



# 求新 求实 求活

中国教育学会物理教学专业委员会会刊  
全国中文核心期刊

# 8

## 2020

2020年第8期  
(第41卷 总第449期)

### 指向科学思维培育的初中物理实验教学问题设计 ——以“液化”为例

…………… 黄树清 卢倩(43)

### 基于提升物理观念的课堂教学设计

——以初中物理“运动的相对性”一节的

教学为例 …………… 杨树靖 刘炳昇(46)

### 聚焦物理概念建构的初中生科学思维能力提升策略

——以苏科版初中物理教材中的物理概念

建构为例 …………… 叶成林(49)

### 物理实验

#### 问题导引激发思维 追根溯源提升素养

——用传感器和 DataStudio 软件探究小电珠的伏安特性曲线

…………… 夏良英 王云天(53)

#### 探究“蹲下站起”过程 演示“超重失重”实验

——“数字化”体重计的创新设计与发明

…………… 陈显盈 尤爱惠 谢作如(55)

### 问题讨论

#### 万有引力与距离平方成反比的牛顿式几何证明

——解读经典之《自然哲学的数学原理》

…………… 王磊 陈建文(57)

#### 弹性碰撞次数与 $\pi$ 的关联

…………… 张伟(60)

#### 基于折射定律对透镜成像的理论计算及近似处理

…………… 赵清锋(62)

### 物理·技术·社会

#### 由对日偏食的简单观测估计日月直径

…………… 赵芸赫 兰鑫 黄敏等(64)

### 现代教学技术

#### 利用 matlab 软件分析一个物理情景

…………… 陈建伟(67)

### 高考命题研究

#### 高考评价体系在高考试题中的体现及启示

——以 2020 年物理全国卷为例

…………… 田成良(70)

#### 探析一类“非常规”高考试题的解题策略

——由 2020 年全国物理 I 卷第 17 题引发

的思考 …………… 蔡钊 陈信余(74)

#### 2020 年全国 I 卷物理试题分析及教学启示

…………… 刘长灿(78)

#### 2020 年全国 I 卷理综第 33 题第(2)问解法探析

及启示 …………… 杨勇(81)

### 复习与考试

#### 巧设微专题,提升教材习题的应用价值

——以“电磁感应:单棒切割问题”为例

…………… 祁红菊(83)

#### 有关“轻杆”的习题研究 …………… 卢敏翔(86)

#### 由一道高考题的演变探讨物理核心素养的考查

…………… 黄瑞花(89)

### 竞赛园地

#### 能量高低与稳定性的探讨

…………… 张念依 邓楚楚 林琪等(93)

### 大学物理园地

#### 中美大学物理教材比较与教学改革思考

…………… 曹海霞(94)



扫描全能王 创建

# 有关“轻杆”的习题研究

卢敏翔

(苏州工业园区星海实验中学, 江苏 苏州 215000)

**摘要:** 轻杆是高中物理中非常重要的理想化模型, 不计质量的杆有什么特点, 在习题中应该如何处理, 要注意什么问题, 本文通过各种典型例题的分析, 从常见的“动杆”、“定杆”的受力特点出发, 由浅入深, 全面剖析轻杆在各种习题中的处理技巧。

**关键词:** 理想化模型; 轻杆; 定杆; 动杆

理想化模型的建立过程渗透着研究问题时抓住主要因素、忽略次要因素的哲学思想. 建立理想化模型是简化物理研究的重要手段, 是一种非常重要的科学研究方法. 轻杆是物理学中常见的理想化模型, 轻杆在物理上是指不计质量不计形变的刚性杆, 具有以下特点.

(1) 合力为 0. 根据牛顿第二定律, 轻杆的合力必然为 0. 如果轻杆只受两个力, 那么这两个力一定是等大反向的, 如果受到 3 个力的作用, 那么这 3 个力一定是共点力(三力汇交原理).

