____的现象称为完全失重现象。

(2) 产生条件：物体的加速度 $a = g$ ，方向竖直向下。

【答案】等于 0

4. 实重和视重

(1) 实重：物体实际所受的重力，它与物体的运动状态__。

(2) 视重：当物体在竖直方向上有加速度时，物体对弹簧测力计的拉力或对台秤的压力将_____物体的重力。此时弹簧测力计的示数或台秤的示数即视重。

【答案】无关； 不等于

教材挖掘。（人教版必修第一册第四章第 6 节）

站在体重计上向下蹲，你会发现，在下蹲的过程中，体重计的示数先变小，后变大，再变小；当人静止后，体重计的示数保持某一数值不变。人在下蹲的过程中，先后经历了哪些运动过程？



提示：加速度向下的加速运动，加速度向上的减速运动。

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）如图所示，蹦极是一项极限体育项目，运动员从高处跳下，在弹性绳被拉直前做自由落体运动；当弹性绳被拉直后，在弹性绳的缓冲作用下，运动员下降速度先增加再逐渐减为 0。



- (1) 弹性绳被拉直前，运动员下降过程中处于超重状态。（ ）
- (2) 弹性绳被拉直后，运动员在下降过程中先处于失重状态后处于超重状态。（ ）
- (3) 弹性绳刚伸直时，运动员的速度最大。（ ）
- (4) 运动员下降到最低点时，弹性绳的拉力大小一定大于运动员的重力。（ ）
- (5) 运动员处于超重或失重状态时其重力并没有发生变化。（ ）

【答案】(1) ×

(2) ✓

(3) ×

(4) ✓

(5) ✓

2. 多选（人教版必修第一册改编）一个原来静止的物体，质量是 2kg ，受到两个大小都是 50N 且互成 120° 角的力的作用，此外没有其他的力，关于该物体，下列说法正确的是（ ）

A. 物体受到的合力大小为 50N

B. 物体的加速度大小为 $25\sqrt{3}\text{m/s}^2$

C. 3s 末物体的速度大小为 75m/s

D. 3s 内物体的位移大小为 125m

【答案】AC

3. (人教版必修第一册改编) 游乐场有一种大型游戏机叫“跳楼机”，可以使人体体验超重和失重状态。一个可乘坐多人的环形座舱套装在竖直柱子上，第一过程由升降机送上几十米的高处，然后第二过程让座舱自由落下，落到一定位置时，制动系统启动，到地面时刚好停下。该过程中人()



A. 在第一过程中始终处于失重状态

B. 在第一过程中始终处于超重状态

C. 在第二过程中先处于失重状态，后处于超重状态

D. 在第二过程中先处于超重状态，后处于失重状态

【答案】C

关键能力·核心突破

考点一 牛顿第二定律的瞬时性问题

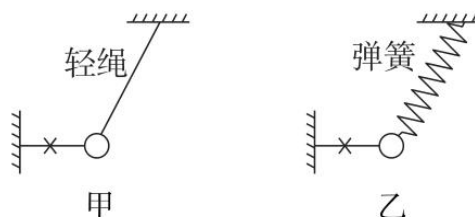
1. 两种模型

(1) 轻绳、轻杆和接触面

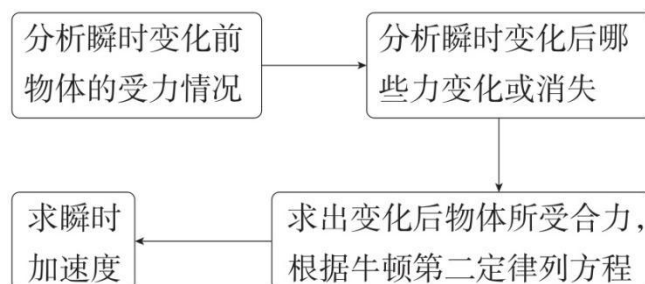
不发生明显形变就能产生弹力，剪断或脱离后，不需要时间恢复形变，弹力立即消失或改变，一般题目中所给的轻绳、轻杆和接触面在不加特殊说明时，均可按此模型处理。

(2) 弹簧、蹦床和橡皮筋

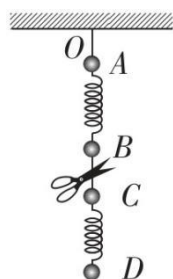
当两端与物体相连(即两端为固定端)时，由于物体有惯性，长度不会发生突变，所以在瞬时问题中，其弹力的大小认为是不变的，即此时弹力不突变。



2. 解题思路



例 1 [2024 · 湖南卷 · 3, 4 分] 如图, 质量分别为 $4m$ 、 $3m$ 、 $2m$ 、 m 的四个小球 A 、 B 、 C 、 D , 通过细线或轻弹簧互相连接, 悬挂于 O 点, 处于静止状态, 重力加速度为 g 。若将 B 、 C 间的细线剪断, 则剪断瞬间 B 和 C 的加速度大小分别为 ()

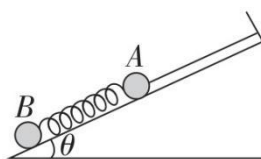


- A. g , $1.5g$ B. $2g$, $1.5g$ C. $2g$, $0.5g$ D. g , $0.5g$

【答案】A

【解析】剪断 B 、 C 间细线前, 将 B 、 C 、 D 看作一个整体, 有 $F_{AB} = 6mg$, 将 C 、 D 看作一个整体, 有 $F_{BC} = 3mg$, 单独对 D 受力分析, 有 $F_{CD} = mg$, 剪断细线瞬间, 弹簧弹力不能发生突变, 所以 $a_B = \frac{F_{AB} - G_B}{3m} = \frac{6mg - 3mg}{3m} = g$, $a_C = \frac{F_{CD} + G_C}{2m} = \frac{mg + 2mg}{2m} = 1.5g$, A 正确。

迁移应用. [2025 · 辽宁模拟] 多选 如图所示, 固定光滑斜面上用细线悬挂着两个通过轻质弹簧连接的小球 A 、 B , 弹簧与细线均平行于斜面, 已知两小球质量相等, 斜面倾角为 θ , 重力加速度为 g , 在细线被烧断的瞬间, 下列说法正确的是 ()



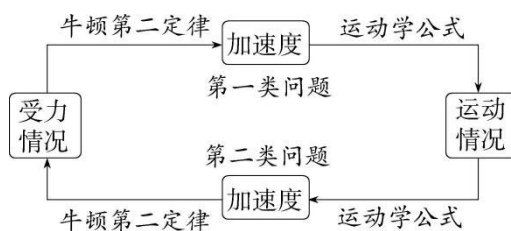
- A. B 球的受力情况不变，瞬时加速度为零
- B. 两个小球的瞬时加速度均沿斜面向下，大小均为 $g\sin\theta$
- C. A 球的瞬时加速度沿斜面向下，大小为 $2g\sin\theta$
- D. 弹簧有收缩的趋势， B 球的瞬时加速度沿斜面向上， A 球的瞬时加速度沿斜面向下

【答案】AC

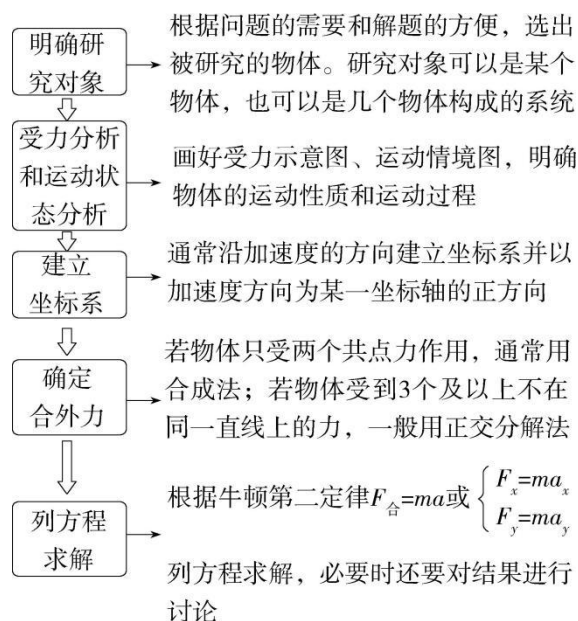
【解析】在细线被烧断前，对 B 球受力分析，根据平衡条件得 $kx = mgsin\theta$ ，在细线被烧断的瞬间弹簧的弹力不发生突变，对 B 球受力分析，根据牛顿第二定律得 $mgsin\theta - kx = ma_B$ ，解得 $a_B = 0$ ，A 正确，B、D 错误；在细线被烧断的瞬间，对 A 球受力分析，根据牛顿第二定律得 $mgsin\theta + kx = ma_A$ ，解得 $a_A = 2g\sin\theta$ ，方向沿斜面向下，C 正确。

考点二 动力学的两类基本问题

1.基本思路



2.基本步骤



3. 解题关键

(1) 两类分析——物体的受力和运动过程分析。

(2) 两个桥梁——加速度是联系运动和力的桥梁；速度是各物理过程间相互联系的桥梁。

考向 1 已知运动情况求受力情况

例 2 [2025·贵州贵阳模拟] 某市启动“机动车文明礼让斑马线”活动，交警部门为样板斑马线配上了新型电子“警察”。一辆质量为 $2.0 \times 10^3 \text{ kg}$ 的汽车，以 54 km/h 的速度沿平直道路匀速行驶，距斑马线还有 30 m 的距离时，驾驶员发现有行人通过斑马线，经过 0.5 s 的反应时间，汽车制动，开始做匀减速运动，恰好在斑马线前停住。重力加速度 $g = 10 \text{ m/s}^2$ 。

(1) 求汽车制动过程中所受的合力大小；

(2) 若汽车正常行驶时所受阻力为车重的 $\frac{1}{20}$ ，要使汽车从静止开始匀加速经 10 s 使速度重新达到 54 km/h ，求牵引力的大小。

【答案】 (1) $1.0 \times 10^4 \text{ N}$

(2) $4.0 \times 10^3 \text{ N}$

【解析】

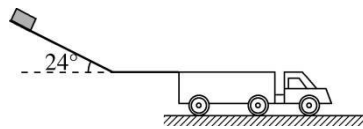
(1) 设汽车在反应时间内行驶的距离为 x_1 ，制动过程中行驶的距离为 x_2 ，加速度大小为 a_1 ，所受的合力大小为 F_{f1} ，由牛顿第二定律有 $F_{f1} = ma_1$ 由匀速和匀变速直线运动规律有 $x_1 = v_0 t_0$ $x_2 = x - x_1$ $v_0^2 = 2a_1 x_2$ 联立解得 $a_1 = 5 \text{ m/s}^2$ ，

$F_{f1} = 1.0 \times 10^4 \text{ N}$

(2) 设汽车从静止开始经 10s 使速度重新达到 54km/h 的过程中, 加速度大小为 a_2 , 牵引力大小为 F , 由牛顿第二定律有 $F - F_{f2} = ma_2$ $F_{f2} = 0.05mg$ 由匀变速直线运动规律有 $v_0 = a_2 t_{加}$ 联立解得 $F = 4.0 \times 10^3 \text{N}$

考向 2 已知受力情况求运动情况

例 3 [2022 · 浙江 6 月选考卷 · 19, 9 分] 物流公司通过滑轨把货物直接装运到卡车中。如图所示, 倾斜滑轨与水平面成 24° 角, 长度 $l_1 = 4\text{m}$, 水平滑轨长度可调, 两滑轨间平滑连接。若货物从倾斜滑轨顶端由静止开始下滑, 其与滑轨间的动摩擦因数均为 $\mu = \frac{2}{9}$, 货物可视为质点 (重力加速度 $g = 10\text{m/s}^2$, 取 $\cos 24^\circ = 0.9$, $\sin 24^\circ = 0.4$)。



- (1) 求货物在倾斜滑轨上滑行时加速度 a_1 的大小;
- (2) 求货物在倾斜滑轨末端时速度 v 的大小;
- (3) 若货物滑离水平滑轨末端时的速度不超过 2m/s , 求水平滑轨的最短长度 l_2 。

【答案】 (1) 2m/s^2

(2) 4m/s

(3) 2.7m

【解析】

(1) 货物在倾斜滑轨上滑行时, 由牛顿第二定律有 $mg \sin 24^\circ - \mu mg \cos 24^\circ = ma_1$ 解得 $a_1 = 2\text{m/s}^2$

