

第三章 牛顿运动定律

目录

1 牛顿第一定律 牛顿第二定律	2
1.1 牛顿第一定律	2
1.2 牛顿第二定律	3
1.3 力学单位制 (近几年考察量纲计算比较频繁, 需要重点掌握)	6
2 牛顿第二定律的应用	8
2.1 动力学中的两类基本问题	8
2.2 动力学中的图像问题	10
2.3 超重和失重问题	12
3 微专题 1 牛顿第二定律的综合应用	13
3.1 题型一: 动力学中的连接体问题	13
3.2 题型二: 动力学中的临界极值问题	18
4 微专题 2 动力学中的传送带模型	20
5 微专题 3 动力学中的滑块 - 木板模型	25
6 实验 探究加速度与物体受力、物体质量的关系	29
6.1 实验原理及装置图	29
6.2 操作要领及注意事项	29
6.3 数据处理 (如图所示)	29
6.4 误差分析	30
6.5 改进方案	31

1 牛顿第一定律 牛顿第二定律

1.1 牛顿第一定律

一、牛顿第一定律

1. 内容：一切物体总保持匀速直线运动状态或静止状态，除非作用在它上面的力迫使它改变这种状态。
2. 意义：
 1. 揭示了一切物体都具有惯性。
 2. 揭示了力不是维持物体运动状态的原因，而是改变物体运动状态的原因，即力是产生加速度的原因。
 3. 此处可以回忆一下某一些错误说法

二、惯性

1. 定义：物体具有保持原来匀速直线运动状态或静止状态的性质。
2. 量度：质量是惯性大小的唯一量度，质量大的物体惯性大，质量小的物体惯性小。
3. 普遍性：惯性是物体的固有属性，一切物体都具有惯性，与物体的运动情况和受力情况无关。

即练即清

判断正误，正确的打√，错误的打×。

如图所示，滑冰运动员在赛场上滑冰。



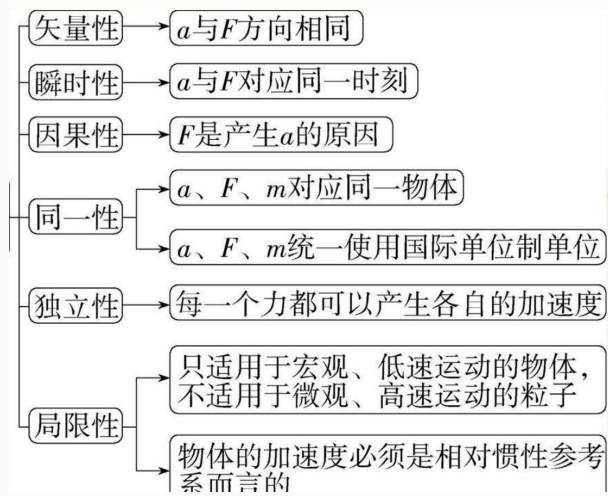
- (1) 如果滑冰运动员不用力，则他将会慢慢停下，说明运动需要力来维持。()
- (2) 滑冰运动员的速度越大，他就越难停下，说明速度越大其惯性越大。()
- (3) 滑冰时，如果运动员受到的力全部消失，运动员将做匀速直线运动。()
- (4) 牛顿第一定律是牛顿第二定律的特例。()

1.2 牛顿第二定律

一、内容及表达式

1. 内容：物体加速度的大小跟它受到的作用力成正比，跟它的质量成反比，加速度的方向跟作用力的方向相同。
2. 表达式： $F = ma$ 。

二、对牛顿第二定律的理解



三、力和运动的关系

1. 只要合力不为 0，物体的加速度就不为 0。
2. (a) $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ 是加速度的定义式， a 与 Δv 、 Δt 无必然联系。
(b) $a = \frac{F}{m}$ 是加速度的决定式， a 的大小由合力 F 和质量 m 决定，且 $a \propto F$ ， $a \propto \frac{1}{m}$ 。
3. 合力与速度同向时，物体做加速直线运动；合力与速度反向时，物体做减速直线运动。

教考衔接

典例 1 (人教版必修一 P_{114} , B 组, T_1 改编) 如图甲所示, 两个质量相同的小球 A 和 B 之间用轻弹簧连接, 然后用细绳悬挂起来。

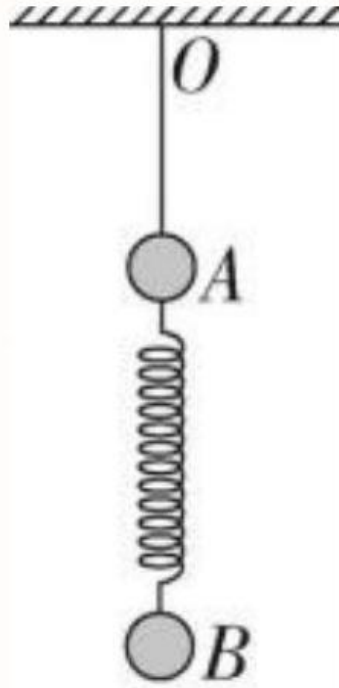


图 1: 甲

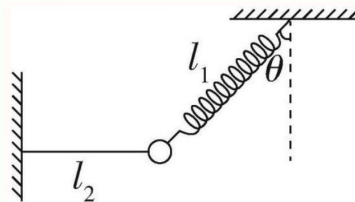


图 2: 乙

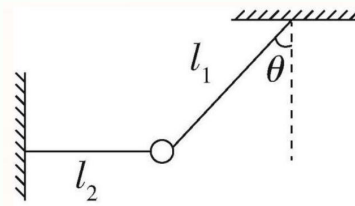


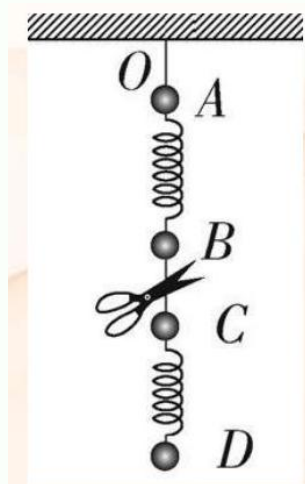
图 3: 丙

- (1) (回归教材) 剪断细绳的瞬间, A 和 B 的加速度分别是多少 (重力加速度为 g)?
- (2) (情境变式) 如图乙所示, 一质量为 m 的小球系于轻弹簧和长度为 l_2 的细绳上, 小球静止时细绳水平, 轻弹簧与竖直方向的夹角为 θ 、长度为 l_1 。重力加速度为 g 。
 - (i) 现将水平细绳剪断, 求剪断瞬间小球的加速度大小 a_1 ;
 - (ii) 如图丙所示, 将图乙中的轻弹簧改为长度为 l 的细绳, 其他条件不变, 现将水平细

