

MATHS PHYSICS & CHEMISTRY FOR MIDDLE SCHOOL STUDENTS (SENIOR HIGH SCHOOL EDITION)

中学生数理化

®

高中版



绿色印刷

全面配合教材，注重求实、创新、博学
精准对焦高考，指点方法、技巧、思路
本期刊蝉联全国优秀科技期刊
河南省一级期刊
中国基础教育知识仓库来源期刊
中国邮政校园核心报刊



扫码关注本刊微信
加入我们的俱乐部



2022年

第18期 · 总第921期

5月



“强基”考什么（3）

南京大学2021年强基计划设3个专业组8个专业，分别是：专业组1，数学与应用数学、信息与计算科学、物理学；专业组2，化学、生物科学；专业组3，汉语言文学（古文字学方向）、历史学、哲学。南京大学强基计划要求实施新高考省份的考生选考科目应符合填报专业的科目要求，具体为：专业组1要求新高考“3+3”省份考生应选物理，新高考“3+1+2”省份考生首选科目为物理，再选科目不限，参加竞赛获奖的科目为数学、物理、信息学；专业组2要求新高考“3+3”省份考生应选物理和化学，新高考“3+1+2”省份考生首选科目为物理，再选科目不限，参加竞赛获奖的科目为化学、生物；专业组3要求新高考“3+3”省份考生应选历史，新高考“3+1+2”省份考生首选科目为历史，再选科目不限。

南京大学校测于2021年6月29日至30日举行，测试项目包括笔试、面试及体育测试。校测理科笔试科目为“数学+物理”，考试时间为90分钟。一共6道大题，3道数学，3道物理。据考生回忆，理科类面试题目大致有：（1）有17根棒子，两个人玩取棒游戏，谈谈每次取1根或2根的先手必胜策略。（2）牛一牛二是什么？为什么牛一不是牛二的特例？（3）电中性球体在电场中达到静电平衡后，把正电和负电部分分开，两部分的电势一样吗？为什么？（4）谈谈为什么报自己所报的专业，谈谈对该专业的认识。



2022年5月
第18期·总第921期
1981年10月创刊

Zhongxuesheng Shulihua

中学生数理化

(高中版) 高考理化

国际标准连续出版物号:
ISSN 1001-6953
国内统一连续出版物号:
CN 41-1099/O
定 价:6.00元

主管单位:河南教育报刊社
主办单位:河南教育报刊社
出版单位:河南教育报刊社
社 长:唐泽仓
总编辑:张保健

编辑:《中学生数理化》(高中版)编辑部
地址:(450044)郑州市惠济区月湖南路
17号1号楼

主 编:赵 平

副 主 编:刘钟华

责任编辑:张 巧(0371-66370630)

E-mail:120003292@qq.com

谢启刚(0371-66310491)

E-mail:282200380@qq.com

王琼霞(0371-66370630)

E-mail:371157227@qq.com

执行美编:张 衡

投稿-答疑信箱:zxsslh_gags@163.com

电话:0371-66370701

网址:www.shuren100.com

智慧支持:河南省教育学会创新教育专业
委员会

发行单位:中国邮政集团有限公司河南
省报刊发行局

发行范围:国内外公开发刊

国内订阅:全国各地邮局

国内发行代号:36-59

国际订阅:中国国际图书贸易集团有限公司

国际发行代号:C1068

自办订阅:河南教育读物发行总社

订阅热线:0371-67129573

发行服务:河南教育报刊社发行部

服务热线:400-659-7019

淘宝网购:



扫描二维码,订阅方便实惠

出版日期:4月16日

印 制:河南文达印刷公司

(450008 郑州市黄河路124号)

(如有印装问题,请寄该公司调换,

反馈电话13838080644)

广告发布登记证:郑惠济市监广发登字

[2019]002号

广告中心(郑州市教之喻文化传播有限

公司):0371-66327883

目次 Contents

知识篇

知识结构与拓展

3 圆锥摆模型的探究与拓展

刘万强 肖梦军

6 聚焦电磁波和相对论简介

杜占英

高考命题新动向

9 “选修3—3”模块的复习备考

蒋守培

14 分类精准突破 光学备考有策略

成树明

高考真题之赏析

19 变质量气体问题的两种处理方法赏析

——以2021年河北省普通高中学业水平考试第15题
为例

杨宗礼 任海燕

本 刊 承 诺

一、提高刊物质量:

1. 努力提高作者层次,
坚决杜绝平庸稿。

2. 坚持稿件评审操作流
程,严把稿件质量关。

3. 强化编校质量管理,
精编细校,不出差错。

二、坚持办刊思路:

1. 高一注重核心考点剖析,
强化核心考点训练。

2. 高二注重核心考点剖析,
强化核心考点训练。

3. 高三突出专题,强化命题
分析和演练。

三、强化服务意识:

1. 与作者密切联系,
及时反馈稿件使用情况。

2. 对读者贴心交流,
凡有疑难,及时回复。

3. 对杂志订阅周到服务,
及时邮寄,方便快捷。

演练篇

核心考点 AB 卷

21 高考物理模拟试题(五)

聂震萍

25 高考物理模拟试题(六)

傅明峰

解题篇

经典题突破方法

29 例析考查气体实验定律的三类常见题型

李 晗

32 机械波经典问题与突破

蒋 纬

创新题追根溯源

36 了解固体和液体特性 掌握热力学定律内容

倪怀轮

39 借力使力 巧解难题

——以简谐运动为例

王桂华 李树祥

参考答案与提示

43 高考物理模拟试题(五)参考答案与提示

46 高考物理模拟试题(六)参考答案与提示



封面人物

刘万强,中学高级教师,曾获湖北省课堂教学大赛一等奖,一师一优课教育部优课奖,曾获湖北省基础教育科研之星、湖北省自制教具能手、荆州市教育科研学术带头人,以及松滋市高中物理学科首席教师等荣誉称号。历年来在《中学物理教学参考》《中学生数理化》等杂志上发表文章30多篇,主编参编高中物理教学参考书20多本。

版权声明

本刊所有文字和图片作品,未经许可,不得转载、摘编。凡投稿本刊,或允许本刊登载的作品,均视为已授权本刊在刊物、增刊、图书上使用,以及许可本刊授权合作网站(中国知网、万方数据库、维普资讯网等)以数字化方式复制、汇编、发行、信息网络传播本刊全文。本刊支付的稿酬,已包含授权费用。作者投稿给本刊即意味着同意上述约定,如有异议请与本刊签订书面协议。

本社广告中心根据《中华人民共和国广告法》等国家有关法律法规审查及刊登广告,若广告主有超过广告内容的后续行为,均与本刊及广告中心无关。

封面刊名题字:华罗庚

顾问单位:中国数学会 中国物理学会 中国化学会

学术顾问:任子朝 韩家勋 李 勇

委 员:(按拼音排序)

陈进前 戴儒京 狄振山 高慧明 郭统福 何万龄 黄干生 蒋天林

李 伟 李胜荣 李树祥 刘大鸣 孟卫东 施建昌 隋俊礼 王国平

王后雄 王星元 徐汉屏 余永安 袁竞成 张向东 张 援 张北春

圆锥摆模型的探究与拓展

湖北省松滋市第一中学 刘万强 肖梦军

圆锥摆是水平面内的匀速圆周运动的典型实例,建立圆锥摆模型,研究其受力特点、运动特点、等效模型及临界问题,突破圆锥摆的动力学分析这一学习难点,可以更好地激发同学们的研究、创造与创新意识。

一、圆锥摆模型的建立

1. 模型特点:一根质量和伸长量可以忽略不计的细线,上端固定,下端系一个可以视为质点的摆球,摆球在水平面内做匀速圆周运动,细线所掠过的路径为圆锥表面。

2. 受力特点:如图1所示,摆球只受竖直向下的重力 mg 和沿细线方向的拉力 F 两个力作用。这两个力的合力提供摆球做圆周运动所需的向心力 F_n 。(也可以理解为拉力 F 的竖直分力与摆球的重力平衡,拉力 F 的水平分力提供向心力)。

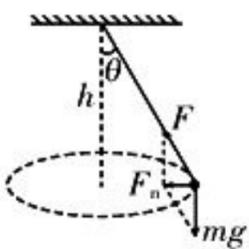


图1

3. 运动特点:设摆长为 L ,细线与竖直方向之间的夹角为 θ ,摆的周期为 T ,根据牛顿第二定律得 $F_n = mg \tan \theta = m \frac{4\pi^2}{T^2} r$, 其中 $r = L \sin \theta$, 解得 $T = 2\pi \sqrt{\frac{L \cos \theta}{g}}$ 。因此周期 T 越小,圆锥摆转得越快, θ 越大,摆高 $h = L \cos \theta$ 越小,拉力 $F = \frac{mg}{\cos \theta}$ 越大,摆球的加速度 $a = g \tan \theta$ 越大。

二、圆锥摆模型的拓展

拓展1:影响周期、加速度等的因素。

根据圆锥摆的运动特点可得,圆锥摆的摆角大小决定拉力的大小,也决定周期、加速度等描述运动快慢的物理量。根据圆锥摆的运动特点可以将其分为以下三种。

1. 等长摆:如图2甲所示,其特点是摆长 L 相同,周期 $T = 2\pi \sqrt{\frac{L \cos \theta}{g}}$ 由 θ 决定。

2. 等高摆:如图2乙所示,其特点是摆高 h 相同,周期 $T = 2\pi \sqrt{\frac{h}{g}}$ 相同。

3. 等角摆:如图2丙所示,其特点是摆角 θ 相同,摆球的加速度 $a = g \tan \theta$ 相同。

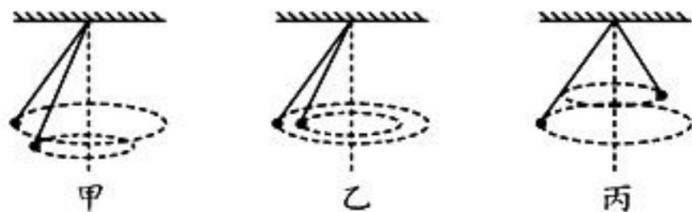


图2

例1 天花板下悬挂的轻质光滑小圆环 P 可绕过悬挂点的竖直轴无摩擦地旋转。一根轻绳穿过圆环 P ,两端分别连接质量为 m_1 和 m_2 的小球 A 、 B ($m_1 \neq m_2$)。设两球同时做如图3所示的圆锥摆运动,且在任意时刻两球均在同一水平面内,则()。

- A. 两球运动的周期相等
- B. 两球的向心加速度大小相等
- C. 小球 A 、 B 到圆环 P 的距离之比等于 $m_2 : m_1$
- D. 小球 A 、 B 到圆环 P 的距离之比等于 $m_1 : m_2$

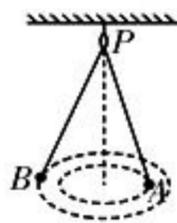


图3

解析:选其中一个小球为研究对象,进行受力分析,受到重力和轻绳的拉力 F 作用,设轻绳与竖直方向之间的夹角为 θ ,小球到圆环 P 的距离为 l ,则 $F \cos \theta = mg$, $F \sin \theta = mg \tan \theta = m \frac{4\pi^2}{T^2} l \sin \theta$, 解得周期 $T = 2\pi \sqrt{\frac{l \cos \theta}{g}} = 2\pi \sqrt{\frac{h}{g}}$ 。因为任意时刻两球均在同一水平面内,所以两球运动的周期相等,选项A正确。因为连接两球的轻绳的张力 F 相等,向心力 $F_n = F \sin \theta = m \omega^2 l \sin \theta$, 所以 m 与 l 成反比,即 $\frac{l_1}{l_2} = \frac{m_2}{m_1}$, 选项C正确,D错误。因为向心加速度 $a_n = \omega^2 h \tan \theta = (\frac{2\pi}{T})^2 h \tan \theta$, 所以两球的向心加速度大小不相等,选项B错误。

答案:AC

拓展2:“类圆锥摆”问题。

将圆锥摆摆绳的拉力由接触面的支持力

等效替代,将不同位置的支持力作用线的交点等效为轻绳的悬点,则其加速度、周期等运动分析与圆锥摆相同,这类圆周运动称为“类圆锥摆”问题。根据类圆锥摆的运动特点可以将其分为以下三种。

1. 等长半球摆:如图4甲所示,其特点是摆长 L 相同,周期 $T=2\pi\sqrt{\frac{L\cos\theta}{g}}$ 由 θ 决定。

2. 等高圆环摆:如图4乙所示,其特点是摆高 h 相同,周期 $T=2\pi\sqrt{\frac{h}{g}}$ 相同。

3. 等角漏斗摆:如图4丙所示,其特点是摆角 θ 相同,摆球的加速度 $a=g\tan\theta$ 相同。

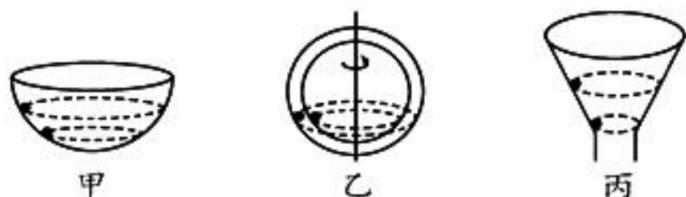


图4

例2 如图5所示,一个内壁光滑的圆锥筒固定在地面上,圆锥筒的轴线竖直。一个小球贴着筒的内壁在水平面内做圆周运动,由于微弱的空气阻力作用,小球的运动轨迹由A轨道缓慢下降到B轨道,则在此过程中()。

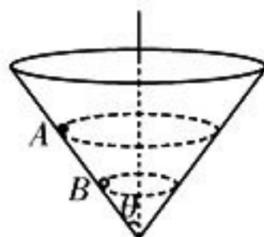


图5

- A. 小球的向心加速度逐渐减小
- B. 小球的角速度逐渐减小
- C. 小球的线速度逐渐减小
- D. 小球的周期逐渐减小

解析:以小球为研究对象,进行受力分析,如图6所示,根据牛顿第二定律和圆周运动规律得 $F_n = \frac{mg}{\tan\theta} = ma_n = \frac{mv^2}{r} = m\omega^2 r$,因此小球在A、B两轨道

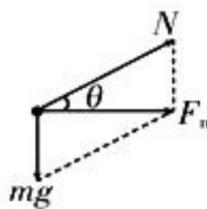


图6

上运动时的向心力 $F_n = \frac{mg}{\tan\theta}$ 大小相等,向心

加速度 $a_n = \frac{g}{\tan\theta}$ 不变,选项A错误。根据

$\omega = \sqrt{\frac{g}{r\tan\theta}}$ 可知,若半径 r 减小,则角速度

ω 增大,选项B错误。根据 $v = \sqrt{\frac{gr}{\tan\theta}}$ 可知,若半径 r 减小,则线速度 v 减小,选项C正确。根据 $T = \frac{2\pi}{\omega}$ 可知,若角速度 ω 增大,则周期 T 减小,选项D正确。

答案:D

拓展3:圆锥摆的临界问题。

根据圆锥摆的动力学方程 $mg\tan\theta = m\omega^2 L\sin\theta$ 得角速度 $\omega = \sqrt{\frac{g}{L\cos\theta}}$,可见圆锥摆的摆角 θ 越大,角速度 ω 越大,运动越快。当摆角 θ 确定时,仅由重力和拉力(等效于拉力的支持力)的合力提供向心力,此时的角速度 ω_0 称为临界角速度。当摆球实际运动的角速度 $\omega < \omega_0$ 时,重力和拉力(等效于拉力的支持力)的合力提供的向心力过大,需要其他力(弹力或摩擦力)来削弱;当摆球实际运动的角速度 $\omega > \omega_0$ 时,重力和拉力(等效于拉力的支持力)的合力提供的向心力过小,需要其他力(弹力或摩擦力)来弥补。圆锥摆临界问题的常见案例有以下四种。

1. 接触面弹力与轻绳拉力束缚:如图7甲所示,当 ω 很小时,物体悬空;当 ω 较大时,物体与侧壁接触。

2. 双绳束缚:如图7乙所示,当 ω 很小时,轻绳B松弛;当 ω 较大时,轻绳B绷紧。

3. 接触面双弹力束缚:如图7丙所示,当 ω 很小时,内轨对车轮有压力;当 ω 较大时,外轨对车轮有压力。

4. 弹力与摩擦力束缚:如图7丁所示,当 ω 很小时,摩擦力指向外侧;当 ω 较大时,摩擦力指向内侧。

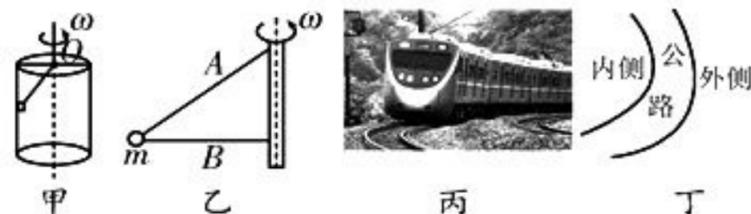


图7

例3 如图8所示,内壁光滑的玻璃管内用长为 L 的轻绳悬挂一个小球。当玻璃管绕竖直轴以角速度 ω 匀速转动时,小球与玻璃管间恰无弹力作用。下列说法中正确的

是()。

A. 仅增加绳长后, 小球将受到玻璃管斜向上方的弹力

B. 仅增加绳长后, 若仍保持小球与玻璃管间无弹力, 则需减小 ω

C. 改变小球质量后, 小球仍不受到玻璃管的弹力

D. 仅增大角速度至 ω' 后, 小球将受到玻璃管斜向上方的弹力

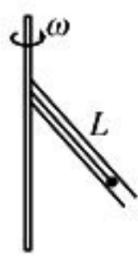


图 8

解析: 设轻绳与竖直方向之间的夹角为 θ , 小球的质量为 m , 当玻璃管绕竖直轴以角速度 ω 匀速转动时, 对小球进行受力分析, 如图 9 所示, 则 $F_n = mg \tan \theta = m\omega^2 r = m\omega^2 L \sin \theta$ 。增加绳长 L 后, 小球需要的向心力增大, 小球有做离心运动的趋势, 小球将挤压右侧管壁, 玻璃管对小球的弹力斜向下, 选项 A 错误。增加绳长 L 后, 小球做圆周运动的半径增大, 要想保持小球与管壁之间无弹力, 则需减小角速度 ω , 选项 B 正确。改变小球质量后, 根据 $mg \tan \theta = m\omega^2 L \sin \theta$ 中的质量可被约去可知, 小球做圆周运动的半径不变, 小球仍不受到玻璃管的弹力, 选项 C 正确。仅增大角速度至 ω' 之后, 小球需要的向心力增大, 小球有做离心运动的趋势, 小球将挤压右侧管壁, 玻璃管对小球的弹力斜向下, 选项 D 错误。

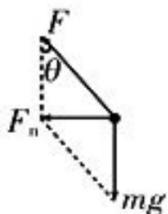


图 9

答案: BC

例 4 如图 10 所示, 半径为 R 的半球形陶罐固定在可以绕竖直轴旋转的水平转台上, 转台转轴与过陶罐球心 O 的对称轴 OO' 重合, 转台以一定的角速度 ω 匀速旋转, 一质量为 m 的小物块落入陶罐内, 经过一段时间后, 物块随陶罐一起转动且相对罐壁静止, 物块和 O 点的连线与 OO' 之间的夹角 $\theta = 60^\circ$, 重力加速度大小为 g 。下列说法中正确的是()。

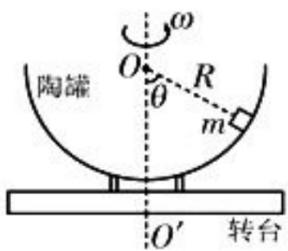


图 10

A. 若 $\omega = \sqrt{\frac{2g}{R}}$, 则物块受到的摩擦力恰好为零

好为零

B. 若 $\omega = \sqrt{\frac{3g}{R}}$, 则物块受到的摩擦力恰好为零

C. 若 $\omega = \sqrt{\frac{g}{R}}$, 则物块受到的摩擦力沿罐壁切线方向向下

D. 若 $\omega = \sqrt{\frac{5g}{2R}}$, 则物块受到的摩擦力

$$f = \frac{\sqrt{3}}{8} mg$$

解析: 当物块受到的摩擦力为零时, 物块只受重力和支持力作用, 如图 11 所示, 则 $F_n = mg \tan \theta = m\omega_0^2 R \sin \theta$, 解得

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{2g}{R}}$$

当 $\omega = \sqrt{\frac{g}{R}} < \omega_0$ 时, 物块受到的静摩擦力 f 的方向沿罐壁切线方向向上, 选项 C 错误。

当 $\omega = \sqrt{\frac{5g}{2R}} > \omega_0$ 时, 物块受到的静摩擦力 f 的方向沿罐壁切线方向向下, 则 $f \cos \theta + N \sin \theta = m\omega^2 r$, $N \cos \theta = f \sin \theta + mg$, 其中 $r = R \sin \theta$, 解得 $f = \frac{\sqrt{3}}{8} mg$, 选项 D 正确。

答案: AD

总结: 圆锥摆是生产生活中常见的模型, 建立圆锥摆模型, 分析其特点可以起到化繁为简、化难为易的作用。掌握圆锥摆(类圆锥摆)模型的受力特点和运动特点, 从物理观念来看, 可以帮助同学们加深对力的合成与分解的理解, 进而应用牛顿运动定律解决动力学问题; 从科学思维来看, 可以帮助同学们掌握类圆锥摆中应用的等效法, 进而提高逻辑思维能力; 从科学探究来看, 同学们通过寻找向心力的来源, 可以进一步理解和掌握圆周运动的动力学问题的探究方法; 从科学态度与责任来看, 体会等效思想的内涵, 有助于提高同学们的科学素养, 通过动态分析摆球的受力情况, 有利于同学们科学思维观和方法论的形成, 为同学们的终身学习、研究和发展奠定基础。

(责任编辑 张 巧)



聚焦电磁波和相对论简介

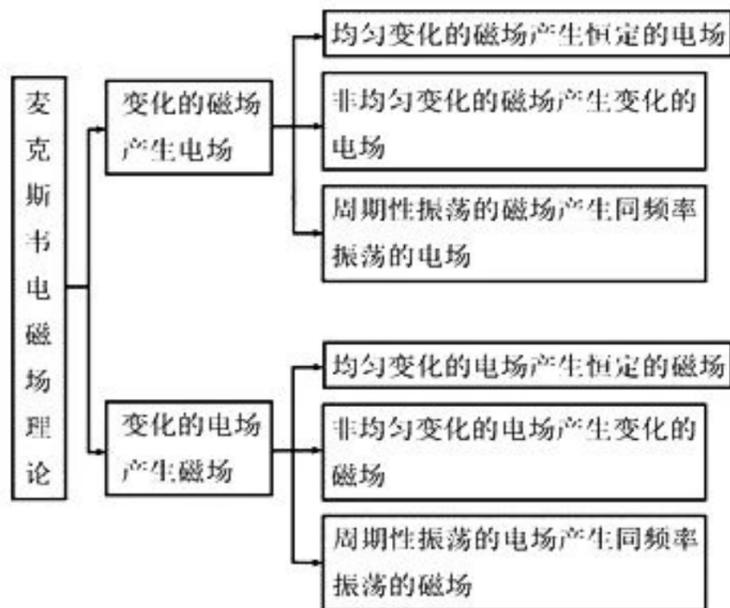
■河北安国中学 杜占英

高中物理课程标准对电磁振荡与电磁波的内容要求:初步了解麦克斯韦电磁场理论的基本思想,以及在物理学发展史上的意义;了解电磁波的产生,通过电磁波体会电磁场的物质性;了解电磁波的发射、传播和接收;通过实例认识电磁波谱,知道光是电磁波;了解电磁波的应用和在科技、经济、社会发展中的作用。

高中物理课程标准对相对论的内容要求:知道狭义相对论的实验基础、基本原理和主要结论;了解经典时空观与相对论时空观的主要区别,体会相对论的建立对人类认识世界的影响;初步了解广义相对论的几个主要观点,以及主要观测数据;关注宇宙学研究的新进展。

这两部分内容的要求层次都是了解(初步了解)、知道和体会,高考试卷中都是以选择题的形式出现,难度不大。下面根据高考考点进行分类解析,供同学们参考。

一、对麦克斯韦电磁场理论的理解



例 1 甲、乙两种磁场的磁感应强度 B 随时间 t 变化的规律如图 1 所示,下列说法中正确的是()。

- A. 磁场甲能够产生电场
- B. 磁场甲能够产生电磁波
- C. 磁场乙的磁感应强度最大时产生的电

场最强

D. 磁场乙的磁感应强度为零时产生的电场最强

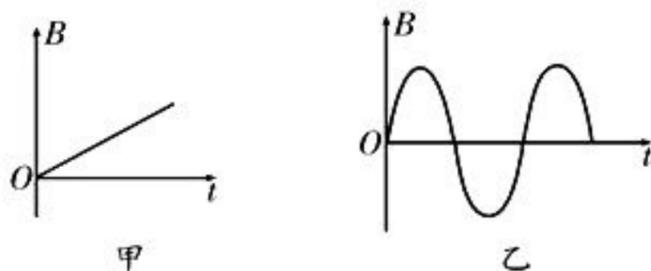


图 1

解析:根据麦克斯韦电磁场理论可知,均匀变化的磁场甲能够产生稳定的电场,不能产生电磁波,选项 A 正确,B 错误。周期性变化的磁场产生同频率周期性变化的电场,磁场乙的磁感应强度最大时产生的电场最弱,磁场乙的磁感应强度为零时产生的电场最强,选项 C 错误,D 正确。

答案:AD

二、电磁波的产生、发射、传播和接收

1. 电磁波的产生和传播。

电磁场在空间由近及远地传播,形成电磁波。电磁波是物质波,传播不需要介质,在真空中不同频率的电磁波的传播速度都相同,都等于光速。电磁波是横波,在传播过程中,电磁波的电场强度、磁感应强度和传播方向三者两两相互垂直。不同频率的电磁波,在同一介质中传播,其速度是不同的,电磁波的频率 f 、波速 v 和波长 λ 满足关系式 $v = \lambda f$ 。

2. 电磁波的发射。

(1)发射条件:开放电路和高频振荡信号,为了利用电磁波传递信号,需要对传输信号进行调制。

(2)调制方法:调幅和调频。

3. 无线电波的接收:电谐振现象、调谐电路和解调。

4. 电磁波谱:按照电磁波的波长或频率大小的顺序把它们排列成谱叫电磁波谱。

按波长由长到短排列的电磁波谱为:无线电波、红外线、可见光、紫外线、X射线、 γ 射线。

例 2 我国成功研发的反隐身先进米波雷达堪称隐身飞机的克星,它标志着我国雷达研究又创新的里程碑。米波雷达发射无线电波的波长在 $1\text{ m}\sim 10\text{ m}$ 范围内,则下列对该无线电波判断正确的是()。

- A. 米波的频率比厘米波的频率高
- B. 米波和机械波一样必须依靠介质传播
- C. 米波与光波一样会发生反射现象
- D. 半波不可能发生干涉和衍射现象

解析: 根据 $f = \frac{v}{\lambda}$ 可知,电磁波的波长越大,频率越低,所以米波的频率比厘米波的频率低,选项 A 错误。无线电波的传播不需要介质,选项 B 错误。无线电波同光波一样会发生反射现象,选项 C 正确。干涉和衍射是波特有的现象,米波也能发生干涉和衍射现象,选项 D 错误。

答案: C

三、对狭义相对论的理解和应用

1. 狭义相对论的两个基本假设。

(1) 狭义相对性原理:在不同的惯性参考系中,一切物理定律都是相同的。

(2) 光速不变原理:真空中的光速在不同的惯性参考系中都是相同的,光速与光源、观测者间的相对运动没有关系。

2. 质速关系。

(1) 物体的质量随物体速度的增加而增大,物体以速度 v 运动时的质量 m 与静止时的质量 m_0 之间满足关系式 $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}$ 。

(2) 物体运动时的质量 m 总要大于静止时的质量 m_0 。

3. 质能关系。

用 m 表示物体的质量,用 E 表示它具有的能量,爱因斯坦质能方程为 $E = mc^2$ 。

例 3 如图 2 所示,两艘飞船 A、B 沿同一直线同向飞行,相对地面的速度均为 v (v 接近光速 c)。地面上的人测得两飞船间的

距离为 L ,飞船 A 上的人测得两飞船间的距离为 x 。当飞船 B 向 A 发出一光信号时,飞船 A 上的人测得该信号的速度为 v_0 ,下列判断正确的是()。