(2) 货物在倾斜滑轨上匀加速, 由运动学公式有 $v^2 = 2a_1 l_1$ 解得 $v = 4\text{m/s}$

(3) 货物在水平轨道上匀减速, 由运动学公式有 $v_1^2 - v^2 = 2a_2 l_2$ 滑行的加速度 $a_2 = -\mu g$ 解得 $l_2 = 2.7\text{m}$

考点三 超重、失重问题

1. [2025 · 山西晋城模拟] 超重与失重的理解多选 2024 年 3 月 23 日, 中国科学院深海科学与工程研究所与印度尼西亚国家研究科研科研人员借助“奋斗者”号全海深载人潜水器成功下潜 7 178 米, 创下印尼深海下潜新纪录。下列说法正确的是 ()

A. “奋斗者”号加速下潜过程中, 人处于失重状态

- B. “奋斗者”号加速上浮过程中，人处于超重状态
- C. “奋斗者”号减速下潜过程中，人处于失重状态
- D. “奋斗者”号减速上浮过程中，人处于超重状态

【答案】AB

【解析】加速度向下时，人处于失重状态；加速度向上时，人处于超重状态。

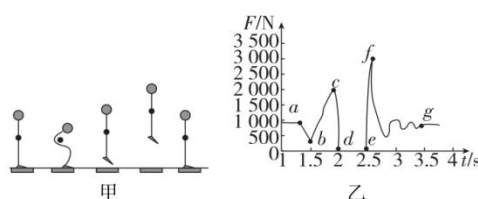
2. **超重与失重的应用**某运动员获得东京奥运会女子蹦床冠军，对于比赛时运动员的分析，不计空气阻力，下列说法中正确的是（ ）

- A. 运动员在蹦床上上升阶段，一直处于超重状态
- B. 运动员在蹦床上加速上升阶段，加速度增大
- C. 运动员离开蹦床在空中运动阶段，先处于超重状态后处于失重状态
- D. 运动员离开蹦床在空中运动阶段，一直处于完全失重状态

【答案】D

【解析】运动员在蹦床上上升阶段，先加速向上运动，后减速向上运动，即先处于超重状态，后处于失重状态，A 错误；运动员在蹦床上加速上升阶段，蹦床对运动员的弹力方向向上，并且越来越小，运动员的加速度逐渐减小，B 错误；运动员离开蹦床在空中运动时，只受重力作用，一直处于完全失重状态，C 错误，D 正确。

3. [2025·北京模拟]**超重、失重的综合问题**图甲是某人站在接有传感器的平板上做下蹲、起跳和回落动作的示意图，图中的小黑点表示人的重心。图乙是平板所受压力随时间变化的图像，重力加速度为 $g = 10\text{m/s}^2$ 。根据图像分析可知（ ）



- A. 人的重力可由b点读出，约为 300N
- B. b到c的过程中，人先处于超重状态再处于失重状态
- C. 从d到e人处于完全失重状态
- D. 人在b点对应时刻的加速度大于在c点对应时刻的加速度

【答案】C

【解析】由题意可知，人在 a 点处于平衡状态，人的重力可由 a 点读出，约为900N，A 错误； b 到 c 的过程中，人对平板的压力先小于重力后大于重力，所以人先处于失重状态再处于超重状态，B 错误；从 d 到 e 人对平板的压力等于零，所以人处于完全失重状态，C 正确；人的质量约为 $m = \frac{G}{g} = \frac{900}{10} \text{ kg} = 90 \text{ kg}$ ，人在 b 点对应时刻的加速度大小为 $a_b = \frac{G-F_b}{m} \approx \frac{900-300}{90} \text{ m/s}^2 \approx 6.7 \text{ m/s}^2$ ，人在 c 点对应时刻的加速度大小为 $a_c = \frac{F_c-G}{m} \approx \frac{2000-900}{90} \text{ m/s}^2 \approx 12.2 \text{ m/s}^2$ ，人在 b 点对应时刻的加速度小于在 c 点对应时刻的加速度，D 错误。

核心提炼

1.判断超重和失重现象的三个角度

从受力的角度判断	当物体所受向上的拉力（或支持力）大于重力时，物体处于超重状态；小于重力时，物体处于失重状态；等于零时，物体处于完全失重状态
从加速度的角度判断	当物体具有向上的加速度时，物体处于超重状态；具有向下的加速度时，物体处于失重状态；向下的加速度等于重力加速度时，物体处于完全失重状态
从速度变化的角度判断	①物体向上加速或向下减速时，超重 ②物体向下加速或向上减速时，失重

2.对超重和失重的“三点”深度理解

- （1）不论超重、失重或完全失重，物体的重力都不变，只是“视重”改变。
- （2）在完全失重的状态下，一切由重力产生的物理现象都会完全消失。
- （3）物体是否处于超重或失重状态，不在于物体向上运动还是向下运动，而在于物体的加速度方向，只要其加速度在竖直方向上有分量，物体就会处于超重或失重状态。

视野拓展

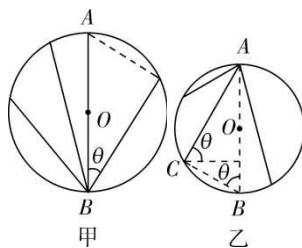
等时圆问题

1.模型特点

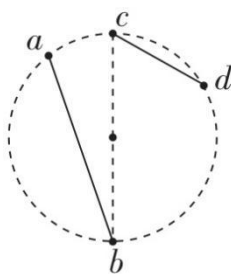
- （1）从竖直直径的端点出发或终止于竖直直径的端点；
- （2）不计摩擦。

2.结论：（1）时间相等；（2）所用时间均等于沿竖直直径自由下落的时间，

$$t = 2\sqrt{\frac{R}{g}} \quad (R \text{ 为半径})。$$



例 4 如图所示， ab 、 cd 是竖直平面内两根固定的光滑细杆， a 、 b 、 c 、 d 位于同一圆周上， b 点为圆周的最低点， c 点为圆周的最高点，若每根杆上都套着一个小滑环（图中未画出），将两滑环同时从 a 、 c 处由静止释放，不计空气阻力，用 t_1 、 t_2 分别表示滑环从 a 到 b 、从 c 到 d 所用的时间，则（ ）



- A. $t_1 = t_2$ B. $t_1 > t_2$ C. $t_1 < t_2$ D. 无法确定

【答案】A

【解析】设光滑细杆与竖直方向的夹角为 α ，圆周的直径为 D ，根据牛顿第二定律得滑环的加速度为 $a = \frac{mg\cos\alpha}{m} = g\cos\alpha$ ，光滑细杆的长度为 $x = D\cos\alpha$ ，则根据 $x = \frac{1}{2}at^2$ ，得 $t = \sqrt{\frac{2x}{a}} = \sqrt{\frac{2D\cos\alpha}{g\cos\alpha}} = \sqrt{\frac{2D}{g}}$ ，可见时间 t 与 α 无关，故有 $t_1 = t_2$ ，A正确。

温馨提示 请完成《分层突破训练》课时作业 14

专题突破 3 牛顿运动定律的综合应用

关键能力·核心突破

题型一 动力学图像问题

1.常见的动力学图像

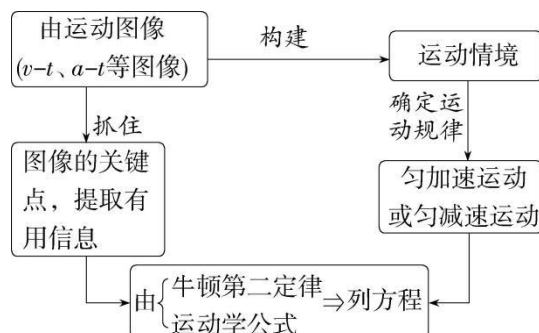
$v-t$ 图像、 $a-t$ 图像、 $F-t$ 图像、 $F-a$ 图像等。

2.数形结合解决动力学图像问题

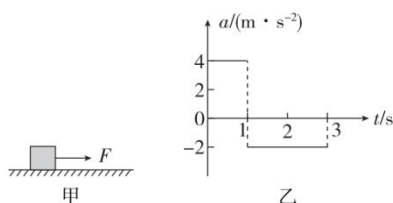
(1) 在图像问题中，无论是读图还是作图，都应尽量先建立函数关系，进而明确“图像与公式”的关系和“图像与物体”的关系；然后根据函数关系读取图像信息或者描点作图。

(2) 读图时，要注意图线的起点、斜率、截距、折点以及图线与横轴围成的“面积”等所对应的物理意义，尽可能多地提取解题信息。

3. 解题策略



例 1 [2025 · 四川广安模拟] **多选** 如图甲所示，一个质量为 2kg 的物体在水平力 F 作用下由静止开始沿粗糙水平地面做直线运动， $t = 1\text{s}$ 时撤去外力。物体的加速度 a 随时间 t 的变化规律如图乙所示。则下列说法正确的是 ()



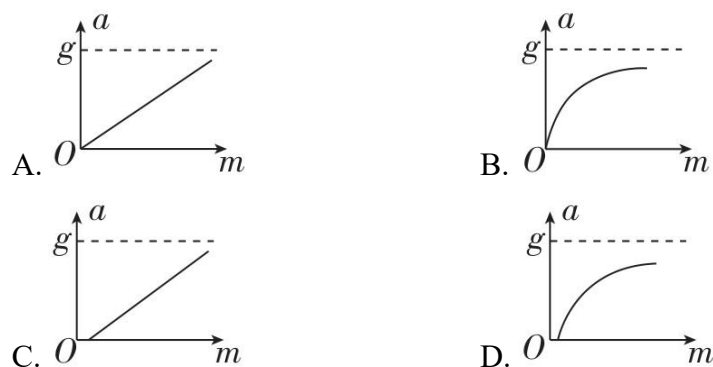
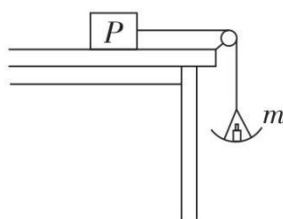
- A. F 的大小为 8N
- B. $0 \sim 1\text{s}$ 和 $1 \sim 3\text{s}$ 内物体加速度的方向相反
- C. $t = 3\text{s}$ 时，物体离出发位置最远
- D. 3s 末物体的速度为 0

【答案】BCD

【解析】由题图乙可知 $t = 1\text{s}$ 时撤去外力，物体在摩擦力作用下，加速度大小为 2m/s^2 ，由牛顿第二定律可得摩擦力大小 $f = ma_2 = 2 \times 2\text{N} = 4\text{N}$ ，在 $0 \sim 1\text{s}$ 时间内，物体的加速度大小为 4m/s^2 ，由牛顿第二定律可得 $F - f = ma_1$ ，解得 $F = 12\text{N}$ ，故 A 错误；由题图乙可知， $0 \sim 1\text{s}$ 内物体的加速度为正方向， $1 \sim 3\text{s}$ 内物体的加速度为负方向，所以 $0 \sim 1\text{s}$ 和 $1 \sim 3\text{s}$ 内物体加速度的方向相反，故 B 正确； $t = 1\text{s}$ 时，物体的速度 $v = a_1 t_1 = 4 \times 1\text{m/s} = 4\text{m/s}$ ，物体

做减速运动的时间 $t_2 = \frac{v}{a_2} = \frac{4}{2} \text{ s} = 2 \text{ s}$ ，故物体在 $t = 3 \text{ s}$ 时刚好停下，速度为 0，物体离出发位置最远，故 C、D 正确。

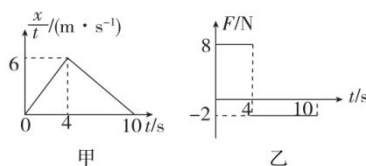
迁移应用 1. [2024 · 全国甲卷 · 15, 6 分] 如图，一轻绳跨过光滑定滑轮，绳的一端系物块 P ， P 置于水平桌面上，与桌面间存在摩擦；绳的另一端悬挂一轻盘（质量可忽略），盘中放置砝码。改变盘中砝码总质量 m ，并测量 P 的加速度大小 a ，得到 $a - m$ 图像。重力加速度大小为 g 。在下列 $a - m$ 图像中，可能正确的是（ ）