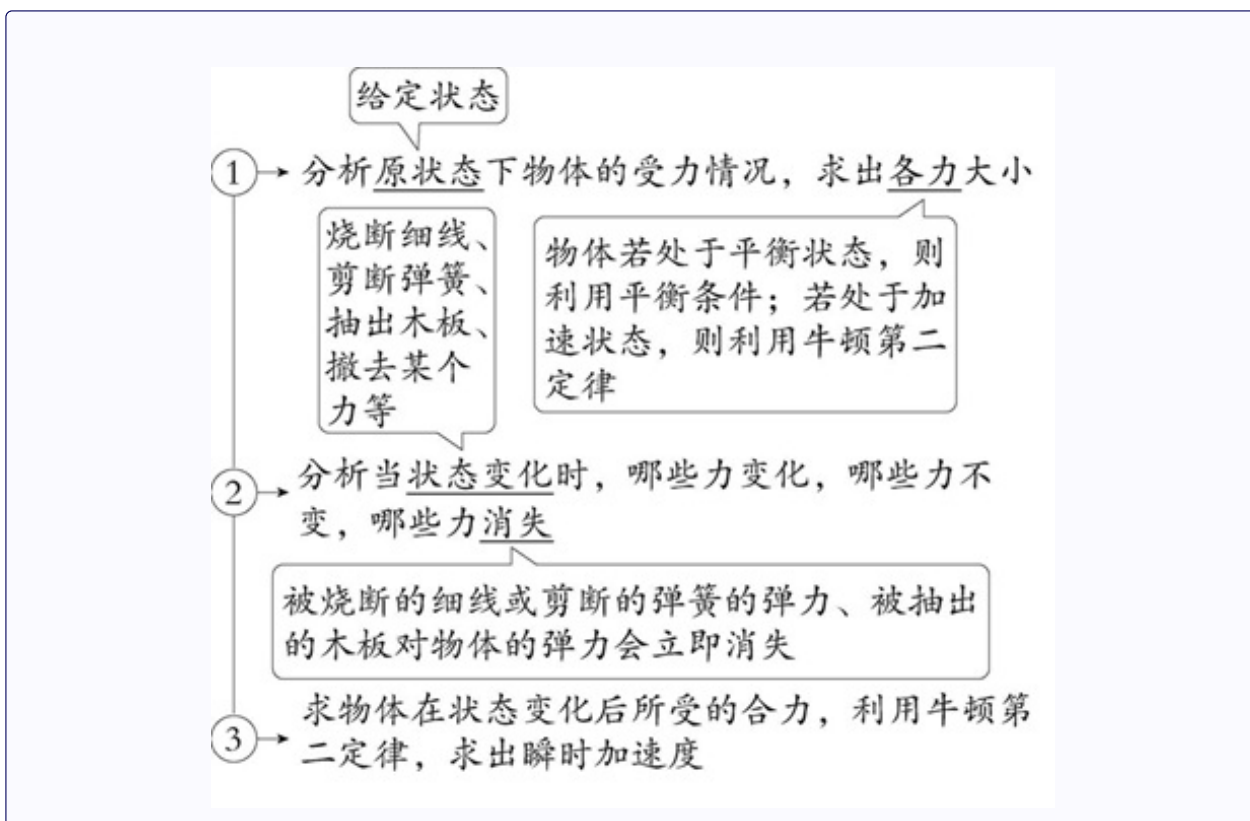
绳剪断，求剪断瞬间小球的加速度大小 a_2 。

(3) (链接高考) (2024 湖南, 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 , $0.5g$

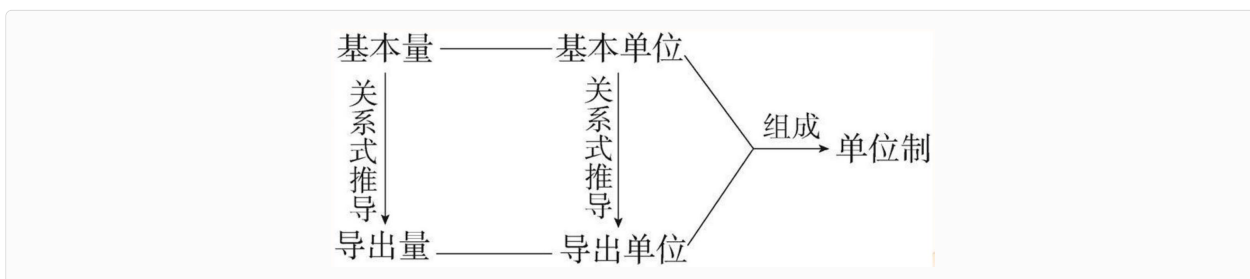


提分关键·方法提升: 用牛顿第二定律解决瞬时性问题的思维流程



1.3 力学单位制 (近几年考察量纲计算比较频繁，需要重点掌握)

一、单位制



二、国际单位制的基本物理量和基本单位

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	$n, (v)$	摩 [尔]	mol
发光强度	$I, (I_v)$	坎 [德拉]	cd

典例 2 (2023 辽宁, 2, 4 分) 安培通过实验研究, 发现了电流之间相互作用力的规律。若两段长度分别为 Δl_1 和 Δl_2 、电流大小分别为 I_1 和 I_2 的平行直导线间距为 r 时, 相互作用力的大小可以表示为 $\Delta F = k \frac{I_1 I_2 \Delta l_1 \Delta l_2}{r^2}$ 。比例系数 k 的单位是 ()

- A. $\text{kg} \cdot \text{m}/(\text{s}^2 \cdot \text{A})$
- B. $\text{kg} \cdot \text{m}/(\text{s}^2 \cdot \text{A}^2)$
- C. $\text{kg} \cdot \text{m}^2/(\text{s}^3 \cdot \text{A})$
- D. $\text{kg} \cdot \text{m}^2/(\text{s}^3 \cdot \text{A}^2)$

2 牛顿第二定律的应用

2.1 动力学中的两类基本问题

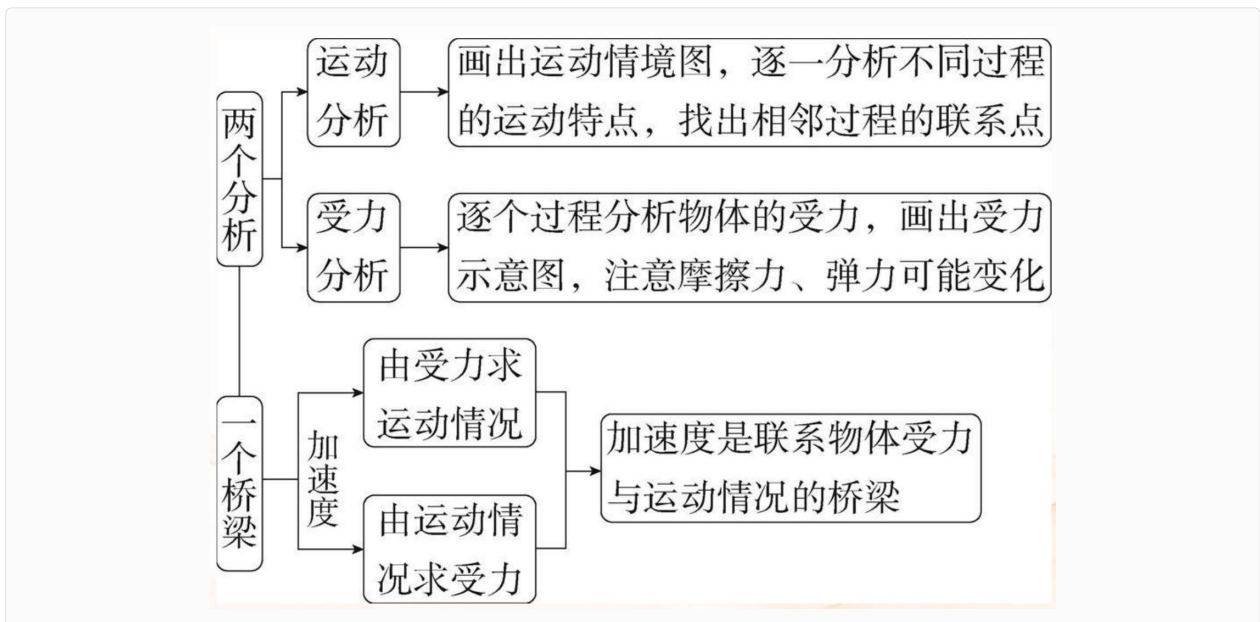
一、由受力确定运动情况



二、由运动情况确定受力



三、解决两类动力学基本问题的要点



典例 1 (2024 届长郡中学适应性考试) (多选) 如图所示, O 点为竖直圆周的圆心, MN 和 PQ 是两根光滑细杆, 两细杆的两端均在圆周上, M 点为圆周上的最高点, Q 点为圆周上的最低点, N 、 P 两点等高。两个可视为质点的圆环 1、2 (图中均未画出) 分别套在细杆 MN 、 PQ 上, 并从 M 、 P 两点由静止释放, 两圆环滑到 N 、 Q 两点时的速度大小分别为 v_1 、 v_2 , 所用时间分别为 t_1 、 t_2 , 则 ()

A. $v_1 = v_2$
 B. $v_1 > v_2$
 C. $t_1 > t_2$
 D. $t_1 = t_2$

提分关键·模型突破: 等时圆模型

模型条件	①多条相交的倾斜光滑轨道 ②质点由静止开始从轨道的一端滑到另一端
设置顶点	①下端相交: 交点为圆的最低点(如图甲所示) ②上端相交: 交点为圆的最高点(如图乙所示)
作等时圆	①过顶点作竖直线 ②以某轨道为弦作圆心在竖直线上的圆
时间比较	①轨道端点都在圆周上, 质点运动时间相等 ②端点在圆内的轨道, 质点运动时间短些; ③端点在圆外的轨道, 质点运动时间长些
	① $mg \sin \theta = ma$ ② $x = \frac{1}{2}at^2$ ③ 找出 x 与圆直径的关系式
	下滑时间

甲

乙

典例 2 (多选) 一种能垂直起降的小型遥控无人机如图所示, 螺旋桨工作时能产生恒定的升力。在一次试飞中, 无人机在地面上由静止开始以 2m/s^2 的加速度匀加速竖直向上起飞, 上升 36m 时无人机突然出现故障而失去升力。已知无人机的质量为 5kg , 运动过程中所受空气阻力大小恒为 10N , 重力加速度大小 $g = 10\text{m/s}^2$ 。下列说法正确的是 ()