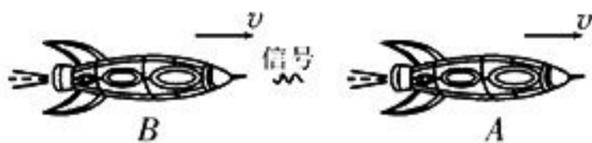


图 2

- A. x 可能等于 L
- B. x 一定大于 L
- C. v_0 可能大于 c
- D. v_0 一定大于 c

解析: 狭义相对论的两个基本假设之一是光速不变原理,因此飞船 A 上的人测得该信号的速度仍等于光速 c ,选项 C、D 错误。以地面为参考系,在运动方向上有尺缩效应现象,而飞船 B 相对 A 是静止的,没有尺缩效应现象,因此飞船 A 上的人测得两飞船间的距离应大于 L ,选项 A 错误, B 正确。

答案: B

四、电磁辐射和引力波

1. 电磁辐射。

由同向振荡且互相垂直的电场与磁场在空间中以电磁波的形式传递动量和能量,电磁波向空中发射或传播形成电磁辐射。

电磁辐射既可以造福人类,也会给环境带来负面影响。产生负面效应超过标准的电磁辐射强度就是电磁辐射污染,也被称为电子烟雾或电子垃圾。电磁辐射污染的来源可分为天然电磁辐射源和人为电磁辐射源。天然电磁辐射源是由大气中的自然现象而引起的,比如自然放电、雷电、火山爆发等此类大气与空气污染源,具有黑子活动和黑子放射的太阳电磁场源,以及有恒星爆发、宇宙间电子移动等现象的宇宙电子场源等。人为电磁辐射源是指人工制造的可以产生电磁辐射的各种系统、电器和电子设备等。

2. 引力波。

引力波是指时空弯曲中的涟漪,通过波的形式从辐射源向外传播,这种波以引力辐射的形式传输能量。引力波是物质和能量的剧烈运动和变化所产生的一种物质波。

1916年,爱因斯坦基于广义相对论预言了引力波的存在。可能的引力波探测源包括致密双星系统(白矮星,中子星和黑洞)。现在各种各样的引力波探测器正在建造或者运行当中,比如 advanced LIGO(aLIGO)从2015年9月份开始运行观测。在2016年2月11日,LIGO科学合作组织和 Virgo 合作团队宣布他们已经利用高级 LIGO 探测器,首次探测到了来自双黑洞合并的引力波信号。2017年10月16日,全球多国科学家同步举行新闻发布会,宣布人类第一次直接探测到来自双中子星合并的引力波,并同时“看到”这一壮观宇宙事件发出的电磁信号。对于引力波的精确测量能够让科学家们更为全面地验证广义相对论。

例 4 下列说法中不正确的是()。

- A. 强引力场的作用可使光谱线向红端偏移
- B. 在地球上看到的星体位置与实际位置不符,是天体之间引力作用的结果
- C. 引力场越强的位置,时间进程越快
- D. 由于太阳引力场的影响,我们可以看到太阳后面的恒星

解析:强引力场作用使光的波长变长,频率变低,因此光谱线向红端偏移,选项 A 正确。根据广义相对论可知,物质的引力会使光线弯曲,引力越强,弯曲越厉害,因此在地球上看到的星体位置与实际位置不符,选项 B 正确。根据广义相对论可知,引力场越强的位置,时间进程越慢,选项 C 错误。根据广义相对论的结论可知,由于太阳引力场的影响,光线发生弯曲,我们有可能看到太阳后面的恒星,选项 D 正确。

答案:C

跟踪训练

1. 关于电磁波,下列说法中正确的是()。

- A. 电磁波在真空中的传播速度与电磁波的频率无关
- B. 周期性变化的电场和磁场可以相互激发,形成电磁波

C. 电磁波在真空中自由传播时,其传播方向与电场强度、磁感应强度均垂直

D. 利用电磁波传递信号可以实现无线通信,但电磁波不能通过电缆、光缆传输

E. 电磁波可以由电磁振荡产生,若波源的电磁振荡停止,则空间的电磁波随即消失

2. 关于电磁辐射,下列说法中不正确的是()。

A. 电子设备不论是否使用,都向外辐射电磁波

B. 长期、过量的电磁辐射会对人体产生较大的伤害

C. 电磁辐射对电器设备的影响不大

D. 因为电磁辐射会影响人的健康,所以人们不应使用微波炉、电磁炉等家用电器

E. 手机信号越强,发射功率就会越低,电磁辐射就会越小

3. 电磁波广泛应用在现代医疗中,下列属于电磁波应用的医用器械有()。

A. 杀菌用的紫外线灯

B. 拍摄胸片的 X 光机

C. 治疗咽喉炎的超声波雾化器

D. 检查血流情况的“彩超”机

E. 拍摄人体断面或立体图像的 CT 机

4. 下列说法中正确的是()。

A. 机械波的频率等于波源的振动频率,与介质无关

B. 爱因斯坦狭义相对论指出,真空中的光速在不同的惯性参考系中是不同的

C. 光纤通信是一种以光波为传输介质的通信方式,光波按波长长短,依次可分为红外线、可见光和紫外线,但红外线和紫外线属于不可见光,它们都不可用来传输信息

D. 根据麦克斯韦电磁场理论,电磁波中的电场和磁场互相垂直,电磁波是横波

E. 宇宙红移现象表示宇宙正在膨胀,这可以用多普勒效应来揭示,说明我们接收到的遥远恒星发出的光比恒星实际发出的光的频率偏小

参考答案:1. ABC 2. ACD 3. ABE

4. ADE

(责任编辑 张 巧)

学习寄语: 高考全国卷理科综合中物理部分的两道选考题(二选一)分别考查的是选修3—3和选修3—4的内容,这两个专题内容的特点是知识点难度不大,但是较多且零散,因此同学们在复习备考时要做到全面,不留死角,重在理解,强化记忆,突出重点和难点,重视知识的内在联系,加强主干知识训练,对重点模型、典型问题要做到举一反三,触类旁通。相信同学们经过有的放矢的科学备考,一定会取得理想的成绩!

“选修3—3”模块的复习备考

江苏省阜宁中学 蒋守培(特级教师,正高级教师)

一、近三年考情分析

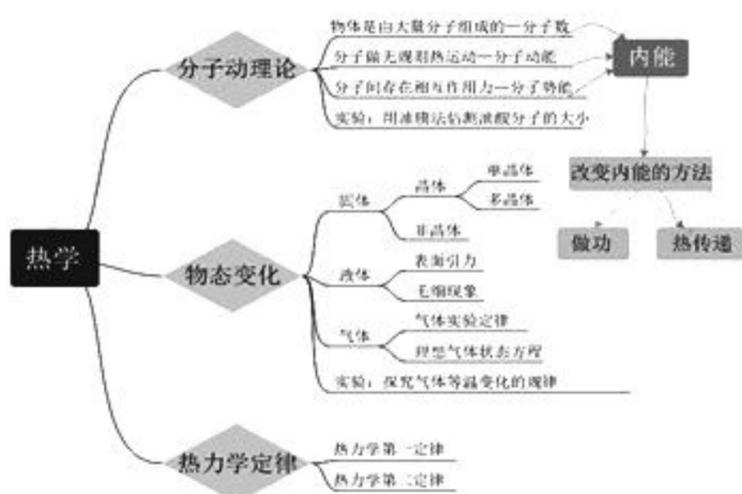
表1

时间	主要考点
2019年	(1) 填空题:定性分析一定质量的气体在绝热变化过程中温度和密度的变化
	(2) 计算题:利用理想气体状态方程研究一定质量的气体在等温、等容变化过程中的压强
2020年	(1) 填空题:利用分子间作用力与分子间距的关系图像,研究分子势能的特点
	(2) 计算题:利用玻意耳定律研究两团气体混合时气体压强和质量的分配
2021年	(1) 选择题:理想气体状态方程、热力学第一定律
	(2) 计算题:利用玻意耳定律研究两团理想气体间水银柱的高度差

总体印象: 第1小题多为选择题或填空题,主要考查分子动理论、内能的概念、热力学第一定律,有时需要借助图像或理想气体状态方程解题,一般比较容易;第2小题多为计算题,主要考查气体实验定律和理想气体状态方程,一般比较难。

命题趋势: 高考对“选修3—3”模块的考查相对比较稳定,选择题或填空题考查的内容多为热学的主干知识,包括分子力、分子势能、内能、气体压强的微观解释、热力学定律、气体实验定律、气体图像等;计算题主要以“汽缸—活塞”模型或“玻璃管—液体柱”模型的形式呈现,另外气体的“变质量”问题也是命题的热点之一。

二、知识体系分析



三、重点和难点分析

同学们通过对热学的学习,可以深化理解“物理观念”中的“物质观”(物体可以具有不同的形态,从宏观物体到分子、原子等微观粒子)、“运动观”(从宏观物体之间的机械运动到微观粒子的杂乱无章的运动)、“相互作用观”(从宏观物体的相互作用到微观粒子之间的相互作用)、“能量观”(物体的内能、热力学第一定律等),还可以从物理思维上改变过去对个体的研究,突出对大量微观粒子统计规律的研究。分子动理论贯穿整个专题,是学习的重点;气体实验定律、理想气体状态方程是学习的重点和难点;热力学定律从能量和宏观过程方向性的角度对热学知识进行了阐述,是学习的难点。

四、典型案例分

1. 分子动理论。

例1 小张在显微镜下观察水中悬浮



的细微粉笔末的运动,从A点开始,他把粉笔末每隔20 s的位置记录在坐标纸上,按时间顺序作出位置连线如图1所示,连线____(选填“是”或“不是”)粉笔末的运动轨迹。

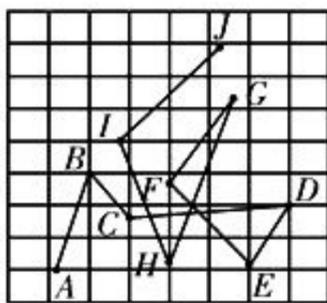


图1

它反映了____(选填“粉笔末”或“水分子”)做永不停息的无规则运动,粉笔末由B点运动到C点的平均速度____(选填“大于”或“小于”)由C点运动到D点的平均速度。

解析:在显微镜下观察到的细微粉笔末的运动是布朗运动,它反映了水分子的无规则运动,其连线不是粉笔末的运动轨迹,只能说明20 s时间内粉笔末运动的平均速度。根据图像可知,粉笔末由B点运动到C点的平均速度小于由C点运动到D点的平均速度。

答案:不是 水分子 小于

例2 氧气分子在100 °C时单位速率间隔的分子数占总分子数的百分比随气体分子速率的变化如图2中曲线所示。下列说法中正确的是()。

单位速率间隔的分子数
占总分子数的百分比

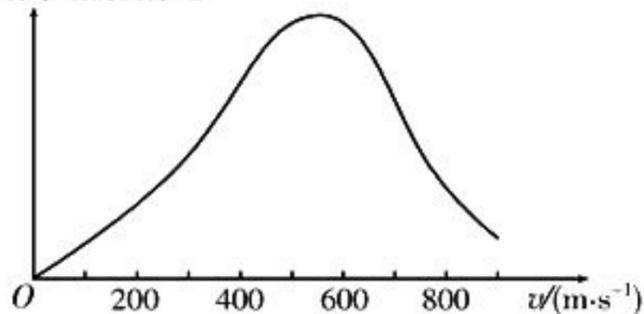


图2

- A. 在100 °C时,有部分氧气分子的速率大于900 m/s
- B. 曲线反映在100 °C时氧气分子速率呈“中间多,两头少”的分布
- C. 在100 °C时,部分氧气分子的速率比较大,说明内部也有温度较高的区域
- D. 在100 °C时,速率为500 m/s~600 m/s的分子数比0~500 m/s的分子数多
- E. 温度降低时,氧气分子单位速率间隔的分子数占总分子数的百分比的最大值将向速率小的方向移动

解析:在100 °C时,有部分氧气分子的速

率大于900 m/s,选项A正确。曲线反映在100 °C时氧气分子速率呈“中间多,两头少”的分布,选项B正确。温度是分子平均动能的标志,在100 °C时,部分分子的速率较大,部分分子的速率较小,但不说明内部有温度较高的区域,选项C错误。图像与坐标轴所围成的面积表示该温度区间对应的分子数,在100 °C时,速率为500 m/s~600 m/s的分子数比0~500 m/s的分子数少,选项D错误。温度降低时,分子平均速率减小,则氧气分子单位速率间隔的分子数占总分子数的百分比的最大值将向速率小的方向移动,选项E正确。

答案:ABE

例3 关于气体的内能,下列说法中正确的是()。

- A. 气体被压缩时,内能可能不变
- B. 质量和温度都相同的气体,内能一定相同
- C. 一定质量的某种理想气体的内能只与温度有关
- D. 物体运动的速率越大,其内能越大
- E. 一定质量的某种理想气体在等压膨胀过程中,内能一定增加

解析:改变物体的内能有两种方式——做功和热传递。气体被压缩时,外界对气体做功,但不知道热传递的具体情况,其内能可能不变,选项A正确。质量和温度都相同的气体,分子平均动能相同,但气体的分子数不一定相等,内能也不一定相同,选项B错误。一定质量的理想气体分子间无分子势能,内能只与温度有关,选项C正确。物体的内能与温度、体积有关,与物体宏观运动的机械能无关,选项D错误。一定质量的某种理想气体在等压膨胀过程中,体积变大而压强不变,温度一定升高,内能一定增加,选项E正确。

答案:ACE

备考策略 涉及分子动理论的知识点较多且零散,但相对简单。复习备考时要做到全面,不留死角,理解透彻,重要的课后练习题要训练到位,吃透题目要义,强化应试能力,做到简单题目不失分。

2. 固体、液体与气体。

例 4 与如图 3 所示的四幅图对应的说法中正确的有()。

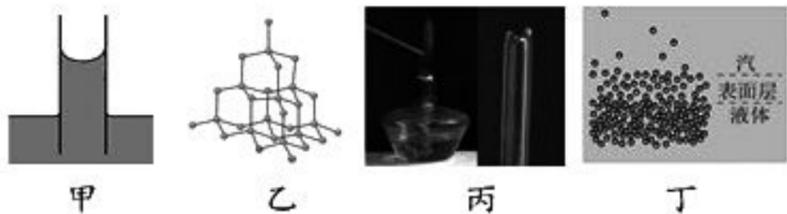


图 3

A. 图甲是玻璃管插入某液体中的情形,表明该液体能够浸润玻璃

B. 图乙是金刚石的微观结构,碳原子结构混乱,原子空间排列无序

C. 图丙中玻璃管锋利的断口在烧熔后变钝,原因是玻璃是非晶体加热后变成晶体

D. 图丁中液体表面层中分子间的距离大于液体内部分子间的距离,是液体表面张力形成的原因

解析:图甲中液体沿玻璃管上升,属于毛细现象,是液体浸润玻璃的表现,选项 A 正确。金刚石是晶体,碳原子在空间排列具有一定的周期性,选项 B 错误。玻璃断口在烧熔时转化为液态,是由于表面张力的作用冷却后变钝,而不是由于非晶体加热后变成了晶体,选项 C 错误。液体表面层中分子间的距离大于液体内部分子间的距离,分子间表现为引力,就是这样的引力使得表面绷紧,形成表面张力,选项 D 正确。

答案:AD

例 5 空气能热水器采用“逆卡诺循环”原理,工作过程与空调相反,能将空气中的热量搬到水中进行制热,即使在南极也有良好表现,高效节能,是世界领先的核心技术。如图 4 所示,一定质量的理想气体从状态 A 依次经过状态 B、C、D 后再回到状态 A。其中 A→B 和 C→D 为等温过程,B→C 和 D→A 为绝热过程。在该循环过程中,下列说法正确的是()。

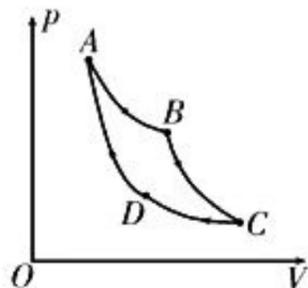


图 4

A. 在 A→B 过程中,外界对气体做功

B. 在 B→C 过程中,气体分子的平均动能减小

C. 在 C→D 过程中,单位时间内碰撞单位面积器壁的分子数增多

D. 在 D→A 过程中,气体分子的速率分布曲线不发生变化

E. 在 A→B 过程中,气体从外界吸收热能

解析:在 A→B 过程中,体积变大,则气体对外界做功,而温度不变,内能不变,则气体从外界吸热,选项 A 错误,E 正确。在 B→C 过程中,体积变大,气体对外界做功,温度降低,则气体分子的平均动能减小,选项 B 正确。在 C→D 过程中,温度不变,分子平均动能不变,则气体分子对器壁的平均碰撞力不变,而体积减小,气体的密度增加,则单位时间内碰撞单位面积器壁的分子数增多,选项 C 正确。在 D→A 过程中,体积变小,外界对气体做功,温度升高,则气体分子的速率分布曲线要发生变化,选项 D 错误。

答案:BCE

例 6 水银气压计的工作原理如图 5 所示,若某水银气压计中混入了一个气泡,上升到水银柱的上方,使水银柱上方不再是真空。当实际大气压相当于 768 mm 高的水银柱产生的压强时,这个气压计的读数只有 750 mm,此时管中的水银面到管顶的距离为 80 mm。当这个气压计的读数为 740 mm 时,实际的大气压相当于多高水银柱产生的压强?(假设温度保持不变)



图 5

解析:设水银柱的横截面积为 S,以水银柱上方的气体为研究对象,当气压计读数为 750 mm 时,气体的体积 $V_1 = 80S$,压强 $p_1 = (768 - 750) \text{ mmHg} = 18 \text{ mmHg}$;当气压计读数为 740 mmHg 时,气体的体积 $V_2 = 90S$,设其压强为 p_2 。根据玻意耳定律得 $p_1 V_1 = p_2 V_2$,解得 $p_2 = 16 \text{ mmHg}$,此时实际的大气压 $p = (740 + 16) \text{ mmHg} = 756 \text{ mmHg}$,相当于 756 mm 高的水银柱产生的压强。

备考策略 “固体和液体”这部分内容比

较简单,复习备考时只要不遗漏,一般情况下得分率较高;“气体”这部分内容是重点,要求同学们能够灵活运用气体实验定律、理想气体状态方程解决实际问题,能够借助图像讨论等温、等压、等容、绝热变化中相关物理量的变化规律。

3. 热力学定律与能量守恒。

例 7 一定质量的理想气体,从某一状态开始,经过一系列变化后又回到初始状态,用 W_1 表示外界对气体做的功,用 W_2 表示气体对外界做的功,用 Q_1 表示气体吸收的热量,用 Q_2 表示气体放出的热量,则在整个过程中一定有()。

- A. $Q_1 - Q_2 = W_2 - W_1$ B. $Q_1 = Q_2$
- C. $W_1 = W_2$ D. $Q_1 > Q_2$

解析:一定质量的理想气体,经过一系列变化后又回到初始状态,内能变化量为零,根据热力学第一定律得 $\Delta U = (W_1 - W_2) + (Q_1 - Q_2) = 0$,所以 $Q_1 - Q_2 = W_2 - W_1$;因为不知道具体的变化过程,所以 Q_1 与 Q_2 、 W_1 与 W_2 的关系无法确定。

答案:A

例 8 下列关于热力学定律的说法中不正确的是()。

- A. 物体吸收热量,内能一定增加
- B. 物体对外做功,内能也可能增加
- C. 机械能全部转化为内能是可能的
- D. 从单一热源吸收的热量全部变成功是可能的
- E. 根据热力学第二定律可知,热量不可能从低温物体传到高温物体

解析:根据热力学第一定律可知,改变物体内能有两种方法——做功与热传递,只知道其中一种途径,而没有说明另一途径,就无法确定内能的变化情况,选项 A 错误,B 正确。热力学第二定律表述的是宏观自然过程的方向性,机械能可以全部转化为内能,而内能不能全部转化为机械能,选项 C 正确。不可能从单一热源吸收热量,使之全部用来做功,选项 D 错误。在外界影响下热量可以从低温物体传到高温物体,选项 E 错误。

答案:ADE

例 9 如图 6 所示,密闭绝热的容器内有一活塞,活塞的上部封闭着理想气体,下部为真空,活塞具有一定的质量,活塞与器壁的摩擦忽略不计,置于真空中的轻弹簧的一端固定于容器的底部,另一端固定在活塞上,弹簧被压缩后用绳扎紧,此时弹簧的弹性势能为 E_p (弹簧处于自然长度时的弹性势能为零),现绳突然断开,弹簧推动活塞向上运动,经过多次往复运动后活塞静止,气体达到平衡状态,经过此过程()。



图 6

- A. E_p 全部转换为气体的内能
- B. E_p 全部转换为活塞的重力势能和气体的内能
- C. E_p 一部分转换为活塞的重力势能,其余部分仍为弹簧的弹性势能
- D. E_p 一部分转换为活塞的重力势能,一部分转换为气体的内能,其余部分仍为弹簧的弹性势能

解析:绳断开后,弹簧推动活塞上下往复运动,整个过程中没有热传递,机械能与内能不断地转化与转移,最终达到平衡状态,弹簧的弹性势能部分转化为活塞的重力势能和气体的内能,活塞自身存在的重力和气体对活塞存在的压力作用使得弹簧不可能回到自然长度状态,因此弹簧还有部分弹性势能。

答案:D

备考策略 “热力学第一定律”是热学部分学习的难点,也是高考考查的热点,复习备考时应将它与“能量的转化与守恒定律”统一起来,从更深层的角度理解;“热力学第二定律”的表述形式多样,理解的难度较大,复习备考时应侧重于具体案例的分析。

4. 理想气体综合问题。

例 10 如图 7 所示,内壁光滑的汽缸竖直放置,在距汽缸底部 $l = 36 \text{ cm}$ 处有一与汽缸固定连接的卡环,活塞与汽缸底部之间封闭着一定质量的理想气体。当气体的温度

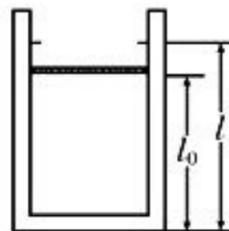


图 7

$T_1 = 300 \text{ K}$, 大气压强 $p_0 = 1 \times 10^5 \text{ Pa}$ 时, 活塞与汽缸底部之间的距离 $l_0 = 30 \text{ cm}$ 。已知活塞的横截面积 $S = 50 \text{ cm}^2$, 不计活塞的质量和厚度。现对缸内气体加热, 使活塞缓慢上升, 当温度上升到 $T_2 = 500 \text{ K}$ 时, 求:

- (1) 此时封闭气体的压强。
- (2) 该过程中封闭气体对外界做的功。

解析: (1) 设初始状态下封闭气体的压强为 p , 对活塞进行受力分析, 根据平衡条件得 $pS = p_0S$, 解得 $p = 1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ 。设活塞上升到卡环处时封闭气体的温度为 T , 根据盖-吕萨克定律得 $\frac{l_0 S}{T_1} = \frac{lS}{T}$, 解得 $T = 360 \text{ K} < T_2$ 。之后, 继续对缸内气体加热, 气体将做等容变化, 设最终封闭气体的压强为 p_2 , 根据查理定律得 $\frac{p_0}{T} = \frac{p_2}{T_2}$, 解得 $p_2 = 1.4 \times 10^5 \text{ Pa}$ 。

(2) 该封闭气体仅在等压膨胀过程中对外做功, 则 $W = p_0 S(l - l_0) = 30 \text{ J}$ 。

例 11 根据某种轮胎说明书可知, 轮胎内气体压强的正常值在 $2.4 \times 10^5 \text{ Pa}$ 至 $2.5 \times 10^5 \text{ Pa}$ 之间, 轮胎的容积 $V_0 = 2.5 \times 10^{-2} \text{ m}^3$ 。已知当地气温 $t_0 = 27 \text{ }^\circ\text{C}$, 大气压强 $p_0 = 1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$, 设轮胎的容积和充气过程中轮胎内气体的温度保持不变。

(1) 若轮胎中原有气体的压强为 p_0 , 求最多可充入压强为 p_0 的气体的体积 V 。

(2) 充好气的轮胎内压强 $p_1 = 2.5 \times 10^5 \text{ Pa}$, 被运送到气温 $t_1 = -3 \text{ }^\circ\text{C}$ 的某地。为了保证轮胎能正常使用, 请通过计算说明是否需要充气。

解析: (1) 设充入压强为 p_0 的气体的体积为 V 时, 轮胎内气体压强达到 $p = 2.5 \times 10^5 \text{ Pa}$, 根据玻意耳定律得 $p_0(V_0 + V) = pV_0$, 解得 $V = 3.75 \times 10^{-2} \text{ m}^3$ 。

(2) 设轮胎被运送到气温 $t_1 = -3 \text{ }^\circ\text{C}$ 的某地后, 轮胎内气体压强为 p_2 , 根据查理定律得 $\frac{p_1}{T_0} = \frac{p_2}{T_1}$, 其中 $T_0 = (273 + 27) \text{ K} = 300 \text{ K}$, $T_1 = (273 - 3) \text{ K} = 270 \text{ K}$, 解得 $p_2 = 2.25 \times 10^5 \text{ Pa}$ 。因为 $p_2 < 2.4 \times 10^5 \text{ Pa}$, 所以需要充气。

例 12 如图 8 所示, 汽缸由两个横截面积不同的玻璃管连接而成, 活塞 A、B 被轻质刚性细杆连接在一起, 可沿水平方向移动, 活塞 A 的横截面积是 B 的两倍。初始时, 活塞 A 的左端封闭压强为 p 、长度为 l 的气体 M。活塞 B 的右端封闭长度也为 l 的气体 N, 气体 N 右侧用内横截面积为 S 、厚度不计的轻质活塞 C 封闭。现用力推活塞 C 使其缓慢向左移动, 活塞 A 移动 $\frac{l}{2}$ 的过程中, 力推活塞 C 做功为 W_0 。设整个过程中管内气体温度不变, 管内气体视为理想气体, 三个活塞与管壁间的摩擦均不计, 大气压强为 p_0 。求:

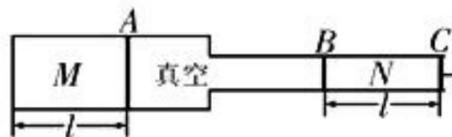


图 8

- (1) 压缩后气体 M 的压强 p_x 。
- (2) 活塞 C 移动的距离 x 。
- (3) 活塞 C 移动过程中, 系统与外界传递的总热量 Q 。

解析: (1) 气体 M 在初状态下的压强为 p , 体积 $V_1 = l \cdot 2S$, 在末状态下的压强为 p_x , 体积 $V_2 = \frac{l}{2} \cdot 2S$, 根据玻意耳定律得 $pV_1 = p_x V_2$, 解得 $p_x = 2p$ 。

(2) 气体 N 在初状态下的压强 $p_1 = 2p$, 体积 $V_1 = lS$, 在末状态下的压强 $p_2 = 2p_x = 4p$, 体积 $V_2 = x_0 S$, 根据玻意耳定律得 $p_1 V_1 = p_2 V_2$, 解得 $x_0 = \frac{l}{2}$, 所以活塞 C 向左移动的距离 $x = 2l - \frac{l}{2} - x_0 = l$ 。

(3) 整个过程中管内气体的温度不变, 则 $\Delta U = 0$, 根据热力学第一定律得 $\Delta U = W + Q$, 解得 $Q = -W = -(W_0 + p_0 S l)$, 即活塞 C 移动过程中系统向外放热为 $W_0 + p_0 S l$ 。

备考策略 气体三个实验定律和理想气体状态方程是高考的必考点, 也是同学们学习的难点。复习备考时要重视联系实际, 培养分析问题和解决问题的能力, 提高模型构建能力和推理论证能力。

(责任编辑 张 巧)

分类精准突破 光学备考策略

山东省滨州市第一中学 成树明

一、课程标准要求与命题趋势分析

1. 课程标准要求。

高中物理课程标准对光学的内容要求：通过实验，理解光的折射定律，会测量材料的折射率；知道光的全反射现象及其产生的条件，初步了解光纤的工作原理、光纤技术在生产生活中的应用；观察光的干涉、衍射和偏振现象，了解这些现象产生的条件，知道其在生产生活中的应用；知道光是横波，会用双缝干涉实验测量光的波长；通过实验，了解激光的特性，能举例说明激光技术在生产生活中的应用。

2. 命题趋势分析。

通过对近三年全国卷和山东卷中光学试题的统计分析可知，高考对光学知识的考查题型比较全面，选择题、实验题和计算题均有涉及，难度中等。考查的重点是光的折射定律和全反射，需要准确作出光路图，并利用数学知识解答；也可能会对薄膜干涉和双缝干涉进行考查。

