

## 2022年新高考湖南物理第14题赏析

赵继辰

(北京教育学院数学与科学教育学院 北京 100044)

(收稿日期:2022-06-27)

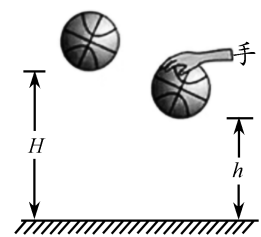
**摘要:**自由落体和竖直上抛运动是高考物理力学题中的典型问题,从2022年新高考湖南物理第14题入手,针对不同情境进行了分类探讨,并结合问题变式作了进一步的探讨.

**关键词:**高考物理;碰撞;空气阻力

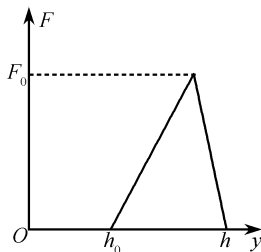
考虑空气阻力的落体和上抛运动模型主要考查动能定理的理解和运用<sup>[1]</sup>.2022年新高考湖南物理第14题提供了一个空气阻力大小为恒定值的物理情境,还涉及了非弹性碰撞的问题,颇有新意.

## 1 试题呈现

**【题目】**(2022年新高考湖南物理第14题)如图1(a)所示,质量为 $m$ 的篮球从离地 $H$ 高度处由静止下落,与地面发生一次非弹性碰撞后反弹至离地 $h$ 的最高处.设篮球在运动过程中所受空气阻力的大小是篮球所受重力的 $\lambda$ 倍( $\lambda$ 为常数且 $0 < \lambda < \frac{H-h}{H+h}$ ),且篮球每次与地面碰撞的碰后速率与碰前速率之比相同,重力加速度大小为 $g$ .



(a)



(b)

图1 题目题图

(1) 求篮球与地面碰撞的碰后速率与碰前速率之比;

(2) 若篮球反弹至最高处 $h$ 时,运动员对篮球施加一个向下的压力 $F$ ,使得篮球与地面碰撞一次后恰好反弹至 $h$ 的高度处,力 $F$ 随高度 $y$ 的变化如图1(b)所示,其中 $h_0$ 已知,求 $F_0$ 的大小;

(3) 篮球从 $H$ 高度处由静止下落后,每次反弹至最高点时,运动员拍击一次篮球(拍击时间极短),瞬间给其一个竖直向下、大小相等的冲量 $I$ ,经过 $N$ 次拍击后篮球恰好反弹至 $H$ 高度处,求冲量 $I$ 的大小.

## 2 情境分析

## 2.1 第一问分析

对于第一问,我们先来分析第一个情境:落体运动.在此过程中,重力做正功,空气阻力做负功.设与地面碰撞前的速率为 $v_{11}$ ,碰前的动能为

$$E_{11} = \frac{1}{2}mv_{11}^2$$

由动能定理可知

$$E_{11} = mgH - \lambda mgH = \frac{1}{2}mv_{11}^2$$

第二个情境:碰撞.设碰后速率为 $v_{12}$ ,碰后的动能为

$$E_{12} = \frac{1}{2}mv_{12}^2$$

第三个情境:上抛运动.在此过程中,重力和空气阻力均做负功.

由动能定理可知

$$E_{12} = mgh + \lambda mgh = \frac{1}{2}mv_{12}^2$$

则碰后速率与碰前速率之比

$$k = \frac{v_{12}}{v_{11}} = \sqrt{\frac{E_{12}}{E_{11}}} = \sqrt{\frac{(1+\lambda)h}{(1-\lambda)H}}$$

由于是非弹性碰撞,必有  $k < 1$ , 解得  $\lambda <$

$\frac{H-h}{H+h}$ , 与题目给出的常数  $\lambda$  取值范围相同.

接下来, 篮球会不断重复这 3 个情境. 设第  $n$  次碰撞前篮球从离地  $h_{n-1}$  处下落, 碰前速率为  $v_{n1}$ , 碰后速率为  $v_{n2}$ , 反弹至离地  $h_n$  的最高处. 篮球每次与地面碰撞的碰后速率与碰前速率之比相同, 因此有

$$k^2 = \left(\frac{v_{n2}}{v_{n1}}\right)^2 = \frac{E_{n2}}{E_{n1}} = \frac{mgh_n + \lambda mgh_n}{mgh_{n-1} - \lambda mgh_{n-1}} = \frac{(1+\lambda)h}{(1-\lambda)H}$$

即  $\frac{h}{h_{n-1}} = \frac{h}{H}$ , 数列  $\{h_n\}$  为等比数列, 通项公式为  $h_n =$

$h\left(\frac{h}{H}\right)^{n-1}$ . 由于  $h < H$ , 因此  $\{h_n\}$  为递减数列, 即篮

球每经过一次碰撞, 上升的最大高度就会减少, 最终趋向于零.