【答案】D

【解析】设 P 的质量为 m_P ，当 $mg \leq \mu m_P g$ 时， P 静止不动， $a = 0$ ；当 $mg > \mu m_P g$ 时，砝码和 P 的加速度大小相等，以砝码和 P 整体为研究对象，由牛顿第二定律可得 $mg - \mu m_P g = (m + m_P)a$ ，解得 $a = g - \frac{(1+\mu)m_P g}{m+m_P}$ ，当 m 趋近于无穷大时， a 趋近于 g ，D 正确。

迁移应用 2. [2024 · 辽宁丹东期末] 多选 粗糙的水平地面上物体在水平拉力作用下做直线运动，设运动时间为 t ，位移为 x ，其 $\frac{x}{t} - t$ 图像如图甲所示，水平拉力与时间图像如图乙所示。取重力加速度 $g = 10 \text{ m/s}^2$ ，则（ ）



A. 物体的质量为 2 kg

- B. 物体与地面间的动摩擦因数 $\mu = 0.2$
 C. 前 4s 内物体的加速度大小为 2m/s^2
 D. 前 10s 内物体运动的位移大小为 60m

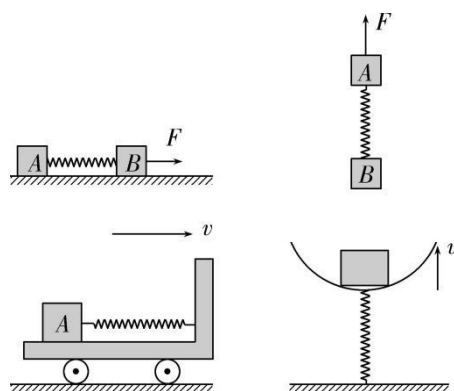
【答案】AD

【解析】根据匀变速直线运动位移与时间的关系 $x = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$ ，可知 $\frac{x}{t} - t$ 图像的截距表示初速度，斜率表示 $\frac{a}{2}$ ，则前 4s 内物体的加速度大小为 $a_1 = \frac{6}{4} \times 2\text{m/s}^2 = 3\text{m/s}^2$ ，故 C 错误；根据上述分析可知，前 4s 内物体的位移大小和末速度大小分别为 $x_1 = \frac{1}{2} a_1 t_1^2 = 24\text{m}$ ， $v_1 = a_1 t_1 = 12\text{m/s}$ ，而 4 ~ 10s 内物体的加速度大小为 $a_2 = \frac{6}{6} \times 2\text{m/s}^2 = 2\text{m/s}^2$ ，则 4 ~ 10s 内物体的位移 $x_2 = \frac{1}{2} a_2 t_2^2 = 36\text{m}$ ，则前 10s 内物体运动的位移大小 $x = x_1 + x_2 = 60\text{m}$ ，故 D 正确；在 0 ~ 4s 内根据牛顿第二定律有 $F_1 - \mu mg = ma_1$ ，在 4 ~ 10s 内根据牛顿第二定律有 $F_2 + \mu mg = ma_2$ ，联立解得 $m = 2\text{kg}$ ， $\mu = 0.1$ ，故 A 正确，B 错误。

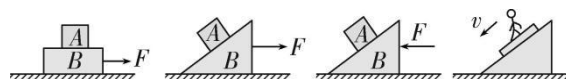
题型二 动力学中的连接体问题

1. 连接体的类型

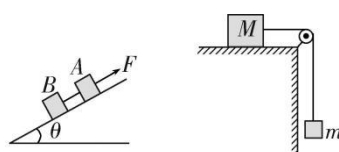
(1) 弹簧连接体

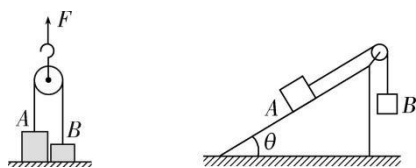


(2) 物物叠放连接体

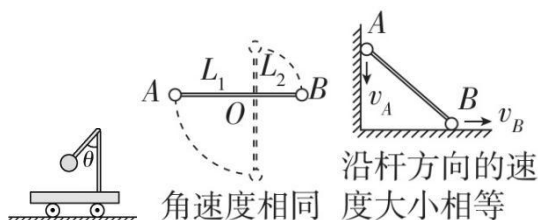


(3) 轻绳连接体





(4) 轻杆连接体



2. 连接体的运动特点

(1) 轻绳——轻绳在伸直状态下，两端的连接体沿绳方向的速度总是相等的。

(2) 轻杆——轻杆平动时，连接体具有相同的速度和加速度；轻杆参与复合运动时，两端的连接体沿杆方向的速度大小总是相等；轻杆转动时，两端连接体具有相同的角速度，而线速度与转动半径成正比。两端连接体所受弹力方向可能沿杆，也可能不沿杆。

(3) 轻弹簧——在弹簧发生形变的过程中，两端连接体的速率不一定相等；在弹簧形变量最大时，两端连接体的速率相等。

3. 处理连接体问题的常用方法

整体法	若连接体内各物体具有相同的加速度，且不要求物体之间的作用力，可以把它们看成一个整体，分析整体受到的外力，应用牛顿第二定律求出加速度或其他未知量
隔离法	若连接体内各物体的加速度不相同，或者要求出系统内两物体之间的作用力时，就需要把物体从系统中隔离出来，应用牛顿第二定律列方程求解
整体法、 隔离法交 替运用	若连接体内各物体具有相同的加速度，且要求物体之间的作用力时，可以先用整体法求出加速度，然后再用隔离法选取合适的研究对象，应用牛顿第二定律求作用力，即“先整体求加速度，后隔离求内力”

考向 1 共速连接体

例 2 [2025·重庆长寿模拟] 多选 质量为 $2m$ 的物块 A 和质量为 m 的物块 B 相互接触放在水平地面上，如图所示。若对 A 施加水平推力 F ，则两物块沿水平方向做加速运动。关于 A 对 B 的作用力，下列说法中正确的是 ()



- A. 若水平地面光滑，物块A对B的作用力大小为 F
- B. 若水平地面光滑，物块A对B的作用力大小为 $\frac{1}{3}F$
- C. 若物块A与地面、B与地面间的动摩擦因数均为 μ ，则物块A对B的作用力大小为 $\frac{1}{3}F + \mu mg$
- D. 若物块A与地面、B与地面间的动摩擦因数均为 μ ，则物块A对B的作用力大小为 $\frac{1}{3}F$

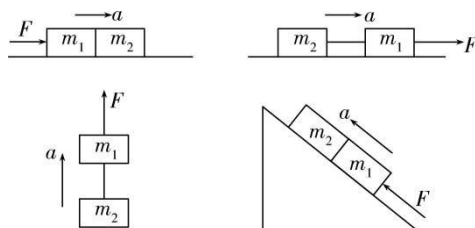
【答案】BD

【解析】若水平地面光滑，以A、B整体为研究对象，由牛顿第二定律可得 $F = (2m + m)a$ ，解得 $a = \frac{F}{3m}$ ，以B为研究对象，由牛顿第二定律可得 $F_{AB} = ma$ ，解得物块A对B的作用力大小为 $F_{AB} = \frac{1}{3}F$ ，故A错误，B正确；若物块A与地面、B与地面间的动摩擦因数均为 μ ，以A、B整体为研究对象，由牛顿第二定律可得 $F - 3\mu mg = 3ma'$ ，解得 $a' = \frac{F - 3\mu mg}{3m}$ ，以B为研究对象，由牛顿第二定律可得 $F'_{AB} - \mu mg = ma'$ ，联立解得物块A对B的作用力大小 $F'_{AB} = \frac{1}{3}F$ ，故C错误，D正确。

总结归纳

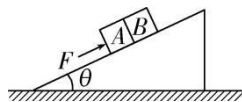
力的“分配”

如图所示，一起做匀加速运动的物体系统，若外力 F 作用于1（质量为 m_1 ）上，两物体间的弹力 $F_{\text{弹}} = \frac{m_2}{m_1 + m_2}F$ ；若作用于2（质量为 m_2 ）上，则 $F_{\text{弹}} = \frac{m_1}{m_1 + m_2}F$ 。此结论与有无摩擦无关（若有摩擦，两物体与接触面间的动摩擦因数必须相同），与两物体间有无连接物、有何种连接物（轻绳、轻杆、轻弹簧）无关，而且物体系统处于水平面、斜面、竖直方向时，结论都成立。



迁移应用3. [2024·山东菏泽模拟]多选 如图所示，质量分别为 m_A 、 m_B 的A、B两物块紧靠在一起放在倾角为 θ 的斜面上，两物块与斜面间的动摩擦因数相

同，都为 μ ，用始终平行于斜面向上的恒力 F 推 A ，使它们沿斜面匀加速上升，为了增大 A 、 B 间的压力，可行的办法是（ ）



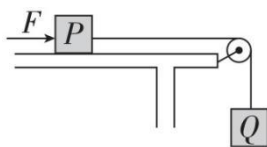
- A. 增大推力 F B. 减小倾角 θ
C. 增大 B 的质量 D. 增大动摩擦因数 μ

【答案】AC

【解析】对 A 、 B 整体由牛顿第二定律得 $F - (m_A + m_B)g\sin\theta - \mu(m_A + m_B)g\cos\theta = (m_A + m_B)a$ ，对 B 由牛顿第二定律得 $F_{AB} - m_Bg\sin\theta - \mu m_Bg\cos\theta = m_Ba$ ，联立解得 $F_{AB} = \frac{m_B}{m_A + m_B}F = \frac{F}{\frac{m_A}{m_B} + 1}$ 。可知， A 、 B 间的压力与倾角 θ 、动摩擦因数 μ 无关，B、D 错误；为了增大 A 、 B 间的压力，即要使 F_{AB} 增大，应增大推力 F 或减小 A 的质量或增大 B 的质量，A、C 正确。

考向 2 关联速度连接体

例 3 [2024·海南琼海模拟]如图，两物块 P 、 Q 用跨过光滑轻质定滑轮的轻绳相连，开始时 P 静止在水平桌面上。将一个水平向右的推力 F 作用在 P 上后，轻绳的张力变为原来的 $\frac{1}{2}$ 。已知 P 、 Q 两物块的质量分别为 $m_P = 0.5\text{kg}$ 、 $m_Q = 0.2\text{kg}$ ， P 与桌面间的动摩擦因数 $\mu = 0.4$ ，重力加速度 $g = 10\text{m/s}^2$ 。则推力 F 的大小为（ ）



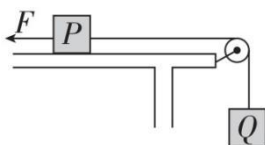
- A. 4.0N B. 3.5N C. 2.5N D. 1.5N

【答案】B

【解析】 P 静止在水平桌面上时，由平衡条件有 $T_1 = m_Qg = 2\text{N}$ ，推力 F 作用在 P 上后，轻绳的张力变为原来的 $\frac{1}{2}$ ，即 $T_2 = \frac{T_1}{2} = 1\text{N}$ ，故物块 Q 加速下降，有 $m_Qg - T_2 = m_Qa$ ，可得 $a = 5\text{m/s}^2$ ，对 P ，由牛顿第二定律有 $T_2 + F - \mu m_Pg = m_Pa$ ，解得 $F = 3.5\text{N}$ ，故选 B。

迁移应用 4. [2024·广东六校联考]如图所示，两物块 P 、 Q 用跨过光滑轻质定滑轮的轻绳相连，开始时 P 静止在水平桌面上。将一个水平向左的拉力 F 作用在 P 上后，轻绳的张力变为原来的 2 倍。已知 P 、 Q 两物块的质量分别为

$m_P = 2\text{kg}$ 、 $m_Q = 1\text{kg}$ ， P 与桌面间的动摩擦因数 $\mu = 0.5$ ，重力加速度 $g = 10\text{m/s}^2$ 。则拉力 F 的大小为（ ）



- A. 60N B. 50N C. 40N D. 30N

【答案】B

【解析】开始时轻绳的张力为 $T_1 = m_Q g = 10\text{N}$ ，当加一个水平向左的拉力 F 作用在 P 上后，轻绳的张力变为 $T_2 = 20\text{N}$ ，由牛顿第二定律对 Q 有 $T_2 - m_Q g = m_Q a$ ，对 P 有 $F - T_2 - \mu m_P g = m_P a$ ，解得 $F = 50\text{N}$ ，故选 B。