- A. 无人机失去升力时的速度大小为 12m/s
- B. 螺旋桨工作时产生的升力大小为 60N
- C. 无人机向上减速时的加速度大小为 12m/s^2
- D. 无人机上升的最大高度为 40m

提分关键 · 方法提升: 牛顿第二定律在多过程运动问题中的应用

- (1) 分析各个过程中运动的特点, 明确每一个运动过程的运动形式, 注意相邻两个过程的衔接速度。
- (2) 分析各个过程的受力情况, 明确每一个过程加速度的方向, 注意不同过程各力的变化特点。
- (3) 灵活运用运动学公式、结论、图像, 灵活运用合成法或正交分解法, 结合牛顿第二定律求解加速度及其他相关量。

2.2 动力学中的图像问题

一、常见的动力学图像

$v-t$ 图像、 $a-t$ 图像、 v^2-x 图像、 $F-a$ 图像、 $F-t$ 图像、 $F-x$ 图像等。

二、分析动力学图像问题的方法

1. **分清图像类别:** 即分清横、纵坐标所代表的物理量, 明确其物理意义。
2. **建立图像与物体运动间的关系:** 把图像与具体的题意、情境结合起来, 明确图像反映的物理过程。

3. **建立图像与公式间的关系：**建立与图像对应的函数关系，然后根据函数关系读取信息或描点作图，特别要明确图像斜率、面积、截距等对应的物理意义。
4. **读图时要注意一些特殊点：**比如起点、截距、转折点、两图线的交点，特别注意临界点（在临界点物体运动形式往往发生变化）。

典例 3 如图 (a) 所示，原长 $x_0 = 0.3\text{m}$ 的轻质弹簧的下端固定在倾角为 θ 的固定光滑斜面体的底部，在弹簧的上端从静止开始释放质量为 1kg 的小球，小球的加速度大小 a 与弹簧长度 x 间的关系如图 (b) 所示。重力加速度 g 取 10m/s^2 ，忽略空气阻力，则 ()

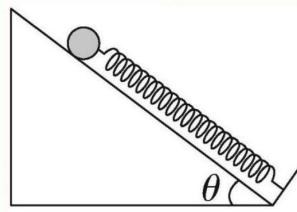


图 4: 图 (a)

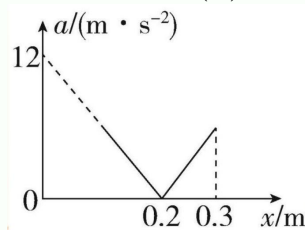


图 5: 图 (b)

- A. 斜面倾角的正弦值为 0.8
- B. 弹簧的劲度系数为 60N/m
- C. 小球的最大速度大小为 0.6m/s
- D. 小球运动到最低点时的加速度大小为 5m/s^2

提分关键 · 规律总结: 常见动力学图像斜率、面积表示的含义

注意物理图像里面有许多量（如切线斜率、与原点连线的斜率、函数图线与 x 或 y 轴围成的面积等）具有实际的物理意义，具体该如何分辨和识别应该与具体的物理量运算和物理公式的类型（定义式还是决定式）以及物理意义有关

- (1) $v-t$ 图像：斜率表示加速度，面积表示位移。
- (2) $a-t$ 图像：面积表示速度的变化量。
- (3) v^2-x 图像：斜率表示加速度的 2 倍。
- (4) $F-a$ 图像：斜率表示物体的质量。

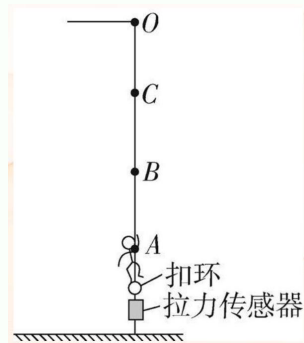
(5) $F-t$ 图像：面积表示力的冲量或动量的变化量。

(6) $F-x$ 图像：面积表示力做的功或动能的变化量。

2.3 超重和失重问题

	超重	失重	完全失重
现象	视重大于实重	视重小于实重	视重等于 0
加速度	方向向上	方向向下	竖直向下的加速度等于 g
原理	$F - mg = ma$	$mg - F = ma$	$F = 0$

典例 4 “反向蹦极”是蹦极运动中的一种类型。如图所示，弹性轻绳的上端固定在 O 点，拉长后将下端固定在体验者的身上，体验者再通过扣环与固定在地面上的拉力传感器相连，传感器的示数为 1200 N 。打开扣环，体验者从 A 点由静止释放，像火箭一样被“竖直发射”，经 B 点上升到最高位置 C 点，在 B 点时速度最大。体验者（包括装备）的质量 $m = 60\text{ kg}$ （可视为质点）。忽略空气阻力，重力加速度 g 取 10 m/s^2 。下列说法正确的是（ ）



- A. 上升过程，体验者的加速度先增大后减小
- B. 打开扣环瞬间，体验者的加速度大小为 20 m/s^2
- C. 在 B 点，体验者处于超重状态
- D. 在 C 点，体验者处于超重状态

提分关键·方法提升: 超重、失重的判断方法

最好的方法就是想象坐电梯的四个场景: 向上运动时 (电梯向上启动) → 加速向上 (超重) → 减速向上 (失重); 向下运动时 (电梯向下启动时) → 加速向下 (失重) → 减速向下 (失重), 从而达到判断加速度方向与速度方向呈什么关系时为哪种情景

(1) 从力的角度判断: 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 0 时, 物体处于完全失重状态。

(2) 从加速度的角度判断: 当物体具有向上的 (分) 加速度时, 物体处于超重状态; 具有向下的 (分) 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。

3 微专题 1 牛顿第二定律的综合应用

3.1 题型一: 动力学中的连接体问题

一、常见连接体问题的类型及其特点

1. 物物叠放连接体

物体通过弹力、摩擦力等作用, 具有相同的速度和加速度。

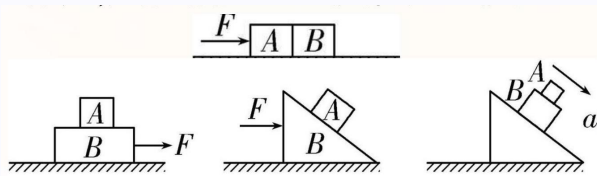


图 6: 速度、加速度相同

2. 轻绳连接体

轻绳在伸直状态下, 两端的连接体沿绳方向的速度大小总是相等, 轻绳对物体的弹力方向始终沿绳。

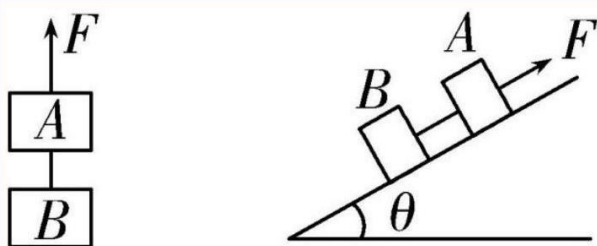


图 7: 速度、加速度相同

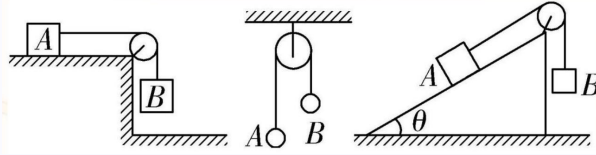


图 8: 速度、加速度大小相等, 方向不同

3. 轻杆连接体

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的; 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。

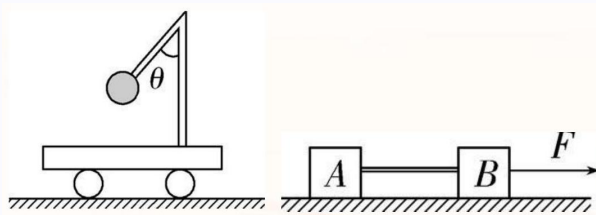


图 9: 速度、加速度相同

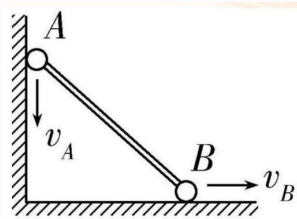


图 10: 沿杆方向的速度大小相等

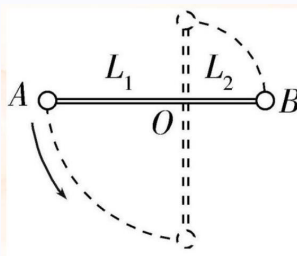
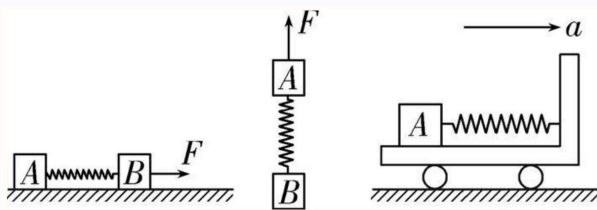


