



新编中学物理
解题方法全书

(自主招生考试复习指定用书)

60
分
钟
拿
下

自主 招 生 物 理



 哈尔滨工业大学出版社



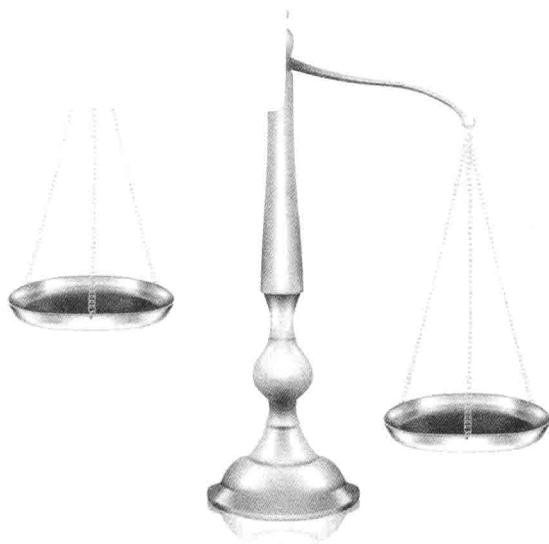
新编中学物理
解题方法全书

(自主招生复习指定用书)

60
分
钟
拿
下

自主招生 物理

赵维玲 著



哈尔滨工业大学出版社

内容提要

本书包括力学、热学、电磁学、光学与近代物理几个部分,对历年自主招生试题精心研究,将考试内容进行专题归类、分析、梳理和总结,为考生提出复习和应试策略,帮助考生熟悉考试思路,把握命题趋势,特别是在“深化概念、拓展方法、增加内容、提高难度”这四个方面训练考生,提高考生应试能力。

本书是自主招生、奥赛同学很好的辅导参考书。

图书在版编目(CIP)数据

60分钟拿下自主招生物理/赵维玲著. —哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2013.10

ISBN 978-7-5603-4231-3

I. ①6… II. ①赵… III. ①中学物理课—高中—升学参考资料 IV. ①G634.73

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 205559 号

策划编辑 王桂芝
责任编辑 李长波
封面设计 刘长友
出版发行 哈尔滨工业大学出版社
社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街 10 号 邮编 150006
传 真 0451-86414749
网 址 <http://hitpress.hit.edu.cn>
印 刷 哈尔滨工业大学印刷厂
开 本 880mm×1230mm 1/16 印张 13.75 字数 383 千字
版 次 2013 年 10 月第 1 版 2013 年 10 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-5603-4231-3
定 价 48.00 元

(如因印装质量问题影响阅读,我社负责调换)

由于自主招生试卷由大学老师命题,针对的又是全国各地的优秀高中生,所以出题难度和范围并不严格受高考考纲限制。考生要特别对某些知识点有针对性地进行补充,这样才能有的放矢,利用有限的时间做有效的准备。

通过分析近几年来各自主招生联盟的物理试题,我们可以大致体会各个高校自主招生联盟物理考试命题的精髓,了解他们的命题风格、考查内容和考查方式,以及他们注重考查考生哪些方面的能力。三大联盟考试题目的设计在考查考生对所学物理知识灵活运用能力及综合能力、综合素养等方面有共同的追求,而“华约”和“卓越联盟”还注重考查考生的实验动手能力和基本的实验素养等。

各联盟物理试题一个较大的特点是:命题不受各地物理高考大纲的限制,主要体现在以下两个方面:

(1)有相当一部分试题所涉及的知识点超出高考大纲规定的考查范围。

(2)试题大多具有物理竞赛试题的风格,试题难度明显高于高考相关试题,大部分试题约为全国竞赛初赛水平,部分试题达到复赛试题的难度水平。

因此,没有经过特别培训的考生,面对如此试题可能会一筹莫展,考试成绩不会理想。这就是当前形势下开设自主招生考试培训的必要性所在。

作者结合近年来自主招生物理考试的命题风格、试题范围、最新自主招生考试大纲等特点,撰写了此书,以期为准备参加自主招生考试的学子们提供一个快速、准确、有效的复习捷径,在短时间内尽可能掌握更多的物理知识和解题方法,提高应试能力。

在编写过程中,白雅君、张楠、夏欣、陈素云、李东、王玉、齐丽娜、赵慧、刘艳君、孙丽娜、王丽娟、张黎黎、张舫、何影对本书的编写也提供了大力支持,在此向他们深表谢意!

由于作者水平有限,书中难免存在疏漏与不妥之处,敬请有关专家、学者和广大读者批评指正。

作 者

2013 年 8 月

目 录

专题一 力学 1

 大纲要求 1

 习题 2

专题二 热学 56

 大纲要求 56

 习题 56

专题三 电磁学 78

 大纲要求 78

 习题 78

专题四 光学与近代物理 161

 大纲要求 161

 习题 161

附 录 184

 第一章 “金牌教练”的由来 185

 第二章 再创佳绩,勇往直前 193

 第三章 奥赛感言 198

 第四章 新时代的知性女人 209

 第五章 期待下一个神话 211

专题一 力 学

大纲要求

一、运动学

1. 需深化的概念

描述一般曲线运动的基本物理量,如位置矢量、位移、速度、加速度、运动方程;相对运动、牵连运动与绝对运动间的关系,伽利略变换.