题型三 动力学中的临界和极值问题

1.常见的临界条件

- (1) 两物体脱离的临界条件： $F_N = 0$ 。
- (2) 相对滑动的临界条件：静摩擦力达到最大值。
- (3) 绳子断裂或松弛的临界条件：绳子断裂的临界条件是绳中张力等于它所能承受的最大张力；绳子松弛的临界条件是 $F_T = 0$ 。
- (4) 最终速度（收尾速度）的临界条件：物体所受合外力（加速度）为零。

2.解题基本思路

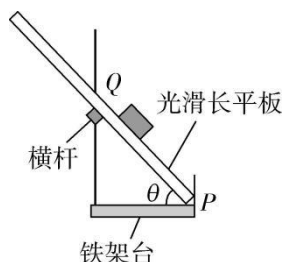
- (1) 认真审题，详细分析问题中变化的过程（包括分析整个过程中有几个阶段）；
- (2) 寻找过程中变化的物理量；
- (3) 探索物理量的变化规律；
- (4) 确定临界状态，分析临界条件，找出临界关系。

3.解题方法

极限法	把物理问题（或过程）推向极端，从而使临界现象（或状态）暴露出来，以达到正确解决问题的目的
假设法	临界问题存在多种可能，特别是非此即彼两种可能时，或变化过程中可能出现临界条件，也可能不出现临界条件时，往往用假设法解决问题

数学方法 将物理过程转化为数学表达式，根据数学表达式解出临界条件

例 4 [2021 · 全国甲卷 · 14, 6 分] 如图，将光滑长平板的下端置于铁架台水平底座上的挡板 P 处，上部架在横杆上。横杆的位置可在竖直杆上调节，使得平板与底座之间的夹角 θ 可变。将小物块由平板与竖直杆交点 Q 处静止释放，物块沿平板从 Q 点滑至 P 点所用的时间 t 与夹角 θ 的大小有关。若 θ 由 30° 逐渐增大至 60° ，物块的下滑时间 t 将 ()

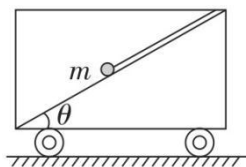


- A. 逐渐增大
B. 逐渐减小
C. 先增大后减小
D. 先减小后增大

【答案】D

【解析】 设 P 点与竖直杆的距离为 l ，则 $PQ = \frac{l}{\cos\theta}$ ，对物块，根据牛顿第二定律，有 $mg\sin\theta = ma$ ，得 $a = g\sin\theta$ ，由 $x = \frac{1}{2}at^2$ ，得 $\frac{l}{\cos\theta} = \frac{1}{2}g\sin\theta \cdot t^2$ ，得 $t = \sqrt{\frac{4l}{g\sin 2\theta}}$ ，当 $2\theta = \frac{\pi}{2}$ ，即 $\theta = \frac{\pi}{4}$ 时， t 最小，由题知 θ 从 30° 增大到 60° ，故下滑时间先减小后增大，D 选项正确。

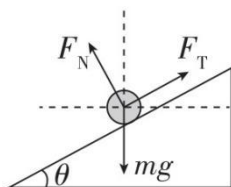
迁移应用 5. 如图所示，水平地面上的小车内固定一个倾角为 $\theta = 30^\circ$ 的光滑斜面，平行于斜面的细绳一端固定在车上，另一端系着一个质量为 m 的小球，小球和小车均处于静止状态。如果小车在水平地面上向左加速且加速度大小不超过 a_1 时，小球仍能够和小车保持相对静止；如果小车在水平地面上向右加速且加速度大小不超过 a_2 时，小球仍能够和小车保持相对静止，则 a_1 和 a_2 的大小之比为 ()



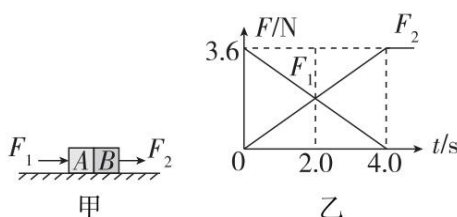
- A. $\sqrt{3}:1$
B. $\sqrt{3}:3$
C. $3:1$
D. $1:3$

【答案】D

【解析】对小球的受力分析情况如图所示，如果小车在水平地面上向左加速，由正交分解法得，水平方向上有 $F_N \sin \theta - F_T \cos \theta = ma_1$ ，竖直方向上有 $F_N \cos \theta + F_T \sin \theta = mg$ ，解得 $a_1 = \frac{F_N \sin \theta - F_T \cos \theta}{F_N \cos \theta + F_T \sin \theta} g$ ，球仍能够和小车保持相对静止的临界条件是细绳的拉力 $F_T = 0$ ，解得 $a_1 = \frac{\sqrt{3}}{3} g$ ，同理可得，如果小车在水平地面上向右加速，则 $a_2 = \frac{F_T \cos \theta - F_N \sin \theta}{F_N \cos \theta + F_T \sin \theta} g$ ，球仍能够和小车保持相对静止的临界条件是斜面对小球的弹力 $F_N = 0$ ，解得 $a_2 = \sqrt{3} g$ ，所以 $a_1 : a_2 = 1 : 3$ ，故选 D。



迁移应用 6. [2024·河北张家口联考] 多选 如图甲所示，用黏性材料粘在一起的 A、B 两物块静止于光滑水平地面上，两物块的质量分别为 $m_A = 1\text{kg}$ 、 $m_B = 2\text{kg}$ 。 $t = 0$ 时刻开始对物块 A 施加一水平推力 F_1 ，同时对物块 B 施加同一方向的拉力 F_2 ，使 A、B 从静止开始运动，运动过程中 F_1 、 F_2 方向保持不变， F_1 、 F_2 的大小随时间变化的规律如图乙所示。已知 $t = 3\text{s}$ 时 A、B 恰好分离，则下列说法正确的是 ()



- A. A、B 之间最大的黏力为 0.3N
- B. 从 $t = 0$ 时刻到 A、B 分离，它们运动的位移为 5.4m
- C. $t = 2.0\text{s}$ 时刻，A、B 之间作用力大小为 0.4N
- D. $t = 2.5\text{s}$ 时刻，A 对 B 的作用力方向向左

【答案】AB

【解析】由题图乙可知，分离之前 A、B 受到的合力不变，故以相同加速度 a 共同加速，以 A、B 整体为研究对象，根据牛顿第二定律可得加速度 $a = \frac{F_1 + F_2}{m_A + m_B} = 1.2\text{m/s}^2$ ， $t = 3\text{s}$ 分离时，对 B，由牛顿第二定律可得 $F_2 - F_T = m_B a$ ，其中

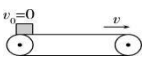
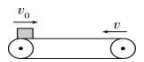
$F_2 = 2.7\text{N}$ ，联立解得A、B之间最大的黏力为 $F_T = 0.3\text{N}$ ，故A正确；根据位移公式可得，A、B运动的位移大小 $x = \frac{1}{2}at^2 = 5.4\text{m}$ ，故B正确；当 $t = 2.0\text{s}$ 时， $F_2 = 1.8\text{N}$ ，对B，根据牛顿第二定律可得 $F_2 + F'_T = m_B a$ ，解得A对B的作用力大小 $F'_T = 0.6\text{N}$ ，故C错误；当 $t = 2.5\text{s}$ 时， $F_2 = 2.25\text{N}$ ，对B，根据牛顿第二定律可得 $F_2 + F''_T = m_B a$ ，解得A对B的作用力 $F''_T = 0.15\text{N} > 0$ ，即A对B的作用力方向向右，故D错误。

温馨提示 请完成《分层突破训练》课时作业 15

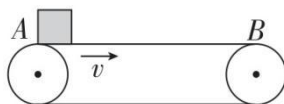
专题突破 4 “传送带”模型

关键能力·核心突破

题型一 水平传送带问题

情景	滑块的运动情况	
	传送带不足够长	传送带足够长
	一直加速	先加速后匀速
	$v_0 < v$ 时，一直加速	$v_0 < v$ 时，先加速再匀速
	$v_0 = v$ 时，一直匀速	$v_0 = v$ 时，一直匀速
	$v_0 > v$ 时，一直减速	$v_0 > v$ 时，先减速再匀速
	滑块一直减速到右端	滑块先减速到速度为0，后被传送带传回左端。 若 $v_0 < v$ ，返回到左端时速度大小为 v_0 ；若 $v_0 > v$ ，返回到左端时速度大小为 v

例 1 如图所示，水平传送带以 $v = 5\text{m/s}$ 的速度运行，在传送带的左端A点无初速度释放一质量为 $m = 0.5\text{kg}$ 的小物体，物体与传送带间的动摩擦因数 $\mu = 0.5$ ，传送带左端A点到右端B点的距离为 $x = 16\text{m}$ ，求物体由A点运动到B点的时间。(g取 10m/s^2)



【答案】 3.7s

【解析】物体无初速度放到传送带上后，受到水平向右的滑动摩擦力，物体由静止开始做匀加速直线运动，设其加速度大小为 a ，则由牛顿第二定律，有

$$\mu mg = ma, \text{ 所以 } a = \mu g = 5\text{m/s}^2$$

达到速度 v 所需要的时间

$$t_1 = \frac{v}{a} = \frac{5}{5}\text{s} = 1\text{s}$$

该阶段物体的位移

$$x_1 = \frac{1}{2}at_1^2 = \frac{1}{2} \times 5 \times 1^2\text{m} = 2.5\text{m}$$

当物体达到与传送带共速后，物体与传送带间的摩擦力消失，物体以速度 v 做匀速直线运动至 B 点

则物体匀速运动的位移

$$x_2 = x - x_1 = 16\text{m} - 2.5\text{m} = 13.5\text{m}$$

该阶段物体的运动时间

$$t_2 = \frac{x_2}{v} = 2.7\text{s}$$

所以物体由 A 点运动到 B 点所需的时间 $t = t_1 + t_2 = 1\text{s} + 2.7\text{s} = 3.7\text{s}$

拓展 1. 若传送带长度为 $x = 2\text{m}$ ，求物体由 A 点运动到 B 点的时间。

【答案】 $\frac{2\sqrt{5}}{5}\text{s}$

【解析】若传送带长度为 $x = 2\text{m}$ ，则物体从左端 A 点运动到右端 B 点一直做匀加速运动，根据 $x = \frac{1}{2}at^2$ 可知， $t = \sqrt{\frac{2x}{a}} = \frac{2\sqrt{5}}{5}\text{s}$ 。

拓展 2. 若物体以对地速度 $v_0 = 5\text{m/s}$ 滑上传送带，求物体由 A 点运动到 B 点的时间。

【答案】 3.2s

【解析】物体相对传送带无运动趋势，物体与传送带间无摩擦力，所以物体做匀速运动，物体的运动时间 $t = \frac{x}{v_0} = \frac{16}{5}\text{s} = 3.2\text{s}$ 。

拓展 3. 若物体以速度 $v_0 = 7\text{m/s}$ 滑上传送带，求物体由 A 点运动到 B 点的时间。

【答案】 3.12s

【解析】由于开始时物体相对传送带向右运动，物体受到的滑动摩擦力方向水平向左，如图所示。物体先做匀减速运动，当物体速度等于传送带速度后，二者之间摩擦力消失，物体随传送带一起做匀速运动。

物体做匀减速运动的时间

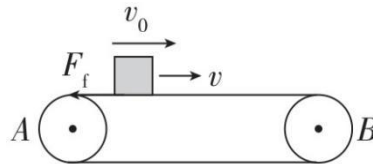
$$t_1 = \frac{v-v_0}{-a} = \frac{5-7}{-5} \text{s} = 0.4 \text{s}$$

