



教会学生灵活选择参考系化解问题的难点

刘白生

(江苏省溧水高级中学 江苏 南京 211200)

(收稿日期:2020-02-22)

摘要:像参考系这类比较容易的知识点,教师们在平时的教学中不但要讲透,还要进一步加以应用,分析总结出它的选择规律,并进行引伸和拓展,使学生能在解决两个物体有相对运动且不是匀速运动、不在一条直线上的相对运动、在相对运动中要用到牛顿第二定律等问题时灵活选择参考系化解问题的难点。

关键词:参考系 相对运动 选择 难点

在高中物理教学中,教师们都会觉得参考系这一知识点比较简单,上课时讲得也比较到位,学生也比较容易懂,但平时解决问题时往往都是以地面为参考系,很少进行选择应用;但在解决相对运动的问题时有时选择参考系就很重要了。

本文以几个典型的问题为例,说明如何教会学生灵活选择参考系化解问题的求解难点,提高学生的学习效果。

1 解决纯运动学问题 可选变速运动的参考系

当两个物体有相对运动且不是匀速运动时,要找出两个物体运动过程中的位移关系时有时会比较复杂,如果此时选择变速运动的参考系会化解这一难点。

【例1】如图1所示,一圆管放在水平地面上,管长 $L=0.5\text{ m}$,圆管的上表面离天花板距离 $h=2.5\text{ m}$,在圆管的正上方紧靠天花板放一小球(可看成质点),让小球由静止释放,同时给圆管一竖直向上、大小为 5 m/s 的初速度 v_0 ,取 $g=10\text{ m/s}^2$ 。

(1) 求小球释放后经多长时间与圆管相遇;

(2) 试判断在圆管落地前小球能不能穿过圆管?如果不能,小球和圆管落地的时间差为多大?如果能,小球穿过圆管的时间为多长?

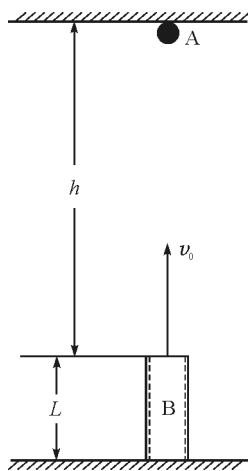


图1 例1题图

分析:此题涉及两个物体的运动,若以地面为参考系,由于两个物体不是匀速运动,因此要分别求出两物体的位移需根据位移关系求解。但在第(2)问中要找到开始相遇及相遇结束两个时刻的位移关系就比较繁琐,学生往往在这点上遇到困难,但如果以小球为参考系则这一难点就解决了。

解析:(1) 以小球为参考系,则圆管相对小球向上以 5 m/s 做匀速直线运动,故相遇时间为

$$t = \frac{h}{v_0} = \frac{2.5\text{ m}}{5\text{ m/s}} = 0.5\text{ s}$$

(2) 圆管做竖直上抛运动,根据位移时间关系公式,有

$$x = v_0 t - \frac{1}{2} g t^2$$

设圆管落地前运动时间为 t , 则运动总位移 $x = 0$, 即

$$0 = v_0 t - \frac{1}{2} g t^2$$

代入数据, 解得

$$t = 1 \text{ s} \quad t = 0 \text{ (舍去)}$$

假设小球未落地, 在 1 s 内小球的位移为

$$x_1 = \frac{1}{2} g t^2 = \frac{1}{2} \times 10 \times 1^2 \text{ m} = 5 \text{ m}$$

而开始时刻小球离地的高度只有 3 m, 故在圆管落地前小球能穿过圆管; 再以小球为参考系, 则圆管相对小球向上以 5 m/s 做匀速直线运动, 故小球穿过圆管的时间

$$t' = \frac{L}{v_0} = \frac{0.5 \text{ m}}{5 \text{ m/s}} = 0.1 \text{ s}$$

答案: (1) 0.5 s; (2) 能, 0.1 s.

2 巧选参考系解决不在一直线上的相对运动问题

有一类相对运动是两个物体的运动不在一条直线上, 其中一个物体的运动方向难以判断, 造成学生对这类题感觉到无从下手, 但选好参考系会使运动模型很容易判断.

【例 2】(2016 年高考江苏卷) 如图 2 所示, 倾角为 α 的斜面 A 被固定在水平面上, 细线的一端固定于墙面, 另一端跨过斜面顶端的小滑轮与物块 B 相连, B 静止在斜面上. 滑轮左侧的细线水平, 右侧的细线与斜面平行. A 和 B 的质量均为 m . 撤去固定 A 的装置后, A、B 均做直线运动. 不计一切摩擦, 重力加速度为 g . 求:

(1) A 固定不动时, A 对 B 支持力的大小 N ;

(2) A 滑动的位移为 x 时, B 的位移大小 s ;

(3) A 滑动的位移为 x 时的速度大小 v_A .

