

文章编号:1005-4642(2022)10-0025-07

第 52 届国际物理奥林匹克竞赛实验试题 1 的介绍与解答

李文华^{a,b}, 王 瑾^{a,b}, 惠王伟^{a,b}, 刘丽飒^{a,b}, 宋 峰^a, 孔勇发^{a,b}
(南开大学 a. 物理科学学院; b. 基础物理国家级实验教学示范中心, 天津 300071)

摘 要:第 52 届国际物理奥林匹克竞赛实验试题 1 为行星(Planet), 试题考查了自由落体和万有引力定律, 考试采用远程线上虚拟实验形式. 本文介绍了试题 1 的命题, 给出了试题解答, 并简要分析了题目间的联系以及获奖选手的答题情况.

关键词:自由落体; 万有引力定律; 行星; 国际物理奥林匹克竞赛; 虚拟实验

中图分类号: O311 **文献标识码:** A **DOI:** 10.19655/j.cnki.1005-4642.2022.10.005

2022 年 7 月 10—17 日, 南开大学物理科学学院率领中国代表队参加了由瑞士主办的第 52 届国际物理奥林匹克竞赛(International Physics Olympiad, IPhO). 参赛的 5 名中学生全部获得金牌, 并取得团体第一、总分第一、实验总分第一和理论总分第一的优异成绩. 比赛采取线上方式, 其中实验考试首次采用全线上远程虚拟考试. 实验试题有 2 道, 分别为行星(Planet)和柱状二极管(Cylindrical diode)^[1]. 实验试题总分 20 分, 试题 1 计 12 分, 试题 2 计 8 分. 本文介绍了实验试题 1 的命题并给出解答, 并对题目结构及学生的答题情况做简要分析.

1 试 题

你发现自己在陌生的行星上, 却不知道如何到达的. 要做的第一件事是更多地了解你所在的这颗行星. 你还记得伽利略是如何用落球做实验的, 并受此启发建造了高度为 $H=2\ 000\text{ m}$ 的理想竖直的塔(图 1). 有了这座塔, 便可以从塔上任意高度 h (球的底部到地面的高度) 抛球. 由于受所能获得的材料限制, 因此只能抛下半径 $5\text{ cm} \leq r \leq 50\text{ cm}$, 密度 $0.1\text{ g/cm}^3 \leq \rho \leq 10\text{ g/cm}^3$ 的球.

任何时候都从静止开始释放球, 并能够测量球下落到地面所经历的时间 t , 以及球的落点位置距其抛点间的水平距离 s .

在开始实验前, 对这颗行星做了以下观察:

- 1) 根据恒星的运动, 发现自己正处于该行星赤道的某处.
- 2) 这颗行星有大气层, 但大气密度小, 可以忽略大气浮力.
- 3) 地表温度为 $T_0=20\text{ }^\circ\text{C}$.
- 4) 似乎有一股沿着赤道吹的风, 在整个塔的高度上风速均匀, 忽略塔对风速的影响.

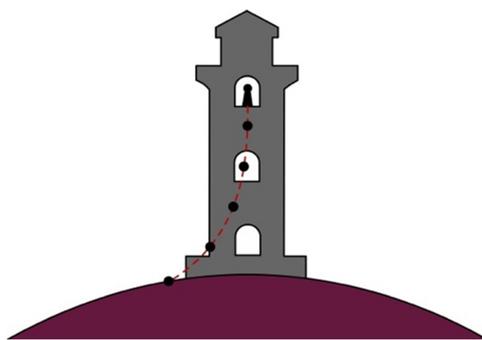


图 1 艺术家对本题的夸张描绘

收稿日期: 2022-09-17

基金项目: 2020 高等学校教学研究项目资助(No. DJZW202010hb); 南开大学“四新”专业课程改革项目资助(No. 21NKSYSX02); 2022 年南开大学实验课程改革项目-开放实验类(No. 22NKSYKF02)

作者简介: 李文华(1987—), 女, 河北邢台人, 南开大学物理科学学院实验师, 博士, 主要从事基础物理实验教学, 研究方向为非线性光学. E-mail: liwenhua@nankai.edu.cn

通讯作者: 王 瑾(1982—), 女, 湖北十堰人, 南开大学物理科学学院高级实验师, 博士, 主要从事基础物理实验教学, 研究方向为仪器仪表及生物医学光子学. E-mail: wangjin8208@nankai.edu.cn

1.1 仿真软件介绍

在已知球抛下的高度 h 、球半径 r 和密度 ρ 时,命令行程序模拟球的下落时间 t 和球落点位置偏离塔基的距离 s 的测量.在相应的提示后通过键盘可输入对应参量的值,并通过按回车键(Enter 键)进行确认.