物体做匀减速运动的位移

$$x_1 = v_0 t_1 - \frac{at_1^2}{2} = 2.4 \text{m}$$

物体做匀速运动的时间 $t_2 = \frac{x-x_1}{v} = 2.72 \text{s}$

所以物体由左端A点运动到右端B点的时间 $t = t_1 + t_2 = 3.12 \text{s}$



拓展 4. 若物体以速度 $v_0 = 3 \text{m/s}$ 滑上传送带，求物体由A点运动到B点的时间。

【答案】3.28s

【解析】由于开始时 $v_0 < v$ ，物体先做匀加速运动，后做匀速运动。

物体做匀加速运动的时间 $t_1 = \frac{v-v_0}{a} = 0.4 \text{s}$

物体做匀加速运动的位移 $x_1 = v_0 t_1 + \frac{at_1^2}{2} = 1.6 \text{m}$

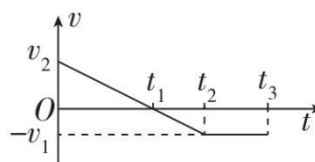
物体做匀速运动的时间 $t_2 = \frac{x-x_1}{v} = 2.88 \text{s}$

所以物体由左端A点运动到右端B点的时间 $t = t_1 + t_2 = 3.28 \text{s}$

迁移应用 1. 多选 如图甲所示，绷紧的水平传送带始终以恒定速率 v_1 运行，初速度大小为 v_2 的小物块从与传送带等高的光滑水平地面上的A处滑上传送带。若从小物块滑上传送带开始计时，小物块在传送带上运动的 $v-t$ 图像（以地面为参考系）如图乙所示，已知 $v_2 > v_1$ ，则（ ）



甲



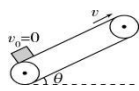
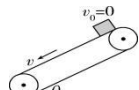
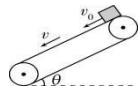
乙

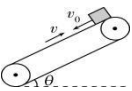
- A. t_2 时刻，小物块离A处的距离达到最大
- B. t_2 时刻，小物块相对传送带滑动的距离达到最大
- C. $0 \sim t_2$ 时间内，小物块受到的摩擦力方向一直向右
- D. $0 \sim t_3$ 时间内，小物块始终受到大小不变的摩擦力

【答案】BC

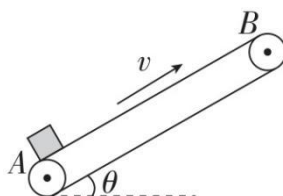
【解析】相对地面而言，小物块在 $0 \sim t_1$ 时间内向左做匀减速运动， t_1 时刻之后向右运动，故小物块在 t_1 时刻离A处距离最大，A 错误；小物块在 $0 \sim t_1$ 时间内向左做匀减速运动，相对传送带也是向左运动， $t_1 \sim t_2$ 时间内向右做匀加速运动，但速度小于传送带向右的速度，仍是相对传送带向左运动， t_2 时刻两者同速，在 $t_2 \sim t_3$ 时间内，小物块与传送带相对静止，一起向右做匀速运动，所以 t_2 时刻小物块相对传送带滑动的距离达到最大，B 正确；由于 $0 \sim t_2$ 时间内，小物块相对传送带一直向左运动，所以受到的摩擦力方向一直向右，C 正确；在 $0 \sim t_2$ 时间内，小物块相对传送带一直向左运动，则小物块一直受到向右的滑动摩擦力，在 $t_2 \sim t_3$ 时间内，小物块相对传送带静止，则小物块不受摩擦力作用，故 D 错误。

题型二 倾斜传送带问题

情景	滑块的运动情况	
	传送带不够长	传送带足够长
	一直加速（一定满足关系 $g \sin \theta < \mu g \cos \theta$ ）	先加速后匀速
	一直加速（加速度为 $g \sin \theta + \mu g \cos \theta$ ）	若 $\mu \geq \tan \theta$ ，先加速后匀速； 若 $\mu < \tan \theta$ ，先以 a_1 加速，后以 a_2 加速
	$v_0 < v$ 时，一直加速（加速度为 $g \sin \theta + \mu g \cos \theta$ ）	$v_0 < v$ 时，若 $\mu \geq \tan \theta$ ，先加速后匀速； 若 $\mu < \tan \theta$ ，先以 a_1 加速，后以 a_2 加速
	$v_0 > v$ 时，若 $\mu > \tan \theta$ ，	$v_0 > v$ 时，若 $\mu > \tan \theta$ ，先减速后匀

	一直减速；若 $\mu = \tan\theta$ ， 一直匀速；若 $\mu < \tan\theta$ ， 一直加速	速；若 $\mu = \tan\theta$ ，一直匀速；若 $\mu < \tan\theta$ ， 一直加速（加速度为 $g\sin\theta - \mu g\cos\theta$ ）
 （摩擦力方向一定沿斜面向上）	$g\sin\theta > \mu g\cos\theta$ ，一直加速； $g\sin\theta = \mu g\cos\theta$ ，一直匀速	
	$g\sin\theta < \mu g\cos\theta$ ，一直减速	$g\sin\theta < \mu g\cos\theta$ ，先减速到速度为0后反向加速，若 $v \geq v_0$ ，到原位置时速度大小为 v_0 （类竖直上抛运动）；若 $v < v_0$ ，到原位置时速度大小为 v

例2 传送带是物流中常用的传送工具，如图所示的传送带可将物体从底端A传送到顶端B，现将一可视为质点、质量 $m = 10\text{kg}$ 的物体轻放在传送带底端A。已知传送带长度 $L = 5\text{m}$ ，与水平地面间的夹角 $\theta = 37^\circ$ ，传送带的速度 $v = 1\text{m/s}$ ，传送带与物体间的动摩擦因数 $\mu = 0.8$ ， $\sin 37^\circ = 0.6$ ， $\cos 37^\circ = 0.8$ ，取重力加速度 $g = 10\text{m/s}^2$ ，求物体从A到达B的时间和物体相对于传送带运动的位移大小。



【答案】6.25s 1.25m

【解析】物体放上传送带后，由牛顿第二定律得 $\mu mg\cos\theta - mg\sin\theta = ma$

解得 $a = 0.4\text{m/s}^2$

物体先加速，由运动学公式有 $v = at_1$ ，解得 $t_1 = 2.5\text{s}$

由 $x_1 = \frac{1}{2}at_1^2$ ，解得 $x_1 = 1.25\text{m}$

然后再匀速到达顶端，由运动学公式有 $L - x_1 = vt_2$

解得 $t_2 = 3.75\text{s}$

所以物体从底端A运动到顶端B的时间 $t = t_1 + t_2 = 6.25\text{s}$

物体加速过程中，传送带运动的位移

$x = vt_1 = 2.5\text{m}$

物体相对于传送带运动的位移大小

$$\Delta x = x - x_1 = 1.25\text{m}$$

拓展 1. 若传送带长度为 $x = 1\text{m}$, 求物体由 A 运动到 B 的时间。

【答案】 $\sqrt{5}\text{s}$

【解析】若传送带长度为 $x = 1\text{m}$, 则物体从底端 A 运动到顶端 B 一直做匀加速运动, 根据 $x = \frac{1}{2}at^2$ 可知, $t = \sqrt{\frac{2 \times 1}{0.4}}\text{s} = \sqrt{5}\text{s}$ 。

拓展 2. 若物体以对地速度 $v_0 = 1\text{m/s}$ 滑上传送带, 求物体由 A 运动到 B 的时间。

【答案】 5s

【解析】 $v_0 = v$ 且 $\mu mg \cos \theta > mg \sin \theta$, 所以物体做匀速运动, 物体由 A 运动到 B 的时间 $t = \frac{L}{v_0} = \frac{5}{1}\text{s} = 5\text{s}$ 。

拓展 3. 若物体以速度 $v_0 = 7.2\text{m/s}$ 滑上传送带, 求物体由 A 运动到 B 的时间。

【答案】 3.45s

【解析】由于开始时物体相对传送带沿传送带向上运动, 物体所受滑动摩擦力方向沿传送带向下。物体先做匀减速运动, 当物体速度等于传送带速度后, 二者保持相对静止, 物体随传送带一起做匀速运动。

物体滑上传送带后, 由牛顿第二定律得 $\mu mg \cos \theta + mg \sin \theta = ma$

解得 $a = 12.4\text{m/s}^2$

物体做匀减速运动的时间

$$t_1 = \frac{v - v_0}{-a} = \frac{1 - 7.2}{-12.4}\text{s} = 0.5\text{s}$$

物体做匀减速运动的位移

$$x_1 = \frac{v_0 + v}{2} t_1 = 2.05\text{m}$$

物体做匀速运动的时间 $t_2 = \frac{L - x_1}{v} = 2.95\text{s}$

所以物体由底端 A 运动到顶端 B 的时间 $t = t_1 + t_2 = 3.45\text{s}$

拓展 4. 若物体以速度 $v_0 = 0.6\text{m/s}$ 滑上传送带, 求物体由 A 运动到 B 的时间。

【答案】 5.2s

【解析】由于开始时 $v_0 < v$, 物体先做匀加速运动, 后做匀速运动。加速度 $a = 0.4\text{m/s}^2$

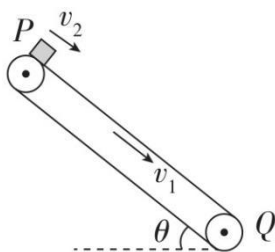
物体做匀加速运动的时间 $t_1 = \frac{v - v_0}{a} = 1\text{s}$

物体做匀加速运动的位移 $x_1 = \frac{v_0+v}{2}t_1 = 0.8\text{m}$

物体做匀速运动的时间 $t_2 = \frac{L-x_1}{v} = 4.2\text{s}$

所以物体由底端A运动到顶端B的时间 $t = t_1 + t_2 = 5.2\text{s}$

迁移应用 2. 如图所示, 与水平面的夹角 $\theta = 37^\circ$ 的传送带以速率 $v_1 = 2\text{m/s}$ 顺时针运行, 其上端P与下端Q间的距离 $d = 3.15\text{m}$, 一煤块(视为质点)以速率 $v_2 = 1\text{m/s}$ 从上端P处沿传送带下滑, 在传送带上会留下痕迹。煤块与传送带间的动摩擦因数 $\mu = 0.5$, 取重力加速度大小 $g = 10\text{m/s}^2$, $\sin 37^\circ = 0.6$, $\cos 37^\circ = 0.8$ 。



- (1) 请通过计算判断煤块能否与传送带达到共速;
- (2) 求煤块在传送带上运动的时间 t ;
- (3) 求煤块在传送带上留下的痕迹的长度 L 。

【答案】 (1) 见解析

(2) 1.1s

(3) 1m

【解析】

(1) 开始时煤块所受摩擦力方向沿传送带向下, 则由牛顿第二定律有 $mg\sin 37^\circ + \mu mg\cos 37^\circ = ma_1$ 解得 $a_1 = 10\text{m/s}^2$ 煤块与传送带共速时, 根据运动学公式有 $v_1^2 = v_2^2 + 2a_1x$ 解得 $x = 0.15\text{m} < d$ 所以煤块能与传送带达到共速

(2) 共速之前煤块运动的时间 $t_1 = \frac{v_1-v_2}{a_1} = \frac{2-1}{10}\text{s} = 0.1\text{s}$ 共速后煤块沿传送带下滑, 由牛顿第二定律有 $mg\sin 37^\circ - \mu mg\cos 37^\circ = ma_2$ 解得 $a_2 = 2\text{m/s}^2$ 则根据运动学公式有 $d - x = v_1t_2 + \frac{1}{2}a_2t_2^2$ 解得 $t_2 = 1\text{s}$ 则煤块在传送带上运动的时间 $t = t_1 + t_2 = 1.1\text{s}$

(3) 共速前的痕迹长度 $\Delta x_1 = v_1t_1 - x = 0.05\text{m}$ 共速后的痕迹长度 $\Delta x_2 = d - x - v_1t_2 = 1\text{m}$ 共速后的痕迹覆盖共速前的痕迹, 可知痕迹长度 $L = 1\text{m}$

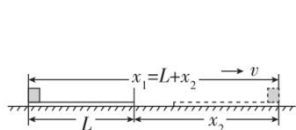
温馨提示 请完成《分层突破训练》课时作业 16

专题突破 5 “滑块—木板”模型

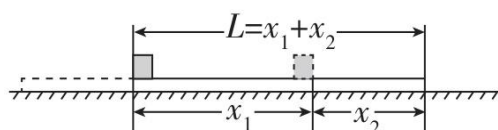
关键能力·核心突破

1.模型特点：滑块（视为质点）置于木板上，滑块和木板均相对地面运动，且滑块和木板在摩擦力的相互作用下发生相对滑动。

2.位移关系：滑块由木板一端运动到另一端的过程中，滑块和木板同向运动时，位移大小之差 $\Delta x = x_1 - x_2 = L$ ，如图甲所示；滑块和木板反向运动时，位移大小之和 $\Delta x = x_2 + x_1 = L$ ，如图乙所示。