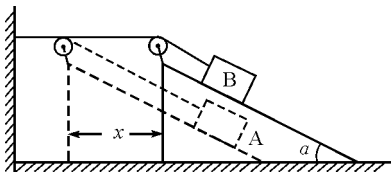


图 2 例 2 题图

分析: 本题的难点是第(2)问, 如果以地面为参考系, 则物块 B 的运动情况学生不易分析出来, 进而

无法求出 B 的位移, 学生会感觉到无从下手, 第(3)问也做不出来了, 但如果以斜面 A 为参考系, 则以上问题的难点就很容易解决了.

解析: (1) 支持力的大小

$$N = mg \cos \alpha$$

(2) 以斜面 A 为参考系, 设参考系的位移为 x , 物块 B 相对参考系的位移也为 x , 物块 B 的合位移 s 如图 3 所示.

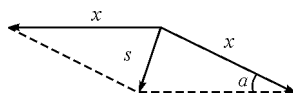


图 3 物块 B 的合位移图

根据几何关系

$$s = \sqrt{x^2 - 2xx \cos \alpha + x^2}$$

解得

$$s = x \sqrt{2(1 - \cos \alpha)}$$

(3) 由第(2)问可知, B 的下降高度

$$s_y = x \sin \alpha \quad (1)$$

根据机械能守恒定律

$$mgs_y = \frac{1}{2} m v_A^2 + \frac{1}{2} m v_B^2 \quad (2)$$

根据速度的定义得

$$v_A = \frac{\Delta x}{\Delta t} \quad v_B = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

则

$$v_B = v_A \sqrt{2(1 - \cos \alpha)}$$

联立式(1)、(2)、(3)解得

$$v_A = \sqrt{\frac{2gx \sin \alpha}{3 - 2 \cos \alpha}}$$

答案: (1) $mg \cos \alpha$; (2) $x \sqrt{2(1 - \cos \alpha)}$; (3)

$$\sqrt{\frac{2gx \sin \alpha}{3 - 2 \cos \alpha}}.$$

3 应用牛顿第二定律时要选匀速运动的参考系

有一类相对运动是两个物体的运动不在一条直线上, 而且不都是匀速运动, 受到的力有可能变化, 要用到牛顿第二定律求物体的加速度, 造成学生对物体的运动难以判断, 选好参考系会化解这类问题的难点.

【例 3】(2014 年高考物理江苏卷) 如图 4 所示,

生产车间有两个相互垂直且等高的水平传送带甲和乙,甲的速度为 v_0 ,小工件离开甲前与甲的速度相同,并平稳地传到乙上,工件与乙之间的动摩擦因数为 μ .乙的宽度足够大,重力加速度为 g .

(1)若乙的速度为 v_0 ,求工件在乙上侧向(垂直于乙的运动方向)滑过的距离 s ;

(2)若乙的速度为 $2v_0$,求工件在乙上刚停止侧向滑动时的速度大小 v ;

(3)保持乙的速度 $2v_0$ 不变,当工件在乙上刚停止滑动时,下一只工件恰好传到乙上,如此反复;若每个工件的质量均为 m ,除工件与传送带之间摩擦外,其他能量损耗均不计,求驱动乙的电动机的平均输出功率 \bar{P} .

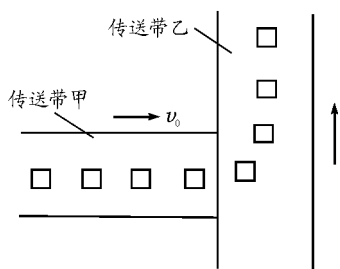


图4 例3题图

分析:本题的难点是工件相对于传送带乙的速度不在一直线上,而且是变化的,由于摩擦力的方向与相对运动的方向相反,因而学生难以判断工件受到的摩擦力方向是否变化,即使会判断过程也会比较繁琐,但如果以传送带乙为参考系这一难点就会得到很好的解决.

解析:(1)以传送带乙为参考系,则工件相对于参考系的速度如图5所示,摩擦力与侧向的夹角 α 始终为 45° ,所以摩擦力方向保持不变,由于是惯性参考系,牛顿第二定律成立,工件相对于参考系做匀减速直线运动.

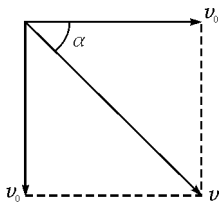


图5 工件的速度图1

侧向加速度大小

$$a_x = \mu g \cos 45^\circ$$

根据匀变速直线运动的规律

$$-2a_x s = 0 - v_0^2$$

解得

$$s = \frac{\sqrt{2} v_0^2}{2\mu g}$$

(2)以传送带乙为参考系,则工件相对于参考系的速度如图6所示,摩擦力与侧向的夹角始终为 θ ,所以摩擦力方向保持不变,由于是惯性参考系,牛顿第二定律成立,工件相对于参考系做匀减速直线运动.