图 11: 角速度相同

4. 轻弹簧连接体

在弹簧发生形变的过程中, 两端连接体的速度不一定相等; 在弹簧形变量最大时, 两端连接体的速度相等。



二、处理连接体问题的方法

1. 方法：整体法与隔离法。

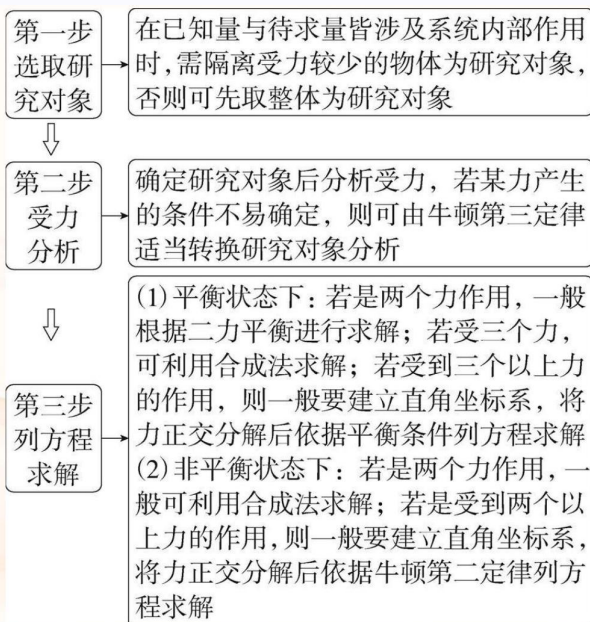
2. 选取原则：

(1) **整体法的选取原则**：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。

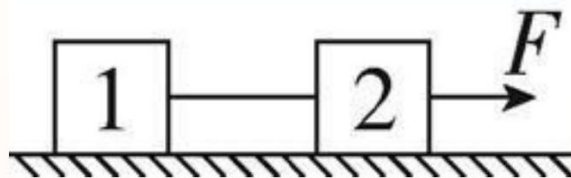
(2) **隔离法的选取原则**：若连接体内各物体的加速度不相同，或者要求出系统内两物体之间的作用力时，就需要把物体从系统中隔离出来，应用牛顿第二定律列式求解。

(3) **整体法、隔离法的交替运用**：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”。

三、解决连接体问题的基本思路



典例 1 如图所示，水平面上有两个质量分别为 m_1 和 m_2 的木块 1 和 2，中间用一条轻绳连接，两木块的材料相同，现用力 F 向右拉木块 2，当两木块一起向右做匀加速直线运动时，已知重力加速度为 g 。下列说法正确的是 ()



- A. 若水平面是光滑的, 则 m_2 越大, 绳的拉力越大
 B. 若木块和地面间的动摩擦因数为 μ , 则绳的拉力为 $\frac{m_1 F}{m_1 + m_2} + \mu m_1 g$
 C. 绳的拉力大小与水平面是否粗糙无关
 D. 绳的拉力大小与水平面是否粗糙有关

拓展设问

- (1) 两个质量分别为 m_1 和 m_2 的木块 1 和 2, 中间用一条轻绳连接。

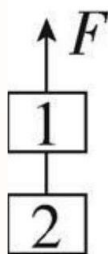


图 12: 甲

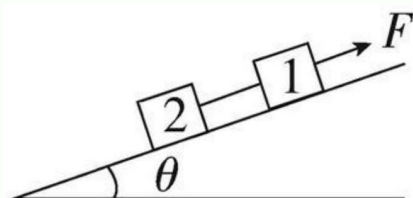
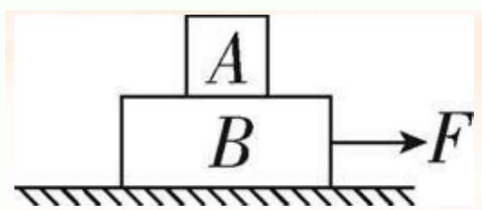


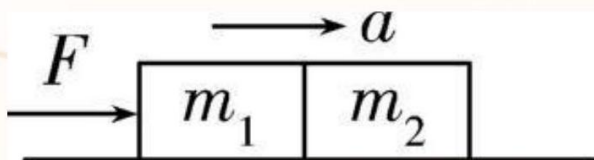
图 13: 乙

- (1) a. 如图甲所示, 用力 F 竖直向上拉木块时, 绳的拉力大小 $F_T = \underline{\hspace{2cm}}$ 。
 b. 如图乙所示, 用力 F 沿光滑斜面向上拉木块时, 绳的拉力大小 $F_T = \underline{\hspace{2cm}}$;
 斜面不光滑时绳的拉力大小 $F_T = \underline{\hspace{2cm}}$ 。
 (2) 若质量为 m_1 和 m_2 的木块 A 和 B 叠放在一起, 放在光滑水平面上, B 在拉力 F 的作用下, A 、 B 一起(相对静止)做匀加速直线运动, 则 A 受到的摩擦力大小为 $\underline{\hspace{2cm}}$ 。

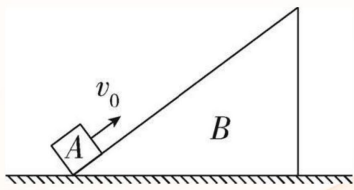


提分关键·方法提升: 连接体中力的“分配规律”

如图所示, 一起加速运动的物体系统, 若力 F 作用于质量为 m_1 的物体上, 则两物体间的相互作用力 $F_{12} = \frac{m_2 F}{m_1 + m_2}$ 。此结论与有无摩擦无关, 物体系统并排 (若有摩擦, 两物体与各接触面间的动摩擦因数必须相同), 沿水平面、斜面、竖直方向运动时, 此结论都成立。两物体的连接物为轻绳、轻杆或轻弹簧时, 此结论不变。



典例 2 如图所示, 滑块 A 以一定初速度从粗糙斜面体 B 的底端沿 B 向上滑, 然后又返回, 整个过程中斜面体 B 与地面间没有相对滑动。滑块向上滑和向下滑的两个过程中 ()



- A. 滑块向上滑动的时间等于向下滑动的时间
- B. 滑块向上滑动的时间大于向下滑动的时间
- C. 斜面体 B 受地面的摩擦力大小改变、方向不变
- D. 斜面体 B 受地面的支持力大小始终等于 A 与 B 的重力之和

提分关键·规律总结: 系统牛顿第二定律与其解题的一般步骤

题目中同时出现至少两个物体, 且这些物体之间通过直接接触、绳子、弹簧等约束方式形成一个整体, 但各部分的加速度并不相同。处理这类模型的动力学问题时可以使用一种特殊的连接体处理方式——系统牛顿第二定律。

(1) 系统牛顿第二定律

对于由多个物体组成的系统 (即整体), 系统所受的合力等于系统内各个物体所受合力的矢量和, 即 $F = m_1 a_1 + m_2 a_2 + m_3 a_3 + \cdots + m_n a_n$ (式中“+”表示矢量的合成运算)。将上式进行正交分解, 可得到

$$F_x = m_1 a_{1x} + m_2 a_{2x} + m_3 a_{3x} + \cdots + m_n a_{nx}$$

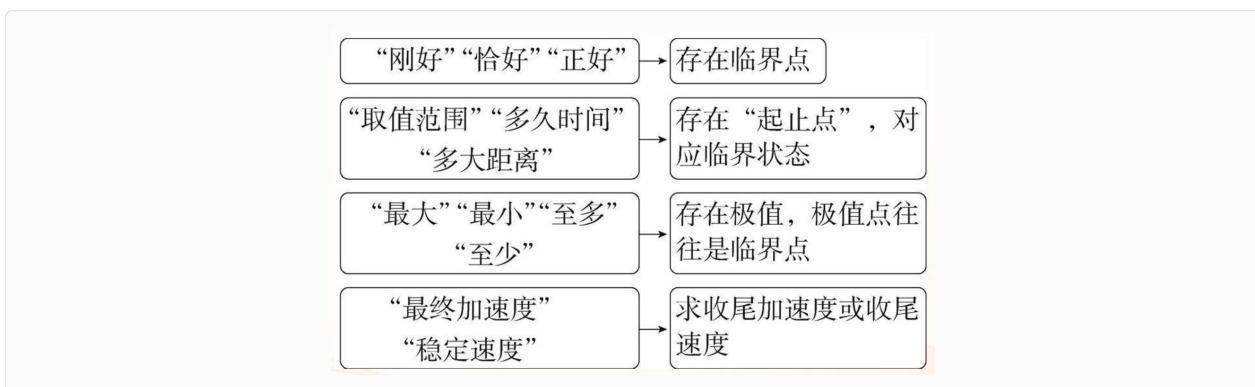
$$F_y = m_1 a_{1y} + m_2 a_{2y} + m_3 a_{3y} + \cdots + m_n a_{ny}$$