2. 需拓展的方法

应用运动的分解与合成思想处理一般曲线运动的方法;应用无限分割与叠加的思想处理随时间、空间变化问题的方法.

3. 需增加的内容

自然坐标系中的切向加速度和法向加速度;抛体运动;一般圆周运动的角量描述.

二、力与牛顿运动定律

1. 需深化的概念

主动力和被动力;约束与约束方程;非惯性系和惯性力;稳定平衡与非稳定平衡.

2. 需拓展的方法

应用牛顿定律解题的一般方法(画隔离体图分析受力,坐标系的建立与时间起点的确定,写出相应的动力学方程与约束方程,求解及结果的分析讨论等);在非惯性系中应用牛顿定律解题的方法.

3. 需增加的内容

常见力的规律与性质(重力、万有引力、摩擦力、弹性力);无固定转轴物体的平衡.

三、守恒定律

1. 需深化的概念

质点系(内力、外力、质心);势能(保守力做功与势能变化的关系,势能零点).

2. 需拓展的方法

变力做功的计算方法;分析和判断守恒定律成立与否的基本思想与方法.

3. 需增加的内容

常见力的功及相应的势能表达式;质点系的动能定理、功能原理与机械能守恒;动量和冲量;动量定理和动量守恒定律(质点、质点系);质心运动定理;反冲与碰撞问题;开普勒定律(角动量守恒).

四、机械振动与机械波

1. 需深化的概念

简谐振动的判据;简谐振动的相位;波的传播.



2. 需拓展的方法

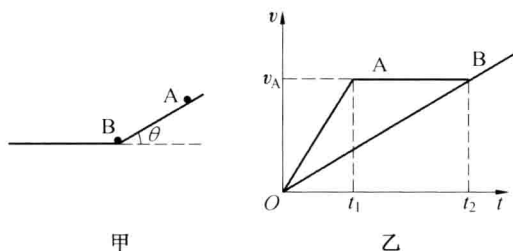
旋转矢量法.

3. 需增加的内容

简谐振动表达式;一维平面简谐波表达式;波的叠加与干涉;多普勒效应.

习 题

1. 如图甲所示,在倾角为 θ 的光滑斜面顶端有一质点 A 自静止开始自由下滑,与此同时在斜面底部有一质点 B 自静止开始以匀加速度 a 背离斜面在光滑的水平面上运动. 设 A 下滑到斜面底部能沿着光滑的小弯曲部分平稳地朝 B 追去,为使 A 不能追上 B, a 的取值范围为多少?



【解析】 解法一:

A 滑到水平面所需时间

$$t_1 = \frac{v_A}{g \sin \theta}$$

A 恰能追上 B 所需满足的条件:

(1) 又经 t_2 后 A 与 B 在水平面上运动距离相等,即

$$v_A t_2 = a(t_1 + t_2)^2 / 2$$

(2) A 追上 B 时, B 的速度恰为 v_A , 即

$$v_A = a(t_1 + t_2)$$

由上面三式解得

$$t_1 = t_2, \quad v_A = a(t_1 + t_2) = 2at_1, \quad a = g \sin \frac{\theta}{2}$$

故为使 A 不能追上 B, 必须满足

$$a > g \sin \frac{\theta}{2}$$

解法二:

利用 $v-t$ 图线, 如图乙所示

$$v_A = g \sin \theta \cdot t_1$$

A: t_1-t_2 , B: $0-t_2$, 面积相等

$$v_A(t_1 + t_2)/2 = v_A t_2$$

$$t_1 = t_2$$

$$v_A = a(t_1 + t_2) = g \sin \theta \cdot t_1$$

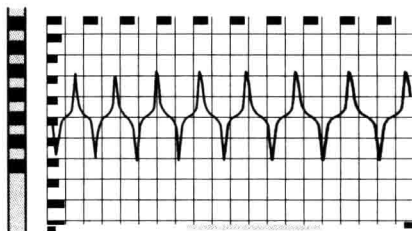
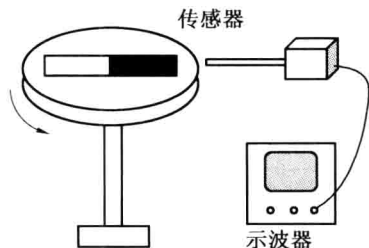
得

$$a = g \sin \frac{\theta}{2}$$

2. 如图甲所示,一条形磁铁置于水平转台上随转台一起做匀变速转动,一磁传感器位于转台边缘. 从而可以获得传感器所在位置的磁感应强度随时间的变化曲线,如图乙所示. 图乙中横坐标为时间轴,读数为 3 秒/每格,纵坐标为磁感应强度. 求:



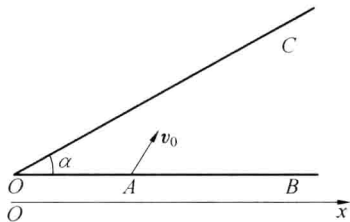
- (1) 转台在测量期间的平均角速度.
(2) 转台的角加速度.



