

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10期 · 总第913期  
3月



## “强基”考什么（1）

清华大学2021年强基计划，要求考生在4月12日至4月30日登录清华大学强基计划报名平台进行报名，不能兼报其他高校的强基计划。高考结束后至出分前由考生在报名平台进行确认。高考出分后，学校依据考生高考成绩，按照生源所在省份各学科类的强基计划招生计划数的6倍确定入围高校考核考生名单，并公布入围分数线；对于在相关学科领域具有突出才能和表现且在数学、物理、化学、生物学、信息学奥林匹克竞赛中获得全国决赛二等奖及以上奖项的考生，可以破格入围。清华大学要求入围考生高考成绩总分不得低于各省份本科一批录取最低控制分数线。

对于入围的考生，清华大学采取综合考核的方式，全面、深入地考查考生的能力和素养。综合考核包括基础能力测试、综合素质考核和身体素质测试等环节，主要考查考生的兴趣志向、创新能力、科学思维、思辨精神等综合素质及对相关学科知识的掌握与应用能力。其中的校测于6月28日上午进行，笔试为通过性测试，所有考生都要参加。考试形式为机考，全部试题一起发给考生，由于考试时间较长（4个小时），中间考生可申请上卫生间。

清华大学2021年强基校测试题，理科为数学35道，物理20道，化学18道，都为不定项选择，还有两篇作文。据考生反映，数学试题难度大约在高中生数学联赛一试水平，物理、化学试题难度大约在竞赛预赛水平。文科一共75道题，除语文4道单选外全部为不定项选择题，包括35道数学，20道语文，20道历史，此外还有两篇作文。文科的数学试题在竞赛和高考难度之间，语文基础知识较多，难度略高于高考，历史对素养和课外知识要求很高。破格生的面试试题包括：自我介绍，时间不超过2分钟；列举几个图论中的概念并加以说明；谈谈自己在数学学习中遇到了什么困难，是如何解决的等。

2022年3月  
第10期·总第913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\_gegs@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:3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

#### 高考命题新动向

##### 3 实验复习需要讲究策略(二)

——电学实验复习策略

成金德

##### 8 破解物理计算题的方法与技巧

石有山

#### 实验探究与展望

##### 14 电阻测量的两种特殊方法赏析

赵世渭

##### 17 利用惠斯通电桥理论测电阻方法赏析

侯光喜

#### 高考真题之赏析

##### 18 “测绘小灯泡的伏安特性曲线”实验的学习价值分析

——以2021年高考全国甲卷电学实验试题为例

高 翔

#### 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(三)

张宗磊

25 高考物理模拟试题(四)

王春旺

## 解题篇

### 经典题突破方法

29 例谈“动碰动”一维对心弹性碰撞模型的处理方法

袁恩国

31 例谈曲面限制下平抛运动极值问题的处理方法

张金龙 赵正委

34 棒与导轨问题分类例析

李敏 梁洪秀 刘立毅

39 浅析磁通量变化量在电磁感应现象中的应用

应德勇

### 参考答案与提示

43 高考物理模拟试题(三)参考答案与提示

46 高考物理模拟试题(四)参考答案与提示

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



### 封面人物

高翔, 山东省首批正高级教师, 山东省特级教师和齐鲁名师, 青岛市专业技术拔尖人才, 兼任曲阜师范大学物理工程学院硕士生导师, 是山东省教育厅 2009 年以来连续任命的高中物理学科远程研修学科指导专家。荣获山东省教学成果奖、青岛市教学成果奖和青岛市社会科学成果奖。致力于物理课程论和教学论的实证性研究, 60 多篇专业学术研究成果先后刊发在十几种全国中文核心期刊和中国人文社会科学核心期刊上。

### 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。

# 实验复习需要讲究策略(二)



## ——电学实验复习策略

■浙江省义乌市第二中学 成金德

电学实验以伏安法为主线,以用伏安法测电阻、测电源电动势和内阻为实验目的,考查仪器使用、电路设计、数据处理、实物图连线和误差分析等。同学们在电学实验复习过程中,必须加强以下五个方面的训练。

### 一、明核心——掌握测量电阻的方法

#### 1. 伏安法测电阻。

(1) 电流表内接法:如图 1 所示是电流表内接法测电阻的电路。

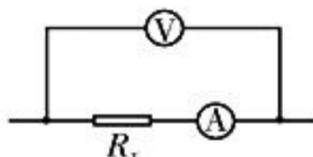


图 1

由于电流表的分压作用,使得电压表的测量值大于待测电阻两端电压的真实值,即

$$U_{\text{测}} = U_R + U_A, \text{ 根据欧姆定律得 } R_{\text{测}} = \frac{U_{\text{测}}}{I_{\text{测}}} = \frac{U_R + U_A}{I_{\text{测}}} = R_x + R_A, \text{ 即测量值等于待测电阻}$$

真实值与电流表内阻之和。因此,用电流表内接法测量电阻时,必须满足  $R_x \gg R_A$  的条件。

(2) 电流表外接法:如图 2 所示是电流表外接法测电阻的电路。

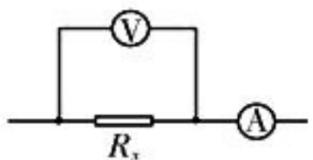


图 2

由于电压表的分流作用,使得电流表的测量值大于通过待测电阻电流的真实值,即

$$I_{\text{测}} = I_R + I_V, \text{ 根据欧姆定律得 } R_{\text{测}} = \frac{U_{\text{测}}}{I_{\text{测}}} =$$

$\frac{U_R}{I_R + I_V} = \frac{R_V}{R_V + R_x} \cdot R_x$ , 即测量值等于待测电阻真实值与电压表内阻的并联总电阻。因此,用电流表外接法测量电阻时,必须满足  $R_V \gg R_x$  的条件。