(2) 理解：通过上式可以发现，系统所受的力在 x 方向上的合力等于每一个物体的质量与 x 方向的加速度乘积之和，在 y 方向上也是如此。因此，在某些题目中，需要求解外力时，可以直接利用系统的牛顿第二定律进行求解和分析，不需要考虑内力，这是对常规整体法的一次提升，该方法有利于提高解题速度。

(3) 注意：应用系统牛顿第二定律只能求解外力，无法求解内力。

3.2 题型二：动力学中的临界极值问题

一、临界极值问题的辨别



二、常见的临界条件

1. 接触与脱离的临界条件：弹力 $F_N = 0$ 。
2. 相对滑动的临界条件：静摩擦力达到最大值。
3. 绳子断裂与松弛的临界条件：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：物体所受合力为 0。

三、解决临界极值问题的方法

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
假设法	临界问题存在多种可能，往往用假设法解决问题
函数法	将物理过程转化为函数关系式，根据函数关系式解出临界条件

典例 3 如图甲所示，轻质弹簧下端固定在水平面上，上端叠放着两个质量均为 m 的物体 A 、 B ，其中物体 B 与弹簧连接，初始时物体处于静止状态。 $t = 0$ 时，用竖直向上的拉力作用在物体 A 上，使 A 开始向上做匀加速运动，测得两物体的 $v - t$ 图像如图乙所示，已知重力加速度为 g ，则 ()

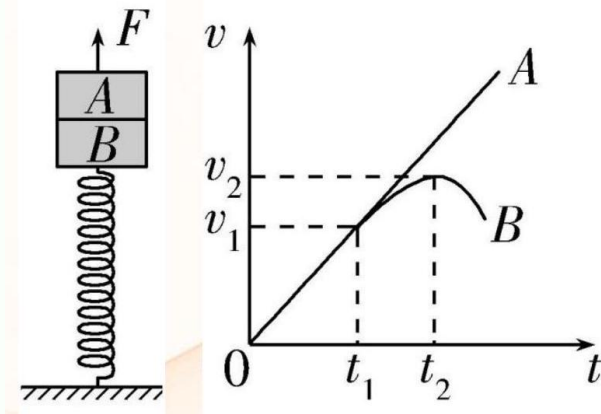
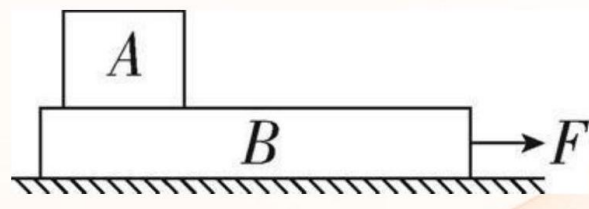


图 14: 左为甲、右为乙

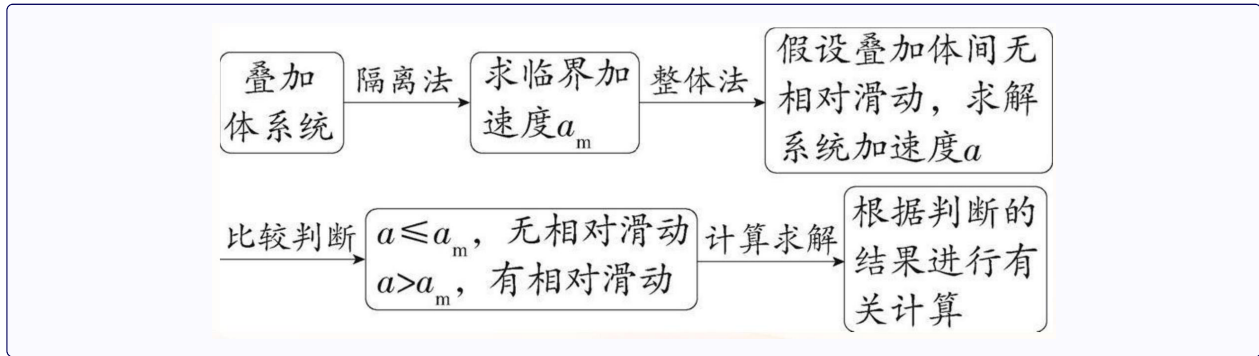
- A. $t = 0$ 时， F 的大小为 $m \left(2g - \frac{v_1}{t_1} \right)$
 B. 弹簧的劲度系数为 $\frac{2m}{t_1} \left(\frac{g}{v_1} - \frac{1}{t_1} \right)$
 C. A 、 B 分离时弹簧弹力的大小为 $m \left(g - \frac{v_1}{t_1} \right)$
 D. $0 \sim t_2$ 时间内， B 上升的高度为 $\frac{gv_1 t_1^2}{2(v_1 - v_2)}$

典例 4 (2024 届天津实验中学月考) (多选) 如图所示，质量分别为 $2m$ 和 m 的 A 、 B 两物块，静止叠放在水平地面上。 A 、 B 间的动摩擦因数为 μ ， B 与地面间的动摩擦因数为 0.5μ 。最大静摩擦力等于滑动摩擦力，重力加速度为 g 。现对 B 施加一水平拉力 F ，则下列说法正确的是 ()



- A. 当 $F = 2\mu mg$ 时， A 、 B 都相对地面静止
 B. 当 $F > 3\mu mg$ 时， A 、 B 间相对滑动
 C. 当 $F = 3\mu mg$ 时， B 的加速度等于 $0.5\mu g$
 D. 无论 F 为何值， A 的加速度不会超过 μg

