

# 深度研究北京市2020年普通高考物理第14题

彭丽

(贵州省黔西第一中学 贵州 毕节 551500)

黄绍书

(毕节市第二实验高中 贵州 毕节 551500)

(收稿日期:2022-01-03)

**摘要:**根据伯努利原理对北京市2020年普通高考物理第14题进行深度剖析,利用伯努利方程详细分析由于空气动力学原理造成篮球下落轨迹偏离垂直方向的本质原因,并试图从该试题的命题视角窥视高考改革的导向或高考试题的命题走向.

**关键词:**马格努斯效应 伯努利原理 伯努利方程 空气动力学

## 1 原题呈现

**【原题】**[北京市2020年普通高中学业水平等级性考试(新高考)物理第14题]在无风的环境,某人在高处释放静止的篮球,篮球竖直下落;如果先让篮球以一定的角速度绕过球心的水平轴转动再释放,如图1所示,则篮球在向下掉落的过程中偏离垂直方向做曲线运动.其原因是,转动的篮球在运动过程中除受重力外,还受到空气施加的阻力 $f_1$ 和偏转力 $f_2$ .这两个力与速度 $v$ 的关系大致为: $f_1 = k_1 v^2$ ,方向与篮球运动方向相反; $f_2 = k_2 v$ ,方向与篮球运动方向垂直.下列说法正确的是( )

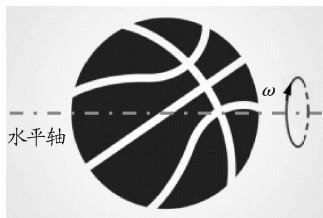


图1 绕水平轴转动的篮球

- A.  $k_1$  和  $k_2$  是与篮球转动角速度无关的量
- B. 篮球可回到原高度且角速度与释放时的角速度相同
- C. 人站得足够高,落地前篮球有可能向上运动
- D. 释放条件合适,篮球有可能在空中持续一段水平直线运动

说明一下,这是一道在历届高考中首次涉及旋转体和空气动力学的高考试题,其触及深度知识已经超越高中课程的主干知识范畴.因此,该试题本质上颇具难度.

## 2 知识考查

该命题主要涉及静力学、运动学、动力学、力产生的条件及动能定理等基础知识,命题意图也是考查这些基础知识的简单应用.

同时,该问题还涉及了流体力学的深度知识.但由于高中学段的课程几乎没有流体力学的内容,故命题就将问题进行简化处理,也就是刻意地说明“转动的篮球在运动过程中受到空气施加的阻力 $f_1$ 和偏转力 $f_2$ ”,并给出 $f_1$ 和 $f_2$ 的约定条件.这样,就能够便于高考考生能用所学的基础知识对问题进行分析处理.

根据“篮球未转动时竖直下落”说明篮球未转动时不受偏转力 $f_2$ ,而“转动的篮球在运动过程中受偏转力 $f_2$ ”,故 $k_2$ 与篮球转动的角速度有关;空气阻力 $f_1$ 在篮球的运动过程中总对篮球做负功,使篮球的机械能减小,角速度也减小,篮球没有足够的能量回到原高度;转动篮球下落过程中,某时刻的受力情况如图2所示,随着速度的增大,篮球受到的阻力 $f_1$ 和偏转力 $f_2$ 的合力在竖直方向的分力完全有可

**作者简介:**彭丽(1982-),女,中教高级,主要从事高中物理教学工作.

**通讯作者:**黄绍书(1966-),男,中教高级,大学兼职教授,主要从事高中物理教学暨大中学物理衔接问题研究工作.

能大于重力;如果篮球的速度变成水平方向,则空气阻力的作用会使篮球速度变小,篮球受到的偏转力  $f_2$  将减小,不能持续保持与重力等大反向.因此,命题设置的问题选项中,仅有选项 C 是正确的.

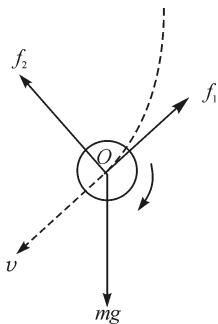


图2 转动过程中篮球受力情况

当然,选项 C 的分析是很困难的.但命题选项对 A,B,D 的设置难度相对较小,考生在考场上完全有可能会采用排除法将选项 C 鉴别出来.

### 3 深度研究

如前所述,高中学段的课程几乎没有流体力学的内容.因此,考生甚至相当一部分中学物理教学工作者及一线物理教师对该命题中偏转力  $f_2$  产生的原因并不很清楚,对图 2 所示的受力分析没有清晰的认识.

#### 3.1 马格努斯效应

1852 年德国物理学家海因里希·马格努斯指出:当处于流体中的旋转物体的角速度矢量与其质心速度矢量不重合时,在与这两个矢量所在平面相垂直的方向上将产生一个横向力,导致物体飞行轨迹发生偏转.

这就是著名的马格努斯效应.显然,马格努斯效应所产生的横向力就是本命题中的偏转力.

#### 3.2 伯努利原理

马格努斯效应所产生的横向力或本命题中的偏转力,可以用伯努利原理来解释<sup>[1]</sup>.设一个半径为  $r$  的篮球某时刻以速度  $v$  在空中处于竖直下落状态(空气相对于篮球呈竖直向上运动),当篮球同时以角速度  $\omega$  顺时针旋转时,其左右表面的速度方向相反.由于篮球表面与空气的黏滞及分子碰撞作用,篮球左侧的空气因与球面相同方向运动的拖拽而加速,而篮球右侧的空气因与球面相反方向运动的拖拽而减速.因此,篮球左右表面形成了由于空气流速差异导致的压强差,由此产生了不为零的压力合力

$F$ ,如图 3 所示.