二、分类突破与备考策略

1. 折射与全反射。

光从一种介质传播到另一种介质，会发生折射，折射时遵循折射定律 $n = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2}$ ；光从光密介质射向真空或空气时，发生全反射的临界角 C 满足关系式 $\sin C = \frac{1}{n}$ 。历年来高考试卷中常以玻璃砖为情境，考查光的折射原理，或者以全反射作为折射的特殊情况考查对临界问题的分析与计算，难度中等。常见的玻璃砖形式有平行玻璃砖、圆形玻璃砖、三角形玻璃砖、扇形玻璃砖、球形玻璃砖或几种形状组合玻璃砖等。

(1) 平行玻璃砖。

例 1 如图 1 所示，一块两个光学表面平行的光学元件，它对红光和紫光的折射率

分别为 $n_1 = \frac{4}{3}$, $n_2 = \frac{8}{5}$ 。现有一束宽度 $a = 3 \text{ cm}$ 的红、紫混合光从其上表面以 $\theta = 53^\circ$ 的入射角入射，已知 $\sin 53^\circ = \frac{4}{5}$, $\cos 53^\circ = \frac{3}{5}$ ，则此元件的厚度 d 至少为多大时，从元件下表面射出的红、紫两种光能分离？

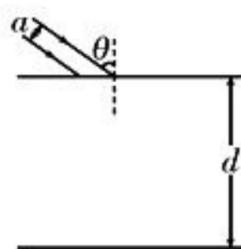


图 1

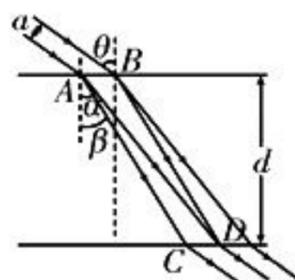


图 2

解析：作出光路图如图 2 所示，对红光有 $\frac{\sin \theta}{\sin \alpha} = n_1$ ，对紫光有 $\frac{\sin \theta}{\sin \beta} = n_2$ ，解得 $\alpha = 37^\circ$, $\beta = 30^\circ$ 。设 A、B 两点间的距离为 l ，若从元件下表面射出的红、紫两种光恰好分开，则 C、D 两点间的距离也为 l ，根据几何关系得 $d \tan \alpha - d \tan \beta = l$, $l = \frac{a}{\cos \theta} = 5 \text{ cm}$ ，解得

$$d = \frac{20(9 + 4\sqrt{3})}{11} \text{ cm} = 28.96 \text{ cm}.$$

(2) 截面为圆形的玻璃砖。

例 2 如图 3 所示，一个均匀透明介质球的球心位于 O 点，半径为 R ，一束单色光从真空中沿 DC 方向平行于直径 AOB 射到介质球上的 C 点，DC 与 AB 之间的距离 $H = \frac{\sqrt{3}}{2}R$ ，若该光束射入球体经一次反射后由 P 点(图中未标出)再次折射向真空中，已知出射光线与入射光线平行，光在真空中的速度为 c 。求：

(i) 该透明介质的折射率 n 。

(ii) 光束从 C 点射入到从 P 点射出所用的总时间。

解析：(i) 作出光路图如图 4 所示，光线

经反射后到达介质与真空的界面时,出射角 $i' = i$, 根据折射定律得 $r' = r$; 折射光线 PQ 与入射光线 DC 平行, 则 $\angle POA = \angle COA = i$, 又有 $H = \frac{\sqrt{3}}{2}R$, 根据几何关系得 $i = 60^\circ$,

$r = 30^\circ$, 则介质的折射率 $n = \frac{\sin i}{\sin r} = \sqrt{3}$ 。

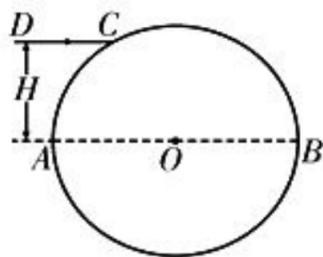


图3

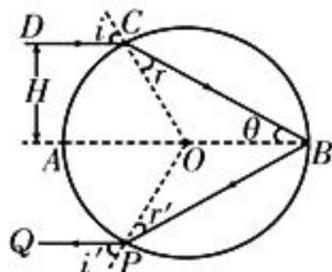


图4

(ii) 光束从 C 点射入到从 P 点射出通过的路程 $s = 4R \cos r = 2\sqrt{3}R$, 光束在介质中的传播速度 $v = \frac{c}{n} = \frac{\sqrt{3}}{3}c$, 则光束从 C 点射入

到从 P 点射出所用的总时间 $t = \frac{s}{v} = \frac{6R}{c}$ 。

(3) 截面为半圆形的玻璃砖。

例3 汽车氙气大灯(前照灯)通常需要配合透镜(近似看成半球形玻璃砖)才能达到更好的照明效果, 保证行车安全, 如图5甲所示为该系统工作的原理图。如图5乙所示为使用近光灯时透镜调节光线的原理图, 图中 MN 为透镜的竖直直径, 透镜的半径为 R , 一束单色光的入射点 P 与球心 O 之间的距离 $l = \frac{\sqrt{3}}{3}R$, 入射光线与直径 MN 之间的夹角 $\theta = 37^\circ$, 已知透镜对该入射光的折射率 $n = 1.6$, 透镜距地面的高度 $h = 1$ m(可认为远大于透镜半径), 求近光灯照射的距离 L ($\sin 37^\circ = 0.6, \cos 37^\circ = 0.8, \tan 83^\circ = 8.2$)。

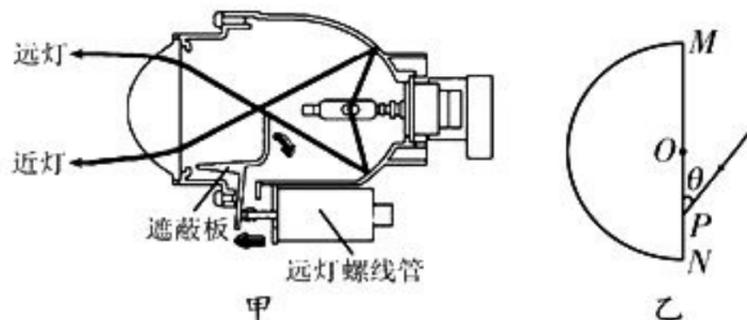


图5

解析: 单色光的折射路径如图6所示, 根

据题意得 $n = \frac{\sin i}{\sin r}$, 解得 $r =$

30° 。在 $\triangle OPQ$ 中, 根据正弦定理得 $\frac{l}{\sin \alpha} = \frac{R}{\sin(r + \frac{\pi}{2})}$, 解得

$\alpha = 30^\circ$, 根据折射定律得 $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} =$

$\frac{1}{n}$, 解得 $\beta = 53^\circ$ 。根据几何关系得 $\gamma = 30^\circ$,

则 $L = h \cdot \tan(\beta + \gamma)$, 解得 $L = 8.2$ m。

(4) 截面为扇形的玻璃砖。

例4 如图7所示,

MON 为柱状扇形玻璃体的横截面, 扇形的圆心为 O , 半径 $R = 0.3$ m, OB 为 $\angle MON$ 的角平分线, 一束单色光以入射角 $i = 45^\circ$ 从 A 点射入玻璃, 折射光线恰好在 B 点发生全

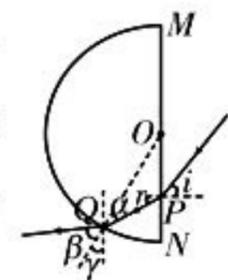


图6

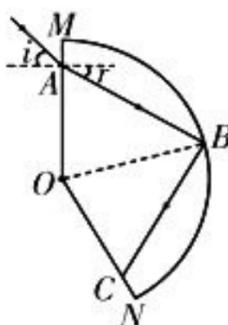


图7

反射, 最后从 C 点折射出。玻璃对该单色光的折射率 $n = \sqrt{2}$ 。已知光在真空中的传播速度 $c = 3 \times 10^8$ m/s, 求该单色光在玻璃体中的传播时间。(结果保留2位有效数字, 取 $\frac{\sin 75^\circ}{\sin 60^\circ} = 1.1, \sqrt{2} = 1.4$)

解析: 根据折射定律得 $n = \frac{\sin i}{\sin r}$, 解得 $r = 30^\circ$ 。折射光线恰好在 B 点发生全反射, 则 $\sin \angle ABO = \frac{1}{n}$, 解得 $\angle ABO = 45^\circ$, 则 $\angle AOB = 75^\circ$ 。在 $\triangle ABO$ 中, 根据正弦定理得 $\frac{R}{\sin 60^\circ} = \frac{l_{AB}}{\sin 75^\circ}$, 解得 $l_{AB} = 1.1R = 0.33$ m。该单色光在玻璃体中的传播时间 $t = \frac{2l_{AB}}{v}$, 又有 $v = \frac{c}{n}$, 解得 $t = 3.1 \times 10^{-9}$ s。

(5) 截面为三角形的玻璃砖。

例5 如图8所示, 直角三角形 ABC

为三棱镜的横截面示意图, $\angle B = 90^\circ, \angle C = 60^\circ, BC$ 边长为 d , 足够大光屏 MN 与 AB 边平行且相距为 d 。现有一束与 AC 边等宽的单色平行光垂直 AC 边射入棱镜, 棱镜对该单色光的折射率 $n = \sqrt{3}$, 不考虑经棱镜反射后的光线。

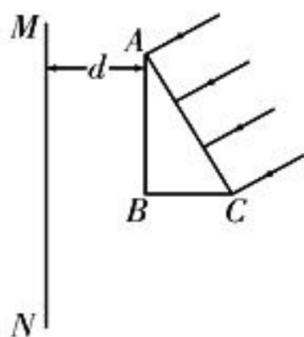


图 8

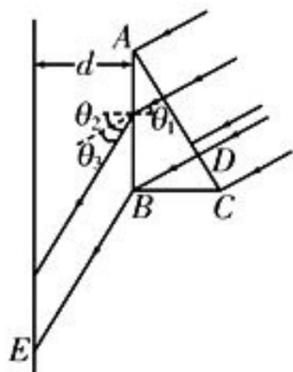


图 9

(i) 求光线经棱镜后的偏向角。

(ii) 到达光屏 MN 上的光线中有一条的传播时间最长, 求这一最长时间。

解析: (i) 光线射到 BC 边上, 入射角为 60° , $\sin 60^\circ > \frac{1}{n}$, 故光线不能从 BC 边射出。设光线射到 AB 边上的入射角为 θ_1 , 折射角为 θ_2 , 作出光路图如图 9 所示, 根据几何关系得 $\theta_1 = 30^\circ$, 根据折射定律得 $n = \frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1}$, 解得 $\theta_2 = 60^\circ$, 光线经棱镜后的偏向角 $\theta_3 = \theta_2 - \theta_1 = 30^\circ$ 。

(ii) 根据几何关系可知, 从 AC 边上 D 点入射, 从 AB 边上 B 点出射的光线传播时间最长, 则 $l_{BE} \cos \theta_2 = d$, $l_{BD} \cos \theta_1 = l_{BD}$ 。设光线从 D 点传播到 B 点所用的时间为 t_1 , 从 B 点传播到 E 点所用的时间为 t_2 , 根据运动学公式得 $t_1 = \frac{l_{BD}}{v}$, $t_2 = \frac{l_{BE}}{c}$, 又有 $n = \frac{c}{v}$, 因此最长传播时间 $t = t_1 + t_2 = \frac{7d}{2c}$ 。

(6) 截面为组合形的玻璃砖。

例 6 如图 10 所示, 透明玻璃体的上半部分是半球体, 下半部分是圆柱体, 半球体的半径为 R , O 为半球体的球心, 圆柱体的底面半径和高也为 R 。现有一半径为 $\frac{\sqrt{3}}{2}R$ 的圆环形平行光垂直于圆柱体上表面射向半球体, OO' 为光环的中心轴线, 所有光线经折射后恰好经过圆柱体下表面圆心 O' , 光线从 O' 点射出后在玻璃体下方的水平光屏上形成圆形亮环, 光屏到圆柱体下表面的距离为 R , 光在真空中的传播速度为 c 。求:

(i) 玻璃体的折射率。

(ii) 光从入射点传播到光屏所用的时间。

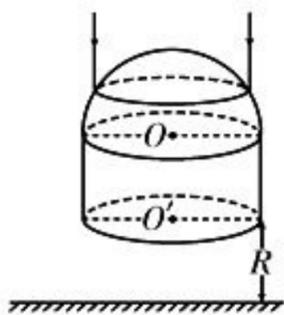


图 10

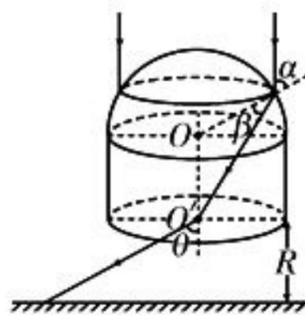


图 11

解析: (i) 作出光路图如图 11 所示, 根

据几何关系得 $R \sin \alpha = \frac{\sqrt{3}}{2} R$, 解得 $\alpha = 60^\circ$ 。根据几何关系得 $\alpha = 2\beta$, 解得 $\beta = 30^\circ$ 。根据折射定律得 $n = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \sqrt{3}$ 。

(ii) 光在玻璃体中的传播速度 $v = \frac{c}{n}$, 传播时间 $t_1 = \frac{2R \cos \beta}{v} = \frac{3R}{c}$ 。根据折射定律可知, 光线从 O' 点出射后与竖直方向间的夹角 $\theta = \alpha = 60^\circ$, 所以光从 O' 点出射后传播到光屏所用的时间 $t_2 = \frac{R}{c \cos \theta} = \frac{2R}{c}$ 。因此光从入射点传播到光屏所用的时间 $t = t_1 + t_2 = \frac{5R}{c}$ 。

备考策略

光在玻璃砖中传播问题主要考查折射定律, 折射定律本身难度并不大, 但对数学的要求较高, 灵活性较强。在应用光的折射定律求折射率时, 需要根据折射定律和题设条件确定光在两种介质交界面上的传播情况, 准确画出光路图, 找准入射角和折射角, 熟练运用数学知识进行求解; 对没有明确告知角度的, 需要根据作出的光路图构建几何关系来确定入射角或折射角, 利用折射定律和几何关系建立数学方程进行求解。复习备考时应从分析特殊光线入手, 明确光线走向, 熟练运用数学方法解决边角关系问题。

全反射是折射现象中的特殊现象, 当几何光学试题中出现“最大”“最小”“恰好”等关键词时, 很可能与光的全反射的临界角有关, 找出恰好发生全反射或有最大、最小入射角的边缘光线, 是解决此类问题的关键。对于边界受限制的情况, 求角度的最大值或最小值时要通过考虑最边缘光线的出射情况确定

范围。求解几何光学试题时,常用的数学方法有:等腰或等边三角形的几何性质,内错角或对顶角的等值关系,三角形外角与内角的关系、三角函数、勾股定理、相似三角形、正弦定理等。当遇到光线在两种介质的弧形界面处发生折射现象时,法线往往是一条有力的辅助线,作出法线构建出特殊的三角形,在圆弧、角、线中挖掘几何关系,建立有关的角度或长度关系,可以进而确定界面处的入射角和折射角。

2. 光的干涉、衍射、偏振和色散。

干涉现象中的双缝是用来产生两列频率相同的相干波,干涉图样是明暗相间的均匀条纹,间距 $\Delta x = \frac{l}{d}\lambda$ 正比于单色光的波长,若用白光照射双缝得到的是彩色条纹,正中央是白色的;单缝衍射图样也是明暗相间的条纹,但不均匀,中间很宽很亮,两侧逐渐变窄变暗,若用白光照射,得到的也是彩色条纹,中央的宽条纹是白色的;薄膜干涉是因为薄膜(空气膜、皂液膜)有两个不同的反射面,一列入射光经两个不同的反射面形成了两列反射光,这两列反射光来源于同一列入射光,频率相同,符合干涉条件,薄膜干涉图样是明暗相间的条纹,若用白光作入射光,则得到的图样是彩色的条纹;光的偏振现象说明光是一种横波;含有多种颜色的光被分解为单色光的现象称为光的色散,产生色散的原因有多种,如折射、干涉和衍射都会产生色散现象。

(1) 双缝干涉。

例 7 用双缝干涉测量光的波长实验装置如图 12 所示。将双缝干涉实验仪器按要求安装在光具座上,光源发出的光经滤光片(装在单缝前)成为单色光,把单缝照亮。单缝相当于一个线光源,它又把双缝照亮,已知双缝间的距离为 0.3 mm。透镜的作用是使射向单缝的光更集中。遮光筒的一端装有毛玻璃屏,通过目镜可以在屏上观察到干涉条纹。

(i) 实验时,还需要测量的量有_____。

(ii) 实验中将测量头的分划板中心刻线与某亮纹中心对齐,并将该亮纹定为第 1 条亮

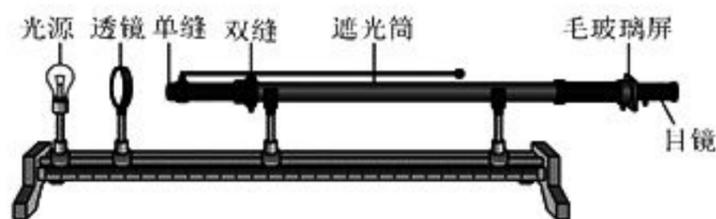


图 12

纹,此时手轮上的示数如图 13 甲所示;然后转动测量头,使分划板中心刻线与第 6 条亮纹中心对齐,此时手轮上的示数如图 13 乙所示,则相邻两条亮条纹间的距离为_____ mm。

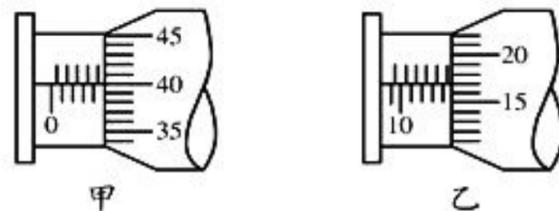


图 13

(iii) 若测得双缝到毛玻璃屏的距离为 120.00 cm,则本次实验测得的这种光的波长是_____ m(保留 2 位有效数字)。

(iv) 若实验中发现条纹太稀疏,可采取的改善办法是_____ (至少写出一条)。

解析: (i) 实验时,根据公式 $\Delta x = \frac{l}{d}\lambda$ 得 $\lambda = \frac{\Delta x}{l}d$,所以需要测量的量有相邻两条亮条纹或暗条纹的中心间距、双缝间距、双缝到屏的距离。

(ii) 第 1 条亮纹的读数为 $4.5 \text{ mm} + 0.01 \times 40.0 \text{ mm} = 4.900 \text{ mm}$,第 6 条亮纹的读数为 $14.5 \text{ mm} + 0.01 \times 17.0 \text{ mm} = 14.670 \text{ mm}$,所以相邻两条亮条纹间的距离 $\Delta x = \frac{14.670 - 4.900}{5} \text{ mm} = 1.954 \text{ mm}$ 。

(iii) 光波的波长 $\lambda = \frac{\Delta x}{l}d = \frac{1.954 \times 10^{-3} \times 0.3 \times 10^{-3}}{120.00 \times 10^{-2}} \text{ m} = 4.9 \times 10^{-7} \text{ m}$ 。

(iv) 根据公式 $\Delta x = \frac{l}{d}\lambda$ 可知,想要条纹变密集,即让 Δx 变小,可以减小双缝到屏的距离,减小光波的波长,增大双缝的间距。

答案: (i) 双缝到毛玻璃屏的距离和相邻两条亮条纹或暗条纹的中心间距 (ii) 1.954 (填 1.953 ~ 1.955 均可) (iii) 4.9×10^{-7} (iv) 换波长更短的滤光片或减小双缝到毛玻

璃屏的距离或增大双缝间的距离

(2) 薄膜干涉。

例 8 如图 14 所示, 把一矩形均匀薄玻璃板 $ABCD$ 压在另一个矩形平行玻璃板上, 一端用薄片垫起, 将红单色光从其上方射入, 这时可以看到明暗相间的条纹, 下列关于这些条纹的说法中正确的是()。

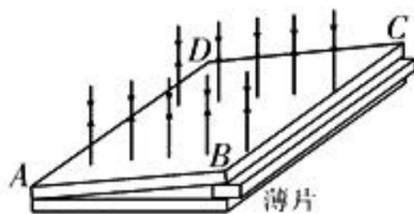


图 14

- A. 条纹方向与 AB 边平行
- B. 条纹间距不是均匀的, 越靠近 BC 边条纹间距越大
- C. 减小薄片的厚度, 条纹间距变小
- D. 将红单色光换为蓝单色光照射, 则条纹间距变小

解析: 薄膜干涉的光程差 $\Delta s = 2d$ (d 为薄膜厚度), 薄膜厚度相同处产生的条纹明暗情况相同, 因此条纹应与 BC 边平行, 选项 A 错误。因为两玻璃板间形成的空气膜厚度均匀变化, 所以条纹是等间距的, 选项 B 错误。减小薄片厚度, 条纹间距将增大, 选项 C 错误。将红单色光换为蓝单色光照射, 入射光波长减小, 条纹间距将减小, 选项 D 正确。

答案: D

(3) 光的衍射。

例 9 用如图 15 甲所示的装置做圆孔衍射实验, 在屏上得到的衍射图样如图 15 乙所示, 实验发现, 光绕过孔的边缘, 传播到了相当大的范围。下列说法中正确的是()。

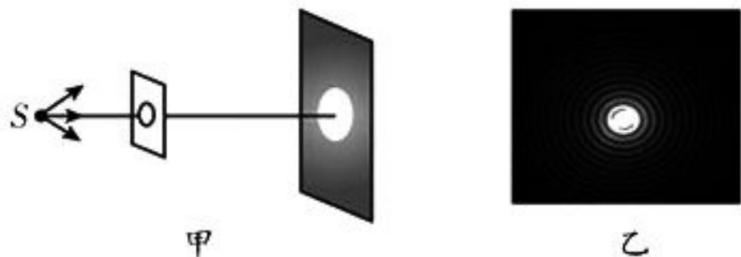


图 15

- A. 此实验说明了光沿直线传播
- B. 圆孔变小, 衍射图样的范围反而变大
- C. 圆孔变小, 中央亮斑和亮纹的亮度反而变强
- D. 用不同波长的光做实验, 衍射图样完全相同

解析: 此实验说明了光的衍射现象, 选项 A 错误。圆孔变小, 衍射现象更明显, 衍射图样的范围反而变大, 选项 B 正确。圆孔变小, 透光强度变小, 中央亮斑和亮纹的亮度变弱, 选项 C 错误。用不同波长的光做实验, 衍射图样并不相同, 因为波长越长, 对同一圆孔而言, 衍射现象越明显, 选项 D 错误。

答案: B

(4) 光的偏振。

例 10 如图 16 所示, 让太阳光通过偏振片 P 和 Q , 并以光的传播方向为轴旋转 P 或 Q , 下列说法中正确的是()。

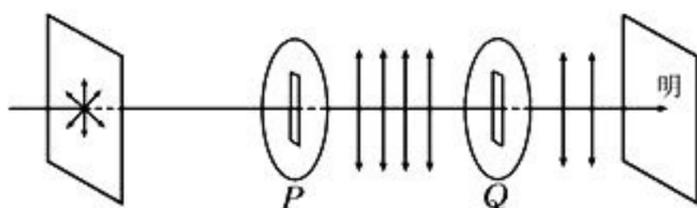


图 16

- A. 太阳光是偏振光
- B. P 是起偏器, Q 是检偏器
- C. 仅旋转 P 时, 光屏上的光强不发生变化
- D. 该实验可以说明光是纵波

解析: 太阳光是非偏振光, 偏振现象说明了光是一种横波, 选项 A、D 错误。 P 是起偏器, Q 是检偏器, 选项 B 正确。仅旋转 P 时, 光屏上的光强也会发生变化, 选项 C 错误。

答案: B

(5) 光的色散。

例 11 如图 17 所示, 一细束由黄、蓝、紫三种光组成的复色光, 通过三棱镜折射后分为 a 、 b 、 c 三种单色光, 下列说法中正确的是()。

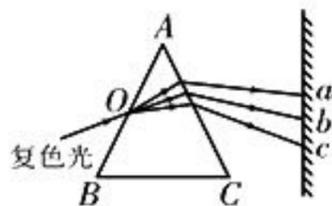


图 17

- A. a 为紫光
- B. 在三棱镜中 a 光的传播速度最大
- C. 在相同实验条件下, 用 a 、 b 、 c 三种单色光做双缝干涉实验, 用 a 光做实验得到的干涉图样中相邻两条亮条纹的间距最大
- D. 在真空中, a 、 b 、 c 三种单色光中 c 光的波长最大

(下转第 35 页)

变质量气体问题的两种处理方法赏析

——以2021年河北省普通高中学业水平考试第15题为例

■湖南省湘阴县第一中学 杨宗礼

■湖南省湘阴县左宗棠中学 任海燕

在利用理想气体的实验定律或状态方程解题时,研究对象应是一定质量的理想气体,但是在实际问题中,气体的质量可能是变化的。当遇到变质量气体问题时,可以先通过恰当选取研究对象,将变质量问题转化为定质量问题,再利用气体实验定律列式求解,也可以利用理想气体状态方程分态式求解。下面对2021年河北省普通高中学业水平考试中的一道变质量气体问题进行深入探讨,归纳出求解这类问题的两种方法,希望对同学们的复习备考有所帮助。

题目:某双层玻璃保温杯夹层中有少量空气,温度为 $27\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,压强为 $3.0\times 10^3\text{ Pa}$ 。

(1)当夹层中空气的温度升至 $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,求此时夹层中空气的压强。

(2)当保温杯外层出现裂隙后,静置足够长时间,求夹层中增加的空气质量与原有空气质量的比值。设环境温度为 $27\text{ }^{\circ}\text{C}$,大气压强为 $1.0\times 10^5\text{ Pa}$ 。

命题意图:本题借助日常生活中常用的双层玻璃保温杯设置情境,考查考生运用理论知识解释生活现象,学以致用能力。(1)问属于定质量气体问题,较为简单,根据查理定律列式求解即可;(2)问属于变质量气体问题,有一定的难度,需要巧选分析思路,灵活运用物理规律求解。

解析:(1)当夹层中空气的温度由 $27\text{ }^{\circ}\text{C}$ 升至 $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,做等容变化,根据查理定律得 $\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$,其中 $T_1 = (273 + 27)\text{ K} = 300\text{ K}$, $T_2 = (273 + 37)\text{ K} = 310\text{ K}$, $p_1 = 3.0\times 10^3\text{ Pa}$,解得 $p_2 = 3.1\times 10^3\text{ Pa}$ 。

(2)**思路一:**恰当选取研究对象,将变质量问题转化为定质量问题。

方法1:当保温杯外层出现裂隙后,静置

足够长时间,夹层中的空气压强和大气压强相等。设夹层中容积为 V ,以静置后夹层中的所有空气为研究对象,则 $p_0V = p_1V_1$,其中 $p_0 = 1.0\times 10^5\text{ Pa}$, $p_1 = 3.0\times 10^3\text{ Pa}$,解得 $V_1 = \frac{100}{3}V$ 。增加的空气的体积 $\Delta V = V_1 - V = \frac{97}{3}V$ 。因为同温同压下空气的质量之比等于体积之比,所以增加的空气质量与原有空气质量之比 $\frac{\Delta m}{m} = \frac{\Delta V}{V} = \frac{97}{3}$ 。

方法2:设夹层中容积为 V ,以夹层中原有的空气为研究对象,根据题意得 $p_1 = 3.0\times 10^3\text{ Pa}$, $p_2 = 1.0\times 10^5\text{ Pa}$,这部分空气做等温变化,根据玻意耳定律得 $p_1V = p_2V_2$,解得 $V_2 = \frac{3}{100}V$ 。夹层中增加的空气体积 $\Delta V = V - V_2 = \frac{97}{100}V$ 。因此增加的空气质量与原有空气质量之比 $\frac{\Delta m}{m} = \frac{\Delta V}{V_2} = \frac{97}{3}$ 。

点评:求解变质量气体问题时,如何选择适当的研究对象是关键。方法1以静置后夹层中的所有空气组成的整体为研究对象,化变质量问题为总质量不变的问题;方法2以夹层中原有的空气为研究对象,气体的质量也是不变的。充气问题、抽气问题、灌气问题和漏气问题都可以采用恰当选取研究对象,将变质量问题转化为定质量问题的思路分析求解。分析充气问题时,分别选原有气体和即将充入的气体作为研究对象,就可将充气过程中气体质量的变化问题转化为定质量气体的状态变化问题;分析抽气问题时,把每次抽气过程中抽出的气体和剩余气体作为研究对象,则抽气过程可视为定质量气体的等温膨胀过程;分析灌气问题时,把大容器中的气体和多个小容器中的气体组成的整体作为研