提分关键·规律总结: 叠加体系统临界问题的求解思路



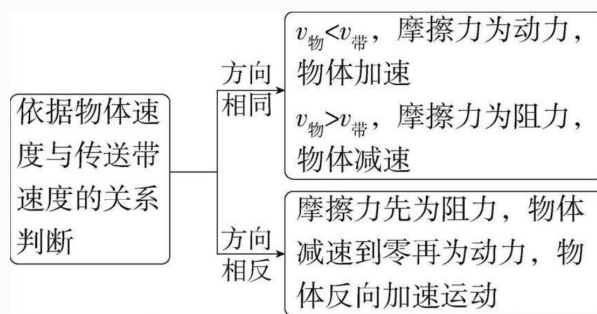
4 微专题 2 动力学中的传送带模型

一、传送带模型的实质

传送带模型一般分为水平传送带、倾斜传送带两种类型, 其实质是物体与传送带间的相对运动。

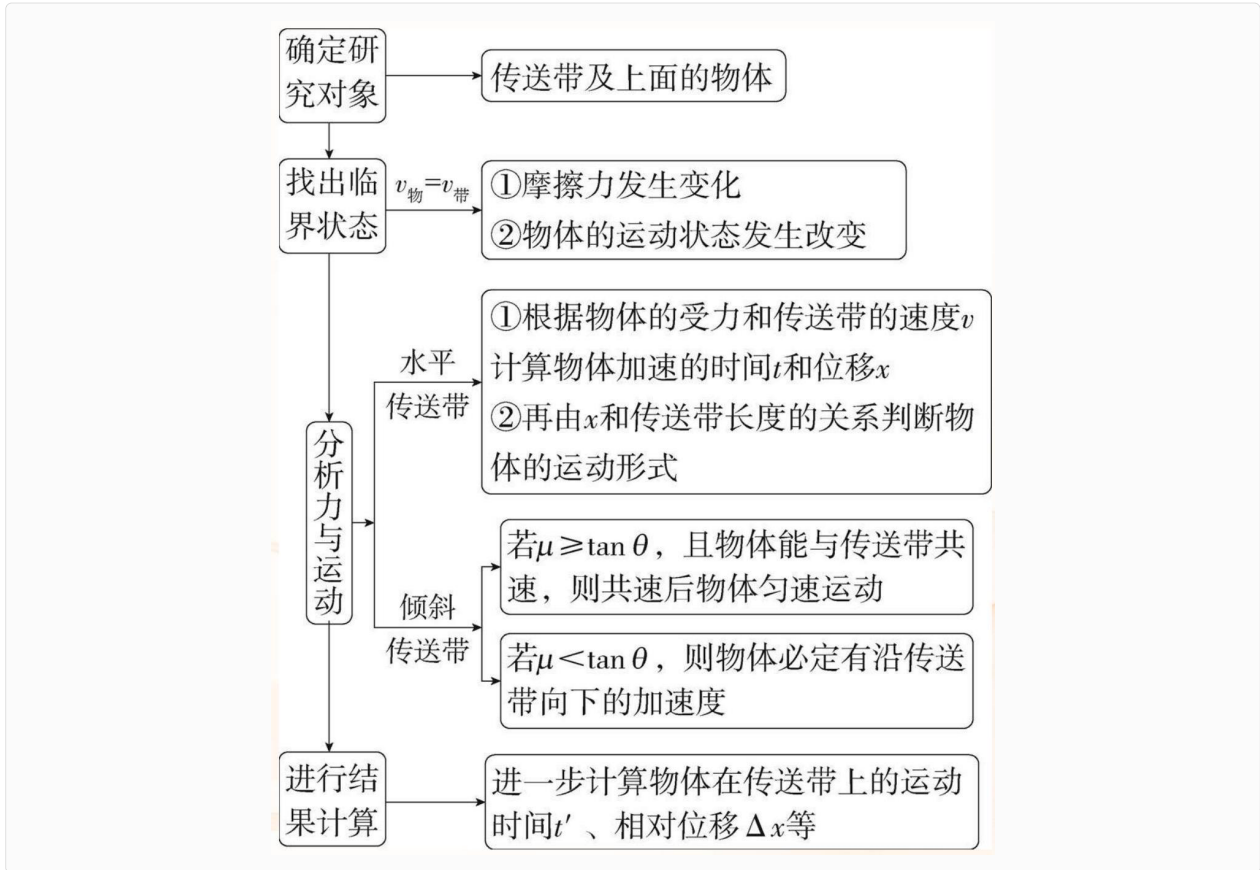
二、分析传送带模型的关键

分析传送带模型的关键在于对物体所受的摩擦力进行正确的判断。



当 $v = v$ (方向相同) 时, 摩擦力发生突变, 物体的加速度发生突变。

三、处理传送带模型问题的一般思路



四、解决传送带模型问题需要注意物体位移、相对位移和路程的区别。

- (1) 物体位移：以地面为参考系，单独对物体由运动学公式求得的位移。
- (2) 物体相对传送带的位移大小 Δx 。
 - (i) 若有一次相对运动： $\Delta x = x - x$ 或 $\Delta x = x - x$ 。
 - (ii) 若有两次相对运动：两次相对运动方向相同，则 $\Delta x = \Delta x_1 + \Delta x_2$ (图甲)；两次相对运动方向相反，则划痕长度等于较长的相对位移大小 Δx_2 (图乙)。

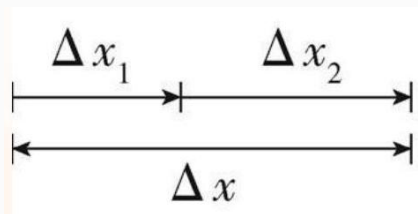


图 15: 甲

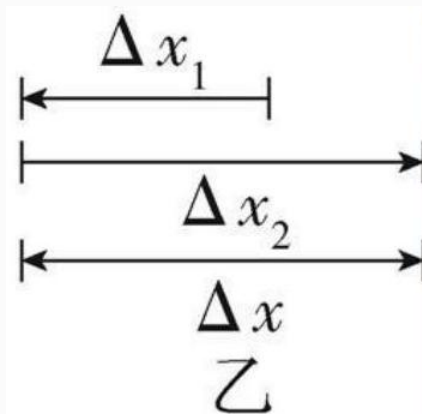


图 16: 乙

能力进阶

典例如图甲所示，传送带保持恒定速率 v 顺时针转动，现将一质量为 m 、可视为质点的物块轻轻放在传送带左端，物块和传送带之间的动摩擦因数为 μ 。已知传送带的水平长度为 L ($L > \frac{v^2}{2\mu g}$)，重力加速度为 g 。

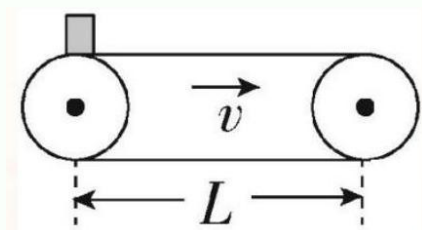


图 17: 甲

(1) 求物块从传送带左端到达右端的时间 t ；

若物块的下方有红色颜料，求物块在传送带上留下红色痕迹的长度 x 。

(2) 进阶 1 (情境变换，传送带由静止加速运动) 如图乙所示，若传送带足够长，初始时质量为 m 、可视为质点的物块与传送带均静止，某一时刻，让传送带以恒定加速度 a_0 开始运动，当其速度达到 v 后，传送带以此速度匀速转动。经过一段时间，物块在传送带上留下了一段红色痕迹后相对于传送带静止。已知物块和传送带之间的动摩擦因数为 μ ，且 $\mu < \frac{a_0}{g}$ ，最大静摩擦力等于滑动摩擦力。求红色痕迹的长度 s_0 。

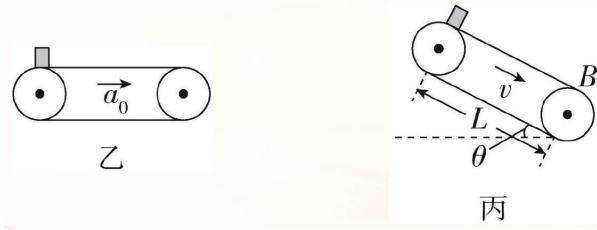


图 18: 乙

(3) 进阶 2 (水平传送带 \rightarrow 倾斜传送带 + 摩擦力突变分析) 将传送装置倾斜放置如图丙所示, 传送带长度为 L 、与水平面的夹角为 θ , 以恒定速率 v 顺时针运行, 将一质量为 m 、可视为质点的物块轻轻放在传送带上端, 物块和传送带之间的动摩擦因数为 μ , 且 $\mu < \tan \theta$ 。最大静摩擦力等于滑动摩擦力。求物块到达 B 端时的速度大小 v_1 。(超级难算预警!!)

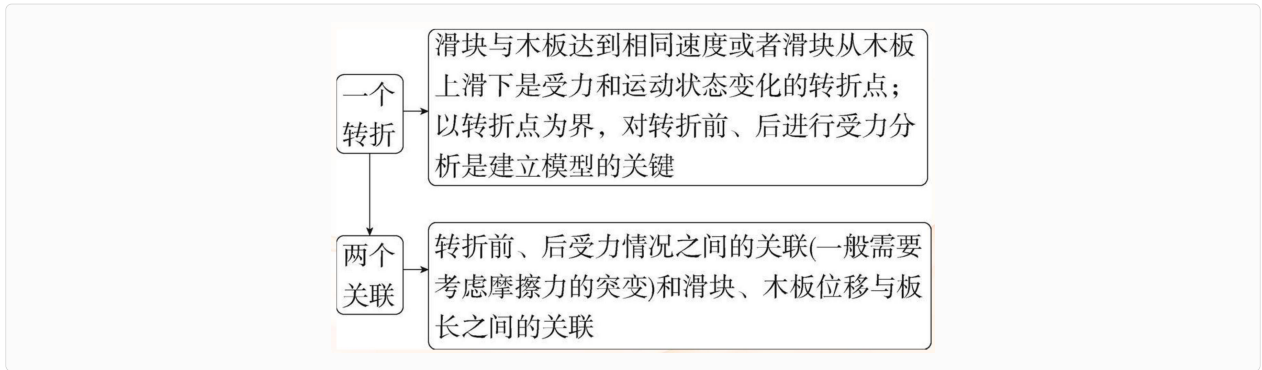
提分关键 · 模型突破：常见传送带模型分析

常见情境	速度关系	传送带足够长时的情况 ($a = \mu g$)	传送带不够长时的情况 ($a = \mu g$)
物块初速度与传送带 同向 (传送带速度方向为正)	$v_0 = v$	一直匀速运动	—— (无相对运动, 直接匀速)
	$0 \leq v_0 < v$	若 $l > \frac{v^2 - v_0^2}{2\mu g}$: 先以 $a = \mu g$ 匀加速, 后匀速至 v ;	若 $l \leq \frac{v^2 - v_0^2}{2\mu g}$: 始终匀加速, 未达到 v 。
	$v_0 > v$	若 $l > \frac{v_0^2 - v^2}{2\mu g}$: 先以 $a = \mu g$ 匀减速, 后匀速至 v ;	若 $l \leq \frac{v_0^2 - v^2}{2\mu g}$: 始终匀减速, 未减至 v 。
物块初速度与传送带 反向 (传送带方向为正)	$v_0 > v$ (反向更快)	若 $l > \frac{v_0^2}{2\mu g}$: 先匀减速至 0, 再沿正方向匀加速, 最终匀速至 v ;	若 $l \leq \frac{v_0^2}{2\mu g}$: 始终匀减速, 未减至 0。
	$v_0 \leq v$ (反向较慢)	若 $l > \frac{v_0^2}{2\mu g}$: 先匀减速至 0, 再沿正方向匀加速;	若 $l \leq \frac{v_0^2}{2\mu g}$: 始终匀减速, 未减至 0。