开始操作前,在界面提示时输入以下授权密码:12345678.888.如果输入密码错误,程序将进入测试模式,此时需要重启程序.

软件程序单个模拟周期的典型输出界面如图 2 所示.

```

0 < h (m) < 2000 | h (m): 90
5 < r (cm) < 50 | r (cm): 13
0.1 < rho (g/cm^3) < 10.0 | rho (g/cm^3): 2
...
t (s) = 3.5, s (m) = 0.1
=====
0 < h (m) < 2000 | h (m):_

```

图 2 软件程序运行的典型界面

首先输入以 m 为单位的高度 h (0~2 000 之间的数),然后输入以 cm 为单位的球半径 r (5~50 之间的数),最后输入以 g/cm^3 为单位的球密度 ρ (0.1~10.0 之间的数).每次输入都要用回车键(Enter)确认.程序将输出以 s 为单位的 t 和以 m 为单位的 s .

然后程序进行循环,重复上述过程.输入超出实验范围的值,程序界面会给出报错提示“Value Out Of Bounds”,然后返回到回答错误的提示界面.

输入的高度 h 四舍五入到 1 m, r 四舍五入到 1 cm, ρ 四舍五入到 $0.01 \text{ g}/\text{cm}^3$ (尝试输入更精确的数是毫无意义的).

实验结果有随机误差,以模拟实际实验操作中的有限精度.参赛选手可以通过观察输出数值的波动得到误差的大小.

任何时候需要退出程序,可按 Ctrl+C 键.

1.2 常量列表及有用的关系式

1)引力常量 $G=6.67 \times 10^{-11} \text{ m}^3/(\text{kg} \cdot \text{s}^2)$.

2)理想气体常量 $R=8.314 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$.

3) $0^\circ\text{C}=273.15 \text{ K}$.

4)横截面积为 A 、速度为 v 的球在密度为 ρ_a 的大气中受到的大气阻力为

$$F_d=0.24A\rho_a v^2. \quad (1)$$

5)绝热大气的密度分布为

$$\rho_a(h)=\rho_{a0}\left(1-\frac{\gamma-1}{\gamma}\frac{\mu gh}{RT_0}\right)^{\frac{1}{\gamma-1}}=\rho_{a0}\left(1-\frac{h}{H_0}\right)^{\frac{1}{\gamma-1}}, \quad (2)$$

式中, γ 为绝热系数, μ 为气体的摩尔质量, g 为自由落体加速度, h 为距离地面的高度.此密度分布到大气顶部(该处温度 $T=0 \text{ K}$)均适用.

1.3 试题

1.3.1 A 部分:行星的属性(3分)

A.1 做适合的测量,并在答题卡中给定区域画出合适的图,确定该行星上的自由落体加速度 g .给出结果的不确定度分析.(2.0分)

A.2 在行星上,从塔出发沿赤道向远方行走,发现你能看到塔的最大距离为 $L=230 \text{ km}$ (你与塔顶的直线距离).该星球的半径 R_p 是多少?可假设你的高度远小于塔的高度.(0.5分)

A.3 估测该行星质量 M ,并给出结果的不确定度分析.哪一物理因素对你估算结果的准确性影响最大?在答题卡中勾选此物理因素(表 1).(0.5分)

表 1 答题卡上所列出的影响因素

作用在球上的大气阻力.	<input type="checkbox"/>
作用在球上的科里奥利力 $F_c=2m\mathbf{v} \times \boldsymbol{\omega}$,式中 m 、 \mathbf{v} 和 $\boldsymbol{\omega}$ 分别表示球的质量、速度以及行星的角速度.	<input type="checkbox"/>
广义相对论对引力的高阶修正,其相对大小与光子因行星引力而发生偏转角度的量级相同.	<input type="checkbox"/>
作用在球上的离心力.	<input type="checkbox"/>
由于球下落过程中与行星的距离发生变化而引起 g 的改变.	<input type="checkbox"/>