【解析】 作 $\omega - t$ 图, 直线的斜率即为角加速度

$$\bar{\omega} = \frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{6 \times 2\pi}{15 \times 3} \text{ rad/s} = \frac{4\pi}{15} \text{ rad/s}$$

3. 如图, 在水平面 OB 上有一 A 点, $OA = L$, 在 A 点以速度 v_0 抛出一小球, 在不被倾角为 α 的 OC 面板弹回的前提下, 问小球的最大射程是多少?



【解析】

$$x = v_0 \cos \theta \cdot t, \quad y = v_0 \sin \theta \cdot t - \frac{1}{2} g t^2$$

轨道方程

$$y = x \tan \theta - \frac{g x^2}{2 v_0^2 \cos^2 \theta}$$

OC 线方程

$$y = (x + L) \tan \alpha$$

$$x \tan \theta - \frac{g}{2 v_0^2 \cos^2 \theta} x^2 = (x + L) \tan \alpha$$

取 $\theta = 45^\circ$, 则

$$\frac{g}{2 v_0^2} x^2 + (\tan \alpha - 1) x + L \tan \alpha = 0$$

为使小球不被 OC 面板弹回, 方程应无解

$$\Delta = (\tan \alpha - 1)^2 - \frac{4gL}{v_0^2} \tan \alpha < 0$$

$$v_0^2 < \frac{4gL \tan \alpha}{(\tan \alpha - 1)^2}$$

此时最大射程

$$x = \frac{v_0^2}{g}$$

若 $v_0^2 \geq \frac{4gL \tan \alpha}{(\tan \alpha - 1)^2}$, $\theta < 45^\circ$, 但 $\theta > \alpha$

故

$$\Delta = (\tan \alpha - \tan \theta)^2 - 4 \frac{gL}{2 v_0^2 \cos^2 \theta} L \cdot \tan \alpha$$

为使小球不被 OC 面板弹回, 方程应无解或只有一解, 整理得

$$\Delta = \sin^2(\alpha - \theta) - \frac{gL}{v_0^2} \sin 2\alpha \leq 0$$



由于 $\theta > \alpha$, 故

$$\sin^2(\theta - \alpha) \leq \frac{gL}{v_0^2} \sin 2\alpha$$

得

$$\theta \leq \alpha + \arcsin \frac{\sqrt{gL \sin 2\alpha}}{v_0}$$

所以, 小球的最大射程为

$$x_{\max} = \frac{v_0^2}{g} \sin 2(\alpha + \arcsin \frac{\sqrt{gL \sin 2\alpha}}{v_0})$$

4. 将一小球从某点以初速度 v_0 竖直向上抛出, 当小球落回该抛出点时速率为 v_1 , 已知小球在运动过程中受到的空气阻力大小与小球的速度大小成正比, 求小球从抛出到落回原处所用的时间.

【解析】 空气阻力正比于运动速度, 物体上升与下落整个过程的速度时间曲线一定是分布于时间轴的上下两面, 且由于上升与下落过程经过的距离相等, 即时间轴上下两侧曲线所围的面积相等, 而速度时间曲线等价于阻力时间曲线, 所以在整个运动过程中空气阻力的冲量等于零. 由动量定理得

$$mgt = mv_1 - (-mv_0)$$

故

$$t = \frac{v_0 + v_1}{g}$$

上升阶段:

$$-mg - kv = ma$$

$$\frac{\Delta v}{\Delta t} = -g - \frac{k}{m} \cdot \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

故

$$-v_0 = -gt_1 - \frac{k}{m}h$$

下降阶段:

$$mg - kv = ma'$$

$$\frac{\Delta v'}{\Delta t} = g - \frac{k}{m} \cdot \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

故

$$v_1 = gt_2 - \frac{k}{m}h$$

$$v_1 + v_0 = g(t_1 + t_2) = gt$$

解得

$$t = \frac{v_0 + v_1}{g}$$

5. 匀速提绳上升, 绳 (m, l) 均匀, 求提起 x 时手对绳端的力.