究对象,就可将变质量问题转化为定质量问题;分析漏气问题时,把容器内剩余气体和漏出气体组成的整体为研究对象,就可将变质量问题转化为定质量气体的状态变化问题。

思路二:应用理想气体状态方程分态式求解。

方法 3:设夹层中原有空气的体积为 V , 温度 $T = (273 + 27) \text{ K} = 300 \text{ K}$, 压强 $p_1 = 3.0 \times 10^3 \text{ Pa}$; 经过长时间静置进入夹层中的空气的体积为 V' , 温度 $T = 300 \text{ K}$, 压强 $p_2 = 1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ 。气体进入夹层的过程相当于体积为 V 的气体和体积为 V' 的气体混合成温度 $T = 300 \text{ K}$, 压强 $p = 1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$, 体积为 V 的气体, 则 $p_1 V + p_2 V' = p V$, 解得 $V' = \frac{97}{100} V$ 。因此增加的空气质量与原有空气质量之比

$$\frac{\Delta m}{m} = \frac{V'}{V - V'} = \frac{97}{3}。$$

方法 4:设夹层中原有空气的体积为 V , 温度 $T_1 = (273 + 37) \text{ K} = 310 \text{ K}$, 压强 $p_1 = 3.1 \times 10^3 \text{ Pa}$; 经过长时间静置进入夹层中的空气的体积为 V' , 温度 $T_2 = (273 + 27) \text{ K} = 300 \text{ K}$, 压强 $p_2 = 1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ 。气体进入夹层的过程相当于体积为 V 的气体和体积为 V' 的气体混合成温度 $T = 300 \text{ K}$, 压强 $p = 1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$, 体积为 V 的气体, 则 $\frac{p_1 V}{T_1} + \frac{p_2 V'}{T_2} = \frac{p V}{T}$, 解得 $V' = \frac{97}{100} V$ 。因此增加的空气质量与原有空气质量之比

$$\frac{\Delta m}{m} = \frac{V'}{V - V'} = \frac{97}{3}。$$

点评:理想气体状态方程的分态式为 $\frac{p_1 V_1}{T_1} + \frac{p_2 V_2}{T_2} = \frac{p V}{T}$, 如果温度不变, 则 $p_1 V_1 + p_2 V_2 = p V$ 。遇到把几部分状态参量不相同的气体合装在同一容器内的问题或者把一定质量的理想气体分成几部分状态参量不相同气体的问题时, 应用理想气体状态方程分态式求解较为方便。

跟踪训练

1. 某品牌的可加热饭盒的盒盖密封性能

良好, 饭盒盖上有一排气口, 饭盒内部横截面积为 S , 质量、厚度均不计的饭盒盖与玻璃饭盒底部之间封闭了一定质量的理想气体, 饭盒盖与玻璃饭盒底部之间的距离为 L , 且饭盒盖固定不动, 可以将其看成是一导热性能良好的汽缸, 如图 1 所示。封闭气体的初始温度 $T_0 = 300 \text{ K}$, 初始压强为大气压强 p_0 , 取重力加速度 $g = 10 \text{ m/s}^2$ 。现缓慢加热饭盒使其内部气体温度升高到 360 K 。



图 1

(1) 求此时封闭气体的压强。

(2) 打开排气口, 放出部分气体, 使得饭盒内气体压强与外界大气压强相等, 设此过程中饭盒内气体温度不变, 求排出气体与原有气体的质量之比。

2. 如图 2 所示是某排水管道的侧面剖视图, 井盖上的泄水孔因故堵塞, 井盖与管口间密封良好但不粘连。暴雨期间, 水位迅速上涨, 该井盖可能会不断跳跃。假设井盖质量

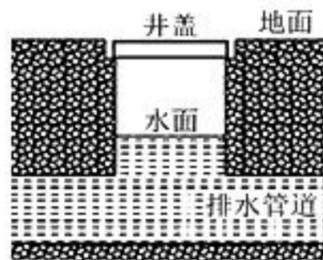


图 2

$m = 20.0 \text{ kg}$, 圆柱形竖井内水面面积 $S = 0.200 \text{ m}^2$, 图示时刻水面与井盖之间的距离 $h = 2.00 \text{ m}$, 井内密封有压强刚好等于大气压强 $p_0 = 1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$, 温度 $T_0 = 300 \text{ K}$ 的空气(可视为理想气体), 取重力加速度 $g = 10 \text{ m/s}^2$, 假设密闭空气的温度始终不变。(计算结果保留 3 位有效数字)

(1) 从图示位置起, 水面上涨多少后井盖第一次被顶起?

(2) 井盖第一次被顶起后迅速回落再次封闭井内空气, 此时井内空气压强重新回到 p_0 , 温度仍为 T_0 , 则此次向外界排出的空气当压强变为 p_0 , 温度变为 $T_1 = 290 \text{ K}$ 时, 体积是多少?

参考答案: 1. (1) $1.2 p_0$; (2) $\frac{1}{6}$ 。

2. (1) $1.96 \times 10^{-2} \text{ m}$; (2) $3.79 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ 。

(责任编辑 张 巧)

高考物理模拟试题(五)

■河北省石家庄市鹿泉区第一中学 聂震萍

一、选择题(第 1~5 题为单选题,第 6~8 题为多选题)

1. 2021 年 5 月 28 日,我国有“人造太阳”之称的全超导托卡马克核聚变实验装置取得新突破,成功实现可重复的 1.2 亿摄氏度 101 秒和 1.6 亿摄氏度 20 秒等离子体运行。氘核聚变反应的方程为 ${}^2_1\text{H} + {}^2_1\text{H} \rightarrow \text{X} + {}^1_0\text{n}$ 。已知氘核的质量为 m_1 ,中子的质量为 m_2 ,反应中释放的核能为 ΔE ,光速为 c ,下列说法中正确的是()。

A. X 为 ${}^3_2\text{He}$

B. X 为 ${}^3_1\text{H}$

C. X 的质量为 $2m_1 - m_2 - \frac{\Delta E}{c^2}$

D. 两氘核间的库仑力有利于核聚变反应的进行

2. 在我们的日常生活中会发生很多静电现象。有一次,小明的手指靠近金属门把手时,突然有一种被电击的感觉。这是因为运动摩擦使身体带电,当手指靠近门把手时,二者之间产生了放电现象。已知手指带负电,关于放电前手指靠近门把手的过程,下列说法中正确的是()。

A. 门把手内部的场强逐渐变大

B. 门把手与手指之间的场强逐渐增大

C. 门把手靠近手一端的电势高于另一端

D. 门把手靠近手的一端带负电荷,且电荷量增加

3. 为了方便对天体物理学领域的研究,实现对太空的进一步探索,人类计划在太空中建立新型空间站。在空间站中设置一个如图 1 所示绕中心轴旋转的超大型圆管作为生活

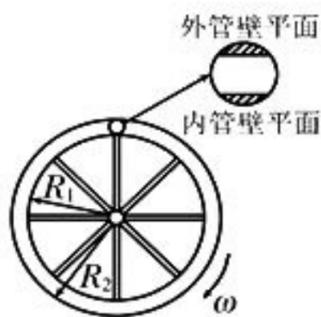


图 1

区,圆管的内、外管壁平面与转轴的距离分别为 R_1 和 R_2 。当圆管以一定的角速度转动时,在管中相对管静止的人(可看成质点)便

可以获得一个类似在地球表面的重力(获得的加速度大小等于地球表面的重力加速度大小),以此降低因长期处于失重状态而对身体健康造成的影响。已知地球质量为 M ,地球半径为 R ,引力常量为 G ,地球同步卫星轨道半径为 r 。当空间站在地球同步卫星轨道上运行时,为使管内的人获得类重力,下列说法中正确的是()。

A. 当圆管转动时,人将会挤压内管壁

B. 当圆管转动时,人处于完全失重状态

C. 圆管绕中心轴转动的周期为 $2\pi R \sqrt{\frac{R_2}{GM}}$

D. 圆管绕中心轴转动的周期为 $2\pi R \sqrt{\frac{R_1}{GM}}$

4. 如图 2 所示,半径为 r 的半圆 abc 内部没有磁场,半圆外部空间有垂直于半圆平面的匀强磁场(图中未画出),比荷为 p 的带电

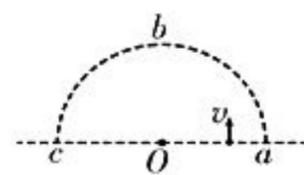


图 2

粒子(不计重力)从直径 ac 上任意一点以同样的速率垂直于直径 ac 射向圆弧边界,粒子进入磁场偏转一次后都能经过直径上的 c 点并被吸收,下列说法中正确的是()。

A. 磁场方向一定垂直于半圆平面向里

B. 粒子在磁场中运动的轨迹半径为 $2r$

C. 粒子在磁场中运动的最长时间为 $\frac{\pi}{pB}$

D. 粒子在磁场中运动的最短时间为 $\frac{\pi}{pB}$

5. “水上飞人运动”是一项新兴的运动形式。操控者借助“喷射式悬浮飞行器”向下喷射高压水柱的方式完成在水面上方或悬停或急速升降等动作。假设某玩家(含设备)的质量为 M ,底部两个喷口的总面积为 S ,忽略空气阻力和管道(含装置)对人的作用,下列说法中正确的是()。

A. 当装置向下喷水时,人将沿着喷水的反方向做直线运动

B. 若要悬停在空中,向下喷水的速度应

为 $\sqrt{\frac{Mg}{S^2 \rho_{\text{水}}}}$

C. 当人匀速上升时, 人所受的合外力做的总功为 0

D. 若要实现向上以加速度 a 加速运动, 向下喷水的速度应为 $\sqrt{\frac{M(g-a)}{S\rho_{\text{水}}}}$

6. 如图 3 所示, 一停放在水平路面上的货车车厢中, 底部平整排列着三个油桶 A、B、C, 油桶 D 摆放在油桶 A、B 之间。司机在油桶 C 右侧插入一块薄板, 使下层油桶相互紧贴。四个油桶完全相同, 忽略一切摩擦, 下列说法中正确的是()。

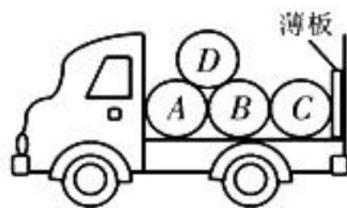


图 3

A. 油桶 B 所受合外力最大, 油桶 D 所受合外力最小

B. 车厢对油桶 B 的支持力大小是油桶 B 所受重力的 2 倍

C. 油桶 A 对 D 的支持力与油桶 B 对 D 的支持力大小相等, 且都小于油桶 D 的重力

D. 若抽去薄板, 稳定后油桶 B 对 D 的支持力增大

7. 如图 4 甲所示, 绝缘光滑水平面上方, 分布着水平向右的匀强电场, 电场强度为 E 。在水平面右端固定一轻弹簧, 一带电物块(可视为质点)的质量为 m , 电荷量为 $+q$, 将物块由静止释放, 以物块出发点为坐标原点, 水平向右为 x 轴正方向, 建立坐标系, 物块动能 E_k 与它通过的距离 x 之间的关系如图 4 乙所示, 其中坐标 x_1 处为弹簧原长位置, $O \sim x_1$ 段为直线, 坐标 x_2 处动能最大, 坐标 x_3 处动能为 0。下列说法中正确的是()。

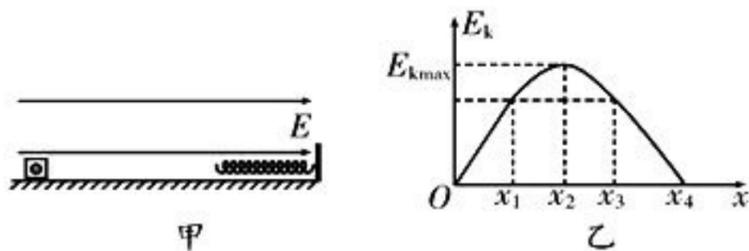


图 4

A. 弹簧的劲度系数 $k = \frac{qE}{x_2 - x_1}$

B. 从坐标 x_1 处到 x_3 处, 物块所受合外力先增大后减小

C. 从坐标 x_1 处到 x_3 处, 弹簧的弹性势能增加了 $qE(x_3 - x_1)$

D. 从坐标 x_1 处到 x_2 处, 弹簧弹性势能的增加量等于电势能的减少量

8. 如图 5 所示, 两相邻倾斜轨道 I 和 II 均与水平面平滑连接, 两轨道侧视图的交叉点 M 距地面的高度为 h , 一可视为质点的物块从轨道 II 上的 M 点由静止释放, 最终物块运动到水平面上的 A 点停止。已知物块与两倾斜轨道、水平面之间的动摩擦因数均相同, 重力加速度为 g , 倾斜导轨足够长。下列说法中正确的是()。

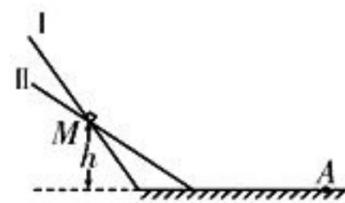


图 5

A. 若物块从轨道 I 上的 M 点由静止释放, 则物块将停在水平面上 A 点左侧

B. 若物块从 A 点以大小为 $2\sqrt{gh}$ 的初速度向左运动并滑上轨道 I, 则物块刚好能滑到 M 点速度减为 0

C. 若物块从 A 点以大小为 $3\sqrt{gh}$ 的初速度向左运动并分别滑上两倾斜轨道, 则物块在两倾斜轨道上速度减为 0 时的位置距地面的高度相同

D. 若物块从 A 点以大小为 $3\sqrt{gh}$ 的初速度向左运动并分别滑上两倾斜轨道, 则物块在轨道 I 上速度减为 0 时的位置距地面的高度较大

二、非选择题

(一) 必考题

9. 小明利用如图 6 甲所示的实验装置探究加速度与力的关系, 滑块放在长木板上, 长木板置于水平桌面上, 砂桶通过滑轮与细线拉滑块, 在细线上接有一个微型力传感器, 通过力传感器可以直接读出细线的拉力大小。保持滑块质量不变, 在砂桶中添加少量细砂来改变力传感器的示数 F , 利用打点计时器打出的纸带求出对应拉力 F 时的加速度 a , 从而得到如图 6 乙所示的 $F-a$ 图像。

(1) 关于该实验, 下列说法中正确的是_____。

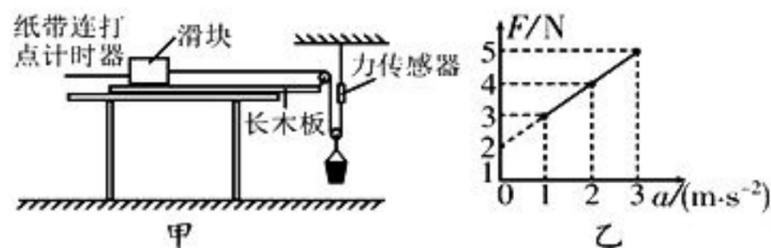


图 6

A. 需要略微垫起长木板左端来平衡摩擦力

B. 砂桶和砂的总质量应远小于滑块的质量

C. 需要让细线与长木板保持平行

(2) 实验中打出的一条纸带如图 7 所示, 打点计时器打点的周期 $T = 0.02 \text{ s}$, 在纸带上依次标上 1、2、… 计数点, 相邻两个计数点之间还有四个点没有画出来, 测得 $x_1 = 7.35 \text{ cm}$, $x_2 = 9.44 \text{ cm}$, $x_3 = 11.56 \text{ cm}$, $x_4 = 13.65 \text{ cm}$, $x_5 = 15.86 \text{ cm}$, $x_6 = 17.97 \text{ cm}$ 。利用以上数据可知, 滑块的加速度大小 $a = \underline{\hspace{2cm}} \text{ m/s}^2$ 。(保留 3 位有效数字)

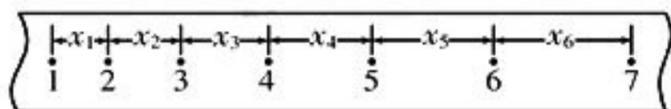


图 7

(3) $F-a$ 图像中线段的延长线没有经过原点的原因是 $\underline{\hspace{2cm}}$ (任写一条即可); 根据 $F-a$ 图像可知, 滑块的质量 $m = \underline{\hspace{2cm}} \text{ kg}$ (结果保留 2 位有效数字)。

10. 某同学用电子体重秤的压敏电阻 R 及一个电流表, 通过改变压力来测定电池的电动势和内阻。该同学经过查阅说明书获知, 压敏电阻阻值 $R = R_0 + kN$, 其中 N 为称重者站在体重秤上静止时对体重秤的压力, R_0 和 k 为已知常数, 当地重力加速度为 g 。

备有器材: 待测电池、压敏电阻、天平、电流表、开关、导线若干。

主要实验步骤: ① 按照如图 8 甲所示的设计电路连接好实物; ② 闭合开关 S , 分别在压敏电阻 R 上放置不同质量的物体, 读出多组电流表的示数; ③ 根据所测量的数据作出图像如图 8 乙所示, b 为图像的纵轴截距, a 、 c 为图像上一个点的坐标值。

回答以下问题:

(1) 某次实验该同学将电流表调零, 选择

$0 \sim 0.6 \text{ A}$ 挡, 闭合开关 S , 示数如图 8 丙所示, 电流表示数为 $\underline{\hspace{2cm}} \text{ A}$ 。

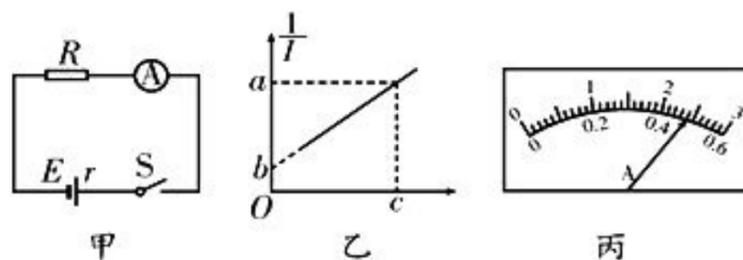


图 8

(2) 根据图 8 乙中选择 $\frac{1}{I}$ 为纵坐标, 要符合图示图像特点, 则横坐标为 $\underline{\hspace{2cm}}$ 。

- A. $\frac{1}{m}$ B. Im C. m D. $\frac{m}{I}$

(3) 根据(2)问中选取横坐标后的图像可知, 待测电池的电动势表达式 $E = \underline{\hspace{2cm}}$ (用 k 、 R_0 、 a 、 b 、 c 、 g 表示)。

(4) 若电流表的内阻产生的系统误差不可忽略, 则该电池内阻的测量值 $\underline{\hspace{2cm}}$ (选填“大于”“小于”或“等于”)真实值。

11. 《汪汪队立大功》是一部小朋友们非常喜欢的动画片, 如图 9 甲所示建筑为汪汪队的总部大厦, 其简化示意图如图 9 乙所示。行动时, 狗狗们会从 A 点无初速度下滑, 由底端水平槽口 B 点 (B 是半径为 R 的圆弧形的最低点) 水平飞出并跳入距 B 点水平距离 $d = \frac{R}{2}$ 的工具车中的座椅 (C 点), 开始驾车执行任务。假设 A 、 B 两点之间的竖直高度差 $H = 2R$, B 点距离地面的高度 $h = R$, 重力加速度为 g 。

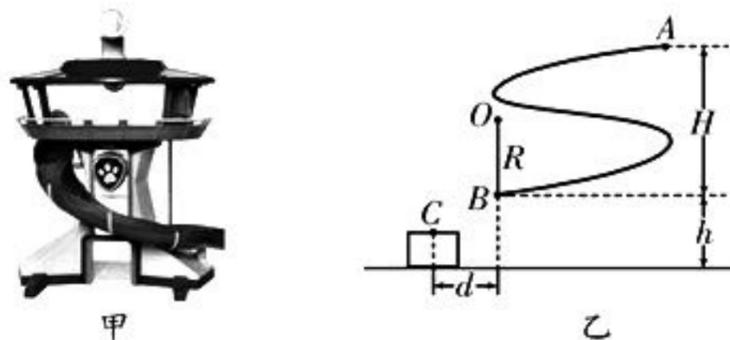


图 9

(1) 若狗狗滑到 B 点时对轨道的压力为其重力的 3 倍, 则狗狗在 B 点时的速度大小是多少? 狗狗在轨道上运动过程中克服阻力做了多少功?

(2) 根据(1)问的条件, 为使狗狗顺利跳

入工具车中,工具车座椅距离地面的高度应为多少?

12. 如图 10 所示,间距为 L 的足够长平行光滑金属导轨 ab 、 de 构成倾角为 θ 的斜面,上端接定值电阻 R ,足够长平行光滑金属导轨 bc 、 ef 处于同一水平面内,倾斜导轨与水平导轨在 b 、 e 处平滑连接,且 b 、 e 处装有感应开关。倾斜导轨处在垂直于导轨平面向上的匀强磁场中,水平导轨处在竖直向上的匀强磁场中,两磁场的磁感应强度大小均为 B 。距离 b 足够远处接有未闭合的开关 S ,在开关 S 右侧垂直导轨放置导体棒 N ,在倾斜导轨上距 b 、 e 足够远的位置放置导体棒 M ,现将导体棒 M 由静止释放,当导体棒 M 通过 b 、 e 处后瞬间感应开关自动断开。已知导体棒 M 的质量为 m ,电阻为 R ,导体棒 N 的质量为 $2m$,电阻为 $2R$,两导体棒运动过程中始终与导轨接触良好且与导轨垂直,重力加速度为 g ,不计导轨电阻及空气阻力。

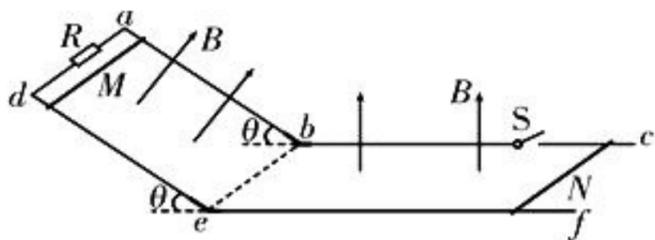


图 10

(1) 保持开关 S 断开,求导体棒 M 通过 b 、 e 处前瞬间的速度大小。

(2) 若固定导体棒 N ,导体棒 M 通过 b 、 e 处后瞬间闭合开关 S ,求导体棒 M 在水平导轨上运动的位移。

(3) 若不固定导体棒 N ,导体棒 M 通过 b 、 e 处后瞬间闭合开关 S ,求导体棒 N 中产生的焦耳热。

(二) 选考题

13. [选修 3—3]

(1) 下列说法中正确的是_____。

A. 太空中水滴呈球形,是液体表面张力作用的结果

B. 质量和温度都相同的氮气和氧气,若忽略分子势能则内能一样大

C. 知道气体的质量、密度、摩尔体积和阿伏加德罗常数,可以估算出该气体中分子间

的平均距离

D. 当分子势能随分子间距离的增大而减小时,分子力表现为引力

E. 一定质量的理想气体保持体积不变,单位体积内分子数不变,但温度升高,单位时间内撞击单位面积上的分子数增多

(2) 在热力学温度 $T_0 = 300 \text{ K}$ 的室内将一空玻璃水瓶的瓶盖盖上(不漏气),现将水瓶放到室外阳光下暴晒,使水瓶内空气的温度升至 $T = 336 \text{ K}$ 。大气压强恒为 $p_0 = 1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$,将水瓶内的空气视为理想气体。

(i) 求暴晒后水瓶内空气的压强 p 。

(ii) 若暴晒后在室外将瓶盖打开,使水瓶内、外的压强相同,水瓶内气体的温度不变,求水瓶内放出的空气质量与原来水瓶内的空气质量之比 $\frac{m}{m_0}$ 。

14. [选修 3—4]

(1) 如图 11 所示,在 x 轴上 $x=0$ 和 $x=13.25 \text{ m}$ 处两个振源在 $t=0$ 时刻同时起振,经过 0.75 s 形成图示波形甲和乙,则两列波的周期之比 $\frac{T_{\text{甲}}}{T_{\text{乙}}} = \underline{\hspace{2cm}}$,两列波相遇后 _____ (选填“能”或“不能”)发生干涉现象;在 $t = \underline{\hspace{2cm}} \text{ s}$ 时刻, $x=7.5 \text{ m}$ 处的质点第一次到达正向最大位移处。

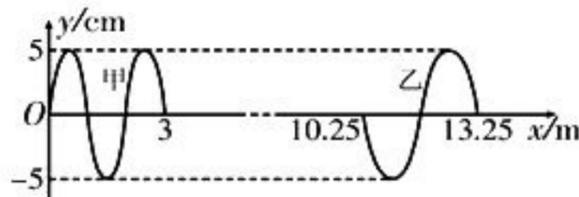


图 11

(2) 如图 12 所示,底面半径为 R ,高也为 R 的圆柱形容器中装满某种透明液体,在底面圆心位置有一点光源,发现上表面有一半面积的区域有光射出,已知光在真空中的传播速度为 c 。求:

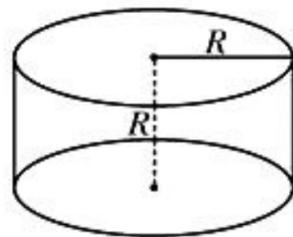


图 12

(i) 透明液体对光线的折射率。

(ii) 射出的光线在透明液体中传播的最长时间(不考虑光线在容器壁上的反射)。

(责任编辑 张 巧)

高考物理模拟试题(六)



江苏省六合高级中学 傅明峰

一、选择题(第 1~5 题为单选题,第 6~8 题为多选题)

1. 太阳内部的一个热核反应方程是 ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + \text{X}$ 。已知 ${}^2_1\text{H}$ 的质量为 m_1 , ${}^3_1\text{H}$ 的质量为 m_2 , ${}^4_2\text{He}$ 的质量为 m_3 , X 的质量为 m_4 , 光速为 c , 下列说法中正确的是()。

- A. X 是质子
- B. ${}^2_1\text{H}$ 和 ${}^3_1\text{H}$ 是两种不同元素的原子核
- C. ${}^2_1\text{H}$ 和 ${}^3_1\text{H}$ 在常温下就能够发生聚变
- D. 反应释放的核能为 $(m_1 + m_2 - m_3 - m_4)c^2$

2. 如图 1 甲所示是光电效应的实验装置图。小明同学用不同的 A、B 两种光照射到光电管上时,测得电流计的示数随电压变化的图像如图 1 乙所示。已知 B 光的光子能量为 6 eV, 下列说法中正确的是()。

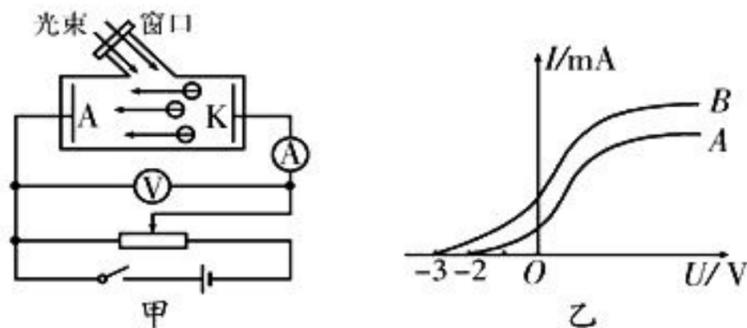


图 1

- A. A 光的频率大于 B 光的频率
- B. A 光光子的动量小于 B 光光子的动量
- C. B 光照射时,射出的光电子的最大初动能为 2.0 eV
- D. 金属的逸出功为 4.0 eV

3. 2021 年 7 月 28 日,中国运动员夺得东京奥运会赛艇女子四人组冠军。在女子四人双桨赛艇比赛中,赛艇(含运动员和装备)的总质量为 320 kg,运动员用双桨同步划水使赛艇沿直线运动,一次动作分划水和空中运桨两个阶段。假设划水和空中运桨的时间均为 1 s,划水时双桨产生的动力大小为赛艇所

受阻力(大小恒定)的 2 倍。某时刻双桨刚入水时赛艇的初速度大小为 5 m/s,运动员紧接着完成第 2 次动作的过程中,赛艇前进了 26 m。下列说法中正确的是()。

- A. 划水阶段赛艇的加速度为 2 m/s^2
- B. 空中运桨阶段赛艇的加速度为 4 m/s^2
- C. 赛艇的最大速度为 8 m/s
- D. 赛艇受到的阻力为 650 N