1.3.2 B 部分:大气的属性(6.5分)

B.1 做适合的测量,并在答题卡相应区域绘制适当的图,确定行星表面的风速 u .给出结果的不确定度分析.(2.0分)

B.2 通过实验得到额外的数据,或者重新使用以前的数据,并在答题卡相应区域绘制适当的图,确定行星表面的大气密度 ρ_{a0} .给出结果的不确定度分析.(1.0分)

B.3 假设大气是绝热的,绝热系数 $\gamma=1.4$,做适合的测量,在答题卡相应区域画出合适的图,

确定大气层的厚度 H_0 . 给出结果的不确定度分析. (3.0 分)

B.4 计算大气的摩尔质量 μ 和塔底部的气压 p_0 . 给出结果的不确定度分析. (0.5 分)

1.3.3 C 部分:1 d 的时长(2.5 分)

C.1 做适合的测量,在答题卡相应区域画出合适的图,确定该行星上 1 d 的时长 T_p . 给出结果的不确定度分析.

2 试题解答

2.1 A 部分:行星的属性

此部分主要考查自由落体以及万有引力定律,同时加入了大气阻力对落体运动的影响. 对于 A.1 试题,题目要求确定星体上的自由落体加速度 g 的大小,自然会想到采用自由落体模型 $h = \frac{1}{2}gt^2$,通过改变球下落高度 h ,作出 $h-t^2$ 的关系图,并进行线性拟合得到 g 值. 题目中给出星体表面有一定厚度的大气层且有风的影响,则在构造自由落体实验时需考虑尽量减小大气浮力和风阻的影响. 题设中已说明可忽略大气浮力,则只需考虑风阻的影响. 由式(1)可知,风的阻力与落体球的横截面积($A = \pi r^2$)及速度平方成正比. 球在自由下落过程中所受重力 $mg = \frac{4}{3}\rho g \pi r^3$,下落速度 $v \approx \sqrt{2gh}$,则在此题目中需要利用大而重的球从较低高度落下进行实验,使大气阻力的影响远小于重力的作用.

设置 $r = 50 \text{ cm}$, $\rho = 10 \text{ g/cm}^3$,实验数据如表 2 所示,做 t^2-h 关系图如图 3 所示.

表 2 不同高度释放大而重的球的落地时间

h/m	s/m	t/s	t^2/s^2
0	0.0	0.0	0.0
20	0.0	1.7	2.9
40	0.0	2.2	4.8
60	0.0	2.8	7.8
80	0.1	3.2	10.2
100	0.1	3.5	12.2
120	0.2	3.9	15.2
140	0.0	4.1	16.8
160	0.1	4.6	21.2
180	0.1	4.8	23.0
200	0.1	5.1	26.0

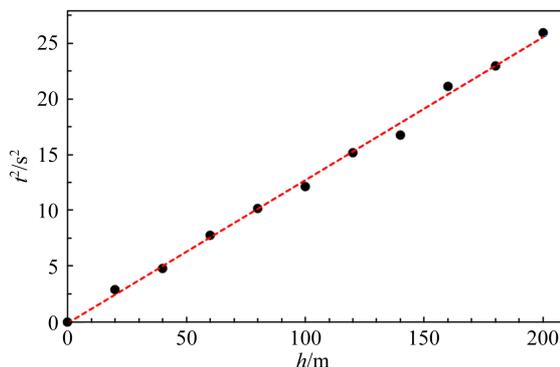


图 3 t^2-h 关系曲线

由图 3 得到直线斜率 $\frac{2}{g} = 0.127 \text{ s}^2/\text{m}$,且不确定度 $\Delta\left(\frac{2}{g}\right) = 0.004 \text{ s}^2/\text{m}$,得到重力加速度 $g = 15.7 \text{ m/s}^2$,不确定度 $\Delta g = 0.5 \text{ m/s}^2$.