#### 2. 控制电路的选择。

如图 3 所示是用滑动变阻器控制电路的两种连接方式,选择两种连接方式的依据:

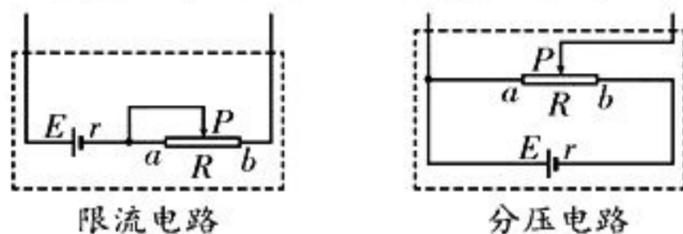


图 3

(1) 当待测电阻  $R_x$  的阻值远大于滑动变阻器的总电阻  $R$  时,为了方便调节,宜选用分压式接法。

(2) 当要求待测电阻两端的电压或通过它的电流变化范围较大,且电表示数从零开始连续可调时,应选用分压式接法。

(3) 当待测电阻的阻值  $R_x$  与滑动变阻器的总电阻  $R$  相差不多,且电表示数没有要求从零开始可调时,可选用限流式接法。

(4) 当两种电路均可选用时,应优先采用限流式接法,因为限流式接法耗能较小。

**例 1** (2020 年高考全国 I 卷)某同学用伏安法测量一阻值为几十欧姆的电阻  $R_x$ , 所用电压表的内阻为  $1 \text{ k}\Omega$ , 电流表的内阻为  $0.5 \Omega$ 。该同学采用两种测量方案,一种是将电压表跨接在如图 4 所示电路的 O、P 两点之间,另一种是跨接在 O、Q 两点之间。测量得到如图 5 所示的两条  $U-I$  图

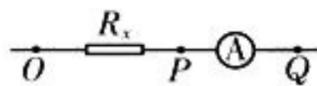


图 4

像,其中  $U$ 、 $I$  分别为电压表和电流表的示数。

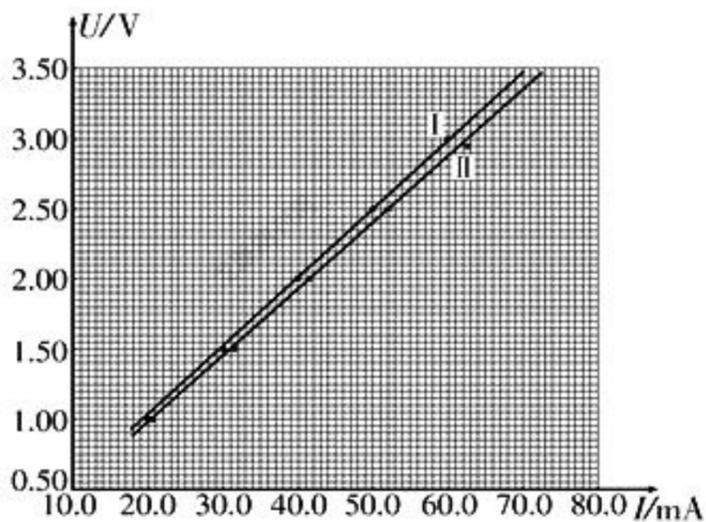


图 5

回答下列问题:

(1)图 5 中标记为 II 的图像是采用电压表跨接在\_\_\_\_(填“O、P”或“O、Q”)两点之间的方案测量得到的。

(2)根据所用实验器材和图 5 可判断,由图像\_\_\_\_(填“ I ”或“ II ”)得到的结果更接近待测电阻的真实值,结果为\_\_\_\_ $\Omega$ (保留 1 位小数)。

(3)考虑到实验中电表内阻的影响,需对(2)中得到的结果进行修正,修正后待测电阻的阻值为\_\_\_\_ $\Omega$ (保留 1 位小数)。

**解析:**(1)因为采用电流表内接法测出的电阻值大于待测电阻的真实值,采用电流表外接法测出的电阻值小于待测电阻的真实值,而图像 II 的斜率小于图像 I 的斜率,所以对图像 II 的电路应是电流表外接法,即电压表跨接在“O、P”两点之间。

(2)根据  $U-I$  图像的斜率可知,待测电阻的阻值大约为  $50\ \Omega$ ,根据  $\frac{1\ \text{k}\Omega}{50\ \Omega} < \frac{50\ \Omega}{0.5\ \Omega}$  可知,满足  $R_x \gg R_A$  的条件,因此选用电流表内接法,即由图像 I 得到的结果更接近待测电阻

的真实值。根据图像 I 得  $R_x = \frac{\Delta U}{\Delta I} = \frac{3-1}{(59.6-20) \times 10^{-3}}\ \Omega = 50.5\ \Omega$ 。

(3)因为选用电流表内接法测出的电阻是待测电阻和电流表内阻的串联总电阻,所以修正后待测电阻的阻值  $R_x' = 50.5\ \Omega - 0.5\ \Omega = 50.0\ \Omega$ 。

答案:(1)O、P (2) I 50.5 (3)50.0

## 二、练技能——训练实验操作技能

在电学实验中,电表读数和实物图连线是最基本的实验技能之一,必须熟练掌握。

### 1. 电表的读数。

(1)电流表的  $0\sim 3\ \text{A}$  挡和电压表的  $0\sim 3\ \text{V}$  挡与刻度尺的读数方法相同,采用  $\frac{1}{10}$  估读法,即需要在精确值后加一位估读值。

(2)电流表的  $0\sim 0.6\ \text{A}$  挡采用  $\frac{1}{2}$  估读法,估读位与最小刻度在同一位;电压表的  $0\sim 15\ \text{V}$  挡采用  $\frac{1}{5}$  估读法,估读位与最小刻度在同一位。