4. 据报道,在“神舟十三号”载人飞船与空间站组合体成功实现自主快速交会对接后,航天员乘组进驻天和核心舱。已知地球的半径为 R ,地球同步卫星的高度为 $5.6R$,周期为 T_0 ,目前,天和核心舱在高度约为 $\frac{1}{16}R$ 的近圆轨道上运行,忽略地球的自转。

下列说法中正确的是()。

- A. 天和核心舱的运行周期约为 $0.064T_0$ 。
- B. 天和核心舱的向心加速度为 $\frac{17^2}{16^2}g$
- C. 天和核心舱的线速度一定大于 7.9 km/s
- D. 对接前,先让“神舟十三号”在空间站组合体所在轨道的后面与它一起绕地球运动,稳定后加速追上去就可完成对接

5. 在如图 2 甲所示的虚线框内分布着匀强磁场,一固定的金属线框 $abcd$ 有部分处在磁场中,磁场方向垂直于线框平面,磁感应强度 B 随时间 t 的变化规律如图 2 乙所示。如图 3 所示的线框中产生的电动势 E 、电流 I 、内能 Q 、线框受到的安培力 F 与时间 t 的关系图像可能正确的是()。

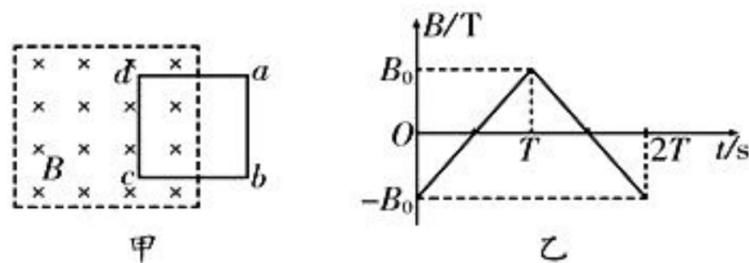


图 2

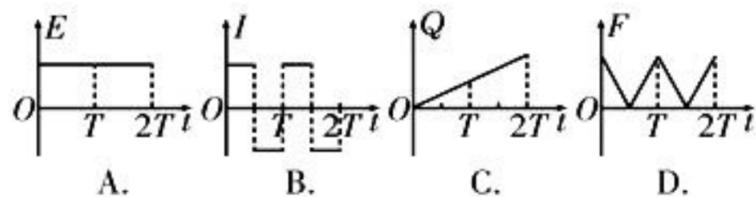


图 3

6. 如图 4 所示, 电荷量 $+q$ 均匀分布在半球面上, 球面的半径为 R , CD 为通过半球顶点 C 与球心 O 的轴线。 P 、 Q 为 CD 轴线上

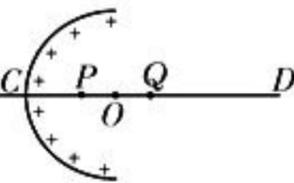


图 4

关于 O 点对称的两点。若已知带电荷量为 Q 的均匀带电球壳的内部场强处处为零, 电势都相等, 则下列说法中正确的是()。

- A. O 点的场强不为零
- B. P 点的场强与 Q 点的场强大小不相等
- C. 将正点电荷从 P 点移动到 Q 点, 电势能不断减小
- D. 在 P 点由静止释放带正电的微粒(重力不计), 微粒将做匀加速直线运动

7. 如图 5 所示, 匀强磁场的磁感应强度 $B=0.5 \text{ T}$, 边长 $L=10 \text{ cm}$ 的正方形线框 $abcd$ 的匝数 $N=100$, 电阻 $r=1 \Omega$ 。线框绕垂直于磁感线的轴 OO' 匀速转动, 角速度 $\omega=2\pi \text{ rad/s}$, 外电路电阻 $R=4 \Omega$ 。下列说法中正确的是()。

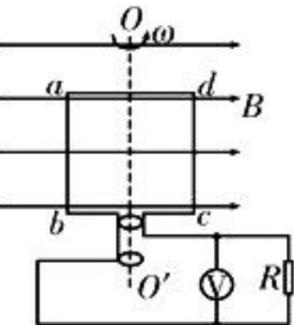


图 5

- A. 交流电压表的示数为 2.22 V
- B. 线框由图示位置转过 60° 角时产生的感应电动势的大小为 1.57 V
- C. 线框转动一周产生的总热量约为 1 J
- D. 图示位置 ab 边所受的安培力大小为 0.0314 N

8. 如图 6 所示, 一名跳水运动员(视为质点)以大小为 $\frac{1}{3}v$ 的速度起跳, 假设运动员离开跳板后始终在一条直线上运动, 入水后立即做减速运动, 在其离开跳板至入水后速度减为零的过程中, 最大速度大小为 v , 不计空气阻力, 运动员在水中受到的阻力恒定。若

运动员在水中竖直向下运动的时间与在空中运动的时间相等, 重力加速度大小为 g , 则下列说法中正确的是()。

- A. 运动员在空中和水中, 重力做的功之比为 $\frac{3}{4}$
- B. 运动员在空中和水中, 动能变化量之比为 $\frac{8}{9}$
- C. 运动员在空中, 重力势能减少量大于动能的增加量
- D. 运动员在水中, 动能的减少量小于克服阻力做的功



图 6

二、非选择题

(一) 必考题

9. 某同学利用如图 7 所示的器材进行“验证机械能守恒定律”的实验, 得到一条点迹清晰的纸带, 如图 8 所示, O 、 A 、 B 、 C 、 D 、 E 是纸带上六个连续的点。已知打点计时器所用电源频率为 50 Hz 。

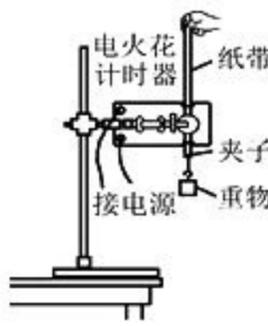


图 7

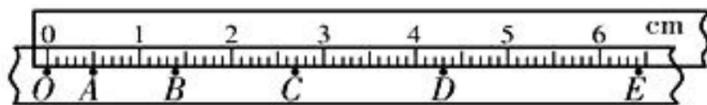


图 8

(1) 由图 8 中数据可得, 打下 D 点时重物的速度 $v_D = \underline{\hspace{2cm}} \text{ m/s}$ (保留 2 位有效数字)。

(2) 该同学测量出各计数点到 O 点的距离 h , 算出各计数点对应的速度 v , 以 h 为横轴, 以 v^2 为纵轴画出的图像应是如图 9 所示两条图像中的 (选填“ a ”或“ b ”)。

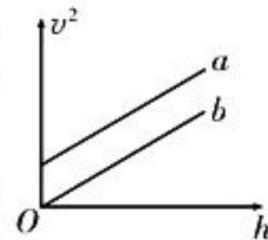


图 9

(3) 已知当地重力加速度为 g , 若(2)中画出的图像斜率 k 的大小 , 则可验证重物下落过程中机械能守恒。

- A. 略小于 g
- B. 略大于 g
- C. 略小于 $2g$
- D. 略大于 $2g$

10. 在“测定金属的电阻率”的实验中, 所用测量仪器均已校准, 待测金属丝接入电路部分的长度约为 50 cm 。

(1) 用螺旋测微器测量待测金属丝的直

径,如图 10 所示,其读数应为 _____ mm。

(2)用伏安法测金属丝的电阻 R_x ,实验所用器材为:电池组(电动势为 3 V,内阻约为 1Ω)、电流表(内阻约为 0.1Ω)、电压表(内阻约为 $3 \text{ k}\Omega$)、滑动变阻器 R (阻值范围为 $0 \sim 20 \Omega$,额定电流为 2 A)、开关、导线若干。某小组同学利用以上器材正确连接好电路,进行实验测量,记录数据如表 1 所示。

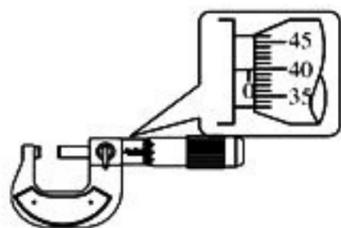


图 10

表 1

次数	1	2	3	4	5	6	7
U/V	0.10	0.30	0.70	1.00	1.50	1.70	2.30
I/A	0.020	0.060	0.160	0.220	0.340	0.460	0.520

由表中实验数据可知,他们测量 R_x 采用的是图 11 中的 _____ 图(选填“甲”或“乙”)。

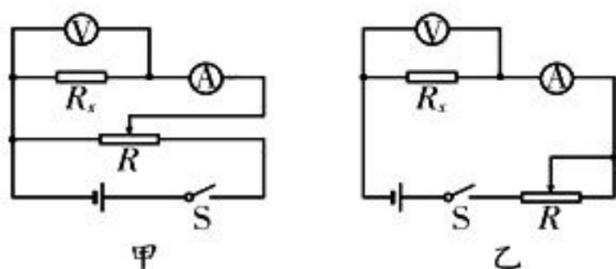


图 11

(3)如图 12 所示是测量 R_x 的实验器材实物图,图中已连接了部分导线,请根据(2)所选的电路图,补充完成实物图连线。

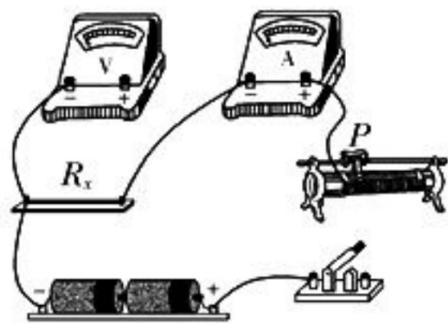


图 12

(4)小组内某同学建立直角坐标系,如图 13 所示,图中已标出了与测量数据对应的 4 个坐标点。请标出其余测量数据的坐标点,并描绘出 $U-I$ 图像,由图像可得金属丝的阻值 $R_x = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$ (保留 2 位有效数字)。

(5)根据以上数据可以估算出金属丝的电阻率约为 _____。

- A. $1 \times 10^{-2} \Omega \cdot \text{m}$ B. $1 \times 10^{-3} \Omega \cdot \text{m}$
C. $1 \times 10^{-6} \Omega \cdot \text{m}$ D. $1 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$

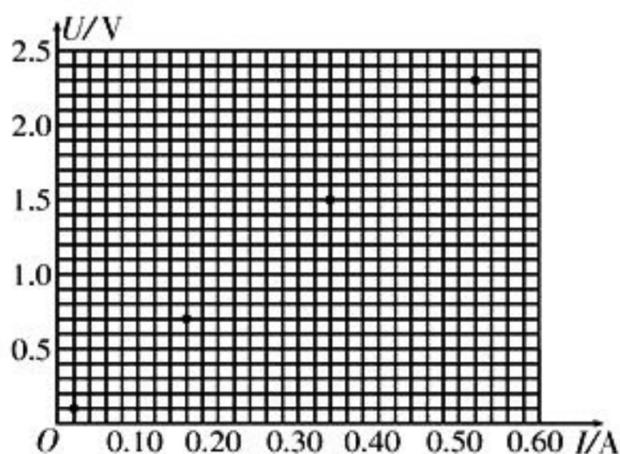


图 13

11. 2020 年年初,突如其来的“新冠肺炎”使得口罩的需求量大增。如图 14 所示为某口罩生产车间中两段传送带的

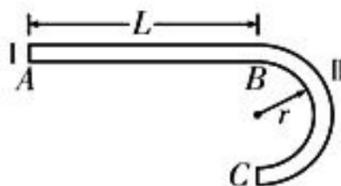


图 14

俯视图,传送带 I 为直线型,长度 $L = 8 \text{ m}$,运行速率 $v = 4 \text{ m/s}$;传送带 II 为半圆型,半径 $r = 2 \text{ m}$ 。在传送带 I 上的 A 点将质量 $M = 0.1 \text{ kg}$ 的口罩盒轻轻放下,当口罩盒运动至传送带 I 和 II 的连接点 B 处时,机器将一定数量的口罩轻轻地放入口罩盒中,且操作时间极短,使口罩和口罩盒以最短的时间运动至 C 点。口罩盒与两段传送带之间的动摩擦因数均为 $\mu = 0.2$,每个口罩的质量 $m = 2 \text{ g}$,设最大静摩擦力等于滑动摩擦力,取重力加速度 $g = 10 \text{ m/s}^2$ 。

(1)口罩盒在传送带 I 上运动的时间为多长?

(2)传送带 II 的运行速率为多少?

(3)应该往口罩盒中放入多少个口罩?

12. 如图 15 所示,直角坐标系 xOy 位于竖直平面内,在第 IV 象限内存在匀强磁场和匀强电场,磁场的磁感应强度 $B = 2 \text{ T}$,方向垂直于 xOy 平面向外,电场 E_1 平行于 y 轴;在第 III 象限内存在沿 x 轴正方向的匀强电场 E_2 ,已知场强 E_1 、 E_2 的大小相等。一可视为质点,比荷 $\frac{q}{m} = 5 \text{ C/kg}$ 的带正电的小球,从 y 轴上的 A(0,0.2 m) 点以初速度 v_0 水平向右抛出,

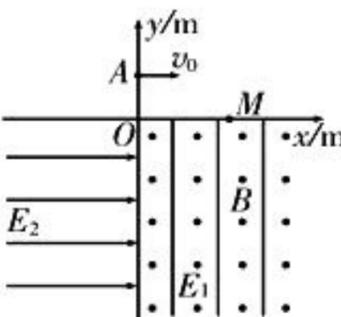


图 15

经过 x 轴上的 $M(0.4 \text{ m}, 0)$ 点进入第 IV 象限, 在第 IV 象限内恰能做匀速圆周运动。不计空气阻力, 取重力加速度 $g = 10 \text{ m/s}^2$ 。求:

- (1) 小球从 A 点抛出时的初速度大小 v_0 。
- (2) 小球第一次经过 y 轴负半轴时的坐标。
- (3) 小球从 A 点出发到第三次经过 y 轴负半轴所用的总时间。

(二) 选考题

13. [选修 3—3]

(1) 如图 16 甲所示是热卖的一科普小制作——斯特林发动机, 它是通过汽缸内的气体经过冷却、压缩、吸热、膨胀为一个周期的循环来输出动力的。在如图 16 乙所示的斯特林循环的 p - V 图像中, 一定质量的理想气体从状态 A 依次经过状态 B、C、D 后再回到状态 A, 整个过程由两个等温过程和两个等容过程组成, 状态 A 和状态 D 的气体分子热运动速率的统计分布图像如图 16 丙所示。下列说法中正确的是()。

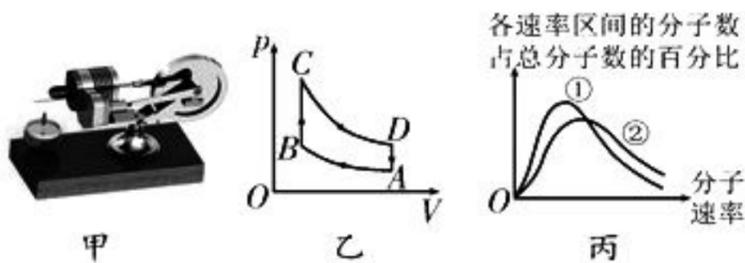


图 16

- A. 在 $B \rightarrow C$ 过程中, 单位体积中的气体分子数目增大
- B. 气体在状态 B 时的温度小于在状态 D 时的温度
- C. 状态 A 对应的是图丙中的图像①
- D. 状态 C 中每个气体分子的动能都比状态 A 中的大
- E. 气体完成一次循环回到状态 A, 气体的内能不变, 气体对外界做功, 从外界吸热

(2) 如图 17 所示, 一长度 $L = 37 \text{ cm}$ 的导热细玻璃管 AB 水平放置, B 端密闭, A 端开口。在玻璃管内用一段长度 $L_1 = 25 \text{ cm}$ 的水银柱密闭一段长度 $L_2 = 10 \text{ cm}$ 的理想气体。已知气体初始温度 $t_1 = 27 \text{ }^\circ\text{C}$, 大气压强 $p_0 = 75 \text{ cmHg}$ 。

- (i) 若将玻璃管绕 A 端沿逆时针方向

缓慢旋转, 当玻璃管与水平面间的夹角 α 为多少时水银柱的下端刚好到达 A 端?

(ii) 当玻璃管转到与水平面成 α 角时, 用一薄玻璃片将 A 端盖住以防止管中水银流出并对管中气体加热。当加热到温度为 t_2 时, 由静止释放玻璃管并同时快速抽去玻璃片, 让玻璃管做自由落体运动, 下落过程中玻璃管不发生翻转, 发现在玻璃管下落过程中管中的水银柱相对于玻璃管的位置不变, 求 t_2 。(玻璃管下落过程中管中气体温度不变)

14. [选修 3—4]

(1) 坐标原点处的波源从 $t = 0$ 时刻开始沿 y 轴正方向振动, $t = 1.5 \text{ s}$ 时刻正好第二次到达波峰, 如图 18 所示为 $t = 1.8 \text{ s}$ 时刻沿波的传播方向上质点振动的波形图。下列说法中正确的是()。

- A. 质点振动的周期为 1.2 s
- B. 波的传播速度为 0.4 m/s
- C. $t = 0.3 \text{ s}$ 时刻, 坐标 $x = 6 \text{ cm}$ 处的质点的加速度最小
- D. 从 $t = 0$ 时刻开始后的 4.2 s 内, $x = 30 \text{ cm}$ 处的质点通过的路程是 1 m
- E. 波第一次传播到坐标 $x = 18 \text{ cm}$ 处的质点的位移表达式为 $x = 10 \sin \frac{5}{3} t \text{ cm}$

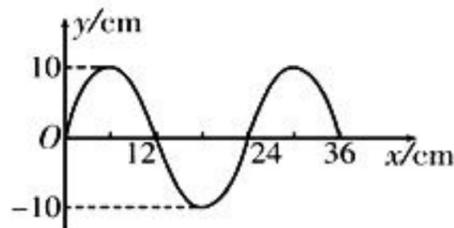


图 18

(2) 如图 19 所示为半径为 R 的半圆柱体玻璃砖的横截面, O 为其圆心。光线 PQ 沿与直径 AB 成 30° 角的方向射入玻璃砖, 入射点 Q 到圆心 O 的距

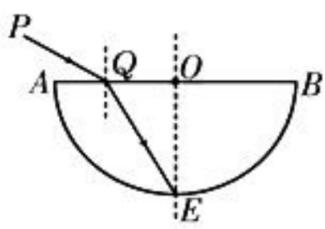


图 19

离为 $\frac{\sqrt{3}}{3} R$, 光线恰好从圆弧面中点 E 射出, 已知光在真空中的传播速度为 c 。

- (i) 求玻璃砖的折射率。
- (ii) 现使光线 PQ 向左平移, 则移动多大距离时恰不能使光线从圆弧面射出? (不考虑经半圆柱内表面反射后射出的光)。

(责任编辑 张 巧)

例析考查气体实验定律的



三类常见题型

■河南省淮阳中学 李 晗

在历年的高考全国卷中理科综合物理部分选考题选修3-3,气体实验定律是必考内容之一。纵观近几年高考试题可以发现,对气体实验定律的考查有三类常考题型,下面归纳总结这三类题型的分析和解决方法,希望对同学们的复习备考有所帮助。

题型1:“玻璃管—液体柱”模型

利用“液体柱”(通常为水银柱)在玻璃管中封闭一定质量的气体,根据气体实验定律分析其状态参量(p 、 V 、 T)的变化情况,就构成了“玻璃管—液体柱”模型。涉及此模型常见的试题又可分为两种:一种是利用“液体柱”只封闭了一部分气体,即单气体液体柱问题;另一种是利用“液体柱”将两部分封闭的气体隔离开,一部分封闭气体的状态参量发生变化,从而引起另一部分气体状态参量的变化,两部分封闭气体的状态参量相互影响,即关联气体液体柱问题。

例1 如图1所示,一粗细均匀的细管开口向上竖直放置,管内有一高度 $h_2 = 2\text{ cm}$ 的水银柱,水银柱下密封了一定质量的理想气体,水银柱上表面到管口的距离 $h_1 = 2\text{ cm}$ 。若将细管倒置,水银柱下表面恰好位于管口处,且无水银滴落,管内气体温度与环境温度相同。已知大气压强 $p_0 = 76\text{ cmHg}$,环境温度 $T_0 = 296\text{ K}$ 。



图1

(1)求细管的长度。

(2)若在倒置前,缓慢加热管内被密封的气体,直到水银柱的上表面恰好与管口平齐为止,求此时密封气体的温度。

解析:(1)设玻璃管倒置前后密封气体的压强分别为 p_1 、 p_1' ,对水银柱进行受力分析,

根据平衡条件得 $p_1 = p_0 + \rho gh_2$, $p_1' = p_0 - \rho gh_2$ 。设细管长度为 l ,横截面积为 S ,根据玻意耳定律得 $p_1(l - h_1 - h_2)S = p_1'(l - h_2)S$,解得 $l = 41\text{ cm}$ 。

(2)设气体被加热后的温度为 T ,根据盖-吕萨克定律得 $\frac{(l - h_1 - h_2)S}{T_0} = \frac{(l - h_2)S}{T}$,解得 $T = 312\text{ K}$ 。

例2 如图2所示,在两端封闭、粗细均匀的U形玻璃管内有一段水银柱,水银柱的两端各封闭有一段空气柱。当U形管两端竖直朝上时,左、右两边空气柱的长度分别为 $l_1 = 18\text{ cm}$ 和 $l_2 = 12\text{ cm}$,左边空气柱的压强 $p_1 = 12\text{ cmHg}$ 。现将U形管缓慢平放在水平桌面上,没有气体从一边通过水银逸入另一边,气体温度保持不变。求U形管平放时两边空气柱的长度。

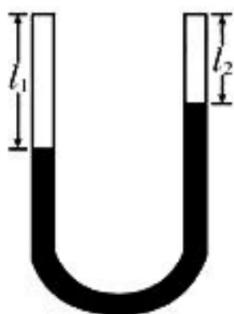


图2

解析:设U形管两端竖直朝上时,右边空气柱的压强为 p_2 ,根据连通器原理和平衡条件得 $p_1 = p_2 + \rho g(l_1 - l_2)$ 。设玻璃管的横截面积为 S ,平放后原左右两边空气柱的长度分别变为 l_1' 、 l_2' ,则 $l_1' = l_1 + l_2 - l_2'$,U形管水平放置时两边空气柱的压强相等,设为 p ,根据玻意耳定律得 $p_1 l_1 S = p l_1' S$, $p_2 l_2 S = p l_2' S$ 。联立以上各式解得 $l_1' = 22.5\text{ cm}$, $l_2' = 7.5\text{ cm}$ 。

方法与总结

不论是单气体液体柱问题,还是关联气体液体柱问题,求解的一般思路可总结为:先选取液体柱为研究对象,进行受力分析,再根

据力学规律(一般利用平衡条件)找出气体的压强(压强之间的关系),然后以封闭气体为研究对象,利用气体实验定律(理想气体状态方程)求出气体的状态参量。在分析关联气体液体柱问题中两部分气体压强之间的关系时,要注意连通器原理的应用(在连通器内静止的液体,同种液体在同一水平面上的压强相等)。

题型 2:“汽缸—活塞”模型

利用“活塞”在汽缸内封闭一定质量的气体,根据气体实验定律分析其状态参量(p 、 V 、 T)的变化情况,就构成了“汽缸—活塞”模型。涉及此模型常见的试题又可分为三种:一种是在一个汽缸内用活塞封闭一部分气体,即单气体汽缸活塞问题;第二种是在一个密闭汽缸内用活塞封闭两部分(多部分)气体,两部分(多部分)气体的状态参量之间相互关联,即关联气体单汽缸活塞问题;第三种是用两个活塞在两个汽缸内分别封闭两部分(多部分)气体,即关联气体多汽缸多活塞问题。

例 3 如图 3 所示,放置在水平地面上的汽缸中封闭着温度为 $127\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的空气,一重物用轻绳跨过两轻质定滑轮与汽缸中的活塞相连,不计一切摩擦,重物和活塞都处于平衡状态,这时活塞距离汽缸底部的高度为 10 cm 。如果缸内空气温度降为 $87\text{ }^{\circ}\text{C}$,那么重物距离地面的高度将如何变化?

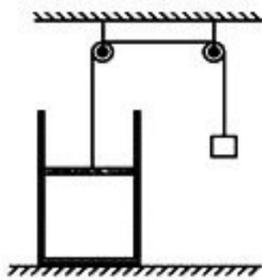


图 3

解析:如果缸内空气温度由 $127\text{ }^{\circ}\text{C}$ 降为 $87\text{ }^{\circ}\text{C}$,那么缸内空气的压强不变,体积减小,重物将上升。根据盖-吕萨克定律得 $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$,即 $\frac{T_1}{T_2} = \frac{h_1}{h_2}$,其中 $T_1 = (127 + 273)\text{ K} = 400\text{ K}$, $T_2 = (87 + 273)\text{ K} = 360\text{ K}$, $h_1 = 10\text{ cm}$,解得 $h_2 = 9\text{ cm}$,即重物上升的高度 $\Delta h = h_1 - h_2 = 1\text{ cm}$ 。

例 4 如图 4 所示,容积为 V 的汽缸由导热材料制成,横截面积为 S 的活塞将汽缸

分成容积相等的上、下两部分,汽缸上部通过细管与装有某种液体的容器相连,细管上有一阀门 K 。开始时,阀门 K 关闭,汽缸内上、下两部分气体的压强均为 p_0 。现将阀门 K 打开,容器内的液

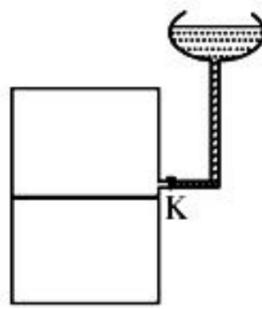


图 4

体缓慢地流入汽缸,当流入的液体体积为 $\frac{V}{8}$ 时,将阀门 K 关闭,活塞平衡时其下方气体的体积减小了 $\frac{V}{6}$ 。不计活塞的质量和体积,外界温度保持不变,重力加速度大小为 g 。求流入汽缸内液体的质量。

解析:设活塞再次平衡后,活塞上方气体的体积为 V_1 ,压强为 p_1 ;活塞下方气体的体积为 V_2 ,压强为 p_2 。在活塞下移的过程中,气体温度不变,根据玻意耳定律得 $p_0 \cdot \frac{V}{2} = p_1 V_1$, $p_0 \cdot \frac{V}{2} = p_2 V_2$,其中 $V_1 = \frac{V}{2} + \frac{V}{6} - \frac{V}{8} = \frac{13}{24}V$, $V_2 = \frac{V}{2} - \frac{V}{6} = \frac{V}{3}$ 。设流入汽缸内液体的质量为 m ,根据平衡条件得 $p_2 S = p_1 S + mg$ 。联立以上各式解得 $m = \frac{15 p_0 S}{26 g}$ 。

例 5 (2019 年高考全国 II 卷)如图 5 所示,一容器由横截面积分别为 $2S$ 和 S 的两个汽缸连通而成,容器平放在水平地面上,汽缸内壁光滑。整个容器被通过刚性杆连接的两活塞分隔成三部分,分别充有氢气、空气和氮气。平衡时,氮气的压强和体积分别为 p_0 和 V_0 ,氢气的体积为 $2V_0$,空气的压强为 p 。现缓慢地将中部的空气全部抽出,抽气过程中氢气和氮气的温度保持不变,活塞没有到达两汽缸的连接处。求:

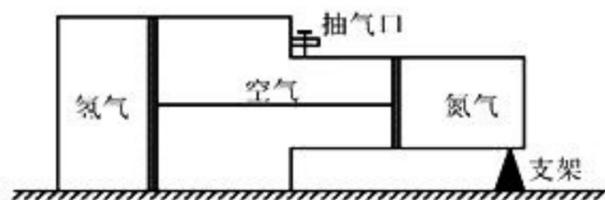


图 5

- (1)抽气前氢气的压强。
- (2)抽气后氢气的压强和体积。

解析: (1) 设抽气前氢气的压强为 p_{10} , 根据平衡条件得 $(p_{10} - p) \cdot 2S = (p_0 - p)S$, 解得 $p_{10} = \frac{1}{2}(p_0 + p)$ 。

(2) 设抽气后氢气的压强和体积分别为 p_1 和 V_1 , 氮气的压强和体积分别为 p_2 和 V_2 。根据平衡条件得 $p_2 \cdot S = p_1 \cdot 2S$, 根据玻意耳定律得 $p_1 V_1 = p_{10} \cdot 2V_0$, $p_2 V_2 = p_0 V_0$ 。因两活塞用刚性杆连接, 故 $V_1 - 2V_0 = 2(V_0 - V_2)$ 。联立以上各式解得 $p_1 = \frac{1}{2}p_0 + \frac{1}{4}p$, $V_1 = \frac{4(p_0 + p)V_0}{2p_0 + p}$ 。