A.2 题中,在沿赤道远离塔的方向,最远可看到塔尖的距离 $L = 230 \text{ km}$,可以构画出图 4 所示的几何关系,再利用勾股定理,可得

$$(R_p + H)^2 = L^2 + R_p^2,$$

得到行星半径为

$$R_p = \frac{L^2 - H^2}{2H} = 1.32 \times 10^4 \text{ km}.$$

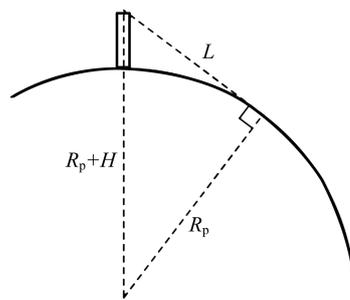


图 4 远处望向塔尖的距离关系

A.3 题可根据行星表面物体所受万有引力约等于重力的关系来估算行星的质量. 此题建立在 A.1 中已求出重力加速度 g 和 A.2 中已求出行星半径 R_p 的基础上,得到行星的质量为

$$M = \frac{gR_p^2}{G} = 4.2 \times 10^{25} \text{ kg},$$

由误差传递可得到行星质量的不确定度为

$$\Delta M = \frac{\Delta g}{g} M = 0.2 \times 10^{25} \text{ kg}.$$

在此计算中,主要用到星体的重力加速度 g

和半径 R_p , 5 个选项中, 只有第 4 项星体的自转产生的离心力对自由落体模型中的重力加速度造成影响, 对行星质量估算造成的影响最大.

2.2 B 部分: 大气属性

2.2.1 B.1: 求解风速

此部分需要求解风速的大小, 因此不能再忽略大气的作用. 而由式(1)可得, 大气阻力(或风速)与物体的受风面积 A 和速度 v^2 成正比关系, 此时需通过设置落球的大小和密度, 使其所受重力与大气阻力相当, 即考虑利用小而轻的球从塔的不同高度落下的情况. 在大气阻力和重力共同作用下, 根据式(1), 球在下落初期做变加速运动, 一定时间后达到恒定速度而匀速运动, 此时水平方向速度即是风速.

设置 $r=5\text{ cm}$, $\rho=0.1\text{ g/cm}^3$, 得到表 3 所示数据.

表 3 不同高度轻球下落时间和水平位移的测量数据

h/m	s/m	t/s	h/m	s/m	t/s
0	0.0	0.0	160	5.8	7.3
20	0.3	1.7	180	6.9	7.9
40	0.8	2.6	200	7.4	8.5
60	1.5	3.4	240	9.4	10.0
80	2.4	4.2	280	11.7	11.6
100	3.2	5.0	320	13.4	12.9
120	4.1	5.7	360	15.4	14.4
140	5.0	6.5	400	16.4	15.4

根据表 3 中的数据做小轻球落地的水平位移 s 与落地时间 t 的关系曲线, 如图 5 所示. 若将小球达到恒定速度前的位移表示为 s_0 , 则总位移可表示为

$$s = s_0 + u(t - t_0). \quad (3)$$

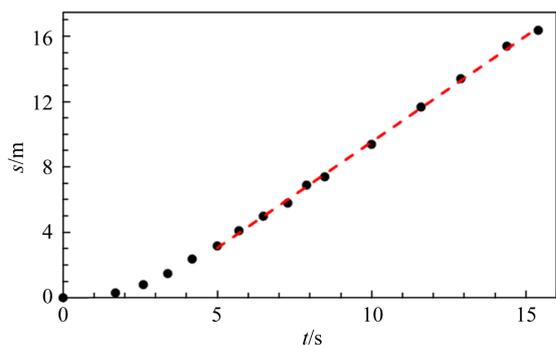


图 5 水平位移 s 与落地时间 t 的关系曲线

从图 5 中可以看到, 数据在 $t=5.0\text{ s}$ 左右为速度变化的拐点, 对拐点之后的数据进行线性拟合, 得到斜率即为风速 $u=1.31\text{ m/s}$, 不确定度 $\Delta u=0.04\text{ m/s}$.

2.2.2 B.2: 地表大气的密度

相比于 B.1 部分, 小轻球在竖直方向存在:

$$h = h_0 + v_{t0}(t - t_0), \quad (4)$$

利用 B.1 部分的实验数据, 做 h 与 t 的变化曲线如图 6 所示, 对变化恒定部分进行线性拟合, 得到速度 $v_{t0}=27\text{ m/s}$, 不确定度 $\Delta v_{t0}=2\text{ m/s}$.