(3)欧姆表的测量值等于指针的示数与倍率的乘积,指针示数一般不估读,有时也可估读一位,但估读值并不精确。

### 2. 电路的连接。

实物图连线应先从电源正极开始,按电流方向的顺序将干路中要串联的电路元件依次串联起来,再连接各并联支路的电路元件,最后进行检查。实物图连线时需要注意以下四点:

(1)导线都应接到接线柱上,且不能出现两条导线交叉的现象。

(2)电表的连接应注意正、负接线柱不能接错,而且要注意量程选择是否恰当。

(3)连接滑动变阻器时,要弄清接入电路的是哪部分电阻,并注意在实验开始前,滑动变阻器的滑片置于哪端才能确保电路安全。

(4)要注意开关的连接应起到有效控制电路的作用。

**例 2** 在某次学生实验中,如图 6 所示为电压表和电流表的刻度盘示意图。

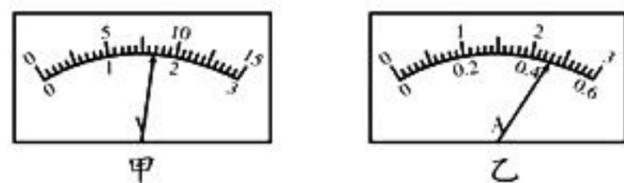


图 6

(1)若使用的是  $0\sim 3\ \text{V}$  挡的电压表,则其读数为\_\_\_\_ $\text{V}$ ;若使用的是  $0\sim 15\ \text{V}$  挡的

电压表,则其读数为\_\_\_\_ V。

(2)若使用的是0~0.6 A挡的电流表,则其读数为\_\_\_\_ A;若使用的是0~3 A挡的电流表,则其读数为\_\_\_\_ A。

**解析:**(1)当电压表的量程为3 V时,每小格为0.1 V,其读数为1.68 V;当电压表的量程为15 V时,每小格为0.5 V,采用 $\frac{1}{5}$ 估读法,其读数为8.4 V。

(2)当电流表的量程为0.6 A时,每小格为0.02 A,采用 $\frac{1}{2}$ 估读法,其读数为0.46 A;当电流表的量程为3 A时,每小格为0.1 A,其读数为2.30 A。

**答案:**(1)1.68 8.4 (2)0.46 2.30

**例3** (2020年高考天津卷节选)某实验小组选用以下器材测定电池组的电动势和内阻,要求测量结果尽量准确。

电压表(量程为3 V,内阻约为3 k $\Omega$ )

电流表(量程为0.6 A,内阻约为1  $\Omega$ )

滑动变阻器(阻值范围为0~20  $\Omega$ ,额定电流为1 A)

待测电池组(电动势约为3 V,内阻约为1  $\Omega$ )

开关、导线若干

(1)该小组连接的实物电路如图7所示,经仔细检查,发现电路中有一条导线连接不当,这条导线对应的编号是\_\_\_\_\_。

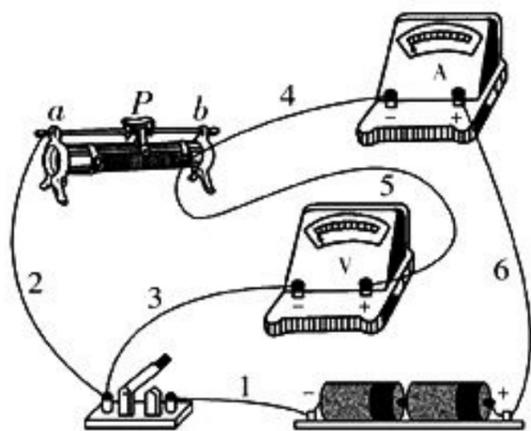


图7

(2)改正这条导线的连接后开始实验,闭合开关前,滑动变阻器的滑片P应置于滑动变阻器的\_\_\_\_端(填“a”或“b”)。

**解析:**(1)测电源电动势和内阻时,电压表测量的是电源两端的电压,因此导线5与

滑动变阻器相连的一端接错了,应改接到电源的正极。

(2)滑动变阻器在电路中起保护作用,在闭合开关前,应将滑动变阻器接入电路的有效电阻调为最大,因此滑动变阻器的滑片P应置于滑动变阻器的a端。

**答案:**(1)5 (2)a

### 三、强数学——有效处理实验数据

在物理实验中,处理实验数据的方法有公式法、列表法和图像法等,其中以公式法和图像法的应用最为广泛。在应用图像法处理实验数据时,要弄清图像的斜率、图像与坐标轴所围成的面积、截距等表示的物理意义,并能够运用数学知识快速求出相关物理量。

**例4** (2021年高考全国乙卷)一实验小组利用如图8所示的电路测量一电池的电动势E(约1.5 V)和内阻r(小于2  $\Omega$ )。图中电压表量程为1 V,内阻 $R_V=380.0 \Omega$ ;定值电阻 $R_0=20.0 \Omega$ ;电阻箱R的最大阻值为999.9  $\Omega$ ;S为开关。按电路图连接实物电路。完成下列填空:

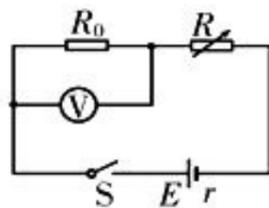


图8

(1)为了保护电压表,闭合开关前,电阻箱接入电路的电阻值可以选\_\_\_\_  $\Omega$ (填“5.0”或“15.0”)。

(2)闭合开关,多次调节电阻箱,记录下阻值R和电压表的相应读数U。

(3)根据如图8所示电路,用R、 $R_0$ 、 $R_V$ 、E和r表示 $\frac{1}{U}$ ,得 $\frac{1}{U} = \underline{\hspace{2cm}}$ 。