方法与总结

求解涉及“汽缸—活塞”模型问题的一般思路: 先确定活塞(汽缸)的运动状态(通常为平衡状态), 再对活塞(汽缸)进行受力分析(若活塞质量不计, 则一般分析与活塞相关联的其他物体的受力情况, 如例 4 中活塞上方的液体), 结合平衡条件(牛顿运动定律)列出方程, 求出气体的压强(压强之间的关系), 然后以封闭气体为研究对象, 利用气体实验定律(理想气体状态方程)求出未知的物理量。

题型 3: “真实情境问题”模型

所谓的“真实情境问题”, 就是将气体实验定律放到一个相对真实的情境中进行考查。此类问题的一个重要特点是“高起点、低落点”, 因为试题情境来源于真实生产生活, 所以相对比较复杂, 需要先将其转化为物理问题, 再应用相应的物理规律分析与求解。

例 6 一种测量稀薄气体压强的仪器如图 6 甲所示, 玻璃泡 M 的上端和下端分别连接两竖直玻璃细管 K_1 和 K_2 。细管 K_1 长为 l , 顶端封闭, 细管 K_2 上端与待测气体连通; 玻璃泡 M 下端经橡皮软管与充有水银的容器 R 连通。开始测量时, 玻璃泡 M 与细管 K_2 相通; 逐渐提升容器 R , 直到细管 K_2 中水银面与 K_1 顶端等高, 此时水银已进入细管 K_1 , 且细管 K_1 中水银面比顶端低 h , 如图 6 乙所示。设测量过程中温度不变, 与细管 K_2 相通的待测气体的压强也不变。已知细管 K_1 和 K_2 的内径均为 d , 玻璃泡 M 的容

积为 V_0 , 水银的密度为 ρ , 重力加速度大小为 g 。求:

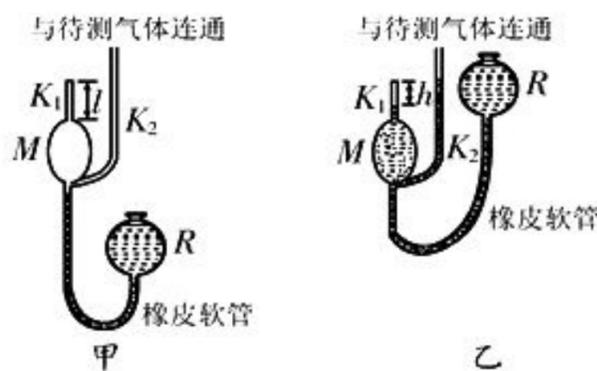


图 6

- (1) 待测气体的压强。
- (2) 该仪器能够测量的最大压强。

解析: (1) 水银面上升至玻璃泡 M 的下端使玻璃泡 M 中的气体恰好被封住, 设此时被封闭气体的体积为 V , 压强等于待测气体的压强 p 。提升容器 R , 直到细管 K_2 中水银面与 K_1 顶端等高时, 设此时封闭气体的压强为 p_1 , 体积为 V_1 , 则 $V = V_0 + \frac{1}{4}\pi d^2 l$, $V_1 = \frac{1}{4}\pi d^2 h$, 根据平衡条件得 $p_1 = p + \rho g h$, 封闭气体做等温变化, 根据玻意耳定律得 $pV = p_1 V_1$, 解得 $p = \frac{\pi \rho g h^2 d^2}{4V_0 + \pi d^2 (l - h)}$ 。

(2) 根据题意知 $h \leq l$, 结合 $p = \frac{\pi \rho g h^2 d^2}{4V_0 + \pi d^2 (l - h)}$ 得 $p \leq \frac{\pi \rho g h^2 d^2}{4V_0}$, 因此该仪器能够测量的最大压强 $p_{\max} = \frac{\pi \rho g h^2 d^2}{4V_0}$ 。

方法与总结

求解涉及真实情境的物理问题的一般思路: 先将描述情境的文字转化为物理表述, 再将情境中需要完成的工作转化为相应的物理问题, 建立物理模型, 然后利用物理模型遵循的物理规律求出相关物理量。比如例 6 中文字描述的测量稀薄气体压强仪器的工作情境比较复杂, 需要先将其转化为物理表达, 将测量过程转化为物理问题, 建立“玻璃管—液体柱模型”, 然后运用玻意耳定律列式求解。事实上, 此类试题的难度就在于如何将实际情境转化为物理模型, 一旦这一思维过程完成了, 剩下的问题也就迎刃而解了。

(责任编辑 张 巧)



湖南省汨罗市一中 蒋 纬

一、机械波的形成与传播

介质由大量质点构成,相邻质点间有相互作用力,当介质中的某一质点发生振动时,就会带动它周围的质点振动起来,形成机械波。

例 1 如图 1 甲所示,一根水平张紧的弹性长绳上有等间距的 Q' 、 P' 、 O 、 P 、 Q 五个质点,相邻两质点间的距离均为 1 m, $t=0$ 时刻质点 O 从平衡位置开始沿 y 轴正方向振动,并分别产生向左和向右传播的机械波,质点 O 的振动图像如图 1 乙所示。当质点 O 第一次到达正方向最大位移处时,质点 P 刚开始振动,则()。

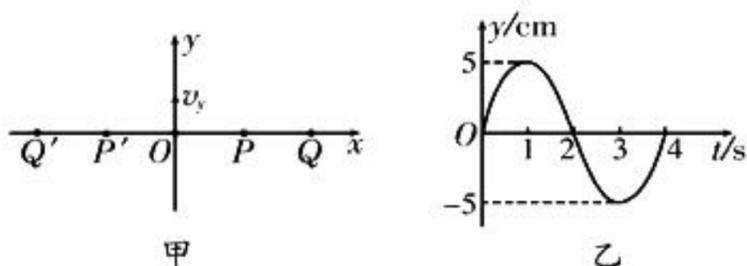


图 1

- A. P' 、 P 两质点的振动步调始终相同
- B. 若质点 O 振动加快,则波的传播速度变大
- C. 当波在绳中传播时,绳中所有质点沿 x 轴移动的速度大小相等且保持不变
- D. 当质点 Q' 第一次到达负方向最大位移处时,质点 P' 通过的路程为 20 cm

解析: 向左和向右传播的两列波关于 y 轴左右对称,步调总是相同的,选项 A 正确。波速由介质本身的性质决定,与频率无关,故质点 O 振动加快,波的传播速度不变,选项 B 错误。质点不随波一起传播,当波在绳中传播时,绳中所有质点只在其平衡位置附近上

下振动,选项 C 错误。振动从质点 O 传到 Q' 时,质点 P' 已经振动了 $\frac{1}{4}$ 个周期,质点 Q' 的起振方向向上,当质点 Q' 第一次到达负方向最大位移处时,质点 P' 第二次到达平衡位置处,共运动了 1 个周期,通过的路程 $s=4A=20$ cm,选项 D 正确。

答案: AD

突破点

正确理解波的形成与传播,应抓住以下几点:(1)机械波传播的是机械振动这一运动形式和能量;(2)所有的质点都在其平衡位置附近振动,并不随波迁移;(3)所有质点都在其前一个质点的驱动下做受迫振动,故在无能量损失的情况下,各质点的周期、频率、振幅都与波源的周期、频率、振幅相同,起振方向也与波源的起振方向相同;(4)相距波长整数倍的两质点的振动情况完全相同,相距半个波长奇数倍的两质点的振动情况完全相反。

二、对机械波图像的理解

1. 波长 λ 、频率 f 和波速 v 的关系满足关系式 $v=\lambda f$ 。

2. 波的图像:在平面直角坐标系中,用横坐标表示在波的传播方向上介质中各质点的平衡位置,用纵坐标表示某一时刻各质点偏离平衡位置的位移,连接各位移矢量的末端,得出的曲线即为波的图像。简谐波的图像是正弦(余弦)曲线。波的图像表示某一时刻介质中各质点相对平衡位置的位移。

例 2 一列简谐横波在 $t=0$ 时刻的波形图如图 2 中实线所示, $t=\frac{1}{8}$ s 时刻的波形图如图 2 中虚线所示。若波的传播速度 $v=$

8 m/s, 则下列说法中正确的是()。

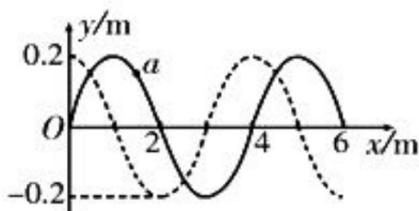


图 2

- A. 这列波的周期为 0.4 s
- B. 这列波沿 x 轴负方向传播
- C. $t=0$ 时刻质点 a 沿 y 轴负方向运动
- D. 从 $t=0$ 时刻开始, 质点 a 经 0.25 s 通过的路程为 0.4 m

解析: 根据简谐波的图像可知, 波长 $\lambda = 4$ m, 则波的周期 $T = \frac{\lambda}{v} = 0.5$ s, 波传播的时间 $\frac{1}{8}$ s $= \frac{T}{4}$, 根据波形的平移规律可知, 波的传播方向沿 x 轴负方向, 选项 A 错误, B 正确。波沿 x 轴负方向传播, 根据“上下坡法”可知, $t=0$ 时刻, 质点 a 沿 y 轴负方向运动, 选项 C 正确。从 $t=0$ 时刻开始经过 0.25 s, 波传播的时间 0.25 s $= \frac{T}{2}$, 质点 a 通过的路程 $s = 2A = 0.4$ m, 选项 D 正确。

答案: BCD

突破点

根据波的图像可获取的信息: (1) 波长; (2) 各质点振动的振幅; (3) 图示时刻各质点的位移; (4) 各质点的加速度方向; (5) 若已知波的传播方向, 则能确定各质点的速度方向。

三、波形图与振动图像相结合

质点振动方向与波传播方向互判的经典方法是“上下坡”法: 沿着波的传播方向看, 上坡的点向下振动, 下坡的点向上振动, 即“上坡下、下坡上”。例如, 如图 3 所示, 质点 A 向上振动, 质点 B 向下振动, 质点 C 向上振动。

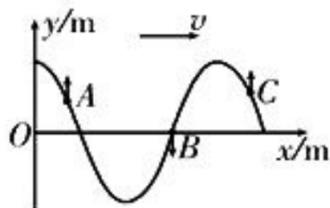


图 3

例 3 一列沿 x 轴传播的简谐横波在 $t=0$ 时刻的波形图如图 4 甲所示 (此时波恰好传播到 M 点), 如图 4 乙所示是位于 $x =$

1 m 处的质点 N 此后的振动图像, Q 是位于 $x = 10$ m 处的质点。下列说法中正确的是()。

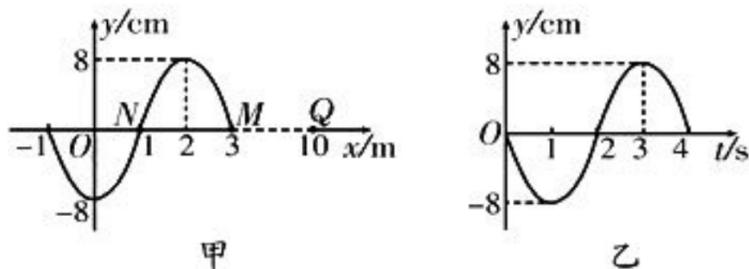


图 4

- A. 波沿 x 轴正方向传播, 波源的起振方向向下
- B. $t=7$ s 时刻, 质点 Q 开始振动
- C. $t=12$ s 时刻, 质点 Q 的位置坐标为 (10 m, -8 cm)
- D. 在 5 s~5.5 s 时间内, 质点 M 的速度在增大, 加速度在减小

解析: 根据质点 N 的振动图像可知, $t=0$ 时刻后其振动沿 y 轴负方向, 根据“上下坡法”可知, 波沿 x 轴正方向传播, $t=0$ 时刻甲图中的 M 点刚好起振, 方向向上, 则波源的起振方向向上, 选项 A 错误。根据波形图可知, 波长 $\lambda = 4$ m, 根据振动图像可知, 周期 $T = 4$ s, 则波速 $v = \frac{\lambda}{T} = 1$ m/s, 因此波传播到 Q 点所用的时间 $t = \frac{x}{v} = 7$ s, 选项 B 正确。 $t=12$ s 时刻, 质点 Q 振动的时间 5 s $= T + \frac{T}{4}$, 则质点 Q 的位置坐标为 (10 m, 8 cm), 选项 C 错误。在 5 s~5.5 s 时间内, 质点 M 从波峰向平衡位置振动, 其速度增大, 加速度减小, 选项 D 正确。

答案: BD

突破点

振动图像与波形图的关系: (1) 由振动图像可确定波的周期, 结合波形图获取的波长信息, 可求出波的传播速度; (2) 由振动图像可确定质点的振动方向, 结合波形图可确定波的传播方向; (3) 由两个质点的振动图像可画出某时刻两质点间的最简单的波形图; (4) 由某时刻的波形图可确定某质点的振动图像。

四、波的多解问题

1. 造成波动问题多解的主要因素:

(1) 周期性。

① 时间周期性: 时间间隔 Δt 与周期 T 的关系不确定。

② 空间周期性: 波传播距离 Δx 与波长 λ 的关系不确定。

(2) 双向性。

① 传播方向双向性: 波的传播方向不确定。

② 振动方向双向性: 质点的振动方向不确定。

(3) 波形的隐含性: 在波动问题中, 往往只给出了完整波形的一部分, 或给出几个特殊点, 而其他信息均处于隐含状态, 这样波形就存在多种情况, 造成相关波动问题的多解。

2. 解决此类问题, 往往采用从特殊到一般的思维方法, 即找到一个周期内满足条件的特例, 在此基础上, 若知道时间关系则加 nT , 若知道空间关系则加 $n\lambda$ 。

例 4 一列简谐横波沿 x 轴方向传播, 如图 5 所示的实线和虚线分别为 $t=0$ 时刻与 $t=1$ s 时刻的波形图。

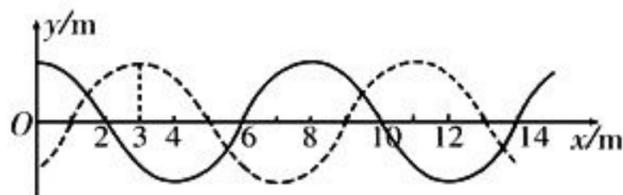


图 5

(1) 若该横波沿 x 轴的正方向传播, 则虚线上 $x=2$ m 处的质点到达平衡位置所需的时间应为多长?

(2) 若该横波的传播速度 $v=75$ m/s, 请分析该波的传播方向。

解析: (1) 根据波形图可知, 波长 $\lambda=8$ m。当波沿 x 轴正方向传播时, 在 $0\sim 1$ s 时间内传播的距离 $\Delta s=(n\lambda+3)$ m $= (8n+3)$ m ($n=0, 1, 2, \dots$), 波的传播速度 $v=\frac{\Delta s}{\Delta t}=(8n+3)$ m/s ($n=0, 1, 2, \dots$)。虚线上 $x=2$ m 处的质点到达平衡位置时波应沿 x 轴的正方向传播 $\Delta x=1$ m, 则所用的时间 $t=\frac{\Delta x}{v}=\frac{1}{8n+3}$ s ($n=0, 1, 2, \dots$)。

(2) 若波沿 x 轴的正方向传播, 则在 $0\sim 1$ s 时间内, 该波传播的距离 $\Delta s=(8n+3)$ m ($n=0, 1, 2, \dots$)。若波的传播速度 $v=75$ m/s, 则在 $0\sim 1$ s 时间内波传播的距离 $s=75\times 1$ m $=75$ m, 即 $(8n+3)$ m $=75$ m, 解得 $n=9$ 。显然波可能沿 x 轴的正方向传播。

若波沿 x 轴的负方向传播, 则在 $0\sim 1$ s 时间内, 该波传播的距离 $\Delta s=(8n+5)$ m ($n=0, 1, 2, \dots$)。若波的传播速度 $v=75$ m/s, 则在 $0\sim 1$ s 时间内波传播的距离 $s=75$ m, 即 $(8n+5)$ m $=75$ m, 解得 $n=\frac{35}{4}$ 。因为 n 必须为整数, 所以波不可能沿 x 轴的负方向传播。

综上所述, 当波的传播速度 $v=75$ m/s 时, 波一定沿 x 轴的正方向传播。

突破点

时间和空间的对应关系: 在 Δt 时间内波的传播距离为 Δx , 在 T 时间内波的传播距离为 λ , 在 nT 时间内波的传播距离为 $n\lambda$, 故波速 $v=\frac{\Delta x}{\Delta t}=\frac{\lambda}{T}=\frac{n\lambda}{nT}$ 。

时间和相位的对应关系: Δt 对应 $\varphi_0=\frac{\Delta t}{T}\cdot 2\pi$, T 对应 2π , 例如, 同一列波中 a 质点的振动方程为 $y=A\sin\frac{2\pi}{T}t$, b 质点比它先振动 $\frac{T}{12}$, 则 b 质点的振动方程为 $y'=A\sin\left(\frac{2\pi}{T}t+\frac{2\pi}{T}\cdot\frac{T}{12}\right)=A\sin\left(\frac{2\pi}{T}t+\frac{\pi}{6}\right)$ 。

跟踪训练

1. 如图 6 甲所示为沿 x 轴方向传播的一列简谐横波在 $t=0.2$ s 时刻的波形图, 如图 6 乙所示为质点 B 的振动图像, 下列说法中正确的是()。

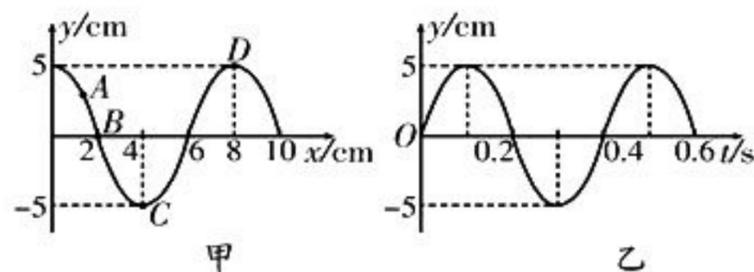


图 6

A. 在 $0 \sim 0.1$ s 时间内, 该波沿 x 轴正方向传播了 2 cm

B. 从 $t=0$ 时刻开始, 质点 A 的速度方向和加速度方向均沿 y 轴正方向

C. 在 0.2 s \sim 0.3 s 时间内, 质点 B 通过的路程等于 5 cm

D. $t=0.1$ s 时刻, 质点 C 和质点 D 的速度相同

2. 一列自右向左传播的简谐横波, 在 $t=0$ 时刻的波形图如图 7 所示, 此时坐标为 $(1 \text{ cm}, 0)$ 的质点刚好开始运动, $t=0.3$ s 时刻, 质点 P 首次到达波峰位置, 质点 Q 的坐标是 $(-3 \text{ cm}, 0)$, 则下列说法中正确的是()。

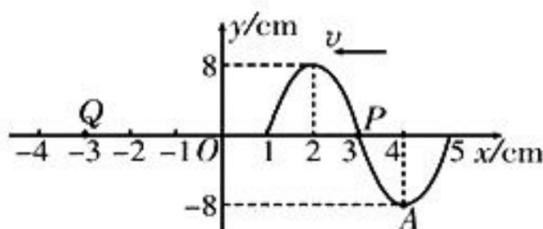


图 7

A. $t=0$ 时刻, 质点 P 的速度方向沿 y 轴负方向

B. 这列波的传播速度为 $\frac{1}{30}$ m/s

C. 在 $0 \sim 0.3$ s 时间内, 质点 A 通过的路程为 0.03 m

D. $t=0.5$ s 时刻, 质点 Q 首次到达波峰位置

3. 有一列沿水平绳传播的简谐横波, 频率为 10 Hz, 介质中各质点沿竖直方向振动。当绳上的质点 P 到达其平衡位置且向下振动时, 在其右方相距 0.6 m 处的质点 Q 刚好到达最高点。由此可知波速和传播方向可能是()。

A. 8 m/s, 向右传播

B. 8 m/s, 向左传播

C. 24 m/s, 向右传播

D. 24 m/s, 向左传播

4. 一列简谐横波由质点 A 向质点 B 传播。已知 A、B 两点相距 4 m, 这列波的波长大于 2 m 而小于 20 m。在波的传播过程中, A、B 两质点的振动图像如图 8 所示。求波的传播速度。

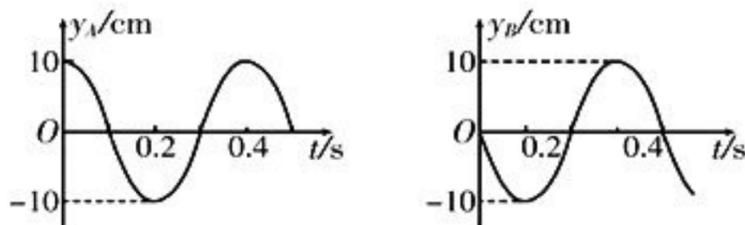


图 8

参考答案: 1. BC 2. AD 3. BC

4. $v = \frac{40}{3}$ m/s 或 $v = \frac{40}{7}$ m/s。

(责任编辑 张 巧)

(上接第 18 页)

解析: 黄光的折射率最小, 经三棱镜后偏折角最小, 紫光的折射率最大, 经三棱镜后偏折角最大, 因此 a 是黄光, c 是紫光, 选项 A 错误。 a 光的折射率最小, c 光的折射率最大, 根据公式 $v = \frac{c}{n}$ 可知, a 光在三棱镜中的传播速度最大, 选项 B 正确。 a 光是黄光, 波长最长, 干涉条纹的间距与波长成正比, 所以用 a 光做双缝干涉实验形成的干涉图样中相邻两条亮条纹的间距最大, 选项 C 正确。根据公式 $c = \lambda\nu$ 可知, 在真空中光的波长 λ 与频率 ν 成反比, a 是黄光, 频率最小, 波长最大, c 是紫光, 频率最大, 波长最小, 选项 D 错误。

答案: BC

备考策略 高考对光的干涉、衍射、偏振和色散的考查难度不大, 复习备考时需要认真阅读教材, 弄清光的干涉、衍射、偏振、色散现象的成因, 分清双缝干涉图样与单缝衍射图样的相同点与不同点; 注重理论联系实际, 联系科技, 能够用相关理论知识对生活、生产、科技中的光现象加以解释。用双缝干涉测量光的波长实验中, 高考的考查重点是相邻两条亮(暗)条纹间距的公式, 复习备考时需要熟练掌握测量头的读数方法, 能够分析不同单色光的波长、屏与双缝间距离、双缝间距对相邻两条亮(暗)条纹间距的影响。在利用公式 $\Delta x = \frac{l}{d}\lambda$ 进行相关分析与计算时, 一定要明确公式中各物理量的含义, 代入数值计算时一定要统一单位。

(责任编辑 张 巧)

了解固体和液体特性 掌握热力学定律内容

■安徽省泗县第二中学 倪怀轮

热学是高中物理的重要组成部分之一，固体和液体的特性、热力学定律的内涵和外延都是常见的考点。高考试卷中涉及热学内容的试题多以生产生活实际为背景，考查考生对相关基础知识的掌握情况，以及考生的分析解决问题能力，因此同学们在复习备考的过程中，应该着重训练透过现象把握本质的能力。

考点一：固体和液体的特性

考点解读：了解固体的微观结构，知道晶体和非晶体的特点，能够列举生活中常见的晶体和非晶体，通过实例了解液晶的主要性质及其在显示技术中的应用，了解材料科学的有关知识及应用，体会它们的发展对人类生活和社会发展的影响；知道液体的表面张力现象，了解表面张力产生的原因，知道毛细现象、浸润现象和不浸润现象；了解饱和汽和饱和汽压，知道绝对湿度和相对湿度。

例 1 下雪了，晶莹的雪花像轻盈的玉蝴蝶在翩翩起舞，雪花的形状如图 1 所示。下列关于雪花的说法中正确的是()。

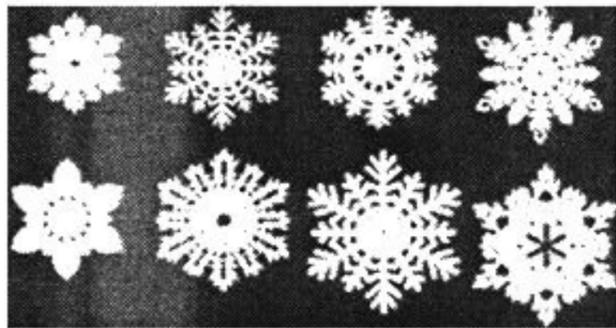


图 1

- A. 是多晶体
- B. 是非晶体
- C. 具有各向异性
- D. 飞舞时，说明分子在做无规则运动

解析：雪花是单晶体，具有各向异性，雪花飞舞是空气浮力、风力共同作用的效果，不

能说明分子在做无规则运动。

答案：C

溯源：本题来源于选修 3—3 第 37 页中的文字叙述“雪花是水蒸气凝华时形成的晶体，它们的形状虽然不同，但都是六角形的图案”，主要考查对晶体的理解和对分子动理论及其相关知识点的掌握。

例 2 2021 年 12 月 9 日，我国“神舟十三号”飞行乘组航天员在中国空间站成功进行了太空授课。实验时航天员从注射器中挤出一滴水，水滴在空中的形状应该是图 2 中的()

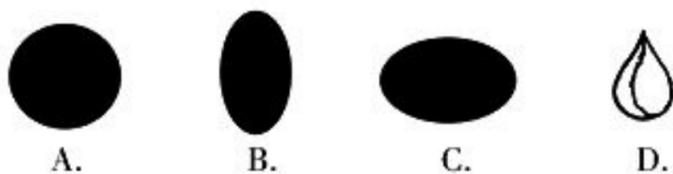


图 2

解析：在空间站的微重力环境下，可以认为物体都处于完全失重状态，实验时航天员从注射器中挤出一滴水，由于表面张力的作用，水滴在空中的形状应是完美的球形，选项 A 正确。选项 D 是我们在地球表面附近空中看到的水滴形状，选项 C 是把水滴到石蜡表面上时看到的水滴形状。

答案：A

溯源：本题来源于选修 3—3 第 42 页中的问题与练习第 2 题，主要考查对完全失重状态和表面张力的理解。

例 3 密闭的导热容器中盛有部分水，长时间静置后，液面与空气、容器壁的接触情形如图 3 所示。下列说法中正确的是()。

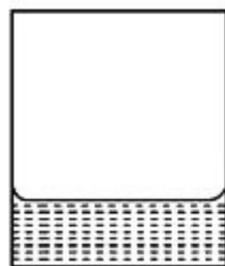


图 3

- A. 水对容器壁是浸润的
- B. 水的表面层分子间作

用力表现为斥力

- C. 水面上方的水蒸气为饱和汽
- D. 环境温度改变时水的饱和汽压不变
- E. 使未饱和汽变成饱和汽,可采用降低温度的方法

解析:水对容器壁是浸润的,选项 A 正确。由于液体蒸发,水的表面层分子间距离大于分子力平衡的距离,作用力表现为引力,选项 B 错误。密闭的导热容器中盛有部分水,长时间静置后,水面上方的水蒸气为饱和汽,环境温度改变时水的饱和汽压将改变,选项 C 正确,D 错误。饱和汽压随温度的升高而增大,随温度的降低而减小,所以使未饱和汽变成饱和汽,可采用降低温度的方法,选项 E 正确。

答案:ACE

溯源:本题来源于选修 3—3 第 39 页中图 9.2—7 甲玻璃试管中的水和第 45 页问题与练习第 3 题,主要考查对浸润与不浸润、饱和汽与饱和汽压的理解。

考点二:热力学定律

考点解读:通过有关史实,了解热力学第一定律和能量守恒定律的发现过程,能够在实际问题中运用热力学第一定律进行相关计算;通过自然界中宏观过程的方向性,理解热力学第二定律的两种表述,知道节约能源对可持续发展的重要性。

例 4 关于热力学定律,下列说法中不正确的是()。

- A. 空调机夏天工作时,可以将室内的热量散发到高温的室外,降低室内温度,说明热力学第二定律是错误的
- B. 一定质量的理想气体经过绝热压缩,其温度可能不变
- C. 内能不可以全部转化为机械能而不引起其他变化
- D. 自然界的能量是守恒的,所以我们可以不必节约能源
- E. 第一类永动机违背能量守恒定律,第二类永动机不违背能量守恒定律,但是违背了热力学第二定律,因此不管科技如何进步,都不可能制造出永动机

解析:空调机夏天工作时,通过压缩机工作将室内的热量散发到高温的室外,降低室内温度,而热力学第二定律的克劳修斯表述是热量不能自发地从低温物体传到高温物体,选项 A 错误。一定质量的理想气体经过绝热压缩,体积减小,外界对气体做功,根据热力学第一定律可知,其内能一定增大,温度一定升高,选项 B 错误。根据热力学第二定律的开尔文表述可知,不可能从单一热库吸收热量并把它全部用来做功,而不引起其他变化,所以内能不可以全部转化为机械能而不引起其他变化,选项 C 正确。虽然自然界的能量是守恒的,但是人类使用一些高品质的能量后,它们最终会转化为低品质的内能流散到周围的环境中,变化成我们不可以再使用的能量,即能量耗散,所以我们必须节约能源,才能可持续发展,选项 D 错误。第一类永动机违背能量守恒定律,第二类永动机不违背能量守恒定律,但是违背了热力学第二定律,因此不管科技如何进步,都不可能制造出永动机,选项 E 正确。

答案:ABD

溯源:本题中五个选项的叙述分别来源于选修 3—3 第 10 章中相关内容,主要考查对热力学第一定律和热力学第二定律两种表述的理解。利用热力学第二定律分析实际问题时,需要注意克劳修斯表述中“热量不能自发地从低温物体传到高温物体”“自发”的含义是不需要第三者介入,不对第三者造成任何影响;开尔文表述中“不可能从单一热库吸收热量,使之完全变成功,而不产生其他影响”,说明从单一热库吸收热量,一定会向另一热库放出热量。

例 5 如图 4 所示,一个内壁光滑的圆柱形汽缸,高度为 L ,底面积为 S ,缸内有一个质量为 m 的活塞,封闭了一定质量的理想气体。当缸内气体的热力学温度为 T_0 时,用绳子系住汽缸底,将汽缸倒置悬挂起来,汽缸处于竖直状态,缸内气体高为 L_0 。已知重力加速度为 g ,大气压强为 p_0 ,不计活塞厚度及活塞与缸体间的摩擦。

(1)采用缓慢升温的方法使活塞与汽缸

脱离,缸内气体的温度至少要升高到多少?