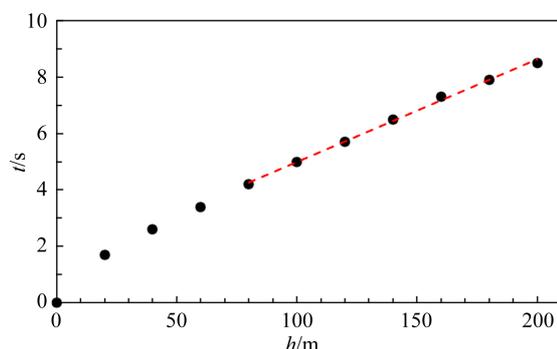


图 6 行星表面小轻球落地时间随释放高度的变化

小球达到恒定速度时满足

$$mg = 0.24A\rho_a v_{t0}^2. \quad (5)$$

小轻球的质量 $m = \frac{4}{3}\pi\rho r^3$, 横截面积 $A = \pi r^2$, 则由式(5)可以得到小轻球竖直方向的恒定速度与大气密度有关, 为

$$v_{t0}(\rho_a) = \sqrt{\frac{4\rho r g}{3 \times 0.24\rho_a}}. \quad (6)$$

此时, 大气密度为

$$\rho_{a0} = \frac{4\rho r g}{3 \times 0.24 v_{t0}^2} = 0.60\text{ kg/m}^3,$$

不确定度为

$$\Delta\rho_{a0} = \frac{2\Delta v_{t0}}{v_{t0}}\rho_{a0} = 0.07\text{ kg/m}^3.$$

2.2.3 B.3: 大气层的厚度

由式(2)可知, 当大气的绝热系数 $\gamma=1.4$ 时, 可以得到

$$\rho_a^{0.4} = \rho_{a0}^{0.4} \left(1 - \frac{h}{H_0}\right). \quad (7)$$

小球在下落过程中, 在较短的下落高度内 ($\Delta h = h_1 - h_2 \ll h_2$) 可视作匀速下落, 而高度 $h = \frac{h_1 + h_2}{2}$

处的速度为 $v_t(h) \approx \frac{h_1 - h_2}{t(h_1) - t(h_2)}$, 此时可根据式

(5)近似得到高度 h 处的大气密度为

$$\rho_a = \frac{4\rho g}{3 \times 0.24 v_t^2} \quad (8)$$

此时采集到的实验数据如表 4 所示,进一步处理可以得到表 5 的分布结果.

表 4 在不同高度释放小轻球,等间隔落下 3 次的实验数据

h/m	s_1/m	t_1/s	s_2/m	t_2/s	s_3/m	t_3/s
200	7.6	8.4	7.8	8.6	7.8	8.6
400	17.0	15.7	16.9	15.6	17.3	15.7
600	26.1	22.6	25.4	22.2	26.2	22.7
800	33.6	28.5	34.6	29.2	34.3	29.1
1 000	41.1	34.3	43.0	35.7	43.3	35.8
1 200	51.1	41.9	50.2	41.2	50.0	41.1
1 400	57.9	47.2	58.8	47.8	58.7	47.8
1 600	65.5	53.0	65.1	52.8	65.3	52.9
1 800	70.9	57.1	72.2	58.2	71.4	57.5
2 000	78.5	62.9	79.6	63.8	79.5	63.7

表 5 不同高度的大气密度值分布

h/m	$v_t/(m \cdot s^{-1})$	$\rho_a/(kg \cdot cm^{-3})$	$\rho_a^{0.4}/(kg \cdot cm^{-3})^{0.4}$
100	27.0	0.599	0.814
300	28.0	0.556	0.791
500	29.3	0.510	0.764
700	31.1	0.452	0.728
900	31.6	0.438	0.719
1 100	32.6	0.411	0.701
1 300	32.3	0.420	0.707
1 500	37.7	0.307	0.624
1 700	42.6	0.241	0.566
1 900	34.1	0.376	0.676

