



巧选参考系 妙解竞赛题

——以第32届全国中学生物理竞赛预赛第12题为例

陈小明

安徽省铜陵市第一中学,安徽 铜陵 244000

摘要:第32届全国中学生物理竞赛预赛第12题考查了抛体运动的相遇情况。本文中灵活选用参考系解此题,简化运动过程,拓展了思维,以期在教学带来借鉴。

关键词:物理竞赛;抛体运动;参考系

中图分类号:G633.7

文献标识码:A

文章编号:1003-6148(2016)1-0036-2

1 试题展现

从左至右在同一水平地面上依次有3个质点a、b、c,且三者共线,a与b相距 l_1 ,b与c相距 l_2 。现同时将它们从其初始位置抛出。已知质点b以初速度 v_0 竖直上抛,质点c以某一初速度竖直上抛。设在这3个质点的运动过程中,a能碰到质点b和质点c,并假设质点a的质量远大于质点b的质量,且a与b的碰撞时间极短。求质点c的初速度 v_c 和质点a的初速度所满足的条件。所求的结果均用题中的已知量表示出来。

2 地面参考系

以向右为 x 轴正向,向上为 y 轴正向。质点a的初速度的 x 和 y 分量分别为 v_x 和 v_y ,设经过 t_1 时间质点a与质点b相遇,如图1,由抛体运动可知

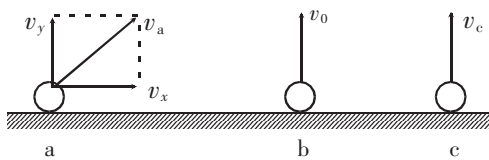


图1 以地面为参考系

$$v_y t_1 - \frac{1}{2} g t_1^2 = v_0 t_1 - \frac{1}{2} g t_1^2,$$

$$l_1 = v_x t_1.$$

运动过程中相遇,要求

$$v_0 t_1 - \frac{1}{2} g t_1^2 \geq 0, \text{ 联立解得}$$

$$v_x \geq \frac{g l_1}{2 v_0}, v_y = v_0.$$

由于质点a、b碰撞的时间极短,可认为两质点系统碰撞前后动量守恒和动能不变。设碰前质点a的分速度和b的速度分别为 v_x 、 v_{y1} 和 v_{by1} ,碰后a的分速度分别为 v'_x 、 v'_y ,b的分速度分别为 v'_{bx} 、 v'_{by1} ,

$$m_a v_x = m_a v'_x + m_b v'_{bx},$$

$$m_a v_{y1} + m_b v_{by1} = m_a v'_{y1} + m_b v'_{by1},$$

$$\frac{1}{2} m_a (v_x^2 + v_{y1}^2) + \frac{1}{2} m_b v_{by1}^2 =$$

$$\frac{1}{2} m_a (v'^2_x + v'^2_{y1}) + \frac{1}{2} m_b (v'^2_{bx} + v'^2_{by1}).$$

由题意知 $m_a \gg m_b$,代入可得

$$v_x = v'_x, v_{y1} = v'_{y1}, v_{by1} = v'_{by1}.$$

即质点b对质点a的运动的影响可以忽略。

同理设经过 t_2 时间质点a、c相遇,则满足

$$v_y t_2 - \frac{1}{2} g t_2^2 = v_0 t_2 - \frac{1}{2} g t_2^2,$$

$$l_1 + l_2 = v_x t_2,$$

$$v_x t_2 - \frac{1}{2} g t_2^2 \geq 0. \text{ 解得}$$

$$v_c = v_y, v_x \geq \frac{g(l_1 + l_2)}{2 v_c}.$$

故最终可得,质点c的速度 $v_c = v_0$ 。

收稿日期:2015-10-20

作者简介:陈小明(1982-),男,中学一级教师,安徽省铜陵市第一中学物理教师,从事高中物理教学及物理竞赛培训工作。

质点a的速度满足 $v_x \geq \frac{g(l_1+l_2)}{2v_0}$, $v_y=v_0$ 。

点评 地面是抛体运动最常用的参考系,易于接受,但其过程往往较为复杂。例如:本题即为斜抛与竖直上抛的相遇问题,有些学生还会仔细考虑是上升还是下降阶段,并且这类方程的求解也相对较为繁琐。