(2)从开始升温到活塞刚要脱离汽缸的过程中,缸内气体压力对活塞做的功为多少?

(3)当活塞刚要脱离汽缸时,缸内气体的内能增加量为 ΔU ,则缸内气体在活塞下移的过程中吸收的热量为多少?

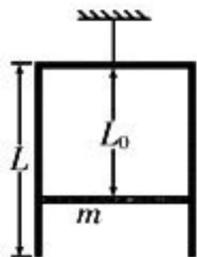


图4

解析:(1)缓慢升高缸内气体的温度,气体等压膨胀,当缸内气体膨胀到高为 L 时,活塞与汽缸脱离。设此时缸内气体的温度为 T ,根据盖-吕萨克定律得 $\frac{L_0 S}{T_0} = \frac{LS}{T}$,解得 $T = \frac{L}{L_0} T_0$,即缸内气体的温度至少要升高到 $\frac{L}{L_0} T_0$ 。

(2)设缸内气体对活塞的压力为 F ,气体等压膨胀,则压力 F 不变。活塞受力平衡,则 $F + mg = p_0 S$,解得 $F = p_0 S - mg$ 。缸内气体压力对活塞做的功 $W' = F(L - L_0) = (p_0 S - mg)(L - L_0)$ 。

(3)活塞下移的过程中,外界对缸内气体做的功 $W = -W'$,根据热力学第一定律得 $\Delta U = W + Q$,解得 $Q = (p_0 S - mg)(L - L_0) + \Delta U$ 。

溯源:“汽缸—活塞”是热学中的重要模型,本题以汽缸倒置悬挂为情景,考查受力分析、气体实验定律和热力学第一定律的综合应用。在运用热力学第一定律分析问题时,需要注意 W 和 Q 的正负。外界对系统做功, W 为正值;系统对外做功, W 为负值。系统吸收热量, Q 为正值;系统放出热量, Q 为负值。

跟踪训练

1. 关于生活中的热学现象,下列说法中正确的是()。

A. 液晶显示器是利用了液晶对光具有

各向异性的特点

B. 汽车尾气中各类有害气体排入大气后严重污染了空气,可以使它们自发地分离,既清洁了空气又变废为宝

C. 干湿泡温度计的示数差越大,表示空气中水蒸气离饱和状态越远

D. 夏天,在太阳下暴晒过久车胎突然爆裂,车胎内气体分子的平均动能减小

E. 天然石英表现为各向异性,是由于该物质的微粒在空间的排列不规则

2. 下列说法中正确的是()。

A. 热量不可能从低温物体传向高温物体

B. 液晶具有液体的流动性,又具有晶体的光学各向异性

C. 等温的不同种类气体混合的过程属于一个熵增过程

D. 能量耗散从能量角度反映出自然界的宏观过程具有方向性

E. 在温度均匀且恒定的水池中,一气泡(内部气体可视为理想气体)缓慢向上浮起的过程中,气体向水中放热

3. 如图5所示,一定质量的理想气体从状态 a 开始经历①②③④四个过程,到达状态 e ,已知气体在状态 a 和 e 时的压强相等。对于此气体,下列说法中正确的是()。

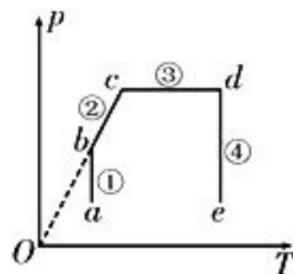


图5

A. 过程①中气体从外界吸收热量

B. 过程②中气体从外界吸收热量

C. 过程③中气体对外界做正功

D. 气体在状态 a 时的体积比在状态 e 时的体积大

E. 过程④中气体从外界吸收的热量和对外界做功的数值相等

参考答案:1. ACD 2. BCD 3. BCE

(责任编辑 张 巧)

借力使力 巧解难题

——以简谐运动为例



■山东省济南商贸学校

王桂华

■上海师范大学附属中学

李树祥(特级教师,正高级教师)

同学们在平时的训练中时常会遇到一些感觉无从下手的题目,这些难题如何解决呢?这就需要善用科学思维,通过知识迁移,借用相关知识,从而达到借力使力,顺利求解的目的。现以几道简谐运动题目为例分析如下。

一、借助列表法

在实验问题中,处理数据的一种重要方法就是列表法,即先根据实验数据列表,再根据表中数据得出相应的结论。若简谐运动题目中也给出了一部分数据,但无法利用这些数据根据公式列方程求解时,则可以借助于列表法。

例 1 如图 1 所示,某同学看到一只鸟落在树枝上 P 处,树枝在 10 s 内上下振动了 6 次。鸟飞走后,他把 50 g 的砝码挂在 P 处,发现树枝在 10 s 内上下振动了 12 次。他把 50 g 的砝码换成 500 g 的砝码后,发现树枝在 15 s 内上下振动了 6 次。根据上述数据估计鸟的质量最接近()。



图 1

- A. 50 g B. 200 g
C. 500 g D. 550 g

分析:本题中给出了一系列数据,绝大多数同学会试图利用这些数据通过计算作答,但涉及的简谐运动周期公式 $T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$ 不属于中学物理的学习范围,导致很多同学无法正确求解。如果我们借用列表法来处理此题,那么就可以顺利求解了。

解:根据题述数据列表如表 1 所示,猜想小鸟的质量与树枝的振动情况有关,然后在相同时间内去比较振动次数与质量的关系,或者在相同的振动次数下去比较时间和质量的关系。因为表中第 1、2 两行的时间相同,

所以可以将第 3 行的时间也转换为“10”,即将 15 s 振动 6 次转换为 10 s 振动 4 次。观察在相同时间内振动次数与质量的关系可以发现,振动次数越多,相应的质量越小,而振动次数“6”介于 4 与 12 之间,故其对应的质量“X”应介于 50 与 500 之间。

表 1

	时间/s	振动次数	质量/g
1	10	6	X
2	10	12	50
3	15	6	500

答案:B

二、借助模型

“物理模型”是为了便于研究物理问题,而采取舍弃个别的非本质因素突出主要的本质因素,通过抽象思维或形象思维,运用理想化、简单化和类比等方法,建立的描述某一物体本质或某一物理过程的理想模型。在某些物理问题的求解过程中,若不能直接套用公式求解,则可以考虑先将具体问题抽象成理想模型,再运用模型遵循的物理规律求解相关问题。

例 2 如图 2 所示,AEC 是一段半径为 2 m 的光滑圆弧,且和水平面 AB 相切于 A 点,圆弧 AEC 的弧长为 8 cm。

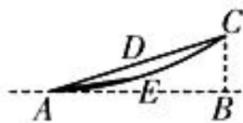


图 2

设一可视为质点的物体从 C 点分别沿光滑斜面 CDA 和弧面 CEA 滑至 A 点所用的时间为 t_1 、 t_2 ,从圆弧 CEA 中点 E 沿光滑斜面 EA 和圆弧面 EA 滑至 A 点所用的时间为 t_3 、 t_4 。请比较 t_1 、 t_2 、 t_3 、 t_4 的大小关系。

分析:物体沿圆弧运动时,做的并不是匀

速圆周运动;物体沿斜面运动时,斜面倾角未知,则加速度无法求解。如果将圆弧 AEC 所在的整个圆画出来,其示意图如图 3 所示,那么就构成了等时圆模型。根据等时圆模型

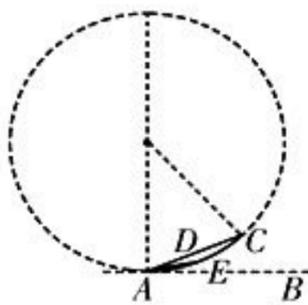


图 3

规律可知,物体从 C 点沿斜面 CDA 滑至 A 点和从 E 点沿斜面 EA 滑至 A 点所用的时间相等。当物体沿弧面运动时,因为圆的半径远大于圆弧长度(此圆弧对应的圆心角约为 $2.3^\circ < 5^\circ$),所以物体沿圆弧面的运动和单摆类似,都是由重力的分力提供回复力,也就可以把这种运动看成一个类单摆模型,摆长相当于物体做圆周运动的半径,物体运动的周期与振幅无关。

解:设斜面 CDA 的倾角为 θ ,当物体沿斜面 CDA 运动时,根据运动学公式得 $2R \sin \theta = \frac{1}{2} g t_1^2 \sin \theta$ (R 为圆弧半径),解得

$$t_1 = \sqrt{\frac{4R}{g}} = \sqrt{\frac{4 \times 2}{10}} \text{ s} = 0.894 \text{ s}.$$

根据等时圆模型规律得 $t_1 = t_3$ 。当物体沿圆弧面 CEA 和 EA 运动时,根据单摆周期公式得 $t_2 =$

$$t_4 = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{R}{g}} = \frac{3.14}{2} \times \sqrt{\frac{2}{10}} \text{ s} = 0.702 \text{ s}.$$

因此 t_1, t_2, t_3, t_4 的大小关系为 $t_1 = t_3 > t_2 = t_4$ 。

三、借助图像

根据题意把抽象复杂的物理过程有针对性地表示成物理图像,将物理量间的代数关系转变为几何关系,运用图像直观、形象、简明的特点,分析求解物理问题的方法称为图像法。当遇到一些难于利用物理公式列方程求解的物理问题时,就可以考虑运用图像法求解。在运用图像法解题的过程中,需要明确图像所表达的物理意义,抓住图像的斜率、截距、交点、面积等关键信息。

例 3 如图 4 所示,甲、乙两物体同时经过空中同一水平面上的 O_1, O_2 两点时的速度相同,甲物体做竖直上抛运动,乙物体是沿

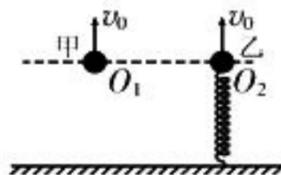


图 4

竖直方向振动的弹簧振子, O_2 是其平衡位置,两物体从 O_1, O_2 两点向上运动到最高点的高度相同,则两物体谁先到达最高点?

分析:在高中物理教材中没有弹簧振子的周期公式,且题给已知量也很少,如何求解时间呢?因为甲、乙两物体上升的高度相同,初速度相同,所以可以借助 $v-t$ 图像处理。

解:甲物体做竖直上抛运动,加速度不变,乙物体从平衡位置开始向上做加速度增加的减速运动,两物体运动的 $v-t$ 图像如图 5 所示,观察图像可以发现,乙物体先到达最高点。

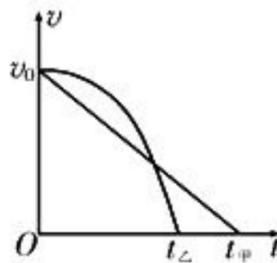


图 5

四、借助隔离与整体法

选择研究对象是解决物理问题的首要环节。研究对象选择的合理可以使问题得以简化,反之,会使问题复杂化,甚至无法得以解决。隔离法是指将研究对象从其周围的环境中隔离出来单独进行研究,这个被隔离的研究对象可以是一个物体,也可以是物体的一个部分,广义的隔离法还包括将一个物理过程从其全过程中隔离出来;整体法是指将几个物体看成一个整体,或将看上去具有明显不同性质和特点的几个物理过程看成一个整体过程来处理。隔离法和整体法看上去是相互对立的,实则在本质上是统一的。隔离与整体法广泛地应用在受力分析、动量定理、动量守恒定律、动能定理、机械能守恒定律等问题中。

例 4 如图 6 所示,一个质量为 m 的木块放在质量为 M 的平板小车上,它们之间的最大静摩擦力是

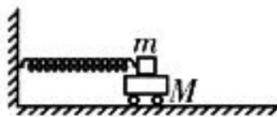


图 6

f_{\max} ,在劲度系数为 k 的轻质弹簧作用下,二者沿光滑水平面做简谐运动,为使小车能随木块一起振动,二者不发生相对滑动,则简谐运动的振幅不能大于()。

- A. $\frac{(M+m)f_{\max}}{kM}$ B. $\frac{f_{\max}}{kM}$
C. $\frac{f_{\max}}{k}$ D. $\frac{(M+m)f_{\max}}{km}$

分析:高中物理教材中的弹簧振子是弹簧和一个小球相连,本题中是弹簧连接质量为 m 的木块,木块又放置在小车上,因此需要借助隔离与整体法进行分析。

解:以小车为研究对象,在水平方向上只受摩擦力作用,故其加速度 $a_M \leq \frac{f_{\max}}{M}$ 。小车与木块不发生相对滑动,由小车和木块组成的整体的加速度 $a = a_M$ 。以由小车和木块组成的整体为研究对象,根据牛顿第二定律得 $kA = (M+m)a$,解得 $A \leq \frac{(M+m)f_{\max}}{kM}$ 。

答案:A

五、借助题目所给课本外的知识

当遇到一些新材料、新情景和新设问的物理问题时,必须寻找到设问与题目所给材料中的关联点,利用材料中所给知识结合所学关联知识进行分析与求解。

例 5 简谐运动具有如下特点:

①做简谐运动的物体受到回复力的作用,回复力 $F_{\text{回}}$ 的大小与物体偏离平衡位置的位移 x 成正比,回复力的方向与物体偏离平衡位置的位移方向相反,即 $F_{\text{回}} = -kx$,其中 k 为振动系数,其值由振动系统决定。

②简谐运动是一种周期性运动,其周期与振动物体的质量的平方根成正比,与振动系统的振动系数的平方根成反比,而与振幅无关,即 $T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$ 。

(1)如图 7 所示,摆长为 L ,摆球质量为 m 的单摆在 A、B 两点之间做小角度的自由摆动,当地重力加速度为 g 。

a. 当摆球运动到 P 点时,摆角为 θ ,写出此时摆球受到的回复力 $F_{\text{回}}$ 的大小。

b. 请结合简谐运动的特点,证明单摆在摆小角度摆动时周期 $T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$ 。

(提示:用弧度制表示角度,当 θ 角很小时, $\sin \theta \approx \theta$, θ 角对应的弧长与它所对的弦长也近似相等)

(2)类比法、等效法等都是研究和学习物理过程中常用的重要方法。长度为 L 的轻

质绝缘细线下端系着一个带电荷量为 $+q$, 质量为 m 的小球。将该装置放在竖直向下的匀强电场 E 中,如图 8 所示;将细线上端悬点处固定另一个带正电的小球,如图 9 所示。带电小球在 8、9 两图中均做小角度的简谐运动。请分析求出带电小球在 8、9 两图中振动的周期。

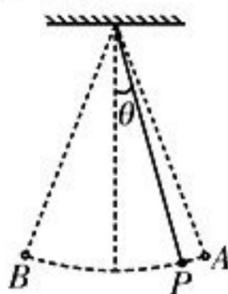


图 7

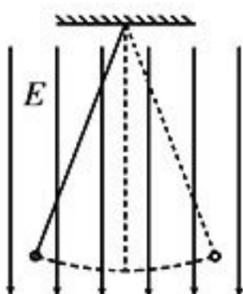


图 8

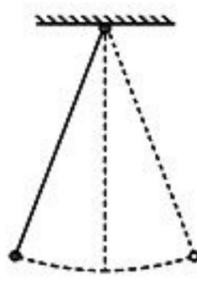


图 9

分析:题目给出了简谐运动的周期公式,这是高中物理教材中没有的,要想顺利求解本题就需要借助这个公式分析研究。

解:(1)a. 因为单摆摆球所受重力指向平衡位置方向的分力提供回复力,所以 $F_{\text{回}} = mg \sin \theta$ 。

b. 根据 $F_{\text{回}} = mg \sin \theta$, 当 θ 很小时, $\sin \theta \approx \theta$, θ 等于 θ 角对应的弧长与半径的比值, θ 角对应的弧长近似等于它所对的弦长(摆球偏离平衡位置的位移 x), 得 $F_{\text{回}} = mg \frac{x}{L}$, 即振动系数 $k = \frac{mg}{L}$, 将 k 代入简谐运

动周期公式 $T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$, 得单摆在摆小角度

摆动时的周期 $T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$ 。

(2)图 8 中,摆球受到重力 G 、静电力 $F_{\text{电}}$ 和摆线拉力 F 作用,与重力场中的单摆类比,等效重力 $G' = G + F_{\text{电}}$, 等效重力加速度 $g' = g + \frac{qE}{m}$, 将 g' 代入单摆周期公式 $T =$

$2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$ 得 $T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g + \frac{qE}{m}}}$ 。

图 9 中,摆球受到重力 G 、库仑力 $F_{\text{库}}$ 和摆线拉力 F 作用,与重力场中的单摆类比,两带电小球之间的库仑力始终沿摆线方向,不产生回复力的效果,则单摆周期与重力场中的相同,即 $T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$ 。

六、借助简谐运动特点分析非简谐运动问题

简谐运动是指物体在与位移大小成正比,与位移方向相反的回复力作用下的振动。回复力 F 跟位移 x 的关系可以表示为 $F = -kx$ 。简谐运动中各个物理量都是在不断变化的,在远离平衡位置的过程中,因为 $F = -kx = ma$, x 增大, F 增大, a 增大,而 a 与 v 反向,所以速率 v 减小,动量和动能也减小;在靠近平衡位置的过程中,因为 $F = -kx = ma$, x 减小, F 减小, a 减小,但 a 与 v 同向,所以 v 增大,动量和动能也增大。

简谐运动具有周期性和对称性。周期性是指振动的质点经过周期的整数倍时间时,其位移、速度、加速度等物理量将恢复到初始值;对称性是指振动的质点在关于平衡位置对称的两位置具有相等的速率,等大反向的位移、加速度和回复力,振动的质点往返经过同一位置时的速率相等,通过振动过程中任意两点 A 、 B 的时间与逆向通过 B 、 A 两点的时间相等,通过关于平衡位置对称的两段位移所用的时间相等。

利用简谐运动的上述特点有时可以解决一些整体过程并不是简谐运动的问题。

例 6 如图 10 所示,一轻质弹簧左端固定,右端系一小物块,物块与水平面之间的最大静摩擦力和滑动摩擦力都为 f ,弹簧无形变时,物块位于 O 点。每次把物块拉到 O 点右侧不同位置由静止释放,释放时弹簧弹力 F 大于 f ,物块沿水平面滑动一段路程直到停止,下列说法中正确的是()。

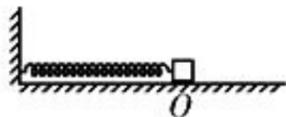


图 10

- A. 释放物块时弹簧的弹性势能等于物块在整个滑动过程中克服摩擦力做的功
- B. 从不同位置释放物块,物块速度达到最大的位置保持不变
- C. 物块能够返回到 O 点右侧的临界条件为 $F > 3f$
- D. 物块能够返回到 O 点右侧的临界条件为 $F > 4f$

分析:弹簧振子在不受摩擦力作用时做

简谐运动,这是同学们熟悉的。然而,当振子做阻尼振动时,弹簧振子的运动就不再呈现完美的对称性,在整个过程中机械能不断减少,振幅会越来越小,最终停止,这样全过程中振子不再做简谐振动。遇到这样的问题,多数同学们会因为无法在脑海中形成正确的运动图景而找不到切入点。实际上,当弹簧振子沿单方向运动时,即使受到弹簧弹力之外的恒力作用,仍然可将它的运动视为简谐运动,依旧可以利用简谐运动的对称性求解相关问题。

解:因为有摩擦阻力的存在,物块最终停下来位置不一定在平衡位置 O ,所以最终弹簧可能依然存在弹性势能,这样释放物块时弹簧的弹性势能就可能只有部分用来克服摩擦力做功,选项 A 错误。弹簧弹力与摩擦力平衡的位置为物块速度最大的位置,根据 $f = -F = kx$ 可知,摩擦力 f 不变,物块速度达到最大的位置也保持不变,选项 B 正确。设物块在最左端受到的弹簧弹力为 F' ,物块向左运动的过程可视为一个简谐运动在 $\frac{1}{4}$ 周期内的运动,物块向右运动的过程同样也可视为另一个简谐运动在 $\frac{1}{4}$ 周期内的运动。根据简谐运动的对称性可知,在最大位移处物块受到的回复力大小相等,物块第一次从最右端运动到最左端的过程中有 $F - f = F' + f$,再恰好向右运动到 O 点时有 $F' - f = f$,解得 $F = 4f$ 。因此物块能返回到 O 点右侧的临界条件为 $F > 4f$,选项 C 错误, D 正确。

答案:BD

总结:借力使力时必须牢牢掌握问题本身涉及的知识点,例如,求解涉及简谐运动的问题时,要熟练掌握描述简谐运动的振幅、位移、周期、频率等物理量的含义和单摆的周期公式,以及运动过程中各量的变化情况,要正确理解简谐运动的对称性、周期性和适用条件等。当然,求解物理问题可以借用的方法还有很多,上述方法只是抛砖引玉,同学们需要在平时的训练中总结出适合自己的更多方法。

(责任编辑 张 巧)

高考物理模拟试题(五)

参考答案与提示

1. C 提示:根据质量数守恒和电荷数守恒得 X 为 ${}^3_2\text{He}$, 选项 A、B 错误。根据爱因斯坦质能方程 $\Delta E = (2m_1 - m_2 - m_X)c^2$ 得 X 的质量为 $2m_1 - m_2 - \frac{\Delta E}{c^2}$, 选项 C 正确。两氦核间的库仑力是斥力, 不利于核聚变反应的进行, 选项 D 错误。

2. B 提示:放电前手指靠近门把手的过程中, 门把手在手的影响下, 发生静电感应, 在其靠近手的一端感应出正电荷, 在其另一端感应出负电荷, 稳定时处于静电平衡状态, 内部场强为零, 两端电势相等, 选项 A、C、D 错误。门把手与手之间可以看成是一个电容器, 当两者之间的距离减小时, 根据公式 $C = \frac{\epsilon S}{4\pi kd}$, $E = \frac{U}{d}$, $C = \frac{Q}{U}$ 可知, U 不变, d 减小, 故 C 变大, E 变大, Q 变大, 选项 B 正确。

3. C 提示:空间站绕地球做匀速圆周运动的过程中, 空间站内所有物体处于完全失重状态, 当圆管绕轴转动时, 外管壁给人的支持力提供向心力, 故人将会挤压外管壁, 此时人并非处于完全失重状态, 选项 A、B 错误。人靠在外管壁上随圆管一起做圆周运动, 则 $G \frac{Mm}{R^2} = mg$, $mg = m \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 R_2$, 解得 $T = 2\pi R \sqrt{\frac{R_2}{GM}}$, 选项 C 正确, D 错误。

4. D 提示:因为粒子的电性不能确定, 所以磁场的方向也无法确定, 选项 A 错误。粒子的运动轨迹如图 1 所示, 根据几何关系可知, 四边形 $OACc$ 为菱形, 所以粒子在磁场中运动的轨迹半径为 r , 选项 B 错误。粒子在磁场中运动的周期 $T = \frac{2\pi m}{qB}$, 当粒子从 a 点射入时, 运动时间最短, 轨迹为半圆, 最短时间 $t_{\min} = \frac{T}{2} = \frac{\pi}{\rho B}$, 选项 C

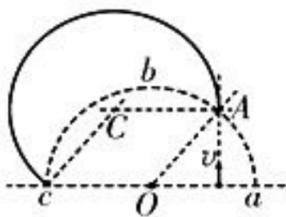


图 1

错误, D 正确。

5. C 提示:人匀速上升, 动能不变, 根据功能关系可知, 合外力做的总功为 0, 选项 C 正确。人(含设备)悬停在空中, 对人(含设备)进行受力分析, 则 $Mg = F$, 以 Δt 时间内的水柱为研究对象, 根据动量定理得 $F' \Delta t = v^2 S \rho_{\text{水}} \Delta t$, 即 $F' = v^2 S \rho_{\text{水}}$, $F' = F$, 解得 $v = \sqrt{\frac{Mg}{S \rho_{\text{水}}}}$, 选项 B 错误。同理, 人(含设备)向上加速运动, 则 $F - Mg = Ma$, $F' = v^2 S \rho_{\text{水}}$, $F' = F$, 解得 $v = \sqrt{\frac{M(g+a)}{S \rho_{\text{水}}}}$, 选项 D 错误。因为不知道人的初始状态, 所以装置向下喷水时, 人既可能向上运动, 也可能向下运动, 选项 A 错误。

6. CD 提示:货车停放在水平路面上, 四个油桶静止在货车车厢中, 则四个油桶受到的合力全为 0, 选项 A 错误。把 A、B、D 三个油桶看成一个整体, 在竖直方向上, 根据平衡条件得 $2N = 3mg$, 则车厢对油桶 B 的支持力大小是油桶 B 所受重力的 $\frac{3}{2}$ 倍, 选项 B 错误。对油桶 D 进行受力分析, 如图 2 所示, 根据平衡条件得 $2F \cos \theta = mg$, 根据几何关系得 $\theta = 30^\circ$, 解得 $F = \frac{\sqrt{3}}{3} mg$, 则油桶

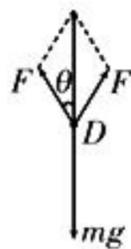


图 2

A 对 D 的支持力与油桶 B 对 D 的支持力大小相等, 且都小于油桶 D 的重力, 若抽去薄板, 则油桶 B 向右移动, 稳定后 θ 变大, 根据 $F = \frac{mg}{2 \cos \theta}$ 可知, F 变大, 选项 C、D 正确。

7. AC 提示:根据动能定理可知, $O \sim x_1$ 段物体做匀加速直线运动, 则 $F_{\text{合}} = F_{\text{电}} = qE$, 在坐标 x_2 处物体的动能最大, 物体的加速度为 0, 则 $F_{\text{弹}} = F_{\text{电}}$, 即 $k(x_2 - x_1) = qE$, 解得 $k = \frac{qE}{x_2 - x_1}$, 选项 A 正确。从坐标 x_1 处

到 x_1 处,在坐标 x_2 处有 $F_{\text{弹}} = F_{\text{电}}$,所以 $x_1 \sim x_2$ 段有 $F_{\text{合}} = F_{\text{电}} - F_{\text{弹}}$, $F_{\text{弹}}$ 变大, $F_{\text{合}}$ 变小, $x_2 \sim x_3$ 段有 $F_{\text{合}} = F_{\text{弹}} - F_{\text{电}}$, $F_{\text{弹}}$ 变大, $F_{\text{合}}$ 变大,即物块所受合外力先减小后增大,选项 B 错误。从坐标 x_1 处到 x_3 处,电场力做功全部转化为弹簧的弹性势能,即 $\Delta E_p = qE(x_3 - x_1)$,选项 C 正确。从坐标 x_1 处到 x_2 处,弹簧的弹性势能增加,动能增加,电场力做正功,电势能减小,则弹簧弹性势能增加量和动能的增加量之和等于电势能的减少量,选项 D 错误。