根据表 5 中的数据绘图,得到如图 7 所示数据曲线,拟合得到斜率为 $a = -\frac{\rho_a^{0.4}}{H_0} = -1.1 \times 10^{-4} \frac{(kg/m^3)^{0.4}}{m}$,则大气层的厚度 $H_0 = 7\ 500\ m$. 根据图 7 中 2 条点线的斜率,可以得到 H_0 的最大值和最小值,进而估算出大气层的厚度的不确定度为

$$\Delta H_0 \approx \frac{1}{2} \left[\begin{aligned} &-\frac{0.80 (kg/m^3)^{0.4}}{-8.4 \times 10^{-5} (kg/m^3)^{0.4}} + \\ &\frac{0.83 (kg/m^3)^{0.4}}{-1.4 \times 10^{-4} (kg/m^3)^{0.4}} \end{aligned} \right] \approx 2\ 000\ m.$$

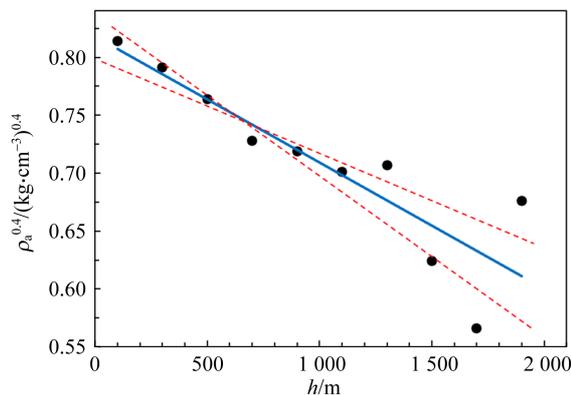


图 7 大气密度随高度的变化

2.2.4 B.4: 大气的摩尔质量和塔底的气压
由式(2)可以得到:

$$H_0 = \frac{RT_0}{\mu g} \frac{\gamma}{\gamma - 1},$$

则大气的摩尔质量为

$$\mu = \frac{RT_0}{H_0 g} \frac{\gamma}{\gamma - 1} = 72\ g/mol \approx 70\ g/mol,$$

不确定度为

$$\Delta \mu = \mu \sqrt{\frac{\Delta H_0^2}{H_0^2} + \frac{\Delta g^2}{g^2}} = 20\ g/mol.$$

根据理想气体定律,塔底的气压为

$$p_0 = \frac{\rho_{a0} RT_0}{\mu} = 2\ 000\ Pa,$$

不确定度为

$$\Delta p_0 = p_0 \sqrt{\frac{\Delta \rho_{a0}^2}{\rho_{a0}^2} + \frac{\Delta \mu^2}{\mu^2}} = 6\ 000\ Pa.$$

2.3 C 部分:1 d 的时长

行星的 1 d 时长等于其自转周期,需要考虑行星的自转运动. 根据题目所给信息可以得到,题目中的行星为类地行星,类地行星的自转周期主要受到其所在星系的恒星、自身卫星以及由星体间的万有引力造成的潮汐力的影响^[2]. 答案给出的一种思路为通过求解行星的自转角速度 ω 来得到其自转周期.

由星体自转引起的离心力和科里奥利力会影响落体小球的运动轨迹. 由于塔的高度 H 远小于行星半径 R_p ,离心力几乎与重力作用重合. 科里奥利力作用于小球上,使其产生加速度为

$$\mathbf{a}_{cor} = -2\boldsymbol{\omega} \times \mathbf{v}, \quad (9)$$

此加速度方向垂直于小球的速度方向和行星的自转轴方向,且沿赤道方向随着下落速度线性增大. 则落体小球在水平方向上的加速度可以表示为

$$a_x = 2\omega v_y + a_{\text{drag}}. \quad (10)$$

若通过设置球的半径和密度参量,使大气阻力可被忽略,球在水平方向做初速度为零的加速运动.

则式(10)中 $a_x = 2\omega v_y = 2\omega g t$,球在水平方向的位

移 $s = \frac{1}{3}\omega t^3$,落地时间 $t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$,则水平位移为

$$s = \frac{2\omega}{3}\sqrt{\frac{2h^3}{g}}. \quad (11)$$

根据式(11),设置 $r = 50 \text{ cm}$, $\rho = 10 \text{ g/cm}^3$,采集不同下落高度 h 球的水平位移数据,如表 6 所示,做 $s - \sqrt{h^3}$ 变化曲线(图 8).