【解析】 以整段绳为研究对象, 对其列动量定理

$$(F + N - mg)\Delta t = p(t + \Delta t) - p(t)$$

$$p(t) = \frac{m}{l}x \cdot v$$

$$p(t + \Delta t) = \frac{m}{l}(x + \Delta x) \cdot v$$

故

$$(F + N - mg)\Delta t = \frac{m}{l}(x + \Delta x) \cdot v$$

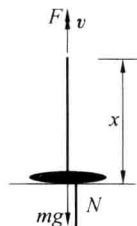
由于

$$\frac{\Delta x}{\Delta t} = v, \quad N = \frac{m}{l}(l - x)g$$

故

$$F = mg - \frac{m}{l}(l - x)g + \frac{m}{l}v^2 = \frac{m}{l}x \cdot g + \frac{m}{l}v^2$$

6. 质量为 M 的静止粒子 A 与质量为 m 、具有速度 v_0 的粒子 B 碰撞, 实验发现, 当 B 的动能小于





某个数值时, A、B 为弹性碰撞, 只有当 B 的动能大于此值时, A、B 发生非弹性碰撞, 此时 B 将吸收数值为 ΔE 的固定能量. 计算 B 所应具有的这一动能值.

【解析】 系统合外力为零, 所以质心速度不变

$$v_c = \frac{m}{m+M} v_0$$

由于系统能量守恒

$$\frac{1}{2} m v_0^2 = \frac{1}{2} (m+M) v_c^2 + \frac{1}{2} m v^2 + \frac{1}{2} M V^2 + \Delta E$$

v 、 V 为相对质心的速度, 为使 v 最小, 要求碰撞后相对质心速度为零, 即完全非弹性碰撞, 所以

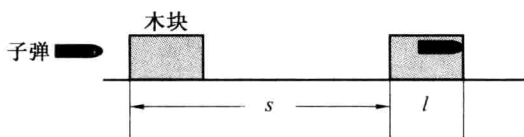
$$\frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} M V^2 = 0$$

$$v_0 = \sqrt{\frac{2}{m} \left(1 + \frac{m}{M}\right) \Delta E}$$

故

$$E_k = \left(1 + \frac{m}{M}\right) \Delta E$$

7. 如图, 一颗子弹穿入厚为 l 的木块后停留在木块的前部, 同时木块在桌面上向前移动了 s 距离, 求这一过程中子弹与木块之间的摩擦力所做的总功.



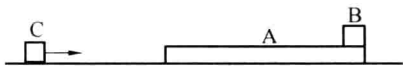
【解析】 地面参考系: $A_1 = f \cdot s$ (木块), $A_2 = -f \cdot (s+l)$ (子弹)

木块参考系: $A_1 = 0$ (木块), $A_2 = -f \cdot l$ (子弹)

子弹参考系: $A_1 = -f \cdot l$ (木块), $A_2 = 0$ (子弹)

$$A_f = A_1 = A_2 = -f \cdot l$$

8. 如图, 长为 l 的木板 A 的质量为 M , 板上右端有质量为 m 的物块 B (不计大小), 物块与木板间的滑动摩擦因数为 μ , 它们一起静止在光滑的水平面上, 则质量为 m 的物块 C 至少以_____的速率与木板左端发生完全非弹性碰撞时, 方可使 B 脱离 A 板.



【答案】 $\frac{\sqrt{2g\mu l(m+M)(2m+M)}}{m}$

【解析】 $mV_C = (m+M)V_{A+C} = (2m+M)V_{A+B+C} - mg\mu l =$

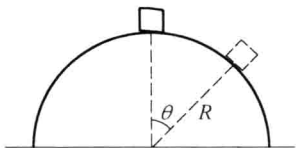
$$\frac{1}{2}(2m+M)V_{A+B+C}^2 - \frac{1}{2}(m+M)V_{A+C}^2$$

$$V_C = \frac{\sqrt{2g\mu l(m+M)(2m+M)}}{m}$$

9. 如图, 半径为 R , 质量为 M , 表面光滑的半球放在光滑水平面上, 在其正上方置一质量为 m 的小滑块. 当小滑块从顶端无初速地下滑后, 在图示的 θ 角位置处开始脱离半球. 已知 $\cos \theta = 0.7$, 求 M/m .

【解析】 $MV = m(v' \cos \theta - V)$

$$mgR(1 - \cos \theta) = \frac{1}{2}[(v' \cos \theta - V)^2 + (v' \sin \theta)^2] + \frac{1}{2}MV^2$$





解得

$$v' = \left[\frac{2gR(1 - \cos \theta)(m + M)}{M + \sin^2 \theta} \right]^{\frac{1}{2}}$$

由于滑块脱离半球的瞬间 $N = 0$

所以

$$g \cos \theta = \frac{v'^2}{R}$$

以 v' 代入后解得

$$\frac{M}{m} = \frac{2(1 - \cos \theta) - (1 - \cos^2 \theta) \cos \theta}{\cos \theta - 2(1 - \cos \theta)} = 2.43$$

10. 如图, 两个质量分别为 m_1 和 m_2 的木块 A、B, 用一劲度系数为 k 的轻弹簧连接, 放在光滑的水平面上, A 紧靠墙. 今用力推 B 块, 使弹簧压缩 x_0 然后释放. 已知 $m_1 = m, m_2 = 3m$, 求:



(1) 释放后 A、B 两滑块速度相等时瞬时速度的大小.

(2) 弹簧的最大伸长量.