常见情境	物块初速度 v_0	传送带足够长时的运动情况	传送带不够长时的运动情况
传送带 向上运动 $\mu > \tan \theta$ 物块初速度沿传送带 向上	$0 \leq v_0 < v$	加速度 $a = (\mu \cos \theta - \sin \theta)g$; 若 $l > \frac{v^2 - v_0^2}{2a}$, 物块先匀加速后匀速	若 $l \leq \frac{v^2 - v_0^2}{2a}$, 物块一直匀加速
	$v_0 = v$	一直匀速运动	—— (无相对运动, 直接匀速)
	$v_0 > v$	加速度 $a = (\mu \cos \theta + \sin \theta)g$; 若 $l > \frac{v_0^2 - v^2}{2a}$, 物块先匀减速后匀速	若 $l \leq \frac{v_0^2 - v^2}{2a}$, 物块一直匀减速
传送带 向上运动 $\mu < \tan \theta$ 物块初速度沿传送带 向上	$0 < v_0 < v$	加速度 $a = (\sin \theta - \mu \cos \theta)g$; 若 $l > \frac{v_0^2}{2a}$, 物块先匀减速后反向匀加速	若 $l \leq \frac{v_0^2}{2a}$, 物块一直匀减速
	$v_0 > v$	加速度分两阶段: 先 $a_1 = (\mu \cos \theta + \sin \theta)g$ (匀减速到 v), 后 $a_2 = (\sin \theta - \mu \cos \theta)g$ (继续减速/反向加速); 若 $l > \frac{v_0^2 - v^2}{2a_1} + \frac{v^2}{2a_2}$, 物块先以 a_1 匀减速到 v , 再以 a_2 匀减速, 最后反向匀加速	若 $l \leq \frac{v_0^2 - v^2}{2a_1}$, 物块一直以 a_1 匀减速; 若 $\frac{v_0^2 - v^2}{2a_1} < l \leq \frac{v_0^2 - v^2}{2a_1} + \frac{v^2}{2a_2}$, 物块先以 a_1 匀减速到 v , 再以 a_2 匀减速
传送带 向上运动 $\mu > \tan \theta$ 物块初速度沿传送带 向下	$0 \leq v_0 < v$	加速度 $a = (\mu \cos \theta + \sin \theta)g$; 若 $l > \frac{v^2 - v_0^2}{2a}$, 物块先匀加速后匀速	若 $l \leq \frac{v^2 - v_0^2}{2a}$, 物块一直匀加速
	$v_0 = v$	一直匀速运动	—— (无相对运动, 直接匀速)
	$v_0 > v$	加速度 $a = (\mu \cos \theta - \sin \theta)g$; 若 $l > \frac{v_0^2 - v^2}{2a}$, 物块先匀减速后匀速	若 $l \leq \frac{v_0^2 - v^2}{2a}$, 物块一直匀减速

5 微专题 3 动力学中的滑块 - 木板模型

一、分析滑块 - 木板模型的关键



二、处理滑块 - 木板模型问题的一般思路



类型 1 水平面上的滑块 - 木板模型

典例 1 (2024 届四川成都七中月考) (多选) 如图所示, 质量为 m_1 的小铁块和质量为 m_2 的长木板静止叠放在水平地面上, 铁块位于木板的最左端, $m_1 = m_2 = m$, 木板长为 L , 铁块可视为质点。铁块与长木板间的动摩擦因数 $\mu_1 = 3\mu$ (μ 为已知量), 长木板与地面间的动摩擦因数 $\mu_2 = \mu$, 且最大静摩擦力与滑动摩擦力相等, 重力加速度为 g 。现对铁块施加一个水平向右的恒定拉力 F , 下列说法正确的是()



- A. 若 $F = 7\mu mg$, 铁块需经过 $\sqrt{\frac{2L}{3\mu g}}$ 才能离开木板
 B. 若 $F = 7\mu mg$, 铁块需经过 $\sqrt{\frac{L}{3\mu g}}$ 才能离开木板
 C. 为使铁块能离开木板, 且离开木板时铁块相对于地面的速度最小, F 应该为 $3\mu mg$
 D. 为使铁块能离开木板, 且离开木板时铁块相对于地面的速度最小, F 应该为 $5\mu mg$

典例 2 一长木板置于粗糙水平地面上, 木板左端放置一可视为质点的小物块, 在木板右侧有一墙壁, 木板右端与墙壁的距离为 4.5 m , 如图 1 所示。从 $t = 0$ 时刻开始, 小物块和木板一起以共同速度向右运动, 直至 $t = 1\text{ s}$ 时木板与墙壁碰撞, 碰撞时间极短, 碰撞前后木板的速度大小不变、方向相反; 运动过程中小物块始终未离开木板。已知碰撞后 1 s 时间内小物块的 $v-t$ 图像如图 2 所示, 木板的质量是小物块质量的 15 倍, 重力加速度 g 取 10 m/s^2 。

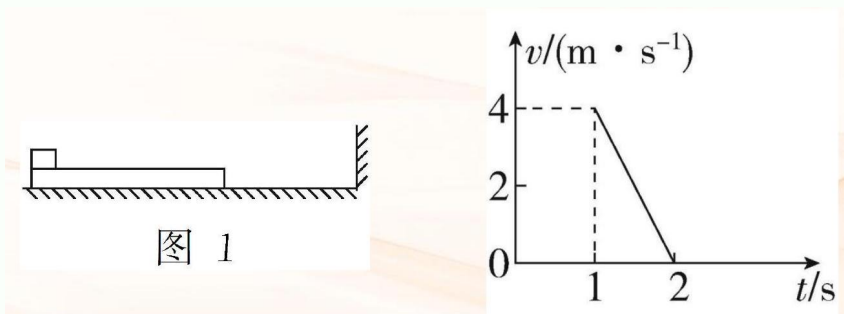


图 19: 图 2

- (1) 求木板与墙壁碰撞前的加速度 a ;
- (2) 求木板与地面之间的动摩擦因数 μ_1 和小物块与木板之间的动摩擦因数 μ_2 ;
- (3) 求木板在 $t = 2\text{ s}$ 时的速度 v_1 ;
- (4) 求木板的最小长度 L 和木板右端到墙壁的最终距离 s 。

提分关键 · 模型突破: 水平面上的滑块 - 木板模型分类解读

1. 力作用在“块”上

示意图		
条件	水平面光滑: $\mu \neq 0, \mu' = 0$	水平面粗糙: $\mu \neq 0, \mu' \neq 0$ 且 $\mu mg > f = \mu'(m+M)g$
相对静止过程	① “板块”对地静止: 对整体有 $F=0$ ② “板块”相对静止对地共同加速: 对整体有 $F=(m+M)a$ 对“块”有 $F-f_{\text{静}}=ma$ 对“板”有 $f_{\text{静}}=Ma$	① “板块”相对地面静止: 对整体有 $F=f_{\text{地静}}$ ② “板块”相对静止对地共同加速: 对整体有 $F-f=(m+M)a$ 对“块”有 $F-f_{\text{静}}=ma$ 对“板”有 $f_{\text{静}}-f=Ma$

类型 2 斜面上的滑块 - 木板模型

典例 3 如图甲所示, 光滑斜面体上有固定挡板 A, 斜面体上叠放着小物块 B 和薄木板 C, 木板下端位于挡板 A 处, 整体处于静止状态。木板 C 受到逐渐增大的沿斜面向上的拉力 F 作用时, 木板 C 的加速度 a 与拉力 F 的关系图像如图乙所示, 已知最大静摩擦力等于滑动摩擦力, 重力加速度 g 取 10m/s^2 , 则由图像可知下列说法正确的是 ()

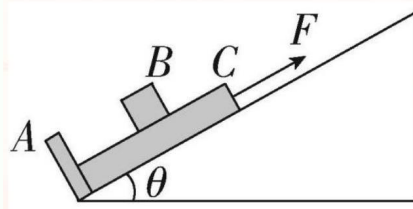


图 20: 甲

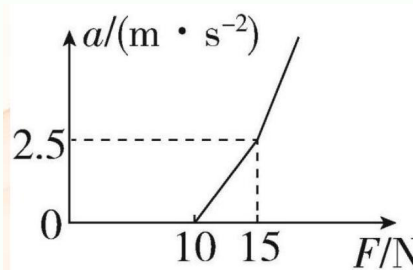


图 21: 乙

- A. 当 $10\text{N} < F < 15\text{N}$ 时物块 B 和木板 C 相对滑动
- B. 不能求出木板和物块两者间的动摩擦因数

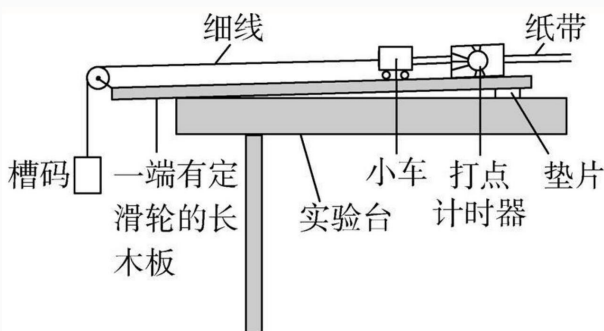
- C. 由题目条件可求出木板 C 的质量
- D. 当 $F > 15N$ 时物块 B 和木板 C 相对滑动