(2) 速度可以突变. 质量是惯性大小的唯一量度, 质量为 0, 说明物体运动状态的改变就没有了难度, 瞬间就可以获得任意大的速度, 这就意味着轻杆的速度是可以突变的.

(3) 不具有任何能量. 质量不计, 意味着轻杆不具有动能, 势能. 轻杆速度突变时无需外力做功, 也无需消耗任何能量.

在处理轻杆的问题时, 要优先抓住轻杆的以上特点来进行分析. 下面通过典型的例题, 从常见的“动杆”、“定杆”的受力特点出发, 由浅入深, 全面剖析轻杆在各种习题中的处理技巧.

## 1 “动杆”、“定杆”的受力特点

例 1. 如图 1(a) 所示, 水平轻杆 BC 的 B 端固定, C 端有一定滑轮; 如图 1(b) 所示, 水平轻杆 BC 的 B 端连接铰链, C 端摩擦很大, 绳无法移动. 当物体静止时,  $\angle\theta$  均为  $30^\circ$ , 均不计绳子的质量, 求两种情况下杆 C 端对外的弹力大小?

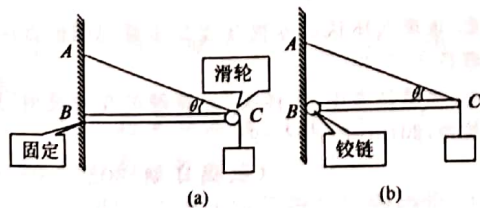


图 1

解析: 图 1(a) 中的 C 端受力分析如图 2(a) 所示, 先求出拉力  $T_1$  和  $T_2$  的合力  $T_{\text{合}} = T_2 = T_1 = mg$ , 再根据平衡特点得到  $F$  与  $T_{\text{合}}$  等大反向, 易知杆 C 端对外的弹力大小为  $F_N = mg$ .

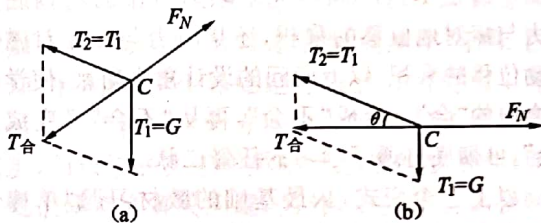


图 2

图 1(b) 中 C 端的受力分析如图 2(b) 所示, 易知杆 C 端对外的弹力大小为  $F_N = \sqrt{3}mg$ .

总结: 例 1 是涉及“定杆”和“动杆”受力特点的典型问题. 这类问题往往会和轻绳结合起来. 图 1(a) 中的轻杆由于 B 端固定, 因此是一根“定杆”, “定杆”对外提供的力不一定沿杆的方向; C 端有光滑定滑轮, 因此滑轮两边的绳的是可以自由活动的, 这样的结点称为“活结”, “活结”两边绳的力一定是等大的. “定杆”本质上是轻杆一端和外界固定, 组合成了一个整体, 共同对外施力, 方向可以沿任意方向, 受力分析时不能单独将“定杆”进行受力分析, 需将“定杆”和固连的外界作为一个整体考虑. 图 1(b) 中的杆由于 B 端可转动, 因此是一根“动杆”, 要使得“动杆”平衡, 外界对杆的力必须沿杆的方向, 否则杆就会转动, 因此杆对外界的力也必须沿杆的方向; C 端结点两边的绳由于摩擦太大不能移动, 因此是一个“死结”, “死结”两边的绳的拉力大小不一定相等. “动杆”由于可动, 因此静止时, 其合力必为 0 (考虑转动时, 其合力矩也必为 0).

## 2 “动杆”和“定杆”的拓展

例 2. 如图 3(a) 所示, 已知小球质量为  $m$ , 小车以加速度  $a$  向左做匀加速直线运动, 装置中两轻杆固定连接, 斜杆与竖直方向均成  $\theta$  角度, 试求



轻杆对小球的作用力?