(4)利用测量数据,作 $\frac{1}{U}-R$ 图像,如图9所示。

(5)通过图9可得 $E = \underline{\hspace{2cm}}$  V(保留2位小数), $r = \underline{\hspace{2cm}}$   $\Omega$ (保留1位小数)。

(6)若将图8中的电压表当成理想电表,得到的电源电动势为 $E'$ ,由此产生的误差为

$$\left| \frac{E' - E}{E} \right| \times 100\% = \underline{\hspace{2cm}}\%$$

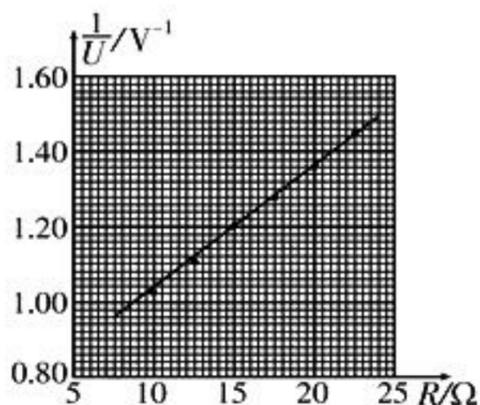


图9

**解析:**(1)为了确保电压表安全,在接通电路时,电压表两端的电压不能超过其量程,利用并联电路分压原理得  $\frac{U}{R_V R_0} = \frac{E-U}{R+r}$ ,

解得  $R=7.5 \Omega$ ,因此电阻箱接入电路的电阻值应选  $15.0 \Omega$ 。

(3)根据闭合电路欧姆定律得  $E=U+\frac{U}{R_V R_0}(R+r)$ ,整理后得  $\frac{1}{U} = \frac{R_0+R_V}{ER_V R_0}R + \frac{1}{E} + \frac{R_V+R_0}{ER_V R_0}r$ 。

(5)根据关系式  $\frac{1}{U} = \frac{R_0+R_V}{ER_V R_0}R + \frac{1}{E} + \frac{R_V+R_0}{ER_V R_0}r$  可知,  $\frac{1}{U}-R$  图像的斜率  $k = \frac{R_0+R_V}{ER_V R_0} = \frac{1}{19E}$ ,纵轴截距  $b = \frac{1}{E} + \frac{R_V+R_0}{ER_V R_0}r = \frac{1}{E} + \frac{r}{19E}$ ,结合  $\frac{1}{U}-R$  图像求得  $k = \frac{1.36-1.02}{20-10} \text{ V}^{-1} \cdot \Omega = 0.034 \text{ V}^{-1} \cdot \Omega$ ,  $b = 0.68 \text{ V}^{-1}$ ,代入  $k$  和  $b$  的表达式解得  $E=1.55 \text{ V}$ ,  $r=1.0 \Omega$ 。

(6)若电压表为理想电表,即用  $R_V = \infty$  代入得  $\frac{1}{U} = \frac{1}{E'R_0}R + \frac{1}{E'} + \frac{r}{E'R_0}$ ,则  $k = \frac{1}{E'R_0} = \frac{1}{20E'}$ ,即  $E' = \frac{1}{20k}$ ,由此产生的误差  $\eta =$

$$\left| \frac{\frac{1}{20k} - \frac{1}{19k}}{\frac{1}{19k}} \right| \times 100\% = 5\%。$$

**答案:**(1) 15.0 (3)  $\frac{1}{U} = \frac{R_0+R_V}{ER_V R_0}R +$

$\frac{1}{E} + \frac{R_V+R_0}{ER_V R_0}r$  (5) 1.55 1.0 (6) 5

#### 四、知原因——知道实验误差产生的原因

误差分析是实验的重要环节之一,要想做到正确分析实验误差,就必须从实验原理出发,结合相关物理规律,利用数学知识分析判断。

**例5** (2020年高考北京卷)用如图10所示的甲、乙两种方法测量某电源的电动势和内阻(约为  $1 \Omega$ ),其中  $R$  为电阻箱,电流表的内阻约为  $0.1 \Omega$ ,电压表的内阻约为  $3 \text{ k}\Omega$ 。

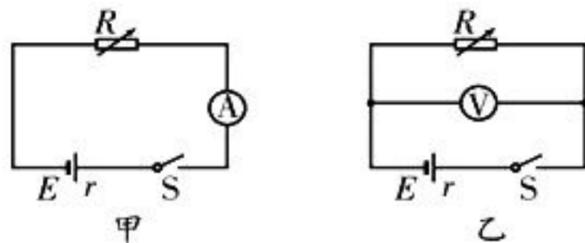


图10

(1)利用图10中甲实验电路测电源的电动势  $E$  和内阻  $r$ ,所测量的实际上是图11中虚线框内所示“等效电源”的电动势  $E'$  和内阻  $r'$ 。若电流表的内阻用  $R_A$  表示,请你用  $E$ 、 $r$  和  $R_A$  表示出  $E'$ 、 $r'$ ,并简要说明理由。

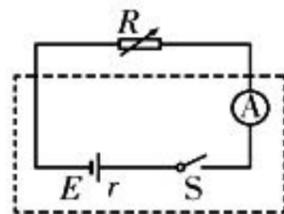


图11

(2)某同学利用图像分析甲、乙两种方法中由电表内阻引起的实验误差。在图12中,实线是根据实验数据(图甲:  $U=IR$ ,图乙:  $I = \frac{U}{R}$ )描点作图得到的  $U-I$  图像;虚线是该电源的路端电压  $U$  随电流  $I$  变化的  $U-I$  图像(没有电表内阻影响的理想情况)。在图12中,对应图甲电路分析的  $U-I$  图像是\_\_\_\_,对应图乙电路分析的  $U-I$  图像是\_\_\_\_。