【解析】 设弹簧恢复到原长时滑块 B 的速度为 V_{B0}

由机械能守恒: $\frac{1}{2} k x_0^2 = \frac{3m V_{B0}^2}{2}, \quad V_{B0} = x_0 \sqrt{\frac{k}{3m}}$

A 块离墙后:

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_2 V_{B0}$$

 $v_1 = v_2 = v$ 时:

$$mv + 3mv = 3m V_{B0}$$

$$v = \frac{3}{4} V_{B0} = \frac{3}{4} x_0 \sqrt{\frac{k}{3m}}$$

由机械能守恒: $\frac{1}{2} k x^2 + \frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2 = \frac{1}{2} m_2 V_{B0}^2$

当弹簧处于最大伸长量时, 必有 $v_1 = v_2 = v = 3V_{B0}/4$

$$\frac{1}{2} k x^2 + \frac{1}{2} m \frac{9}{16} V_{B0}^2 + \frac{1}{2} 3m \frac{9}{16} V_{B0}^2 = \frac{1}{2} 3m V_{B0}^2$$

化简得 $\frac{1}{2} k x^2 = \frac{3}{8} m V_{B0}^2 = \frac{3}{8} m \left(x_0 \sqrt{\frac{k}{3m}} \right)^2 = \frac{1}{8} k x_0^2$

$$x_{\max} = \frac{1}{2} x_0$$

11. 人造地球卫星质量为 m , 其圆轨道半径为 r .

(1) 求总机械能.

(2) 受微小阻力 f , 假设绕一平均圆轨道运动, 求每运行一周半径的改变量 Δr .(3) 求每运行一周动能的改变量 ΔE_k .

【解析】 (1)

$$\frac{GMm}{r^2} = \frac{mv^2}{r}$$

$$E_k = \frac{1}{2} mv^2 = \frac{GMm}{2r}$$

$$E_p = -\frac{GMm}{r}$$

所以

$$E = E_k + E_p = -\frac{GMm}{2r}$$

(2) $-2\pi f = \Delta E = -\frac{GMm}{2} \left(\frac{1}{r + \Delta r} - \frac{1}{r} \right) = \frac{GMm}{2r^2} \Delta r$



解得

$$\begin{aligned}\Delta r &= \frac{-4\pi r^3 f}{GMm} \\ (3) \quad \Delta E_k &= \frac{GMm}{2} \left(\frac{1}{r+\Delta r} - \frac{1}{r} \right) = -\frac{GMm}{2r^2} \Delta r = 2\pi r f \\ \Delta E_k &= 2\pi r f > 0 \\ A_G - 2\pi r f &= \Delta E_k, \quad A_G = -\frac{GMm}{r^2} \Delta r = 2\Delta E_k\end{aligned}$$

引力做功,一半用于克服阻力,一半用于增加动能.

12. 试从开普勒第二定律(即行星绕日运动时日星连线单位时间内所扫过的面积为恒量)出发,证明开普勒第三定律,即行星绕日运动的椭圆轨道半长轴 a 与运动周期 T 满足 $T^2 = a^3$ 为恒量.

【解析】 如图所示,行星与太阳连线在单位时间内扫过的面积为

$$\frac{\Delta A}{\Delta t} = \frac{1/2 r \Delta r \sin \theta}{\Delta t} = \frac{1}{2} r v \sin \theta = \text{const}$$

在近日点和远日点附近特例

$$\frac{\Delta A}{\Delta t} = \frac{1}{2} r_A v_A = \frac{1}{2} r_B v_B$$

则行星运动的周期为 $T = \frac{\pi ab}{\Delta A / \Delta t}$, 角动量守恒.

在近日点和远日点由机械能守恒

$$\begin{aligned}\frac{1}{2} m v_A^2 - G \frac{Mm}{r_A} &= \frac{1}{2} m v_B^2 - G \frac{Mm}{r_B} \\ v_A^2 &= \frac{2GM r_B}{(r_A + r_B) r_A}\end{aligned}$$

有数学关系式

$$\begin{cases} r_A = a - c \\ r_B = a + c \\ a^2 = b^2 + c^2 \end{cases}$$

$$v_A = \sqrt{\frac{GM}{a}} \sqrt{\frac{r_B}{r_A}}$$

$$\frac{\Delta A}{\Delta t} = \frac{1}{2} r_A v_A = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{GM}{a}} \sqrt{r_A r_B} = \frac{b}{2} \sqrt{\frac{GM}{a}}$$

$$T = \frac{\pi ab}{\Delta A / \Delta t} = 2\pi a \sqrt{\frac{a}{GM}}$$

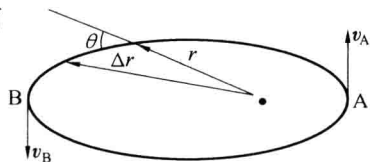
所以

$$\frac{T^2}{a^3} \frac{4\pi^2}{GM} = \text{const}$$

13. 地球可看作是半径 $R = 6\,400\text{ km}$ 的球体,卫星在地面上空 $h = 800\text{ km}$ 的圆形轨道上以 7.5 km/s 的速度绕地球运动. 在卫星外侧发生一次爆炸,其冲量不影响卫星当时的切向速度 $v_t = 7.5\text{ km/s}$,但使卫星获得一个指向地心的径向速度 $v_n = 0.2\text{ km/s}$. 求这次爆炸后卫星轨道的最低点和最高点各位于地面上空多少千米?