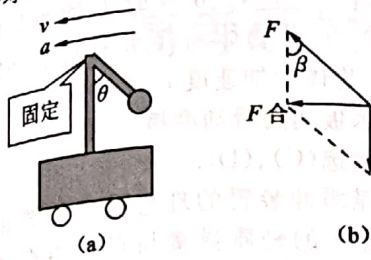


图3

解析:对小球进行受力分析,如图3(b)所示,可知  $F = m\sqrt{g^2 + a^2}$ ,  $F$  与竖直方向的夹角  $\beta$  满足  $\tan\beta = \frac{ma}{mg} = \frac{a}{g}$ .

例3.如图4(a)中轻杆BC的B端用铰链接在竖直墙上,另一端C为一轻滑轮.重物G上系一轻绳经过滑轮固定于墙上A点处,杆恰好平衡.若将绳的A端沿墙缓慢向下移(摩擦均不计),则绳的拉力和BC杆对绳子的作用力各如何变化?

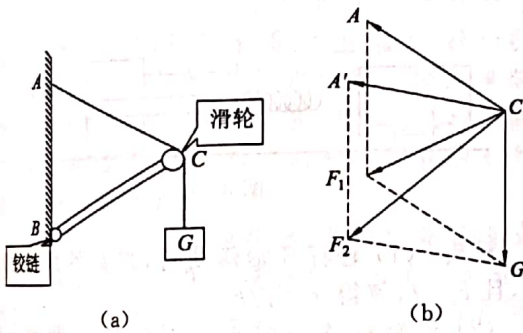


图4

解析:轻杆C端为光滑定滑轮,因此绳AC上的拉力和重物的重力G是一直恒等不变的;轻杆B端和铰链相连,是“动杆”,绳AC上的拉力和重物重力的合力F应该要沿杆方向,当绳A端下移时,合力会由  $F_1$  增加到  $F_2$ ,如图4(b)所示,因此BC杆对绳子的作用力增大.

例3中很多学生在进行受力分析时,误认为杆对小球的弹力F与竖直方向的夹角  $\beta$  和题目中给的角  $\theta$  是同一个角,得出  $F = mg/\cos\theta$  的错误答案,产生这个错误的原因就是没有认识到整根杆是一根“定杆”,对外提供的弹力F不一定杆沿杆的方向,只有满足  $a = g\tan\theta$  时,才满足  $\beta = \theta$ ,也即此时杆对小球的弹力才沿杆的方向.例3分析时既要注意到BC杆是“动杆”,结点C是“活结”之外,还要意识到当绳A端下移时,杆BC的形态必然会变化,即BC杆与竖直墙壁的夹角会减小,这是本题的一个难点,也是很多学生在进行受力分析时容易糊涂的地方.

3 轻杆在受力分析中的处理技巧

有一些涉及轻杆模型的题目的情景简单,但是受力分析却很难,解题的关键是如何通过轻杆的特点做出正确的受力分析图.

例4.如图5(a)所示,AC为轻绳,BC为弯曲的硬轻杆,B端用铰链接于竖直墙上,且  $AC = BC$ ,当C端挂一质量为m的物体时,绳AC的拉力为多大?

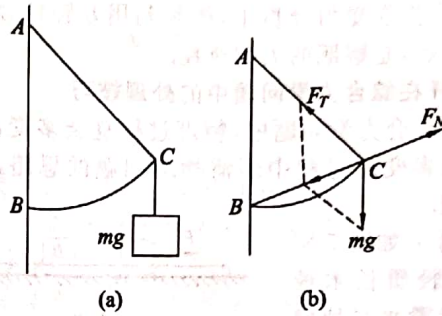


图5

解析:以C点为研究对象,轻杆对C点的弹力  $F_N$  方向一定是沿BC连线方向,作出C点受力示意图如图5(b)所示.利用力的矢量三角形和几何三角形相似,可得  $F_T = mg$ .