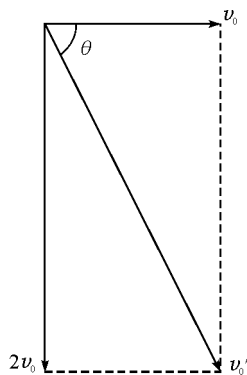


图6 工件的速度图2

工件在乙上刚停止侧向滑动时相对于参考系的速度为零,此时工件的速度等于参考系的速度,即

$$v = 2v_0$$

(3)以传送带乙为参考系,设工件在乙上滑动的位移为 L ,由题意知

$$a = \mu g$$

$$v_0' = \sqrt{v_0^2 + (2v_0)^2} = \sqrt{5} v_0$$

$$-2aL = 0 - (\sqrt{5} v_0)^2$$

工件相对乙的位移

$$L = \frac{(\sqrt{5} v_0)^2}{2\mu g}$$

工件滑动时间

$$t = \frac{\sqrt{5} v_0}{a} = \frac{\sqrt{5} v_0}{\mu g}$$

则系统摩擦生热

$$Q = \mu m g L$$

电动机做功

$$W = \frac{1}{2} m (2v_0)^2 - \frac{1}{2} m v_0^2 + Q$$

由

$$\bar{P} = \frac{W}{t}$$

解得
$$\bar{P} = \frac{4\sqrt{5}}{5} \mu m g v_0$$

答案:(1) $\frac{\sqrt{2}v_0^2}{2\mu g}$; (2) $2v_0$; (3) $\frac{4\sqrt{5}}{5} \mu m g v_0$.

4 变换参考系化解方程组的难点

有时两个物体的相对运动在一条直线上且都是匀速运动,但两个过程的速度不等,此时虽然能列出方程组,但解方程组的难度大,学生也不易求解,此时能合理地选择参考系往往能化解这一难点.

【例4】某人划船逆流而上,当船经过一桥时,船上一小木块掉在河水里,但一直航行至上游某处时此人才发现,便立即返航追赶,当他返航经过1 h追上小木块时,发现小木块距离桥有5 400 m远,若此人向上和向下航行时船在静水中前进速率相等.试求河水的流速为多大.

分析:本题中船在向上和向下航行时相对于地面的速度不等,位移也不等,如以地面为参考系学生往往认为可以列出方程,但解方程组时非常困难,有时花了很长时间也求不出,但如果以水或木块为参考系,再以地面为参考系则很容易求解.

解析:先以水为参考系,此时河水与木块相对静止,即河水的流速与木块漂流的速度相等.

以水为参考系的意思是,假设河水是静止的,或者说呆在一个平静的湖中.那么小木块相对于河水来说是不动的,可等效为某人划船先远离静止的木块运动,经过一段时间后再返回到木块处,返程走了1 h,此人向上和向下航行时船在静水中前进速率相等,那么前进了也是1 h.那么一共是2 h.

再以桥为参考系,可知木块位移为5 400 m,代入公式

$$v = \frac{x}{t}$$

得

$$v = \frac{5\,400\text{ m}}{2 \times 3\,600\text{ s}} = 0.75\text{ m/s}$$

答案:水的速度为0.75 m/s.

总而言之,物理教学中的知识点,不能仅满足于讲透,还要注重知识的应用,这样才能在解决各类问题中化解问题的难点,同时也能激发学生的学习兴趣,提高学生的学习效率.

参考文献

- 1 周智良. 选好参照物, 求解运动学问题[J]. 物理教学探讨, 2009, 27(2): 51 ~ 52
- 2 徐铁刚. 灵活选择参考系 简化多物体相对运动问题[J]. 中学物理, 2016, 34(1): 86 ~ 87
- 3 何汝辉. 灵活选用参照系巧解运动学问题[J]. 湖南中学物理, 2009, 24(2): 60 ~ 61

(上接第58页)

述建模及修正方法, 都可以获得重力加速度 g 与纬度 α 对应的准确关系式. 因此对于任意近似球状天体, 只要精确测出两个不同维度上的重力加速度, 则可以获得其重力加速度与纬度的关系式, 而不需要其具体的质量、自转周期、半径等. 如果使用赤道和极点的重力加速度, 则重力加速度与纬度的关系可以表达为如下关系式

$$g = g_{\text{极点}} - (g_{\text{极点}} - g_{\text{赤道}}) \cos^2 \alpha$$

6 反思模型: 为何可以这样做?

圆是特殊的椭圆, 圆球是特殊的椭球. 从圆球推理出的重力加速度 g 的表达式, 从椭球也应可以推

出, 但一定有不同, 体现在修正前变化趋势类似而结果偏小, 当然这种模型建构过程, 更像是黑体辐射导致普朗克提出能量子, 要充分借助实验数据, 大胆想象, 充分检验.

参考文献

- 1 翟小铭, 郭玉英. 美国科学建模教育研究三十年概述及启示[J]. 全球教育展望, 2015(12)
- 2 程守洙, 江之永. 普通物理学(第7版)上册[M]. 北京: 高等教育出版社, 2016. 35
- 3 钟兆娴, 罗里熊. 基础物理学手册[M]. 南宁: 广西人民出版社, 1983. 193 ~ 194
- 4 廖蕴莹, 谢元栋. 重力加速度随纬度变化的精确值[J]. 物理通报, 2019(10): 62 ~ 64