【解析】

$$\begin{aligned}\frac{1}{2} m v_t^2 + \frac{1}{2} m v_n^2 - \frac{GMm}{r} &= \frac{1}{2} m v'^2 - \frac{GMm}{r'} \\ m v_t r &= m v' r', \quad \frac{GMm}{r^2} = \frac{m v_t^2}{r}, \quad GM = r v_t^2\end{aligned}$$





所以

$$(v_1^2 - v_n^2)r'^2 - 2v_1^2 rr' + v_1^2 r^2 = 0$$

$$[(v_1 + v_n)r' - v_1 r][(v_1 - v_n)r' - v_1 r] = 0$$

所以

$$h_{\max} = r'_1 - R, \quad h_{\min} = r'_2 - R$$

14. 如图, 质量为 m_1 , 速度为 v_1 的粒子被一静止的核俘获后, 产生一质量为 m_2 的粒子, 沿垂直于 v_1 的方向射出, 余下的核的质量为 m_3 , 在此过程中有量值为 Q 的非机械能转化为机械能, 求新粒子的动能.

【解析】

$$m_1 v_1 = m_3 v_3 \cos \theta \quad ①$$

$$m_2 v_2 = m_3 v_3 \sin \theta \quad ②$$

由 ①、② 得

$$m_1^2 v_1^2 + m_2^2 v_2^2 = m_3^2 v_3^2 \quad ③$$

$$\frac{1}{2} m_1 v_1^2 + Q = \frac{1}{2} m_2 v_2^2 + \frac{1}{2} m_3 v_3^2 \quad ④$$

将 ③ 代入 ④ 中, 得

$$\frac{1}{2} m_1 v_1^2 + Q = \frac{1}{2} m_1 v_1^2 \frac{m_1}{m_3} + \frac{1}{2} m_2 v_2^2 (1 + \frac{m_2}{m_3})$$

所以

$$E_k = \frac{1}{2} m_2 v_2^2 = \frac{m_3}{m_2 + m_3} \left[Q + \frac{1}{2} m_1 v_1^2 \left(\frac{m_3 - m_1}{m_3} \right) \right]$$

15. 如图, 有两个悬挂在同一点的完全相同的等长度单摆, 设开始时, 两个单摆分别向左右两侧分开, 与自由悬挂位置的夹角分别为 θ 和 2θ ($2\theta < 5^\circ$). 若把两个单摆从静止时同时释放, 设经历 t_0 时间后发生第一次完全弹性的对心碰撞. 从发生对心碰撞开始计时, 则左右两个单摆摆动到各自与竖直方向间夹角为 θ 的位置时所经历的时间分别为 _____, _____.

【答案】 $t_0; t_0/3$

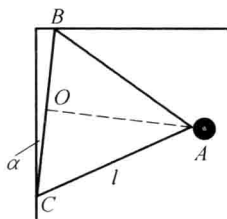
【解析】 单摆做简谐振动, 周期相等. 且 $T = 4t_0$

弹性对心碰撞, 速度交换

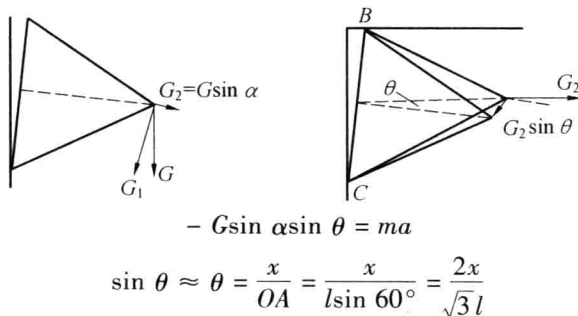
右摆最大摆角为经历了 $1/4$ 周期, 即 t_0 ; 左摆最大摆角为 2θ , 周期仍为 $4t_0$.

由旋转矢量图可得, 由平衡位置运动到 θ 需 $1/12$ 周期.

16. 如图, 摆球 m 固定在轻质等边三角形框架定点 A , 可绕 BC 摆动, α 很小, 求 T .



【解析】

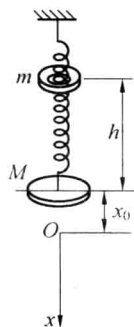




$$a = -\frac{2g\sin\alpha}{\sqrt{3}l}x$$

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{\sqrt{3}l}{2g\sin\alpha}}$$

17. 如图,质量为 M 的圆盘悬挂在劲度系数为 k 的轻弹簧下端,一套在弹簧上质量为 m 的圆环从离盘高 h 处自由下落,落在盘上后随盘一起做简谐振动,问:环碰到盘后多久到达最低点?