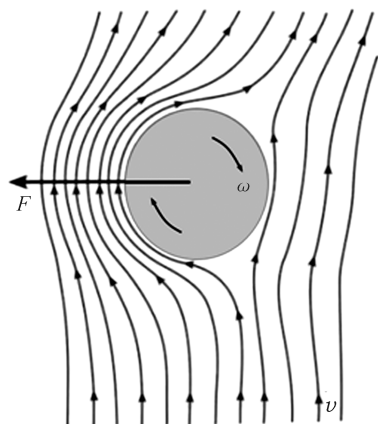


图3 伯努利原理解释示意图

这个压力合力  $F$  就是马格努斯效应所产生的横向力或本命题中的偏转力,它与篮球转动的角速度  $\omega$  方向垂直,也与相对空气运动的速度  $v$  的方向垂直,方向从空气经过篮球表面流速慢的一端指向流速快的一端.设篮球左端空气流速为  $v_d$ ,右端空气流速为  $v_u$ ,那么,篮球左、右两侧的空气流速可近似的表示为

$$v_d = v + \omega r \quad v_u = v - \omega r \quad (1)$$

根据伯努利方程,有

$$p_d + \frac{1}{2}\rho v_d^2 = p_u + \frac{1}{2}\rho v_u^2 \quad (2)$$

其中,  $p_d$  和  $p_u$  分别是篮球左、右表面的空气压强,  $\rho$  是空气的密度.联立(1)、(2)两式可以得到

$$\Delta p = p_u - p_d = \frac{1}{2}\rho(v_d^2 - v_u^2) = 2\rho v \omega r \quad (3)$$

显然,这一压强差正比于转速,当转速为零时,压强差即消失.若令  $S$  为篮球的横截面积,则这一由于篮球转动带来的压强差在篮球表面作用产生的压力合力  $F$  即可表示为

$$F \propto \Delta p S = (2\rho v \omega r)(\pi r^2) = 2\rho \pi \omega r^3 v \quad (4)$$

由于这个压力合力  $F$  跟篮球运动的速度  $v$  和篮球旋转角速度  $\omega$  决定的平面总垂直(三者之间满足右手螺旋定则),导致旋转的篮球运动轨迹呈现出变化的曲线型(非通常的抛体运动)轨迹.这就体现了马格努斯效应对旋转物体运动轨迹带来的影响.

### 4 命题启示

如前所述,这是一道在历届高考中首次涉及旋转体和空气动力学的高考试题,其触及的深度知识已经超越高中课程的主干知识范畴,但其立意新颖,

命题视角指向大学基础课程内容.由此,可窥视一下高考改革的导向或高考试题的命题走向.

高考命题逐步凸显范围宽广、背景新颖、形式灵活3大特征,一些试题很具前瞻性,主要呈现出能很好地与大学基础课程内容接轨.这在近十多年来的上海卷和北京卷有着明显的体现.高考的形式及其命题思路都在变化,未来的高考命题应该是一些具有选择性、开放性、灵活性的而不可能是死记硬背的

试题.试卷的“传统难度”将被“形式难度”所取代.这是由于试卷中出现新题型,考生不熟悉,尽管考查的知识点并不难,但考生容易发懵.如何让莘莘学子适应高考形式和命题思路的变化,教师的教学观念和学校育人管理观念的改变就显得极其重要.

#### 参考文献

- 1 漆安慎,杜婵英.普通物理教程力学[M].北京:高等教育出版社,2012.372~402

## In Depth Research on Physics Question 14th of the 2020 General College Entrance Examination in Beijing

Peng Li

(Guizhou Province Qianxi No. 1 Middle School, Bijie, Guizhou 551500)

Huang Shaoshu

(Experimental High School, Bijie, Guizhou 551500)

**Abstract:** According to Bernoulli's principle, it conducts an in-depth analysis of the physics question 14 of the 2020 Beijing General College Entrance Examination, and uses Bernoulli's equation to analyze in detail the essential reason why the falling trajectory of basketball deviates from the vertical direction due to the principle of aerodynamics. And try to see the direction of the reform of the college entrance examination or the trend of the proposition of the college entrance examination questions from the perspective of the proposition of the test questions.

**Key words:** Magnus effect; Bernoulli principle; Bernoulli equation; aerodynamics

(上接第133页)

## Visualization Measurement of Thermal Conductivity Using Smart Phone Peripheral Sensors

Zhang Yuting Ding Yimin Cao Shiqin Xu Qianxin Liu Zhiqiang

(Faculty of Physics and Electronic Technology, Hubei University, Wuhan, Hubei 430062)

**Abstract:** Based on the traditional measurement method of thermal conductivity, the integrated temperature sensor is replaced with a probe temperature sensor that is more sensitive in temperature measurement and can be connected to a smartphone through Bluetooth to realize visual temperature measurement. Use its supporting software to export the experimental data to the mobile phone Excel and use it directly. The "temperature  $^{\circ}\text{C}$ -time  $t$ " curve is fitted by the mobile phone Excel to calculate the thermal conductivity of the object to be measured. The research results show that the experimental results measured by the probe method have smaller relative errors and smaller uncertainties than the traditional method. Using smart phone peripheral sensors for visual measurement can not only expand the physical measurement range of the smart phone, but also play the computing function of the smart phone, so as to complete the whole process of physical measurement and data processing on a mobile phone, which is convenient for home experiments, to open up new ideas for future innovative experimental research.

**Key words:** thermal conductivity; steady-state method; smart phone; probe temperature sensor; mobile office