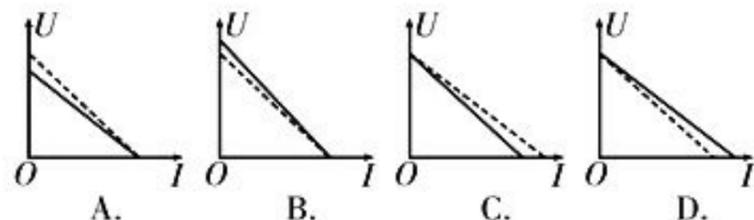


图12

(3)综合上述分析,为了减小由电表内阻引起的实验误差,本实验应选择图 10 中的\_\_\_\_\_。

**解析:**(1)将电源和电流表视为等效电源,根据电路知识可知,等效电源的电动势  $E' = E$ ,等效电源的内阻  $r' = r + R_A$ 。

(2)甲图中,考虑电表内阻时,根据闭合电路欧姆定律得  $E = U_{路} + Ir_{内} = U + I(r + R_A)$ ,整理后得  $U = -(r + R_A)I + E$ 。不考虑电表内阻影响的理想情况下  $U = -rI + E$ 。对比两表达式可知,二者对应图像的纵轴截距都为电源电动势  $E$ ,实线对应的斜率大小为  $r + R_A$ ,虚线对应的斜率大小为  $r$ 。因此对应图甲电路分析的  $U-I$  图像是 C。

乙图中,考虑电表内阻时,根据闭合电路欧姆定律得  $E = U_{路} + Ir_{内} = U + \left(I + \frac{U}{R_V}\right)r = U + Ir + U \frac{r}{R_V}$ ,整理后得  $U = -\frac{R_V r}{R_V + r}I + \frac{R_V}{R_V + r}E$ 。不考虑电表内阻影响的理想情况下得  $U = -rI + E$ 。对比两表达式可知,实线对应的斜率大小为  $\frac{R_V r}{R_V + r}$ ,虚线对应的斜率大小为  $r$ ,实线对应的纵轴截距为  $\frac{R_V}{R_V + r}E$ ,虚线对应的纵轴截距为  $E$ ,且二者对应图像在  $U = 0$  时的短路电流都为  $I_{短} = \frac{E}{r}$ 。因此对应图乙电路分析的  $U-I$  图像是 A。

(3)采用图甲电路完成实验,虽然能准确测出电源电动势,但电流表的分压作用较为明显,测量内阻的误差较大;采用图乙电路完成实验,虽然测出的电动势和内阻都偏小,但电压表的内阻很大,分流作用不明显,测出的电动势和内阻误差都较小。因此选择图乙完成实验可以减小由电表内阻引起的实验误差。

**答案:**(1)将电源和电流表视为等效电源,则等效电源的电动势  $E' = E$ ,等效电源的内阻  $r' = r + R_A$ 。(2)C A (3)乙

### 五、提能力——提高灵活设计实验的能力

电学设计型实验题以考查设计电路为主,对同学们的实验能力、迁移能力和创新能

力的要求较高。解答电学设计型实验题时,要注意从实验目的和提供的实验器材出发,结合相关物理规律,应用积累的实验方法,合理确定实验方案。

设计电路时,应遵循四个原则:

(1)安全原则,电表示数不超过其量程,用电器能够处于正常工作状态。

(2)准确原则,采用适当的实验电路,选取合适的器材,选择合适的电表量程等,尽量减小实验误差。

(3)方便原则,在实验误差允许的范围内,尽可能使实验操作简捷方便。

(4)经济原则,在实验条件允许的情况下,尽可能采用能耗小的实验电路。

**例 6** 在“测定导体的电阻率”实验中,待测金属导线的电阻  $R_x$  约为  $5 \Omega$ 。实验室备有下列实验器材:

- A. 电压表  $V_1$  (量程为  $3 \text{ V}$ ,内阻约为  $15 \text{ k}\Omega$ )
- B. 电压表  $V_2$  (量程为  $15 \text{ V}$ ,内阻约为  $75 \text{ k}\Omega$ )
- C. 电流表  $A_1$  (量程为  $3 \text{ A}$ ,内阻约为  $0.2 \Omega$ )
- D. 电流表  $A_2$  (量程为  $0.6 \text{ A}$ ,内阻约为  $1 \Omega$ )
- E. 滑动变阻器  $R_1$  (最大阻值为  $100 \Omega$ ,额定电流为  $0.3 \text{ A}$ )
- F. 滑动变阻器  $R_2$  (最大阻值为  $2\,000 \Omega$ ,额定电流为  $0.1 \text{ A}$ )
- G. 电池  $E$  (电动势为  $3 \text{ V}$ ,内阻约为  $0.3 \Omega$ )
- H. 开关  $S$ ,导线若干

(1)为了提高实验精确度,减小实验误差,应选用的实验器材有\_\_\_\_\_。(填器材前的字母编号)

(2)为了完成实验,请画出你设计的电路图,并按设计的电路图把图 13 中的实物图用笔画线代替导线连接起来。



图 13



# 破解物理计算题的

## 方法与技巧

山西省介休市第一中学 石有山

教育部考试中心自2020年起,不再制定普通高等学校招生全国统一考试大纲。在后考纲时代,新课程背景下,课程标准和近几年的高考试题就是高考命题的依据。在近几年的高考试卷中,物理计算题的情境性命题增多,“无情境不命题”成为常态,试题综合性强,难度大,建模要求高,数学运算量大,再加上高考考场的紧张氛围和时间限制使得很多考生根本做不到冷静地去分析,更谈不上快速准确得到答案。要想成功破解物理计算题首先要明晰问题的本质,即所有的大题或难题,看似繁杂凌乱,很难理出头绪,实则都是一些基本现象和知识的叠加,只要按部就班地逐层分析,找到问题的切入口,就可以顺利求解。下面举例说明,供同学们参考。