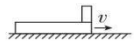
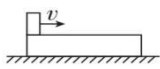
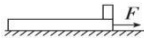
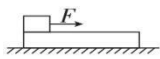


甲

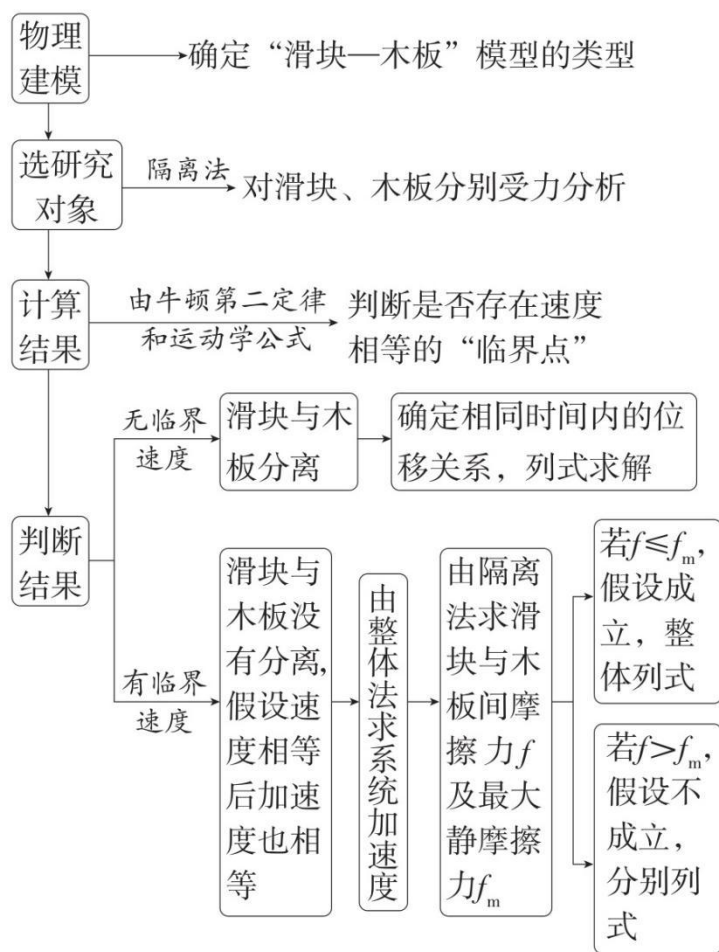


乙

3.四种常见类型

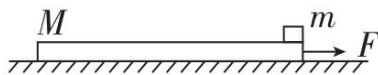
	典型图例	初始条件	结束可能状态
无外力作用		(1) 滑块静止。 (2) 木板初速度为 v	(1) 滑块停在木板上某位置。 (2) 滑块恰好没有滑离木板。
		(1) 滑块初速度为 v 。 (2) 木板静止	
有外力作用		(1) 滑块、木板均静止。 (2) 外力 F 作用在木板上	(3) 滑块滑离木板
		(1) 滑块、木板均静止。 (2) 外力 F 作用在滑块上	

4.处理“滑块—木板”模型中动力学问题的流程



考向 1 水平面上的板块问题

例 1 如图所示, 在光滑的水平面上有一足够长且质量为 $M = 4\text{kg}$ 的长木板, 在长木板右端有一质量为 $m = 1\text{kg}$ 的小物块, 长木板与小物块间的动摩擦因数为 $\mu = 0.2$, 长木板与小物块均静止, 最大静摩擦力等于滑动摩擦力, g 取 10m/s^2 。



- (1) 若要使小物块和木板间发生相对滑动, 拉力 F 不小于什么值?
- (2) 现用 $F = 14\text{N}$ 的水平恒力向右拉长木板, 经时间 $t = 1\text{s}$ 撤去水平恒力 F , 则:
 - ① 在 F 的作用下, 长木板的加速度为多大?
 - ② 刚撤去 F 时, 小物块离长木板右端多远?
 - ③ 最终长木板与小物块一起以多大的速度匀速运动?
 - ④ 最终小物块离长木板右端多远?

【答案】 (1) 10N

(2) ① 3m/s^2

② 0.5m

③ 2.8m/s

④ 0.7m

【解析】

(1) 当物块和木板恰好发生相对滑动时，静摩擦力达到最大值，设此时的加速度大小为 a_0 ，根据牛顿第二定律，对小物块有 $\mu mg = ma_0$ ，对物块和木板整体有 $F = (m + M)a_0$ 联立解得 $F = 10\text{N}$ ，即若小物块和木板发生相对滑动，拉力不小于 10N 。

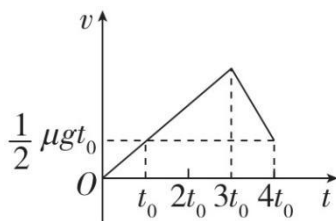
(2) ① 对长木板，根据牛顿第二定律可得 $F - \mu mg = Ma$ ，解得 $a = 3\text{m/s}^2$ 。

② 撤去 F 之前，小物块受滑动摩擦力的作用故 $a_m = a_0 = \mu g = 2\text{m/s}^2$ $\Delta x_1 = \frac{1}{2}at^2 - \frac{1}{2}a_mt^2 = 0.5\text{m}$ 。

③ 刚撤去 F 时， $v = at = 3\text{m/s}$ ， $v_m = a_mt = 2\text{m/s}$ 撤去 F 后，长木板的加速度大小 $a' = \frac{\mu mg}{M} = 0.5\text{m/s}^2$ 最终速度 $v' = v_m + a_mt' = v - a't'$ 解得 $v' = 2.8\text{m/s}$ 。

④ 在 t' 内，小物块和长木板的相对位移 $\Delta x_2 = \frac{v^2 - v'^2}{2a'} - \frac{v'^2 - v_m^2}{2a_m}$ ，解得 $\Delta x_2 = 0.2\text{m}$ 最终小物块离长木板右端的距离为 $x = \Delta x_1 + \Delta x_2 = 0.7\text{m}$ 。

迁移应用 1. [2024 · 黑吉辽卷 · 10, 6 分]多选 一足够长木板置于水平地面上，二者间的动摩擦因数为 μ ， $t = 0$ 时，木板在水平恒力作用下，由静止开始向右运动。某时刻，一小物块以与木板等大、反向的速度从右端滑上木板。已知 $t = 0$ 到 $t = 4t_0$ 的时间内，木板速度 v 随时间 t 变化的图像如图所示，其中 g 为重力加速度大小。 $t = 4t_0$ 时刻，小物块和木板的速度相同。下列说法正确的是 ()



- A. 小物块在 $t = 3t_0$ 时刻滑上木板
- B. 小物块和木板间的动摩擦因数为 2μ
- C. 小物块与木板的质量比为 $3:4$

D. $t = 4t_0$ 之后小物块和木板一起做匀速运动

【答案】ABD

【解析】设木板质量为 M 、受到的水平恒力为 F ，小物块质量为 m ，小物块刚滑上木板到与木板共速前，对木板的摩擦力方向水平向左，木板受力情况发生变化，即加速度发生变化，结合题图可知，小物块在 $t = 3t_0$ 时刻滑上木板，A 正确。结合题意可知，小物块滑上木板时的速度 $v_1 = -\frac{3}{2}\mu gt_0$ ， $t = 4t_0$ 时刻的速度 $v_2 = \frac{1}{2}\mu gt_0$ ，则小物块的加速度 $a_2 = \frac{\frac{1}{2}\mu gt_0 - (-\frac{3}{2}\mu gt_0)}{t_0} = 2\mu g$ ，对小物块由牛顿第二定律有 $\mu' mg = ma_2$ ，联立解得 $\mu' = 2\mu$ ，B 正确。由题图可知， $0 \sim 3t_0$ 时间内木板的加速度 $a_1 = \frac{\frac{3}{2}\mu gt_0 - 0}{3t_0} = \frac{1}{2}\mu g$ ， $3t_0 \sim 4t_0$ 时间内木板的加速度 $a'_1 = \frac{\frac{1}{2}\mu gt_0 - \frac{3}{2}\mu gt_0}{t_0} = -\mu g$ ， $0 \sim 3t_0$ 时间内，对木板由牛顿第二定律有 $F - \mu Mg = Ma_1$ ，解得 $F = \frac{3}{2}\mu Mg$ ， $3t_0 \sim 4t_0$ 内，对木板由牛顿第二定律有 $F - \mu(M + m)g - \mu' mg = Ma'_1$ ，可得 $\frac{m}{M} = \frac{1}{2}$ ，C 错误。 $t = 4t_0$ 之后，由于 $F - \mu(M + m)g = 0$ ，所以小物块和木板一起做匀速运动，D 正确。

迁移应用 2. [2024 · 广东佛山联考]如图所示，质量均为 $m = 1\text{kg}$ 的物块A和B叠放在水平地面上，左边缘对齐。A与B、B与地面间的动摩擦因数均为 $\mu = 0.4$ 。先敲击A，A立即获得水平向右的初速度，在B上滑动距离 $L = 2\text{m}$ 后停下。接着敲击B，B立即获得水平向右的初速度，A、B都向右运动，左边缘再次对齐时恰好相对静止，此后两者一起运动至停下。最大静摩擦力等于滑动摩擦力，物块A长度可忽略不计，重力加速度 $g = 10\text{m/s}^2$ 。求：



- (1) A被敲击后获得的初速度大小 v_A ；
- (2) 在左边缘再次对齐的前、后，B运动的加速度的大小 a_B 、 a'_B ；
- (3) B被敲击后获得的初速度大小 v_B 及B运动的最大距离 s_B 。

【答案】(1) 4m/s

(2) 12m/s^2 4m/s^2

(3) 8m/s 3m

【解析】

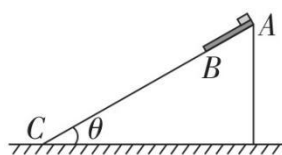
(1) A 被敲击后, 由牛顿第二定律知 $\mu mg = ma_A$ A 的加速度大小 $a_A = \mu g$ 根据运动学公式有 $v_A^2 = 2a_AL$ 解得 $v_A = \sqrt{2\mu gL} = 4\text{m/s}$ 。

(2) 在左边缘再次对齐前, 对 B , 根据牛顿第二定律得 $\mu mg + 2\mu mg = ma_B$ 解得 $a_B = 3\mu g = 12\text{m/s}^2$ 对齐后, 对 A 、 B 整体, 根据牛顿第二定律得 $2\mu mg = 2ma_B'$, 解得 $a_B' = \mu g = 4\text{m/s}^2$

(3) B 被敲击后经过时间 t , A 、 B 达到共同速度 v , 位移分别为 x_A 、 x_B , A 的加速度大小为 a_A , 则 $v = a_At = v_B - a_Bt$, $x_A = \frac{1}{2}a_At^2$ $x_B = v_Bt - \frac{1}{2}a_Bt^2$, $x_B - x_A = L$ 解得 $v_B = 8\text{m/s}$, $x_B = 2.5\text{m}$ A 、 B 达到共同速度后, 有 $v^2 = 2a_B'x_B'$ 解得 $x_B' = 0.5\text{m}$, 所以 $s_B = x_B + x_B' = 3\text{m}$

考向 2 斜面上的板块问题

例 2 [2025 · 湖南长沙模拟] 如图所示, 在倾角为 $\theta = 37^\circ$ 的固定长斜面上放置一质量 $M = 1\text{kg}$ 、长度 $L_1 = 3\text{m}$ 的薄板 AB , 薄板上表面光滑, 开始时用手按住薄板, 在薄板的上端 A 处将一质量 $m = 0.6\text{kg}$ 、可视为质点的小滑块无初速度释放, 同时放开按住薄板的手, 已知薄板与斜面之间、小滑块与斜面之间的动摩擦因数均为 $\mu = 0.5$, 滑块与薄板下端 B 到达斜面底端 C 的时间差为 $\Delta t = 2\text{s}$, 重力加速度 $g = 10\text{m/s}^2$, $\sin 37^\circ = 0.6$, $\cos 37^\circ = 0.8$, 求:



- (1) 滑块离开薄板时的速度 v_1 ;
- (2) 薄板的下端 B 与斜面底端 C 的距离 L_2 。

【答案】 (1) 6m/s

(2) 16m

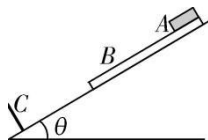
【解析】

(1) 根据题意, 对薄板, 由于 $Mg\sin\theta < \mu(M+m)g\cos\theta$ 可知, 小滑块在薄板上往下滑时, 薄板静止不动。设小滑块在薄板上滑动的加速度大小为 a_1 , 对滑块有 $mgsin\theta = ma_1$ 解得 $a_1 = 6\text{m/s}^2$ 由运动学公式有 $v_1^2 = 2a_1L_1$ 解得 $v_1 = 6\text{m/s}$

(2) 设滑块在斜面上滑动的加速度大小为 a_2 , 由牛顿第二定律有 $mgsin\theta - \mu mgcos\theta = ma_2$ 可得 $a_2 = 2\text{m/s}^2$ 设滑块在斜面上滑动时间为 t_1 , 有 $L_2 = v_1t_1 + \frac{1}{2}a_2t_1^2$ 滑块离开薄板后薄板运动的加速度大小为 a , 由 $Mgsin\theta - \mu Mgcos\theta = Ma$

解得 $a = 2\text{m/s}^2$ 薄板的下端 B 滑至 C 端所用时间为 t_2 ，有 $L_2 = \frac{1}{2}at_2^2$ 滑块与薄板下端 B 到达斜面底端 C 的时间差为 $\Delta t = t_2 - t_1$ 联立解得 $L_2 = 16\text{m}$

迁移应用 3. [2024·安徽合肥模拟] 多选 如图所示，倾角为 $\theta = 37^\circ$ 的斜面上有一固定挡板 C ，长度为 $l_1 = 10\text{m}$ 的木板 B 上有一个长度为 $l_2 = 2\text{m}$ 的木板 A ， A 、 B 上端齐平， B 与斜面间的动摩擦因数为 $\mu_1 = 0.5$ ， A 、 B 之间的动摩擦因数为 $\mu_2 = 0.875$ 。现由静止释放 A 、 B ，经过 2s 木板 B 与 C 相碰，碰后 B 立即停止运动，重力加速度 $g = 10\text{m/s}^2$ ， $\sin 37^\circ = 0.6$ ， $\cos 37^\circ = 0.8$ ，则下列说法中正确的有 ()



- A. 释放 A 、 B 后，两者发生相对滑动
- B. 释放 A 、 B 后， B 下滑的加速度大小为 6m/s^2
- C. B 与 C 相碰时， A 的速度大小为 4m/s
- D. 释放 A 、 B 后经过 6s 木板 A 恰好滑到长木板 B 的底端停下

【答案】CD

【解析】 $\mu_2 g \cos \theta > g \sin \theta$ ，故 A 不会相对 B 向下滑动，若 A 、 B 保持相对静止一起下滑，由牛顿第二定律可得 $a_1 = g \sin \theta - \mu_1 g \cos \theta = 2\text{m/s}^2$ ， A 随 B 一起匀加速下滑的加速度最大值 $a_A = g \sin \theta + \mu_2 g \cos \theta = 13\text{m/s}^2 > 2\text{m/s}^2$ ，可知 A 、 B 保持相对静止沿斜面向下运动， B 下滑的加速度大小为 2m/s^2 ，故 A、B 错误；由上述分析可知， A 、 B 一起向下做加速运动，则 B 与 C 相碰时， A 的速度大小 $v_A = a_1 t = 4\text{m/s}$ ，故 C 正确；根据题意可知，长木板 B 与 C 相碰，碰后 B 立即停止运动， A 向下做减速运动，加速度 $a_2 = g \sin \theta - \mu_2 g \cos \theta = -1\text{m/s}^2$ ， A 减速到停止的时间为 $t_1 = \frac{0-v_A}{a_2} = 4\text{s}$ ， A 下滑的位移 $x = \frac{0-v_A^2}{2a_2} = 8\text{m}$ ，可知释放 A 、 B 后经过 6s 木板 A 恰好滑到长木板 B 的底端停下，故 D 正确。

温馨提示 请完成《分层突破训练》课时作业 17

实验 4 探究加速度与力、质量的关系

必备知识·强基固本

一、实验目的

1. 学会应用控制变量法研究物理规律。
2. 探究加速度与力、质量的关系。

3.掌握利用图像处理数据的方法。

二、实验原理

1.保持质量不变，探究加速度与合力的关系。

2.保持合力不变，探究加速度与质量的关系。

3.作出 $a - F$ 图像和 $a - \frac{1}{m}$ 图像，确定 a 与 F 、 m 的关系。

三、实验器材

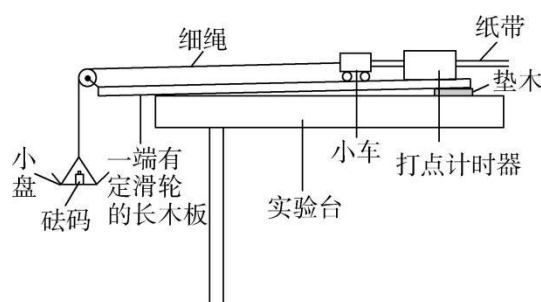
小车、砝码、小盘、细绳、一端附有定滑轮的长木板、垫木、打点计时器、_____、导线、纸带、天平、刻度尺。

【答案】交流电源

四、实验过程

1.质量的测量：用天平测量小盘和砝码的总质量 m' 以及小车的质量 m 。

2. 安装：按照如图所示装置把实验器材安装好，只是不把悬挂小盘的细绳系在小车上（即不给小车施加_____）。



【答案】牵引力

3. 平衡阻力：在长木板不带定滑轮的一端下面垫上一块垫木，使小车能___下滑。

【答案】匀速

4. 操作：a.悬挂小盘的细绳绕过定滑轮系于小车上，先_____后_____，断开电源，取下纸带，编号码。

b.保持小车的质量 m 不变，改变小盘和砝码的总质量 m' ，重复步骤 a。

c.在每条纸带上选取一段比较理想的部分，求加速度 a 。

d.描点作图，作出 $a - F$ 的图像。

e.保持小盘和砝码的总质量 m' 不变，改变小车质量 m ，重复步骤 a 和 c，作出 $a - \frac{1}{m}$ 图像。

【答案】接通电源； 放开小车

五、实验数据处理

1.利用逐差法或 $v-t$ 图像法求 a 。

2.以 a 为纵坐标， F 为横坐标，描点、画线，如果该线为过原点的直线，说明 a 与 F 成正比。

3.以 a 为纵坐标， $\frac{1}{m}$ 为横坐标，描点、画线，如果该线为过原点的直线，就能判定 a 与 m 成反比。

六、误差分析

1.因实验原理不完善引起误差。本实验用小盘和砝码的总重力代替小车受到的拉力，而实际上小车所受的拉力要小于小盘和砝码的总重力。小盘和砝码的总质量越小于小车的质量，由此引起的误差就越小。因此，满足小盘和砝码的总质量远小于小车的质量的目的就是减小因实验原理不完善而引起的误差。

2.平衡阻力不准确造成误差。在平衡阻力时，除了不挂小盘之外，其他均应该与实验测量时的操作一致（比如要挂好纸带、接通打点计时器等），小车匀速运动的标志是打点计时器在纸带上打出的相邻两点间的距离相等。平衡阻力不足或过度都会引起误差。

3.质量的测量、纸带上打点计时器打点间隔距离的测量、细绳或纸带不与木板平行等都会引起误差。

七、注意事项

1.平衡阻力：在平衡阻力时，不要把悬挂小盘的细绳系在小车上，即不要给小车施加任何牵引力，且要让小车拖着纸带匀速运动。

2.不重复平衡阻力：平衡了阻力后，不管以后是改变小盘和砝码的总质量还是改变小车的质量，都不需要重新平衡阻力。

3.实验条件：每条纸带都必须在满足小车的质量远大于小盘和砝码的总质量的条件下打出。只有如此，小盘和砝码的总重力才可视为小车受到的拉力。

4.一先一后一按住：改变拉力或小车质量后，每次实验开始时小车应尽量靠近打点计时器，并应先_____，后_____，且应在小车到达定滑轮前按住小车。

【答案】接通电源； 放开小车

5.作图：作图时，两坐标轴单位长度的比例要适当，要使尽可能多的点落在所作直线上，不在直线上的点应尽可能均匀分布在所作直线两侧。

关键能力·核心突破

探究点一 教材原型实验

例 1 [2024·甘肃卷·11, 6分]用图 1 所示实验装置探究外力一定时加速度与质量的关系。

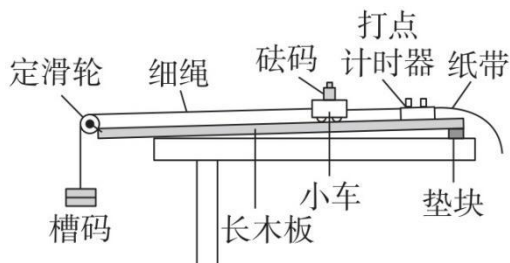


图 1

(1) 以下操作正确的是_____ (单选, 填正确答案标号)。

- A. 使小车质量远小于槽码质量
- B. 调整垫块位置以平衡阻力
- C. 平衡阻力时移去打点计时器和纸带
- D. 释放小车后立即打开打点计时器

(2) 保持槽码质量不变, 改变小车上砝码的质量, 得到一系列打点纸带。其中一条纸带的计数点如图 2 所示, 相邻两点之间的距离分别为 s_1 、 s_2 、 $\dots$ 、 s_8 , 时间间隔均为 T 。下列加速度算式中, 最优的是_____ (单选, 填正确答案标号)。

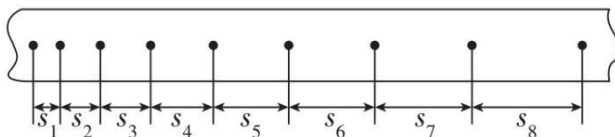


图 2

- A. $a = \frac{1}{7} \left(\frac{s_8 - s_7}{T^2} + \frac{s_7 - s_6}{T^2} + \frac{s_6 - s_5}{T^2} + \frac{s_5 - s_4}{T^2} + \frac{s_4 - s_3}{T^2} + \frac{s_3 - s_2}{T^2} + \frac{s_2 - s_1}{T^2} \right)$
- B. $a = \frac{1}{6} \left(\frac{s_8 - s_6}{2T^2} + \frac{s_7 - s_5}{2T^2} + \frac{s_6 - s_4}{2T^2} + \frac{s_5 - s_3}{2T^2} + \frac{s_4 - s_2}{2T^2} + \frac{s_3 - s_1}{2T^2} \right)$
- C. $a = \frac{1}{5} \left(\frac{s_8 - s_5}{3T^2} + \frac{s_7 - s_4}{3T^2} + \frac{s_6 - s_3}{3T^2} + \frac{s_5 - s_2}{3T^2} + \frac{s_4 - s_1}{3T^2} \right)$
- D. $a = \frac{1}{4} \left(\frac{s_8 - s_4}{4T^2} + \frac{s_7 - s_3}{4T^2} + \frac{s_6 - s_2}{4T^2} + \frac{s_5 - s_1}{4T^2} \right)$

(3) 以小车和砝码的总质量 M 为横坐标, 加速度的倒数 $\frac{1}{a}$ 为纵坐标, 甲、乙两组同学分别得到的 $\frac{1}{a} - M$ 图像如图 3 所示。