表 6 科里奥利力影响下球下落高度与水平位移数据

h/m	s/m	$\sqrt{h^3}/\sqrt{\text{m}^3}$
0	0.0	0
200	0.2	2 800
400	0.5	8 000
600	0.8	14 700
800	1.2	22 600
1 000	1.8	31 600
1 200	2.3	41 600
1 400	2.8	52 400
1 600	3.4	64 000
1 800	4.0	76 400
2 000	4.8	89 400

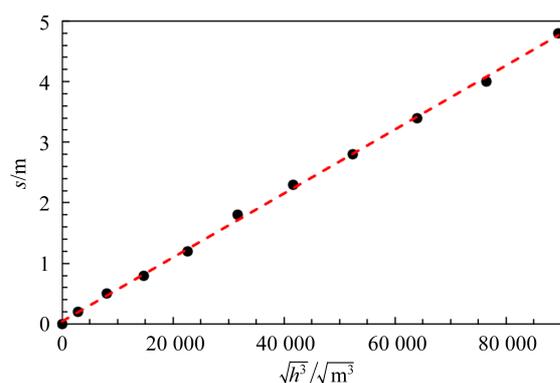


图 8 科里奥利力作用下落球的水平位移随下落高度的变化

拟合得到直线的斜率为

$$k = \frac{2\omega}{3}\sqrt{\frac{2}{g}} = 5.27 \times 10^{-5} \text{ m}^{-1/2},$$

不确定度为 $\Delta k = 0.11 \times 10^{-5} \text{ m}^{-1/2}$. 行星自转周期即 1 d 的时长为

$$T_p = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{4\pi}{3k}\sqrt{\frac{2}{g}} = 28\,000 \text{ s} \approx 7.8 \text{ h},$$

不确定度为

$$\Delta T_p = T_p \sqrt{\left(\frac{\Delta g}{2g}\right)^2 + \frac{\Delta k^2}{k^2}} = 0.2 \text{ h}.$$

3 分析讨论

3.1 题目分析

实验试题 1 考查内容的物理知识背景为力学中较为经典的自由落体和万有引力定律,相对难度较低. 虚拟软件程序没有采用可视化的场景界面,而是通过黑盒子界面进行物理模型推演和计算. 题目的难点在于物理模型的构建,即如何选择合理的实验参量以达到理论近似的实验条件. 比如风速恒定的情况下,在 A.1 和 C.1 部分,需要构造忽略大气阻力的实验条件,选择大而重的球;而在 B.1~B.3 部分,需要选择小而轻的球,构造受大气阻力影响较大的实验条件. 实验过程中需要采集比较多的数据,通过作图法得到相应的物理量,并估算不确定度,对大部分参赛选手来说比较费时且需要细心设计.

A 部分是解决后续题目的前提,如图 9 所示, A.1 问求得的自由落体加速度 g 在 A.3, B.2 以及 C.1 问中均被用到; B.2 在求得地表大气密度后,才能在 B.3 中用于求解大气厚度 H_0 ,而求得 H_0 后,才能在 B.4 中继续求解得到大气摩尔质量 μ 和塔底气压 p_0 . 这使得题目之间有较强的连续