### 一、力学中的多物体或多过程型问题

力学综合试题往往呈现出研究对象的多

体性、物理过程的复杂性、已知条件的隐含性、问题讨论的多样性、数学方法应用的技巧性等特点,对考生的理解能力和推理能力的要求较高。

**例 1** 如图 1 所示,一质量  $M=2\text{ kg}$  的长方体空木箱在水平拉力  $F$  作用下向右做加速直线运动。木箱与水平地面之间的动摩擦因数  $\mu_1=0.7$ ,木箱内有一质量  $m=1\text{ kg}$  的铁块恰好能静止在后壁上,铁块与木箱之间的动摩擦因数  $\mu_2=0.5$ 。运动一段时间后减小拉力且木箱仍做加速运动,铁块沿木箱后壁落到底部不反弹。当木箱的速度  $v_0=4\text{ m/s}$  时撤去拉力,最终铁块恰好没有与木箱的前壁相碰。假设最大静摩擦力等于滑动摩擦力,取重力加速度  $g=10\text{ m/s}^2$ ,求:

- (1)木箱开始运动时拉力  $F$  的大小。
- (2)木箱的长度。

**解析:**(1)因为电源的电动势为  $3\text{ V}$ ,所以加在待测金属导线两端的电压不会超过  $3\text{ V}$ ,为了减小读数误差,电压表应选用  $V_1$ ;估算通过待测金属导线的最大电流  $I_{\text{max}} = \frac{U}{R_x} = \frac{3}{5}\text{ A} = 600\text{ mA}$ ,因此电流表应选用  $A_2$ ;考虑到待测金属导线的电阻  $R_x$  约为  $5\ \Omega$ ,滑动变阻器  $R_1$  已能保证电路安全。

(2)因为  $\frac{R_V}{R_x} = \frac{15\ 000}{5} = 3\ 000, \frac{R_x}{R_A} = \frac{5}{1} = 5$ ,满足  $R_V \gg R_x$  的条件,所以应采用电流表外接法。为了方便调节,滑动变阻器应采用限流式接法。

**答案:**(1)A、D、E、G、H (2)实验电路图

如图 14 所示,实物图连线如图 15 所示。

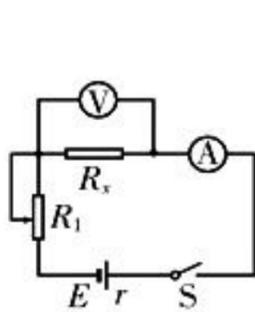


图 14

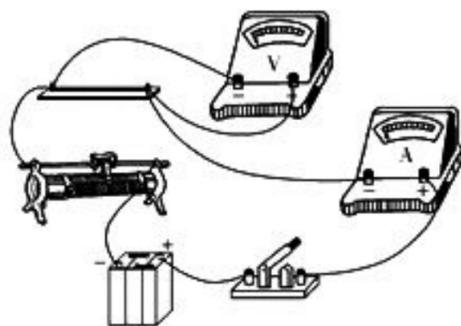


图 15

总之,在电学实验复习过程中,只有抓住伏安法测电阻这个核心,理解实验原理,提高实验技能,增强数学能力,提升设计水平,我们才能在高考考场上大显身手、满载而归。

(责任编辑 张 巧)

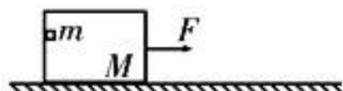


图1

**过程分解:**过程一,木箱与铁块的加速度足够大时,木箱后壁对铁块的弹力足够大,木箱与铁块相对静止,一起向右加速;过程二,木箱与铁块的加速度较小时,木箱后壁对铁块的弹力较小,铁块沿后壁下滑;过程三,撤去拉力后,木箱与铁块之间的动摩擦因数较小,木箱与水平地面之间的动摩擦因数较大,木箱与铁块在水平方向上发生相对滑动。

**解析:**(1)选铁块为研究对象,铁块恰好能静止在木箱后壁上,说明铁块在竖直方向上受力平衡,根据平衡条件得  $mg = \mu_2 N$ ,在水平方向上,根据牛顿第二定律得  $N = ma$ 。选由木箱和铁块组成的整体为研究对象,根据牛顿第二定律得  $F - \mu_1(M+m)g = (M+m)a$ 。联立以上各式解得  $F = 81 \text{ N}$ 。

(2)撤去拉力后,铁块相对木箱滑动,根据牛顿第二定律,对铁块有  $\mu_2 mg = ma_1$ ,对木箱有  $\mu_1(M+m)g - \mu_2 mg = Ma_2$ 。根据运动学公式可得,铁块的位移  $x_1 = \frac{v_0^2}{2a_1}$ ,木箱的位移  $x_2 = \frac{v_0^2}{2a_2}$ ,木箱的长度  $L = x_1 - x_2$ 。联立以上各式解得  $L = 0.6 \text{ m}$ 。

**点评:**本题属于板块模型,对木箱和铁块进行正确的受力分析和运动分析是前提,挖掘铁块恰好能静止在木箱后壁上的隐含条件,充分考虑木箱和铁块的相对运动关系,利用平衡条件、运动学公式、牛顿第二定律等列式,解方程组,即可顺利求得相关物理量。

## 二、力学中的多规律应用型问题

### 1. 解动力学问题的三个基本观点:

(1)力的观点,运用牛顿运动定律结合运动学知识,可处理匀变速运动问题。

(2)能量观点,运用动能定理和能量守恒定律,可处理非匀变速运动问题。

(3)动量观点,运用动量定理和动量守恒定律,可处理非匀变速运动问题。

### 2. 力学规律的选用原则:

(1)要列出各物理量在某一时刻的关系

式,可运用牛顿第二定律。

(2)研究某一物体受到力的持续作用而发生运动状态改变时,一般运用动量定理(涉及时间的问题)或动能定理(涉及位移的问题)列式求解。

(3)若研究的对象为一物体系统,且它们之间有相互作用,则一般运用动量守恒定律或机械能守恒定律列式求解,但需注意所研究的问题是否满足守恒的条件。

(4)研究涉及相对位移的问题时,优先考虑运用能量守恒定律,根据系统克服摩擦力所做的总功等于系统机械能的减少量(转变为系统内能的量)列式求解。

(5)研究涉及碰撞、爆炸、打击、绳绷紧等(作用时间极短)物理现象的问题时,需注意这些过程中隐含的系统机械能与其他形式能量之间的转换关系,运用动量守恒定律列式求解。