例5.轻质横杆OB,O端用铰链固定在墙上,B点用轻绳拉紧,使杆处于水平状态,在B点挂重为G的物体,如图6(a)甲所示,AB和OB的夹角为  $\theta$ ,在把重物的悬挂点向O端移动的过程中,求墙对杆作用力的最小值.

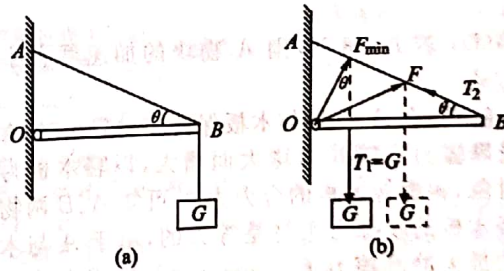


图6

解析:该题中的重物的悬挂点向左移动,考虑整根杆的受力,轻杆受到重物的拉力  $T_1$ ,AB绳的拉力  $T_2$ ,以及墙对杆的力F,如图6(b)所示.由于杆的合力为0,根据3力汇交原理,这3个力必然是共点力,由于  $T_2$  的方向始终不变,因此F与  $T_2$  垂直时,F最小,最小值  $F_{min} = G\cos\theta$ .

面对较难的受力分析时,一定要抓住轻杆的合力为0,从而得到正确的受力分析图.例3的关键在于如何确定轻杆对C点的弹力方向,如果仅仅是考虑结点C的受力是无法确定轻杆对C点的弹力方向,此时应该转换研究对象.先对轻杆进行



受力分析,轻杆受到两个力的作用,即两个端点对杆的作用力.由于杆处于静止状态,这两个力一定是一对平衡力,方向必在 B 点与 C 点连线上,从而反过来可以得到杆对 C 的作用力一定是沿 BC 方向的.例 4 的关键是需对整根轻杆进行受力分析,抓住轻杆处于静止状态,巧妙地运用 3 力汇交,结合动态图像处理力的大小变化特征,避免了繁琐的数学计算.两道题的模型简单,但是受力分析并不简单,而在受力分析中,能否利用好轻杆合力为零的特点,是解题的关键所在.

#### 4 轻杆在综合力学问题中的处理技巧

在综合力学问题中,物理过程复杂多变,如何在复杂多变的过程中理清物理问题的思路,轻杆是关键.

例 6.如图 7 所示,一轻质长木板置于光滑水平地面上,木板上放着质量分别为  $m_A=2\text{ kg}$  和  $m_B=1\text{ kg}$  的 A、B 两个物块,A、B 与木板之间的动摩擦因数都为  $\mu=0.2$ ,水平恒力  $F$  作用在 A 物块上,则下列说法正确的是(重力加速度  $g=10\text{ m/s}^2$ ,最大静摩擦力等于滑动摩擦力)

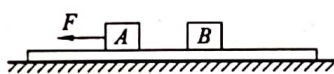


图 7

- (A) 若  $F=1\text{ N}$ ,则物块、木板都静止不动.
- (B) 若  $F=1.5\text{ N}$ ,则 A 物块所受摩擦力大小为  $1.5\text{ N}$ .
- (C) 若  $F=6\text{ N}$ ,则 B 物块所受摩擦力大小为  $2\text{ N}$ .
- (D) 若  $F=8\text{ N}$ ,则 A 物块的加速度大小为  $3\text{ m/s}^2$ .