3 自由落体参考系

另以一个做自由落体运动的物体为参考系,则3个质点均以原速度做匀速直线运动,如图2所示。运动过程中相遇,b、c做竖直上抛运动,时间关系满足 $t_1 \leq \frac{2v_0}{g}$, $t_2 \leq \frac{2v_c}{g}$ 。a若要与b相遇,其竖直分运动需相同,故满足 $v_y=v_0$,水平方向 $v_x = \frac{l_1}{t_1} \geq \frac{gl_1}{2v_0}$ 。依题意,碰撞对a的速度无影响,同理分析a、c若相遇,其竖直分运动相同 $v_c=v_y=v_0$,水平方向 $v_x = \frac{l_1+l_2}{t_2} \geq \frac{g(l_1+l_2)}{2v_0}$ 。

故质点a的速度满足 $v_x \geq \frac{g(l_1+l_2)}{2v_0}$, $v_y=v_0$,质点c的速度 $v_c=v_0$ 。

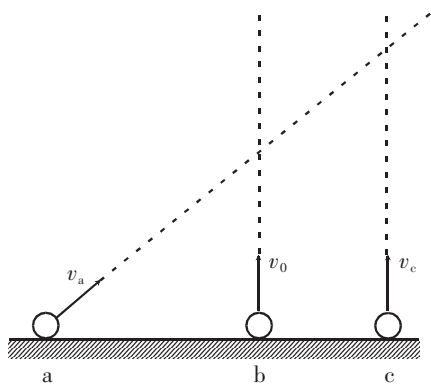


图2 以自由落体物体为参考系

点评 自由落体参考系是抛体运动中常用的参考系。由于此参考系的加速度与其他物体相同,而初速度为零,在此参考系中,做抛体运动的物体将以原速度做匀速直线运动。将复杂的曲线运动相遇简化为匀速直线运动相遇,降低了思维难度。

4 质点b参考系

3个质点都为抛体运动,加速度相同,故以b为参考系,a、c均为匀速直线运动。质点a若要与质点b相遇,其速度 v'_a 必须水平向右,如图3。题中要求在运动过程中相遇,b、c做竖直上抛运动,故 $t_1 \leq \frac{2v_0}{g}$, $t_2 \leq \frac{2v_c}{g}$ 。由此可知质点a的速度

满足:

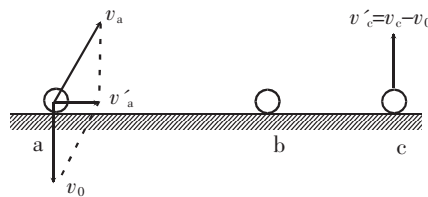


图3 以质点b为参考系

竖直分量 $v_y=v_0$,水平分量 $v_x = \frac{l_1}{t_1} \geq \frac{gl_1}{2v_0}$ 。

质点a的质量远大于质点b,碰撞之后可认为对a的速度无影响,仍然水平向右。因此,若要与c相碰,c需保持在原位,即 $v'_c=0$,可得 $v_c=v_0$ 。且 $v_x = \frac{l_1+l_2}{t_2} \geq \frac{g(l_1+l_2)}{2v_0}$ 。

综合可得 $v_x \geq \frac{g(l_1+l_2)}{2v_0}$, $v_y=v_0$ 。

点评 选质点b为参考系,将原来抛物线轨迹的斜抛运动和有往返的竖直上抛运动大大简化,成为水平方向的匀速直线运动与静止物体相遇问题,运动过程最为简单。

5 两点商榷

首先,题中给出a的质量远大于b,其意为b对a的运动无影响。参考答案中是由碰撞时间极短,得出动量守恒和动能不变的结论。而实际上时间短只能认为内力极大,可以忽略重力得到动量守恒,而动能不变需要说明是弹性碰撞。

再次,a与b碰撞时,由于两质点竖直方向分速度相同,所以碰后b的竖直分速度不变,水平分速度大于a。在此情形下,b必然会先于a与c碰撞,且b、c碰撞竖直速度也不变,b其实一直在a、c之间,这点可以在质点b参考系解法中直接看出。题中交代了a能碰到质点b和c,相当于第一次碰撞后将b撤去。从赛后学生的反馈情况来看,如果只告诉a、c能相碰,会让学生误以为碰后还会经过一些复杂过程才使a、c相碰,笔者认为描述时不如直接告诉碰后撤去b,以使题意更加清晰。

参考文献:

- [1]涂星火,彭小娟,罗琬华.浅析参照系与力学规律的关系[J].物理教学探讨,2006,24(4):38—39.
- [2]程稼夫.中学奥林匹克竞赛物理教程力学篇[M].合肥:中学科学技术大学出版社,2002:15—28.
- [3]漆安慎,杜婵英.普通物理学教程力学[M].北京:高等教育出版社,1997:37—49.

(栏目编辑 罗琬华)