**例2** 如图2所示,高  $h = 0.2 \text{ m}$  的平板  $C$  右端固定有竖直挡板,置于水平面上,平板上放置两小物块  $A$ 、 $B$ , $A$ 、 $B$  两物块之间有一被压缩的劲度系数足够大的轻弹簧(弹簧与两物块不拴接),物块  $A$  置于平板左端,物块  $B$  与平板  $C$  右端挡板之间的距离  $L = 1.5 \text{ m}$ , $A$ 、 $B$ 、 $C$  三者的质量均为  $m = 1 \text{ kg}$ 。某时刻,将压缩的弹簧由静止释放,使  $A$ 、 $B$  两物块瞬间分离,物块  $A$  水平向左抛出,落地时距离平板  $C$  左端的距离  $x = 1 \text{ m}$ ,物块  $B$  运动到平板  $C$  右端与挡板发生弹性碰撞。已知物块  $B$  与平板  $C$ 、平板  $C$  与水平面之间的动摩擦因数均为  $\mu = 0.3$ ,取重力加速度  $g = 10 \text{ m/s}^2$ ,求:

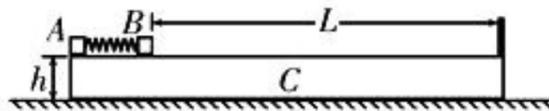


图2

(1)弹簧释放前瞬间的弹性势能  $E_p$ 。

(2)物块  $B$  与平板  $C$  右端挡板发生弹性碰撞后瞬间,平板  $C$  的速度大小  $v_c$ 。

(3)整个过程中平板  $C$  滑动的距离  $s$ 。

**过程分解:**过程一,释放弹簧, $A$ 、 $B$  两物块瞬间分离,弹簧的弹性势能转化为  $A$ 、 $B$  两

物块的动能,因为弹簧的劲度系数足够大,所以物块 B 在这个过程中没有发生位移;过程二,物块 A 做平抛运动,物块 B 在平板 C 上表面滑动,平板 C 没有滑动;过程三,物块 B 和平板 C 右端挡板碰撞,物块 B 和平板 C 交换速度;过程四,物块 B 与平板 C 右端挡板碰撞后,平板 C 向右做匀减速直线运动,物块 B 向右做初速度为零的匀加速直线运动,直到物块 B 和平板 C 的速度相同;过程五,物块 B 与平板 C 共同做匀减速直线运动到速度减小为零。

**解析:**(1)在释放弹簧的过程中,由 A、B 两物块和弹簧组成的系统动量守恒,能量也守恒。设 A、B 两物块分离瞬间的速度大小分别为  $v_A$ 、 $v_B$ ,以向右为正方向,根据动量守恒定律得  $mv_B - mv_A = 0$ ,根据能量守恒定律得  $E_p = \frac{1}{2}mv_A^2 + \frac{1}{2}mv_B^2$ 。A、B 两物块分离后,物块 A 做平抛运动,物块 B 向右做匀减速直线运动。因为物块 B 与平板 C 之间的滑动摩擦力  $f = \mu mg$ ,平板 C 与地面之间的最大静摩擦力  $f' = \mu \cdot 2mg = 2\mu mg > f$ ,所以物块 B 在平板 C 上滑动时平板 C 静止不动。设物块 A 做平抛运动的时间为  $t$ ,则  $x = v_A t$ ,  $h = \frac{1}{2}gt^2$ ,解得  $v_A = 5 \text{ m/s}$ 。联立以上各式解得  $E_p = 25 \text{ J}$ 。

(2)A、B 两物块分离后,物块 B 在平板 C 上表面向右做匀减速直线运动,平板 C 静止不动。设物块 B 与平板 C 右端挡板碰撞前瞬间,物块 B 的速度为  $v_{B1}$ ,根据动能定理得  $-\mu mgL = \frac{1}{2}mv_{B1}^2 - \frac{1}{2}mv_B^2$ ,解得  $v_{B1} = 4 \text{ m/s}$ 。物块 B 与平板 C 右端挡板发生弹性碰撞,碰撞过程中系统的动量守恒,机械能也守恒。设碰撞后瞬间物块 B 的速度大小为  $v_{B2}$ ,以向右为正方向,根据动量守恒定律得  $mv_{B1} = mv_{B2} + mv_C$ ,根据机械能守恒定律得  $\frac{1}{2}mv_{B1}^2 = \frac{1}{2}mv_{B2}^2 + \frac{1}{2}mv_C^2$ ,解得  $v_{B2} = 0$ ,  $v_C = 4 \text{ m/s}$ 。