提分关键 · 方法提升: 斜面上的滑块 - 木板模型的解题关键

- (1) 斜面上的滑块 - 木板模型的复杂性主要来源于滑块和木板的多过程运动分析及关键状态的受力分析, 要注意方法的选取。
- (2) 判断滑块和木板能否相对静止利用假设法和整体隔离的方法, 而出现相对运动时要通过牛顿运动定律和运动学公式计算是否出现共速和有无滑离的情形。
- (3) 以时间为轴线画出过程示意图逐步分析。

6 实验 探究加速度与物体受力、物体质量的关系

6.1 实验原理及装置图



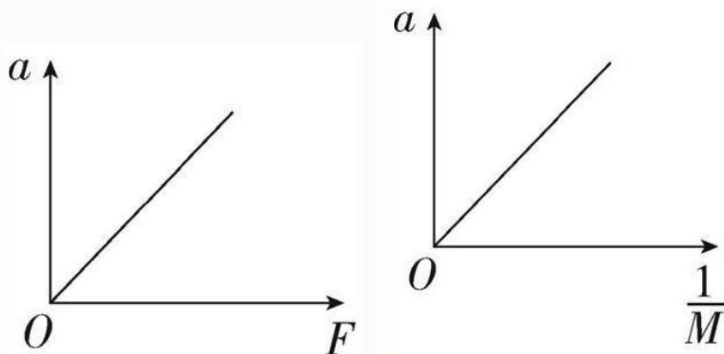
实验装置如图所示，用控制变量法先保持 F 不变，探究 a 和 M 的关系，再保持 M 不变，探究 a 和 F 的关系。加速度可以根据纸带上打出的点测量，拉力近似等于槽码的重力。

6.2 操作要领及注意事项

1. 如何平衡阻力：按图安装实验器材，先不要悬挂槽码，给小车一初速度，若小车恰好能做匀速直线运动（纸带点迹分布均匀），则说明平衡了小车受的阻力。实验过程中要求细线与长木板平行，不用重复进行平衡阻力。
2. 槽码和小车的质量应满足什么关系：由于本实验中把槽码的总重力大小 mg 看成小车受到的拉力大小 F ，所以需要使槽码的质量远小于小车的质量（若使用力传感器测拉力 F 或以小车和槽码整体为研究对象，则无需满足此要求）。
3. 实验操作时需要注意哪些细节：改变拉力或小车质量后，每次开始时小车应尽量靠近打点计时器，先接通电源，后释放小车，且在小车到达滑轮前按住小车。

6.3 数据处理（如图所示）

1. 利用 $\Delta x = aT^2$ 求加速度。

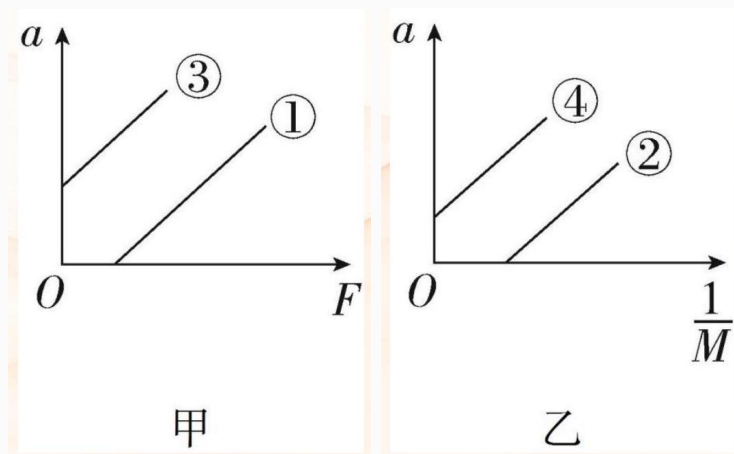


2. 以 a 为纵坐标， F 为横坐标，根据各组数据描点连线，如果图线为一条过原点的倾

斜直线, 说明 a 与 F 成正比。

3. 以 a 为纵坐标, $\frac{1}{M}$ 为横坐标, 描点连线, 如果图线为过原点的倾斜直线, 就能判定 a 与 M 成反比。

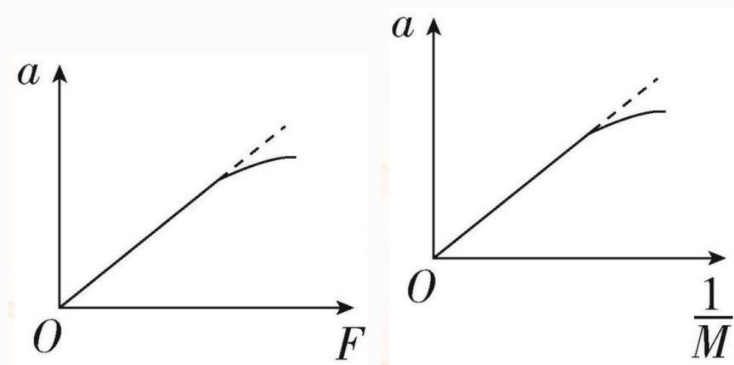
4. $a - F$ 、 $a - \frac{1}{M}$ 图像的可能情形及对应原因



(1) 若平衡阻力时木板垫起的倾角过小, 则 $a - F$ 、 $a - \frac{1}{M}$ 图像如图甲、乙中 (1) (2) 所示。

(2) 若平衡阻力时木板垫起的倾角过大, 则 $a - F$ 、 $a - \frac{1}{M}$ 图像如图甲、乙中 (3) (4) 所示。

(3) 若实验中没有满足 M 远大于 m , 则 $a - F$ 、 $a - \frac{1}{M}$ 图像如下左图、下右图所示。

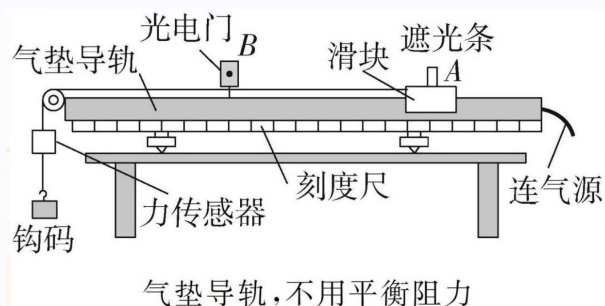


6.4 误差分析

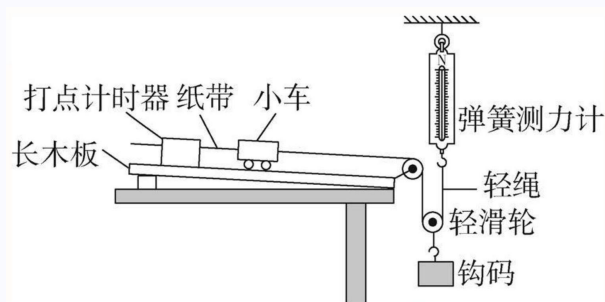
1. **拉力数据误差:** 由于将槽码的重力 mg 当作细线的拉力, 而实际重力 mg 大于拉力 F 。
2. **阻力补偿误差:** 若长木板坡度调节不合理, 可能导致作出的图线不经过坐标原点。

6.5 改进方案

1. 实验器材的创新

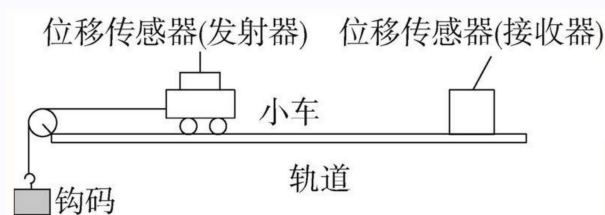


2. 测量拉力的创新



弹簧测力计（或力传感器）可直接测量绳的拉力，不必保证小车质量远大于钩码的总质量。

3. 减小测量误差的创新



位移传感器、光电门和速度传感器可以更加精确地测出小车的位移或瞬时速度。