【解析】

$$mgh = \frac{1}{2}mv^2$$

$$mv = (m + M)v_0$$

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m + M}}$$

初始条件:

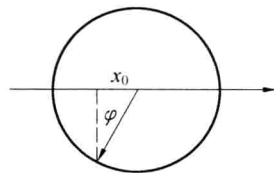
$$x_0 = -\frac{mg}{k}, \quad v_0 = \frac{m}{m + M}\sqrt{2gh}$$

$$\begin{cases} x_0 = A\cos\varphi \\ v_0 = -\omega A\sin\varphi \end{cases}$$

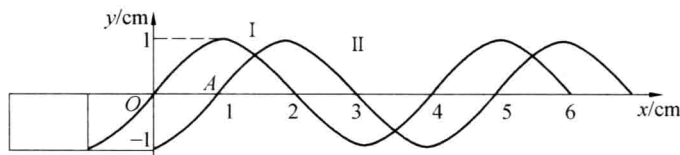
$$\tan\varphi = -\frac{v_0}{\omega x_0}$$

$$\varphi = \arctan\frac{v_0 k}{mg\omega}$$

$$\omega t = \pi - \varphi$$



18. 已知 $t = 0$ 时的波形曲线为 I, 波沿 x 方向传播, 经 $t = 1/2$ s 后波形变为曲线 II. 已知波的周期 $T > 1$ s, 试根据图中条件求 A 点的振动式.



【解析】

$$A = 0.01 \text{ m}, \quad \lambda = 0.04 \text{ m}$$

波速:

$$u = \frac{x_1 - x_0}{t} = \frac{0.01}{1/2} \text{ m/s} = 0.02 \text{ m/s}$$

$$T = \frac{\lambda}{u} = \frac{0.04}{0.02} \text{ s} = 2 \text{ s}, \quad \omega = \frac{2\pi}{T} = \pi \text{ s}^{-1}$$

原点振动:

$$y_0 = A\cos(\omega t + \varphi)$$

初始条件:

$$0 = A\cos\varphi \rightarrow \varphi = \pm\frac{\pi}{2}$$

$$u = -\omega A\sin\varphi < 0, \quad \sin\theta > 0 \rightarrow \varphi = \frac{\pi}{2}$$

$$y_0 = 0.01\cos(\pi t + \frac{\pi}{2})$$

A 点振动比 O 点滞后, 落后的时间为

$$\Delta t = \frac{\Delta x}{u} = \frac{0.01}{0.02} \text{ s}$$

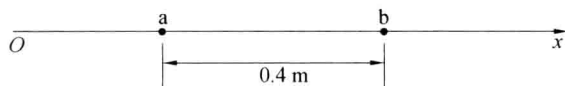
若 O 开始振动时刻 $t = 0$, 则 A 在 $t = \Delta t$ 时刻的振动状态与 O 在 $t = 0$ 时刻的振动状态相同



A 点振动式: $y_A = 0.01 \cos[\pi(t - \Delta t) + \frac{\pi}{2}]$

$$y_A = 0.01 \cos \pi t$$

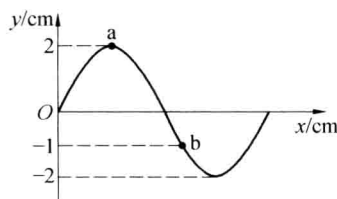
19. 如图, 一列沿 x 轴正方向传播的简谐横波, 振幅为 2 cm, 波速为 2 m/s, 在波的传播方向上两质点 a、b 的平衡位置相距 0.4 m (小于一个波长). 当质点 a 在波峰位置时, 质点 b 在 x 轴下方与 x 轴相距 1 cm 的位置, 则().



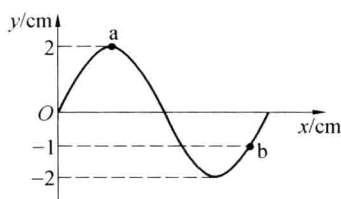
- A. 此波的周期可能为 0.6 s
 B. 此波的周期可能为 1.2 s
 C. 从此时刻起经过 0.5 s, b 点可能在波谷位置
 D. 从此时刻起经过 0.5 s, b 点可能在波峰位置

【答案】 ACD

【解析】 a 在波峰位置时, b 在 x 轴下方与 x 轴相距 1 cm 的位置可能有两个



甲



乙

图甲: 再过 $t = (\frac{1}{4} + \frac{1}{12})T = \frac{1}{3}T$, b 运动至波峰位置;

$$\frac{1}{3}T \cdot 2 = 0.4, \text{ 经 } 0.5 \text{ s } (5/6T), \text{ b 运动至波谷位置.}$$

图乙: 再过 $t = (\frac{1}{2} + \frac{1}{6})T = \frac{2}{3}T$, b 运动至波峰位置;

$$\frac{2}{3}T \cdot 2 = 0.4, \text{ 经过 } 0.5 \text{ s } (5/3T), \text{ b 运动至波谷位置}$$

所以 A、C、D 选项正确.