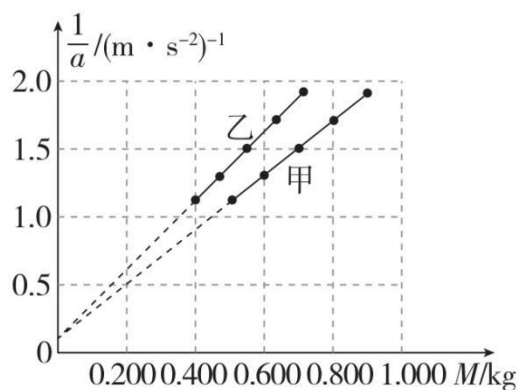


图 3

由图可知，在所受外力一定的条件下， a 与 M 成__（选填“正比”或“反比”）；甲组所用的__（选填“小车”“砝码”或“槽码”）质量比乙组的更大。

【答案】（1） B

（2） D

（3） 反比； 槽码

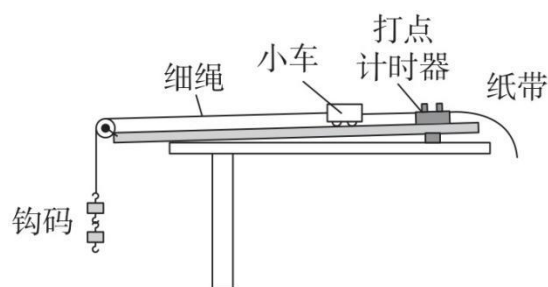
【解析】

（1）为了使小车所受的合外力大小近似等于槽码的总重力，应使小车质量远大于槽码质量，故 A 错误；为了保证小车所受细绳拉力等于小车所受合力，需要调整垫块位置以平衡阻力，也要保持细绳和长木板平行，故 B 正确；平衡阻力时不能移去打点计时器和纸带，一方面需要连同纸带所受的阻力一并平衡，另一方面需要通过纸带上的点迹来判断小车是否做匀速运动，故 C 错误；根据操作要求，应先打开打点计时器再释放小车，故 D 错误。

（2）根据逐差法有 $s_5 - s_1 = 4a_1T^2$ ， $s_6 - s_2 = 4a_2T^2$ ， $s_7 - s_3 = 4a_3T^2$ ， $s_8 - s_4 = 4a_4T^2$ ，然后求平均值，可得加速度 $a = \frac{1}{4}(\frac{s_8-s_4}{4T^2} + \frac{s_7-s_3}{4T^2} + \frac{s_6-s_2}{4T^2} + \frac{s_5-s_1}{4T^2})$ ，故选 D。

（3）根据图像可知 $\frac{1}{a}$ 与 M 成正比，故在所受外力一定的条件下， a 与 M 成反比；设槽码的质量为 m ，则由牛顿第二定律得 $mg = (m + M)a$ ，化简可得 $\frac{1}{a} = \frac{1}{mg} \cdot M + \frac{1}{g}$ ，故图线斜率越小，槽码的质量 m 越大，由题图 3 可知甲组所用的槽码质量比乙组的更大。

迁移应用。[2025·河南郑州模拟]如图甲所示是探究“加速度与力、质量的关系”的实验装置。



甲

(1) 该实验中同时研究三个物理量间关系是很困难的，因此我们采用的研究方法是_____。

- A. 放大法 B. 控制变量法 C. 转换法

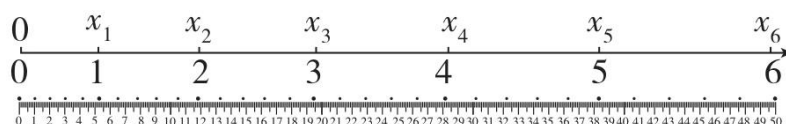
(2) 该实验过程中操作正确的是_____。

- A. 平衡阻力时小车未连接纸带
B. 先接通打点计时器电源，后释放小车
C. 调节滑轮高度使细绳与水平桌面平行

(3) 在小车质量_____（选填“远大于”或“远小于”）钩码质量时，可以认为细绳拉力近似等于钩码的重力。上述做法引起的误差为_____（选填“偶然误差”或“系统误差”）。为减小此误差，下列可行的方案是_____。

- A. 用气垫导轨代替普通导轨，滑块代替小车
B. 在小车上加装遮光条，用光电计时系统代替打点计时器
C. 在小车与细绳之间加装力传感器，测出小车所受拉力大小

(4) 经正确操作后获得一条如图乙所示的纸带，建立以计数点 0 为坐标原点的 x 轴，各计数点的位置坐标分别为 0、 x_1 、 $\cdots$ 、 x_6 。已知打点计时器的打点周期为 T ，则打计数点 5 时小车速度的表达式 $v =$ _____；小车加速度的表达式是_____。



乙

A. $a = \frac{x_6 - 2x_3}{(15T)^2}$

$$B.a = \frac{x_6 - 2x_3}{(3T)^2}$$

$$C.a = \frac{x_5 + x_4 - (x_3 + x_2)}{(10T)^2}$$

【答案】 (1) B

(2) B

(3) 远大于；系统误差；C

(4) $\frac{x_6 - x_4}{10T}$ ；A

【解析】

(2) 平衡阻力时小车需要连接纸带，一方面是需要连同纸带所受的阻力一并平衡，另外一方面是通过纸带上的点间距判断小车是否在长木板上做匀速直线运动，故 A 错误；实验时应先接通打点计时器电源，后释放小车，故 B 正确；为使小车所受拉力与速度同向，应调节滑轮高度使细绳与长木板平行，故 C 错误。

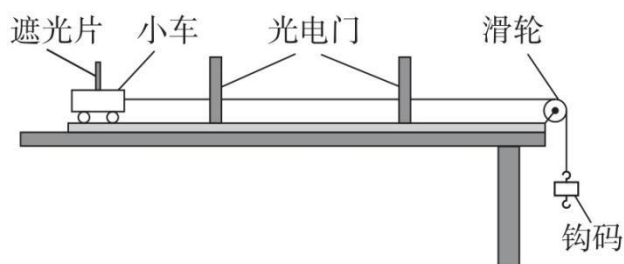
(3) 设小车质量为 M ，钩码质量为 m ，对小车和钩码根据牛顿第二定律分别有 $F = Ma$ ， $mg - F = ma$ ，联立解得 $F = \frac{Mmg}{m+M}$ ，由此可知在小车质量远大于钩码质量时，可以认为细绳拉力等于钩码的重力。上述做法引起的误差是由于实验方法或原理不完善造成的，属于系统误差。该误差是将细绳拉力用钩码重力近似替代所引起的，不是由车与木板间存在阻力（实验中已经平衡了阻力）或是速度测量精度低造成的，故 A、B 方案不可行；为减小此误差，可在小车与细绳之间加装力传感器，测出小车所受拉力大小，故 C 方案可行。

(4) 相邻两计数点间的时间间隔 $t = 5T$ ，打计数点 5 时小车速度的表达式为 $v = \frac{x_6 - x_4}{2t} = \frac{x_6 - x_4}{10T}$ ，根据逐差法可得小车加速度的表达式是

$$a = \frac{x_6 - x_3 - x_3}{(3t)^2} = \frac{x_6 - 2x_3}{(15T)^2}，\text{故选 A。}$$

探究点二 创新拓展实验

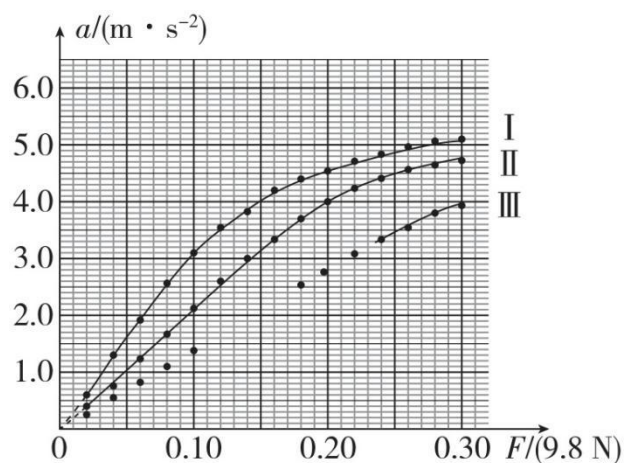
例 2 [2024 · 江西卷 · 11，8 分] 某小组探究物体加速度与其所受合外力的关系。实验装置如图甲所示，水平轨道上安装两个光电门，小车上固定一遮光片，细线一端与小车连接，另一端跨过定滑轮挂上钩码。



甲

(1) 实验前调节轨道右端滑轮高度，使细线与轨道平行，再适当垫高轨道左端以平衡小车所受摩擦力。

(2) 小车的质量为 $M_1 = 320\text{g}$ 。利用光电门系统测出不同钩码质量 m 时小车加速度 a 。钩码所受重力记为 F ，作出 $a - F$ 图像，如图乙中图线 I 所示。



乙

(3) 由图线 I 可知， F 较小时， a 与 F 成正比； F 较大时， a 与 F 不成正比。为了进一步探究，将小车的质量增加至 $M_2 = 470\text{g}$ ，重复步骤 (2) 的测量过程，作出 $a - F$ 图像，如图乙中图线 II 所示。

(4) 与图线 I 相比，图线 II 的线性区间___，非线性区间___。再将小车的质量增加至 $M_3 = 720\text{g}$ ，重复步骤 (2) 的测量过程，记录钩码所受重力 F 与小车加速度 a ，如表所示（表中第 9~14 组数据未列出）。

序号	1	2	3	4	5
钩码所受重力 $F/(9.8\text{N})$	0.020	0.040	0.060	0.080	0.100
小车加速度 $a/(\text{m} \cdot \text{s}^{-2})$	0.26	0.55	0.82	1.08	1.36
序号	6	7	8	9~14	15

- A. 实验中需满足钩码的质量远小于滑块的质量
- B. 本实验采用了控制变量法
- C. 实验过程中必须确保细线与气垫导轨平行
- D. 该实验中，弹簧测力计的读数为钩码和动滑轮总重力的一半

(2) 若气垫导轨上没有水平仪，判断气垫导轨调平的方法是_____。

(3) 实验步骤：

- a. 将气垫导轨放在水平桌面上，将气垫导轨调至水平；
- b. 用螺旋测微器测量挡光条的宽度 d ；
- c. 用天平称出滑块和挡光条的总质量 M ，并保持不变；
- d. 动滑轮下挂适当的钩码，将滑块移至光电门 1 左侧某处，待钩码静止不动时，释放滑块，要求钩码落地前挡光条已通过光电门 2；
- e. 从数字计时器（图中未画出）上分别读出挡光条通过光电门 1 和光电门 2 所用的时间 Δt_1 和 Δt_2 ；
- f. 记下弹簧测力计的示数 F ；
- g. 改变钩码的质量，重做实验。

① 滑块通过光电门 1 和光电门 2 时瞬时速度分别为 $v_1 =$ _____和 $v_2 =$ _____。（用题目中给出的字母表示）

② 若测得光电门 1 和光电门 2 之间的距离为 L ，则滑块的加速度 $a =$ _____（用题目中给出的字母表示）。

【答案】 (1) BC

(2) 见解析

(3) ① $\frac{d}{\Delta t_1}$; $\frac{d}{\Delta t_2}$

② $\frac{(\frac{d}{\Delta t_2})^2 - (\frac{d}{\Delta t_1})^2}{2L}$

【解析】

(1) 由装置图可知细线拉力可以通过弹簧测力计测得，所以实验中不需要满足钩码的质量远小于滑块的质量，故 A 错误；探究加速度与力、质量的关系，采用了控制变量法，故 B 正确；实验过程中必须确保细线与气垫导轨平行，故 C 正确；以钩码和动滑轮为研究对象，根据牛顿第二定律可得 $mg - 2F =$

$ma' > 0$ ，可知该实验中，弹簧测力计的读数小于钩码和动滑轮总重力的一半，故 D 错误。

(2) 若气垫导轨上没有水平仪，判断气垫导轨调平的方法是：轻推滑块，使滑块获得一初速度后先后经过两个光电门，如果两个光电门记录的挡光时间相等，则滑块做匀速运动，说明气垫导轨水平。

(3) ① 滑块通过光电门 1 和光电门 2 时瞬时速度分别为 $v_1 = \frac{d}{\Delta t_1}$ ， $v_2 = \frac{d}{\Delta t_2}$ ；

② 若测得光电门 1 和光电门 2 之间的距离为 L ，根据运动学公式可得 $2aL =$

$v_2^2 - v_1^2$ ，联立可得滑块的加速度 $a = \frac{(\frac{d}{\Delta t_2})^2 - (\frac{d}{\Delta t_1})^2}{2L}$ 。

温馨提示 请完成《分层突破训练》课时作业 18