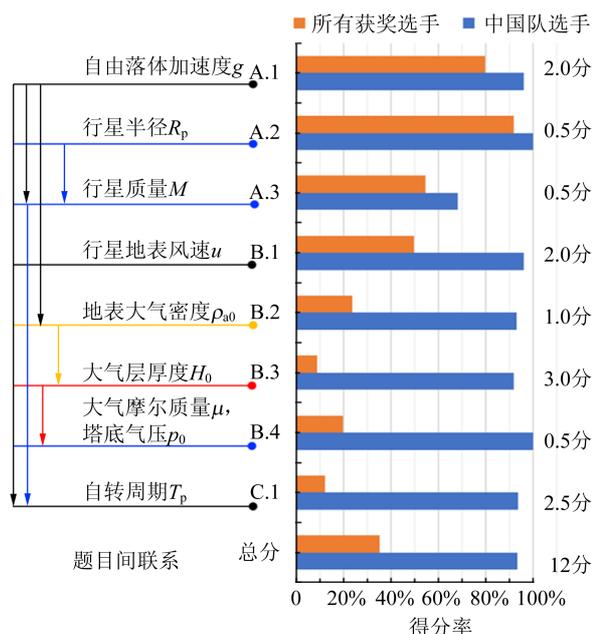


图 9 试题 1 中各题目的联系及所有获奖选手与中国队选手各题平均得分率的对比

性,如果前面题目数据误差较大,会对后续题目的解答造成影响.这也可从图 9 中所有获奖选手的各题平均得分率的变化趋势中看出,B.2~B.4 的得分率都很低.除了自由落体和万有引力定律,试题还考查了科里奥利力.科里奥利力的知识点并未在题设中给出,而是在答题卡的 A.3 问中的题目选项中简单介绍.大部分选手对此物理概念了解不深,导致 C.1 总体得分较低.

3.2 答题情况分析

所有获奖选手(优秀奖以上)约占总参赛人数(368 人)的 82%.其总分的平均得分率人数占比分布如图 10 所示,得分率在 60% 以上有 23 人,约占总人数的 6.25%.中国队选手的总得分率均

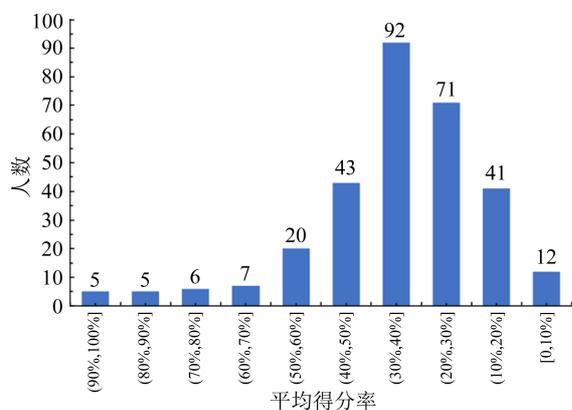


图 10 试题 1 总分得分率区间的人数占比

在 90% 以上,从图 9 中可以看到,中国队选手只有在 A.3 问上得分率较低,为 68%.此问中大部分中国队选手选错了影响因素而失掉 0.2 分,其他小题平均得分率均在 90% 以上.

4 结束语

本届国际物理奥林匹克竞赛实验试题首次采用线上虚拟实验的形式,一方面弱化了对选手实验动手能力的考查,另一方面加大了对选手实验设计思维和数据处理能力的考查.本届物理奥赛的虚拟实验模式对基础物理实验教学有一定的借鉴作用.

致谢:感谢南开大学本科生李建勋和郭丰在试卷翻译过程中的协助.感谢参与本次奥赛培训、选拔与远程考试的各位老师!感谢中国科学技术协会、中国物理学会、天津市物理学会等单位 and 部门对赛事的支持!

参考文献:

- [1] IPho2022 Experiment Q1: Planet [EB/OL]. [2022-08-20]. <https://ipho2022.com/wp-content/uploads/2022/07/exam-experiment-Q1-english.pdf>.
- [2] Dehant V, van Hoolst T. Rotation of planets: Encyclopedia of the solar system [M]. Amsterdam: Elsevier, 2014:159-184.

Introduction and solution to the first problem of the 52nd International Physics Olympiad experiment exam

LI Wen-hua^{a,b}, WANG Jin^{a,b}, HUI Wang-wei^{a,b},
LIU Li-sa^{a,b}, SONG Feng^a, KONG Yong-fa^{a,b}

(a. School of Physics; b. National Demonstration Center for Experimental Physics Education, Nankai University, Tianjin 300071, China)

Abstract: The first problem of the 52nd International Physics Olympiad exam was planet, which examined the freely falling body and the law of universal gravitation. For the first time, the examination was conducted in the form of remote online virtual experiment. This paper mainly introduced the proposition and solution of problem 1, and made a simple analysis of the relationship between the problems and the answers of all the participating students.

Key words: freely falling body; law of universal gravitation; planet; International Physics Olympiad exam; virtual experiment

[责任编辑:任德香]