8. BD 提示:设 M 点投影在水平面上为 B 点,轨道 II 与水平面相交处为 C 点,轨道 II 与水平面之间的夹角为 θ ,物块下滑过程中的运动情景如图 3 所示。

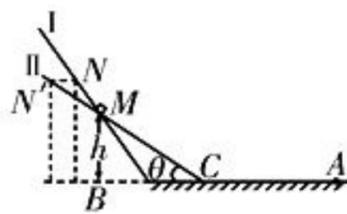


图 3

物块从轨道 II 上的 M 点由静止释放至到达 A 点停止,根据动能定理得 $mgh - \mu mg \cos \theta \cdot \frac{h}{\sin \theta} - \mu mgs_{AC} = 0$,又有 $\frac{h \cos \theta}{\sin \theta} = \frac{h}{\tan \theta} = s_{BC}$,则 $mgh - \mu mg(s_{BC} + s_{AC}) = 0$,所以 $mgh = \mu mgs_{AB}$ 。同理,物块从轨道 I 上的 M 点由静止释放, h 相等, μ 一样,则物块仍停在 A 点,选项 A 错误。若物块从 A 点以大小为 $2\sqrt{gh}$ 的初速度向左运动并滑上轨道 I,假设物块能够到达 M 点,根据动能定理得 $-mgh - \mu mgs_{AB} = \frac{1}{2}mv_M^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$,结合 $v_0 = 2\sqrt{gh}$, $mgh = \mu mgs_{AB}$,解得 $v_M = 0$,即物块刚好滑到 M 点速度减为 0,选项 B 正确。若物块从 A 点以大小为 $3\sqrt{gh}$ 的初速度向左运动,假设物块沿两倾斜轨道可到达同一高度的 N 和 N' 点,其中沿轨道 II 到达 N' 点时的速度为 0,根据功能关系得 $W_{\text{重}} + W_{\text{摩}} = E_{k0}$,因为初动能相同,重力做功相同,轨道 I 对物块的摩擦力做的功比轨道 II 的小,所以物块到达轨道 I 上 N 点时的速度不可能为 0,即物块在轨道 I 上速度减为 0 时的位置距地面的高度较大,选项 C 错误, D 正确。

9. (1) AC (2) 2.13 (3) 未平衡摩擦力或未完全平衡摩擦力 1.0

提示:(1)因为通过力传感器可以直接读出细线的拉力大小 F ,所以不再需要满足砂桶和砂的总质量远小于滑块的质量。(2)相邻两计数点之间的时间间隔 $t = 5T = 0.1 \text{ s}$,滑块的加速度大小 $a = \frac{(x_4 + x_5 + x_6) - (x_1 + x_2 + x_3)}{(3t)^2} = 2.13 \text{ m/s}^2$ 。

(3)根据 F - a 图像可知,当 $F = 2 \text{ N}$ 时, $a = 0$,说明未平衡摩擦力或未完全平衡摩擦力。设未平衡掉的摩擦力为 $f_{\text{余}}$,则 $F - f_{\text{余}} = ma$,即 $F = ma + f_{\text{余}}$,因此 F - a 图像的斜率表示滑块的质量,则滑块的质量 $m = \frac{5-2}{3} \text{ kg} = 1 \text{ kg}$ 。

10. (1) 0.48 (2) C (3) $\frac{kgc}{a-b}$ (4) 大于

提示:(1)电流表的分度值为 0.02 A ,其读数为 0.48 A 。(2)根据闭合电路欧姆定律得 $E = I(R + r)$,其中 $R = R_0 + kN$,且 $N = mg$,即 $E = I(kmg + R_0 + r)$,根据题图中图像为线性关系,变形得 $\frac{1}{I} = \frac{kg}{E}m + \frac{R_0 + r}{E}$,即选择 $\frac{1}{I}$ 为纵坐标,则需横坐标为 m 。(3)根据 $\frac{1}{I}$ - m 图像,结合闭合电路欧姆定律表达式可知,图像斜率 $\frac{a-b}{c} = \frac{kg}{E}$,则待测电池的电动势表达式 $E = \frac{kgc}{a-b}$ 。(4)若电流表的内阻 R_A 不可忽略,则 $\frac{1}{I} = \frac{kg}{E}m + \frac{R_0 + r + R_A}{E}$,即 $b = \frac{R_0 + r + R_A}{E}$,解得 $r_{\text{测}} = \frac{kbc}{a-b} - R_0 - R_A$,而 $r_{\text{真}} = \frac{kbc}{a-b} - R_0$,故该电池内阻的测量值大于真实值。

11. (1) 狗狗由 A 点运动到 B 点的过程中,根据动能定理得 $mgH - W_f = \frac{1}{2}mv^2$,在 B 点时,根据牛顿第二定律得 $3mg - mg = \frac{mv^2}{R}$,解得 $v = \sqrt{2gR}$, $W_f = mgR$ 。(2)根据

平抛运动规律得 $h - h_1 = \frac{1}{2}gt^2$, $d = vt$, 解得

$$h_1 = \frac{15}{16}R.$$

12. (1) 导体棒 M 到达 b 、 e 处前已做匀速直线运动, 根据法拉第电磁感应定律得 $E = BLv$, 根据闭合电路欧姆定律得 $I =$

$\frac{E}{R+R}$, 根据平衡条件得 $mg \sin \theta = BIL$, 解得

$$v = \frac{2mgR \sin \theta}{B^2 L^2}.$$

(2) 若固定导体棒 N , 导体棒 M 通过 b 、 e 处后瞬间闭合开关 S , 导体棒 M 、 N 构成闭合回路, 最终导体棒 M 静止, 根据法拉第电磁感应定律得 $\bar{E} = \frac{BL \Delta x}{\Delta t}$, 根据闭合电路欧姆定律得 $\bar{I} = \frac{\bar{E}}{R+2R}$, 对导体棒 M 应用动量定理得 $-B\bar{I}L \Delta t = 0 - mv$, 解得 $\Delta x = \frac{6m^2 g R^2 \sin \theta}{B^4 L^4}$. (3) 若不固定导体棒 N , 导体棒 M 通过 b 、 e 处后瞬间闭合开关 S , 由导体棒 M 、 N 组成的系统动量守恒, 最终它们共速, 则 $mv = 3mv_{共}$, 根据能量守恒定律得 $\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \times 3mv_{共}^2 + Q$, 导体棒 N 中产生的焦耳热 $Q_N = \frac{2R}{R+2R} Q$, 解得 $Q_N = \frac{8m^3 g^2 R^2 \sin^2 \theta}{9B^4 L^4}$.

13. (1) ACE 提示: 液体表面具有收缩的趋势, 即液体表面表现为张力, 太空中水滴呈球形, 是液体表面张力作用的结果, 选项 A 正确. 温度是分子热运动平均动能的标志, 质量和温度都相同的氮气和氧气, 单个分子的平均动能相等, 但氮气分子个数较多, 故氮气的内能较大, 选项 B 错误. 利用气体的质量、密度、摩尔体积和阿伏加德罗常数, 可以估算出气体分子间的平均距离, 选项 C 正确. 当分子势能随分子间距离的增大而减小时, 分子力表现为斥力, 选项 D 错误. 一定质量的理想气体保持体积不变, 单位体积内分子数不变, 温度升高, 分子的平均动能变大, 单位时间内撞击单位面积上的分子数增多, 选项 E 正确.

(2) (i) 选水瓶内的空气为研究对象, 根据查理定律得 $\frac{p_0}{T_0} = \frac{p}{T}$, 解得 $p = 1.12 \times 10^5$ Pa. (ii) 设水瓶的容积为 V , 打开瓶盖后水瓶内及放出的空气的总体积为 V' , 根据玻意耳定律得 $pV = p_0 V'$, 又有 $\frac{m}{m_0} = \frac{V' - V}{V'}$, 解得 $\frac{m}{m_0} = \frac{3}{28}$.

14. (1) $\frac{2}{3}$ 不能 1.25 提示: 根据波形图得 $v_{甲} = \frac{\Delta x_{甲}}{\Delta t} = \frac{3}{0.75}$ m/s = 4 m/s, $v_{乙} =$

$$\frac{\Delta x_{乙}}{\Delta t} = \frac{13.25 - 10.25}{0.75}$$
 m/s = 4 m/s, 根据 $v = \frac{\lambda}{T}$ 得 $T_{甲} = \frac{\lambda_{甲}}{v_{甲}} = \frac{2}{4}$ s = 0.5 s, $T_{乙} = \frac{\lambda_{乙}}{v_{乙}} = \frac{3}{4}$ s = 0.75 s, 解得 $\frac{T_{甲}}{T_{乙}} = \frac{2}{3}$. 波发生干涉的条件是两列波的频率相等, 而甲、乙两列波的频率不同, 所以不能发生干涉现象. 根据波的平移法可知, 甲波的波峰到达 $x = 7.5$ m 处所需的时间 $\Delta t_{甲} = \frac{\Delta x_{甲}}{v_{甲}} = \frac{7.5 - 2.5}{4}$ s = 1.25 s, 乙波的波峰到达 $x = 7.5$ 处所需的时间 $\Delta t_{乙} = \frac{\Delta x_{乙}}{v_{乙}} = \frac{12.5 - 7.5}{4}$ s = 1.25 s, 因此经过 1.25 s 甲、乙两列波的波峰同时到达 $x = 7.5$ m 处, 根据波的叠加原理可知, 此时该质点第一次到达正向最大位移处.

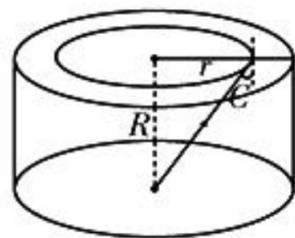


图 4

高考物理模拟试题(六)

参考答案与提示

1. D 提示:根据电荷数守恒和质量数守恒可得,X的电荷数是0,质量数是1,所以X是中子,选项A错误。 ${}^2_1\text{H}$ 和 ${}^3_1\text{H}$ 是氢的同位素,选项B错误。 ${}^2_1\text{H}$ 和 ${}^3_1\text{H}$ 在高温条件下才能发生聚变,选项C错误。根据爱因斯坦质能方程得 $\Delta E = \Delta mc^2 = (m_1 + m_2 - m_3 - m_4)c^2$,选项D正确。

2. B 提示:B光照射时的遏止电压较大,则B光照射时,射出的光电子的最大初动能较大,逸出功相等,根据爱因斯坦光电效应方程 $E_k = h\nu - W_0$ 可知,A光的频率小于B光的频率,选项A错误。根据 $\lambda\nu = c$ 和 $p = \frac{h}{\lambda}$ 可知,A光光子的动量小于B光光子的动量,选项B正确。B光照射时的遏止电压为-3V,根据动能定理得 $-eU_c = E_{k\max}$,解得 $E_{k\max} = 3\text{ eV}$,选项C错误。根据 $E_{k\max} = h\nu - W_0$ 得 $W_0 = 6\text{ eV} - 3\text{ eV} = 3\text{ eV}$,选项D错误。

3. C 提示:设划水阶段和空中运桨阶段赛艇的加速度大小分别为 a_1 、 a_2 ,动力大小为 F ,阻力大小为 f ,根据牛顿第二定律可得,划水阶段有 $F - f = ma_1$,空中运桨阶段有 $f = ma_2$,又有 $F = 2f$,解得 $a_1 = a_2$ 。设赛艇的最大速度为 v_{\max} ,根据题意可知,运动员完成一次动作,赛艇前进了13 m,则 $x = (v_0 t_1 + \frac{1}{2} a_1 t_1^2) + [(v_0 + a_1 t_1) t_2 - \frac{1}{2} a_2 t_2^2]$,其中 $v_0 = 5\text{ m/s}$, $t_1 = t_2 = 1\text{ s}$, $x = 13\text{ m}$,结合 $a_1 = a_2$,解得 $a_1 = a_2 = 3\text{ m/s}^2$,则 $v_{\max} = v_0 + a_1 t_1 = 8\text{ m/s}$, $f = ma_2 = 960\text{ N}$ 。

4. A 提示:根据开普勒第三定律得 $\frac{(R + \frac{1}{16}R)^3}{T^2} = \frac{(R + 5.6R)^3}{T_0^2}$,解得 $T \approx 0.064T_0$,选项A正确。根据向心加速度公式得 $a_n = \frac{GM}{r^2} = \frac{16^2}{17^2}g$,选项B错误。天和核心舱距离地面的高度约为 $\frac{1}{16}R$,轨道半径大于地球半径 R ,根据 $v_1 = \sqrt{\frac{GM}{R}}$ 可知,天和核心舱环绕

地球运行的线速度一定小于 7.9 km/s ,选项C错误。如果“神舟十三号”与空间站组合体在同一轨道上运动,则“神舟十三号”加速后会做离心运动,离开原轨道而进入更高的轨道,无法完成对接,选项D错误。

5. C 提示:若设磁场垂直于纸面向里为正方向,根据楞次定律可知,在 $0 \sim T$ 时间内线框中产生沿逆时针方向的感应电流,在 $T \sim 2T$ 时间内线框中产生沿顺时针方向的感应电流,根据 $E = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{\Delta B}{\Delta t} \cdot S$ 可知,感应电动势大小不变,方向不同,选项A错误。根据 $I = \frac{E}{R}$ 可知,在 $0 \sim T$ 时间内线框中产生的沿逆时针方向的感应电流大小不变,在 $T \sim 2T$ 时间内线框中产生的沿顺时针方向的感应电流大小也不变,选项B错误。根据 $Q = I^2 R t$ 可知, I 、 R 不变,则 $Q-t$ 图像是过原点的直线,选项C正确。根据 $F = BIL$ 可知,在 $0 \sim \frac{T}{2}$ 时间内磁感应强度 B 随时间 t 均匀减小, F 随时间 t 均匀减小,且方向向左,在 $\frac{T}{2} \sim T$ 时间内磁感应强度 B 随时间 t 均匀增大, F 随时间 t 均匀增大,且方向向右,选项D错误。

6. AC 提示:若是一个球壳,而不是半球面,则O点的电场强度为零,选项A正确。均匀带正电的半球相当于一个均匀带正电的球和半个均匀带负电的球,将这个均匀带负电的半球放在题图中的右边,然后看P、Q两点,则P、Q两点在带正电半球和负电半球的相同位置上。因为带正电球在P、Q两点产生的电场为零,所以带正电半球在Q点产生的电场强度相当于带负电半球的Q点产生的电场强度,且与P点相比较,唯一的区别是电荷符号相反,即P、Q两点处的电场强度大小相同,只可能是方向的区别,根据分析可知,电场强度的方向也是相同的,选项B错误。电场线方向水平向右,在P点由静止释放带正电的微粒(重力不计),微粒将做加速

运动,移动距离越远,微粒受到的静电力越小,所以微粒做变加速运动,选项D错误。将正点电荷从P点移动到Q点,静电力做正功,电势能减小,选项C正确。

7. BC 提示:感应电动势的最大值 $E_{\max} = NBS\omega = 100 \times 0.5 \times 0.1^2 \times 2\pi \text{ V} = 3.14 \text{ V}$,交流电压表的示数为有效值,则 $U =$

$$\frac{E}{R+r} R = \frac{3.14}{4+1} \times 4 \text{ V} = 1.78 \text{ V}, \text{选项 A 错误。}$$

因为从线框垂直于中性面开始计时,所以瞬时感应电动势表达式为 $e = E_{\max} \cos 2\pi t$,当线框转过 60° 角时产生的瞬时感应电动势 $e = 1.57 \text{ V}$,选项B正确。在一个周期内,感应电

$$\text{流 } I = \frac{E}{R+r} = \frac{3.14}{5\sqrt{2}} \text{ A}, \text{周期 } T = \frac{2\pi}{\omega} = 1 \text{ s}, \text{产}$$

生的总热量 $Q = I^2(R+r)T = 1 \text{ J}$,选项C正确。题图所示位置 ab 边所受的安培力 $F = NBIL = 2.22 \text{ N}$,选项D错误。

8. BD 提示:以竖直向下为正方向,设跳板离水面的高度为 h_1 ,运动员在空中运动的时间为 t ,在水中运动的距离为 h_2 ,在运动员离开跳板至到达水面的过程中,根据运动学公式得 $v^2 - \left(-\frac{1}{3}v\right)^2 = 2gh_1$, $v -$

$$\left(-\frac{1}{3}v\right) = gt, \text{解得 } h_1 = \frac{4v^2}{9g}, t = \frac{4v}{3g}; \text{运动员}$$

入水后做匀减速运动,根据运动学公式得 $h_2 = \frac{1}{2}vt = \frac{2v^2}{3g}$ 。运动员在空中和水中,重力

做的功之比 $\frac{W_1}{W_2} = \frac{Gh_1}{Gh_2} = \frac{2}{3}$,选项A错误。运

动员在空中的动能变化量 $\Delta E_{k1} = \frac{1}{2}mv^2 -$

$$\frac{1}{2}m \cdot \left(\frac{1}{3}v\right)^2 = \frac{4}{9}mv^2, \text{在水中的动能变化量}$$

$$\Delta E_{k2} = \frac{1}{2}mv^2, \text{解得 } \frac{\Delta E_{k1}}{\Delta E_{k2}} = \frac{8}{9}, \text{选项 B 正确。}$$

运动员在空中,只有重力做功,故重力势能减少量等于动能的增加量,选项C错误。运动员在水中,重力做正功,阻力做负功,根据动能定理得 $W_{\text{重}} - W_{\text{克阻}} = 0 - \frac{1}{2}mv^2$,即动能的

减少量小于克服阻力做的功,选项D正确。

9. (1)0.93(填0.91~0.95均可) (2) α
(3)C

提示:(1)利用平均速度法得 $v_D = \frac{x_{CE}}{2T} =$

$$\frac{(6.42 - 2.69) \times 10^{-2}}{2 \times 0.02} \text{ m/s} = 0.93 \text{ m/s}.$$

(2)设打下O点时重物的速度为 v_0 ,则 $v_D - v_0 = 4gT$,解得 $v_0 = 0.15 \text{ m/s} \neq 0$ 。根据机

械能守恒定律得 $mgh + \frac{1}{2}mv_0^2 = \frac{1}{2}mv^2$,整

理得 $v^2 = 2gh + v_0^2$,所以 v^2-h 图像应存在纵轴截距。(3)受到空气阻力的影响,重物下落的加速度应略小于 g ,因此若 v^2-h 图像的斜率 k 略小于 $2g$,则可验证重物下落过程中机械能守恒。

10. (1)0.398(填0.395~0.399均可)
(2)甲 (3)如图1所示 (4)如图2所示
4.5(填4.3~4.7均可) (5)C

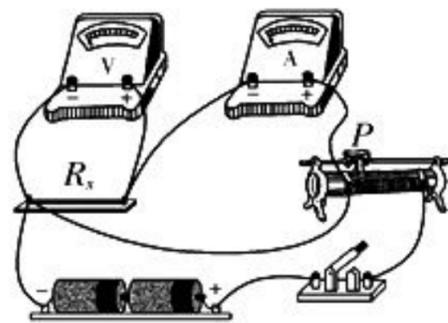


图1

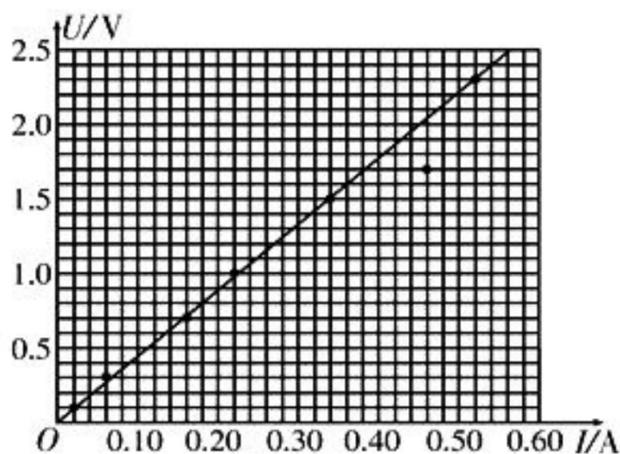


图2

提示:(1)待测金属丝的直径 $D = 0 + 39.8 \times 0.01 \text{ mm} = 0.398 \text{ mm}$ 。(2)题表中实验数据的最小电压与电流很小,接近于0,因此滑动变阻器应采用分压式接法。(4) $U-I$ 图像的斜率即为金属丝的阻值 R_x ,故 $R_x = \frac{\Delta U}{\Delta I} = 4.5 \Omega$ 。(5)根据电阻定律 $R = \rho \frac{L}{S}$ 得

$$\rho = \frac{\pi R_x d^2}{4L} = 1 \times 10^{-6} \Omega \cdot \text{m}.$$

11. (1) 口罩盒在传送带 I 上先做匀加速直线运动, 直至与传送带 I 共速, 根据牛顿第二定律得 $\mu Mg = Ma_1$, 解得 $a_1 = 2 \text{ m/s}^2$ 。口罩盒在传送带 I 上做加速运动发生的位移 $s_1 = \frac{v^2}{2a_1} = 4 \text{ m}$, 所用的时间 $t_1 = \frac{v}{a_1} = 2 \text{ s}$ 。口罩盒与传送带 I 共速后, 二者一起做匀速直线运动, 所用的时间 $t_2 = \frac{L-s_1}{v} = 1 \text{ s}$ 。因此口罩盒在传送带 I 上运动的总时间 $t = t_1 + t_2 = 3 \text{ s}$ 。(2) 要使口罩和口罩盒以最短的时间运动至 C 点, 则在传送带 II 上口罩盒与口罩必须与传送带共速(设为 v'), 做匀速圆周运动, 且受到的最大静摩擦力恰好能提供向心力, 则 $\mu M_{\text{总}} g = M_{\text{总}} \frac{v'^2}{r}$, 解得 $v' = 2 \text{ m/s}$ 。(3) 放入口罩瞬间, 口罩盒和口罩组成的整体动量守恒, 设放入口罩的数量为 n , 则 $Mv = (M + nm)v'$, 解得 $n = 50$ 。

12. (1) 小球在第 I 象限内做平抛运动, 根据平抛运动规律得 $x = v_0 t_1, y = \frac{1}{2} g t_1^2$, 解得 $t_1 = 0.2 \text{ s}, v_0 = 2 \text{ m/s}$ 。(2) 设小球做平抛运动到达 M 点时的速度大小为 v , 方向与 x 轴正方向间的夹角为 θ , 竖直分速度为 v_y , 则 $v_y = g t_1, v = \sqrt{v_0^2 + v_y^2}$, 解得 $v = 2\sqrt{2} \text{ m/s}, \theta = 45^\circ$ 。在第 IV 象限内, 小球受到的静电力与重力平衡, 仅有洛伦兹力提供向心力, 则 $qvB = \frac{mv^2}{R}$, 解得轨道半径 $R = \frac{\sqrt{2}}{5} \text{ m}$ 。小球刚好经过半个圆周到达 y 轴上的 N 点, 运动轨迹如图 3 所示。根据几何关系可知, N 点的坐标为 $(0, -0.4 \text{ m})$ 。(3) 小球第一次在第 IV 象限内的运动时间 $t_2 = \frac{\pi R}{v} = 0.314 \text{ s}$ 。接着小

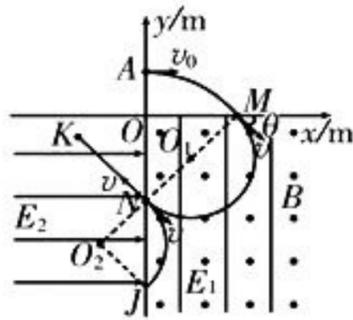


图 3

球沿与 y 轴成夹角 45° 的方向进入第 III 象限, 因为小球受到的静电力和重力大小相等, 二者的合力恰与小球进入第 III 象限的初速度 v 的方向相反, 所以小球在第 III 象限内做类竖直上抛运动, 根据牛

顿第二定律得 $a = \frac{F_{\text{合}}}{m} = \frac{\sqrt{2} mg}{m} = \sqrt{2} g$, 根据运动学公式得 $t_3 = \frac{2v}{\sqrt{2} g} = 0.4 \text{ s}$ 。小球再次经过 y 轴, 与 y 轴成夹角 45° 再次进入第 IV 象限, 做匀速圆周运动经 $\frac{1}{4}$ 圆周到达 y 轴上的 J 点, 小球第二次在第 IV 象限内的运动时间 $t_4 = \frac{\pi R}{2v} = 0.157 \text{ s}$ 。因此小球从 A 点出发到第三次经过 y 轴负半轴所用的总时间 $t = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 = 1.071 \text{ s}$ 。

13. (1) BCE (2) (i) 初状态气体压强 $p_1 = p_0$, 在玻璃管绕 A 端沿逆时针方向缓慢旋转的过程中, 气体做等温变化, 根据平衡条件得 $p_2 + \rho g L_1 \sin \alpha = p_0$, 根据玻意耳定律得 $p_1 L_2 = p_2 (L - L_1)$, 解得 $p_2 = \frac{5}{6} p_0, \alpha = 30^\circ$ 。(ii) 玻璃管做自由落体运动, 水银柱与玻璃管保持相对静止, 水银柱处于完全失重状态, 因此管内气体的压强和外界大气压强相等, 即 $p_3 = p_0$, 气体做等容变化, 根据查理定律得 $\frac{p_2}{T_1} = \frac{p_3}{T_2}$, 其中 $T_1 = (273 + 27) \text{ K} = 300 \text{ K}$, 解得 $T_2 = 360 \text{ K}$, 即 $t_2 = 87^\circ \text{C}$ 。

14. (1) ACE (2) (i) 光线 PQ 在玻璃砖上表面的入射角 $\alpha = 60^\circ$, 设对应折射角为 β , 如图 4 所示。根据几何关系得 $\tan \beta = \frac{\frac{\sqrt{3}}{3} R}{R} = \frac{\sqrt{3}}{3}$, 即 $\beta = 30^\circ$ 。根据折射

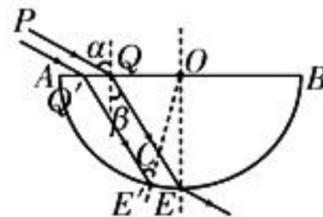


图 4

定律得 $n = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$, 解得 $n = \sqrt{3}$ 。(ii) 根据全反射规律得 $\sin C = \frac{1}{n} = \frac{\sqrt{3}}{3}$ 。若使光线 PQ 向左平移距离 x , 折射光线 $Q'E'$ 到达圆弧面的入射角恰好等于临界角 C , 在 $\triangle Q'E'O$ 中, 根据正弦定理得 $\frac{R}{\sin(90^\circ - \beta)} = \frac{\frac{\sqrt{3}}{3} R + x}{\sin C}$, 解得 $x = \frac{2 - \sqrt{3}}{3} R$ 。(责任编辑 张 巧)

高校新增专业浏览

2012年以来，国家教育部聚焦全面提高人才培养能力这个核心点，主动适应经济社会发展需求变化，一直在推动高等教育专业结构不断优化。教育部在本科专业设置调整工作中，支持高校主动服务国家战略、区域经济社会和产业发展需要，设置符合办学定位和办学特色的专业；引导高校用好学科交叉融合的“催化剂”，推进新工科、新医科、新农科、新文科建设，增设文理、理工、医工等交叉融合的新专业。

近日，国家教育部公布了2021年度普通高等学校本科专业备案和审批结果，新增1961个专业点、撤销804个专业点，有31种新专业列入了《普通高等学校本科专业目录》，新增的31种专业具体为：

（经济学）国际税收、国际经济发展合作，（法学）纪检监察、铁路警务，（教育学）劳动教育，（历史学）科学史，（理学）行星科学，（工学）光电信息材料与器件、氢能科学与工程、可持续能源、智慧能源工程、智能建造与智慧交通、智慧水利、智能地球探测、资源环境大数据工程、碳储科学与工程、生物质能源与材料、智能运输工程、智慧海洋技术、空天智能电推进技术、木结构建筑与材料，（农学）生物育种科学、湿地保护与恢复、智慧林业，（管理学）海关稽查、慈善管理，（艺术学）曲艺、音乐剧、科技艺术、美术教育、珠宝首饰设计与工艺。

这31种新专业都是根据近年国家经济社会最新需要增加的，都是很有发展潜力和良好就业前景的，将列入相关高校2022年本科招生计划。同学们对这些新增专业如有感兴趣的，可以到教育部网站或相关高校网站详细了解一下，以便在高考报志愿时参考。



预防新型冠状病毒知识

注意卫生

科学预防

勤洗手

戴口罩

多通风

打疫苗

一米线

分餐制

用公筷



国内发行代号:36-59
国外发行代号:C1068

国际标准连续出版物号:ISSN 1001-6953
国内统一连续出版物号:CN 41-1099/O

定价:6.00元