20. (2012 · 华约联盟) 利用光电计时器测量重力加速度的实验装置如图. 所给器材有: 固定在底座上带有刻度的竖直钢管, 钢球吸附器 (固定在钢管顶端, 可使钢球在被吸附一段时间后由静止开始自由下落), 两个光电门 (用于测量钢球从第一光电门到第二光电门所用的时间间隔), 接钢球用的小网.

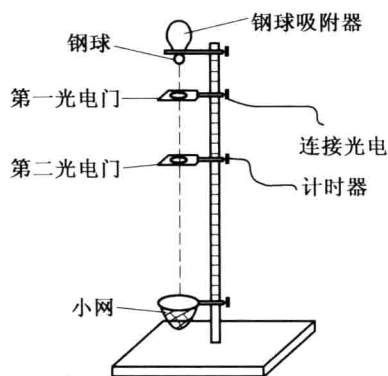
实验时, 将第一光电门固定在靠近钢球开始下落的位置. 测量并求出钢球下落不同路程的平均速度, 通过作图得到重力加速度的数值.

(1) 写出实验原理.

(2) 写出实验步骤, 并指明需测量的物理量.

【解析】 (1) 实验所依据的原理是:

$$\bar{v}_i = \frac{\Delta h_i}{\Delta t_i}, \quad \bar{v}_i = v_0 + \frac{g}{2} \Delta t_i$$





式中,下标*i*表示第*i*次实验; Δh_i 是两个光电门之间的距离; Δt_i 是光电计时器读出的时间; v_0 和 $\bar{v}_i$ 分别表示通过第一个光电门时的速度和 Δt_i 内的平均速度.

(2)① 调整第二光电门使其与第一光电门相距一定距离,从竖直钢管的刻度上读取两光电门之间的距离 Δh_1 ;

② 释放钢球,记录钢球通过两光电门所用的时间间隔 Δt_1 ;

③ 多次重复步骤①②,获得多组数据 Δh_i 和 Δt_i ;

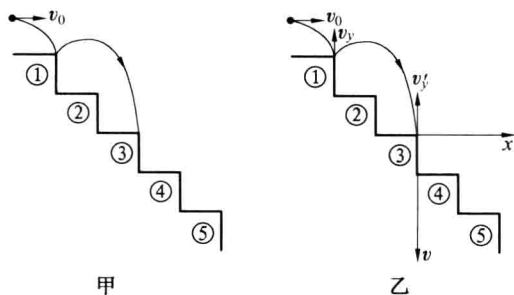
④ 计算各组数据对应的平均速度 $\bar{v}_i$,画出 $\bar{v} - \Delta t$ 图线;

⑤ 从 $\bar{v} - \Delta t$ 图中的拟合直线求出其斜率,此斜率数值的两倍即为所求重力加速度的数值.

21. (2012·华约联盟) 如图甲,小球从台阶上以一定初速度水平抛出,恰落到第1级台阶边缘,反弹后再次落下经0.3 s恰落至第3级台阶边缘,已知每级台阶宽度及高度均为18 cm,取 $g = 10 \text{ m/s}^2$,且小球反弹时水平速度不变,竖直速度反向,但变为原速度的1/4.

(1) 求小球抛出时的高度及距第1级台阶边缘的水平距离.

(2) 问小球是否会落到第5级台阶上? 说明理由.



【解析】(1) 因小球从第1级台阶边缘反弹后再次落下经0.3 s恰落至第3级台阶边缘,故在水平方向上有

$$0.36 = v_0 t$$

解得

$$v_0 = 1.2 \text{ m/s}$$

在竖直方向上有

$$-0.36 = v_y t - \frac{1}{2} g t^2$$

其中

$$v_y = \frac{\sqrt{2gh}}{4}$$

解得

$$h = 0.072 \text{ m}$$

因小球从开始至第1级台阶边缘的下落时间为 $t_0 = \sqrt{\frac{2h}{g}} = 0.12 \text{ s}$

故水平距离

$$x = v_0 t_0 = 0.144 \text{ m}$$

(2) 如图乙,考虑第一次反弹与第二次反弹的速度

$$v_y = \frac{\sqrt{2gh}}{4} = 0.3 \text{ m/s}, \quad v'_y = \frac{\sqrt{v_y^2 + 2g \cdot 2h}}{4} = 0.675 \text{ m/s}$$

以第3级台阶边界为原点建立直角坐标系如图乙,由第二次反弹后有

$$x = v_0 t, \quad y = v'_y t - \frac{1}{2} g t^2$$

得到第二次反弹后小球运动的轨迹方程为

$$y = 0.5625x - 3.47x^2$$

① 令 $x = 0.36 \text{ m}$,得 $y = -0.01125 \text{ m}$, $|y| < 0.18 \text{ m}$,说明小球不会撞到台阶4.