## 2.2 第二问分析

对于第二问, 我们需要从函数图像中提取有用信息. 对于  $F-s$  图像, 函数与横坐标轴围成的面积即为力所做的功<sup>[2]</sup>. 从图 1(b) 的图像中我们可以得到, 压力  $F$  所做的功为

$$W = \frac{1}{2}F_0(h - h_0)$$

由动能定理可知

$$k^2 = \frac{mgh + \lambda mgh}{W + mgh - \lambda mgh} = \frac{(1+\lambda)h}{(1-\lambda)H}$$

解得

$$F_0 = \frac{2mg(1-\lambda)(H-h)}{h-h_0}$$

## 2.3 第三问分析

对于第三问, 运动员每次拍击给篮球的冲量  $I$ , 就会让篮球增加动能  $\Delta E = \frac{I^2}{2m}$ . 设第  $n$  次拍击时篮球从离地  $s_n$  处下落, 碰前速率为  $v_{n1}$ , 碰后速率为  $v_{n2}$ , 反弹至离地  $s_{n+1}$  的最高处. 由

$$k^2 = \left(\frac{v_{n2}}{v_{n1}}\right)^2 = \frac{E_{n2}}{E_{n1}} = \frac{mgs_{n+1} + \lambda mgs_{n+1}}{\Delta E + mgs_n - \lambda mgs_n} =$$

$$\frac{(1+\lambda)h}{(1-\lambda)H}$$

解得

$$s_{n+1} = \frac{h}{H} \left( s_n + \frac{\Delta E}{(1-\lambda)mg} \right)$$

设  $d = \frac{\Delta E}{(1-\lambda)mg}$ , 则

$$s_{n+1} - \frac{h}{H-h}d = \frac{h}{H} \left( s_n - \frac{h}{H-h}d \right)$$

即数列  $\left\{ s_n - \frac{h}{H-h}d \right\}$  为等比数列, 因此

$$s_n - \frac{h}{H-h}d = \left( h - \frac{h}{H-h}d \right) \left( \frac{h}{H} \right)^{n-1}$$

即

$$s_n = \frac{h}{H-h}d + \left( h - \frac{h}{H-h}d \right) \left( \frac{h}{H} \right)^{n-1}$$

下面我们对数列  $s_n$  进行分析, 首项  $s_1 = h$ .

(1) 当  $h - \frac{h}{H-h}d > 0$ , 即  $d < H-h$  时,  $\{s_n\}$  为递减数列, 即篮球每经过一次碰撞, 上升的最大高度就会减少.

(2) 当  $h - \frac{h}{H-h}d = 0$ , 即  $d = H-h$  时,  $\{s_n\}$  为常数数列, 即篮球每经过一次碰撞, 上升的最大高度均为  $h$ .

(3) 当  $h - \frac{h}{H-h}d < 0$ , 即时  $d > H-h$ ,  $\{s_n\}$  为递增数列, 即篮球每经过一次碰撞, 上升的最大高度就会增加, 此时数列  $\{s_n\}$  的极限为  $h - \frac{h}{H-h}d$ . 因此当极限  $h - \frac{h}{H-h}d > H$  且  $s_2 = \frac{h}{H}(h+d) \leq H$  (第一次拍球不能用力过猛), 即  $\frac{H^2 - h^2}{h} < d \leq \frac{H^2 - Hh}{h}$  时, 经过  $N$  次拍击后可使得  $S_{N+1} = H$ , 此时

$$d = \frac{\frac{H}{h} - 1}{1 - \left(\frac{h}{H}\right)^N} \left[ H - \left(\frac{h}{H}\right)^N h \right]$$

$$I = m \sqrt{\frac{\frac{H}{h} - 1}{1 - \left(\frac{h}{H}\right)^N} \left[ H - \left(\frac{h}{H}\right)^N h \right] \cdot 2(1-\lambda)g}$$

对于数列  $\{s_n\}$  的通项公式还可转变为

(下转第 133 页)

- [4] 史峰. 高中物理课程中技术素养培养的研究[D]. 新乡: 河南师范大学, 2016.
- [5] 盛群力, 褚献华. 布卢姆认知目标分类修订的二维框架[J]. 课程·教材·教法, 2004(9): 90-96.