解析:在 A、B 均与木板保持相对静止时,A、B 所受摩擦力会随拉力增大而增大,以轻木板为研究对象,根据轻木板的合力为 0,可知 A、B 两物体对轻木板的摩擦力始终是等大的,由于 A 与木板间的最大静摩擦力  $f_A=\mu m_{AG}=4\text{ N}$ ,B 与木板间的最大静摩擦力  $f_B=\mu m_{BG}=2\text{ N}$ ,所以一定是 B 物体所受摩擦力先达到最大静摩擦力.设 B 物体所受摩擦力刚达到最大静摩擦力时,拉力为  $F$  临界,对整个系统使用牛顿第二定律得  $F_{\text{临界}}=(m_A+m_B)a_{\text{临界}}$ .对物块 B 使用牛顿第二定律得  $f_B=m_B a_{\text{临界}}$ .联立求解得  $F_{\text{临界}}=6\text{ N}$ , $a_{\text{临界}}=2\text{ m/s}^2$ .当  $F=1\text{ N}<6\text{ N}$  时,A、B 均与木板保持相对静止,整体在  $F$  的作用下向左做匀加速运动,(A)错误.当  $F=1.5\text{ N}<6\text{ N}$  时 A、B 均与木板保持相对静止,对整个系统使用牛顿第二定律得  $1.5\text{ N}=(m_A+m_B)a$ .对物块 A 使用牛顿第二定律得  $F-f_A=m_A a$ .联立求解得  $f_A=1\text{ N}$ , (B)错误.当  $F=$

$6\text{ N}$  时 B 物块所受摩擦力恰好达到最大静摩擦力, (C)正确.当  $F=8\text{ N}>6\text{ N}$  时 B 物块与轻木板间发生相对滑动,A 物体与轻木板间不会发生相对滑动,则 A 物体的加速度  $F-f=m_A a_A$ ,其中  $f$  等于 B 与轻木板间的滑动摩擦力,得到  $a_A=3\text{ m/s}^2$ , (D)正确,故选(C)、(D).

例 7.某缓冲装置的理想模型如图 8 所示,劲度系数足够大的轻质弹簧与轻杆相连,轻杆可在固定的槽内移动,与槽间的滑动摩擦力恒为  $f$ .轻杆向右移动不超过  $L$  时,装置可安全工作.一质量为  $m$  的小车若以速度  $v_0$  撞击弹簧,将导致轻杆向右移动  $L/4$ ,轻杆与槽间的最大静摩擦力等于滑动摩擦力,且不计小车与地面的摩擦.求:

(1)若弹簧的劲度系数为  $k$ ,轻杆开始移动时弹簧的压缩量  $x$ ;

(2)为使装置安全工作,允许该小车撞击的最大速度  $v_m$ ;

(3)讨论在装置安全工作时,该小车弹回速度  $v'$  和撞击速度  $v$  的关系.

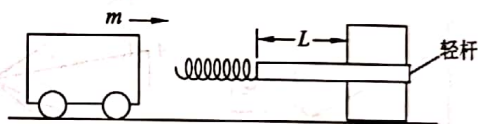


图 8

解析:(1)轻杆开始移动时,弹簧的弹力  $F=kx$ ,且  $F=f$ ,解得  $x=f/k$ .

(2)设轻杆移动前小车对弹簧所做的功为  $W$ ,则小车从撞击到停止的过程中由动能定理得  $-f\frac{L}{4}-W=0-\frac{1}{2}mv_0^2$ ,同理,小车以  $v_m$  撞击弹簧时,  $-fL-W=0-\frac{1}{2}mv_m^2$ ,结合两式解得

$$v_m = \sqrt{v_0^2 + \frac{3fL}{2m}}$$

(3)设轻杆恰好移动时,小车撞击速度为  $v_1$ ,则由动能定理可得

$$-W=0-\frac{1}{2}mv_1^2, \text{解得 } v_1 = \sqrt{v_0^2 - \frac{fL}{2m}}, \text{当}$$

$v < \sqrt{v_0^2 - \frac{fL}{2m}}$  时,杆不动,反弹速度  $v'=v$ .

当  $v_1 \leq v \leq v_m$  时,杆移动直至停止,然后小车被弹开,由于弹簧被压缩  $x$  后就不再变化,储存的弹性势能在杆移动过程中不变,弹回时全部转变为小车的动能,所以  $v'=v_1 = \sqrt{v_0^2 - \frac{fL}{2m}}$ .

(下转第 92 页)