- [6] 孙东山, 台合语. 论教育评价的根基、限度及转向[J]. 教学与管理, 2021(33): 34-38.
- [7] 刘洋, 李贵安, 王力, 等. 基于教育目标分类的高中物理核心素养评价[J]. 教育测量与评价, 2017(10): 35-40.

# Construction on Technical Knowledge Objective and Evaluation System in High School Physics Curriculum

ZHANG Dian CHENG Lin

(College of Physical Science and Technology, Bohai University, Jinzhou, Liaoning 121011)

**Abstract:** For the technical knowledge of high school physics curriculum, the action verbs used in the content requirements of current curriculum standards are not clear enough. The objective and evaluation system are constructed according to the theory of educational objective classification, and the classification table of teaching objective of technical knowledge and the evaluation mode chart of teaching situation of technical knowledge are obtained. This paper sorts out the objectives and activities related to technical knowledge cultivation in high school physics curriculum, analyzes the proportion of cognitive process level in each technical knowledge and puts forward the evaluation method. Through data collation, it can be seen that the goals and activities related to technical metacognitive knowledge in high school physics courses are relatively small and a large number of content requirements are at the understanding level, which can provide reference for teachers to evaluate students' mastery of technical knowledge.

**Key words:** technical knowledge; classification of educational objectives; educational evaluation; physics course

(上接第 127 页)

$$s_n = h \left( \frac{h}{H} \right)^{n-1} + \frac{h}{H-h} d \left[ 1 - \left( \frac{h}{H} \right)^{n-1} \right]$$

公式的前半部分为没有受到冲量时的高度, 公式的后半部分为受到冲量时所带来的高度变化.

### 3 变式探讨

我们不妨追加一问进行对比探讨. 篮球从  $H$  高度处由静止下落后, 经过  $N$  次反弹 ( $N \geq 2$ ) 至最高点时, 运动员拍击篮球 (拍击时间极短), 瞬间给其一个竖直向下的冲量  $NI_0$ , 拍击后篮球恰好反弹至  $H$  高度处, 求冲量  $I_0$  的大小.

从前面的分析我们知道, 经过  $N$  次反弹至最高点时  $h_N = h \left( \frac{h}{H} \right)^{N-1}$ , 运动员拍击让篮球增加动能

$$\Delta E_0 = \frac{N^2 I_0^2}{2m}$$

由动能定理可知

$$k^2 = \left( \frac{v_{n2}}{v_{n1}} \right)^2 = \frac{E_{n2}}{E_{n1}} =$$

$$\frac{mgH + \lambda mgH}{\Delta E_0 + mgh_N - \lambda mgh_N} = \frac{(1 + \lambda)h}{(1 - \lambda)H}$$

$$\text{解得 } I_0 = \frac{m}{N} \sqrt{\frac{H}{h} \left[ H - \left( \frac{h}{H} \right)^N h \right] \cdot 2(1 - \lambda)g}$$

$$\text{由于 } \left( \frac{I_0}{I} \right)^2 = \frac{1}{N^2} \frac{1 - \left( \frac{h}{H} \right)^N}{1 - \frac{h}{H}} < 1$$

因此  $I_0 < I$ , 这说明同样让篮球反弹至  $H$  高度处, 一次猛拍比多次平均拍球要省劲.

### 4 总结

归纳演绎法是物理学研究中的一种重要的科学思维方法. 近年来, 采用数列通项公式求解的高考题型常有出现<sup>[3]</sup>. 对于多次重复出现的有规律性变化的物理情境, 我们要运用好已有的数学工具总结物理量的变化规律, 辅助解题.

#### 参考文献

- [1] 中华人民共和国教育部. 普通高中物理课程标准(2017年版)[S]. 北京: 人民教育出版社, 2020.
- [2] 张奉平. 高中物理图像之“点、线、面”[J]. 物理教学探讨, 2018, 36(514): 70-72.
- [3] 高国龙. 高考物理压轴题中数列通项公式的求解[J]. 湖南中学物理, 2016, 31(7): 77-79.