(3)物块 B 与平板 C 右端挡板碰撞后,平板 C 向右做匀减速直线运动,物块 B 向右

做初速度为零的匀加速直线运动。设物块 B 的加速度大小为  $a_B$ ,平板 C 的加速度大小为  $a_C$ ,根据牛顿第二定律,对物块 B 有  $\mu mg = ma_B$ ,对平板 C 有  $\mu mg + \mu(m+m)g = ma_C$ ,解得  $a_B = 3 \text{ m/s}^2$ ,  $a_C = 9 \text{ m/s}^2$ 。设经过时间  $t_1$ ,物块 B 与平板 C 达到共同速度  $v$ ,则  $v = a_B t_1 = v_C - a_C t_1$ ,解得  $v = 1 \text{ m/s}$ ,  $t_1 = \frac{1}{3} \text{ s}$ 。在这个过程中平板 C 向右滑行的距离  $s_1 = \frac{v_C + v}{2} t_1 = \frac{5}{6} \text{ m}$ 。物块 B 与平板 C 达到共同速度  $v$  后,二者相对静止,一起做匀减速直线运动直到速度减小为零。设物块 B 与平板 C 共同做匀减速直线运动到速度减小为零滑行的距离为  $s_2$ ,根据动能定理得  $-\mu(m+m)gs_2 = 0 - \frac{1}{2}(m+m)v^2$ ,解得  $s_2 = \frac{1}{6} \text{ m}$ 。因此整个过程中平板 C 滑行的距离  $s = s_1 + s_2 = 1 \text{ m}$ 。

**点评:**求解本题综合应用了解动力学问题的三个基本观点。在 A、B 两物块瞬间分离的过程中,系统的动量守恒,用动量守恒定律列式求解;在物块 A 做平抛运动的过程中,用平抛运动规律列式求解;在物块 B 在木板 C 上做匀减速直线运动的过程中,用动能定理列式求解;在物块 B 与平板 C 右端挡板发生弹性碰撞的过程中,用碰撞模型规律列式求解;在物块 B 与平板 C 右端挡板碰撞后的过程中,用牛顿第二定律列式求解。

### 三、磁场和电场中的粒子运动型问题

粒子运动型计算题大致可以分为两类,一是粒子依次进入不同的有界场区域运动,二是粒子进入复合场区域运动。近几年来高考试题对这一类型计算题的考查重点是通过受力情况和运动情况分析,结合功能关系求解粒子运动的周期、半径、速度、临界值等物理量。

**例 3** 如图 3 所示,在竖直平面内建立直角坐标系  $xOy$ ,以  $O_1(0, R)$  为圆心,  $R$  为半径的圆形区域内分布着垂直于  $xOy$  平面向里的匀强磁场,磁感应强度用  $B_1$  表示,大小未知; $x$  轴下方有一直线 MN,直线 MN 与

$x$  轴相距  $\Delta y$ ,  $x$  轴与直线  $MN$  间区域内分布着平行于  $y$  轴的匀强电场(图中未画出), 电场强度用  $E$  表示, 方向未知; 在直线  $MN$  下方矩形区域内分布着垂直于  $xOy$  平面向外的匀强磁场, 磁感应强度为  $B_2$ 。电子  $a$ 、 $b$  以平行于  $x$  轴的速度  $v_0$  分别正对  $O_1$  点、 $A(0, 2R)$  点射入圆形磁场区域, 经磁场偏转后都经过原点  $O$  进入  $x$  轴下方的电场区域。已知电子的质量为  $m$ , 电荷量为  $e$ , 电场强度  $E = \frac{\sqrt{3}mv_0^2}{2eR}$ , 磁感应强度  $B_2 = \frac{\sqrt{3}mv_0}{2eR}$ , 不计电子自身重力。

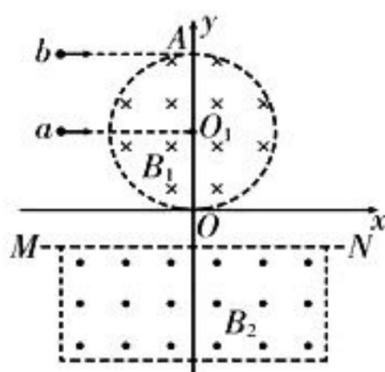


图3

(1) 求磁感应强度  $B_1$  的大小。

(2) 若电场沿  $y$  轴负方向, 则欲使电子  $a$  不能到达直线  $MN$ , 求  $\Delta y$  的最小值。

(3) 若电场沿  $y$  轴正方向, 且  $\Delta y = \sqrt{3}R$ , 调整矩形磁场面积到最小, 使电子  $b$  能到达  $x$  轴上且距原点  $O$  最远的  $P$  点(图中未标出), 求电子  $b$  从  $O$  点运动到  $P$  点所用的总时间。

**过程分解:** 过程一,  $a$ 、 $b$  两电子在圆形磁场中做匀速圆周运动, 属于磁聚焦模型; 过程二, 电子  $a$  在匀强电场中做匀减速直线运动, 属于匀变速直线运动模型; 过程三, 电子  $b$  在匀强电场中做类平抛运动, 在矩形磁场中做圆周运动, 在离开矩形磁场后做匀速直线运动, 在再次进入匀强电场后做斜抛运动。

**解析:** (1)  $a$ 、 $b$  两电子射入圆形匀强磁场区域后做匀速圆周运动, 运动轨迹半径大小相等, 设为  $r$ , 电子  $a$  正对  $O_1$  点射入圆形匀强磁场区域后, 经过  $O$  点进入  $x$  轴下方的匀强电场区域, 则  $r = R$ ,  $ev_0B_1 = m\frac{v_0^2}{r}$ , 解得  $B_1 = \frac{mv_0}{eR}$ 。

(2) 匀强电场沿  $y$  轴负方向, 电子  $a$  从  $O$  点沿  $y$  轴负方向进入电场后做匀减速直线运动, 根据动能定理得  $eE\Delta y_{\min} = \frac{1}{2}mv_0^2$ , 解得

$$\Delta y_{\min} = \frac{\sqrt{3}}{3}R。$$

(3) 匀强电场沿  $y$  轴正方向, 电子  $b$  从  $O$  点进入电场后做类平抛运动, 离开电场进入直线  $MN$  下方矩形匀强磁场区域中做匀速圆周运动, 当电子  $b$  从矩形磁场右边界射出时, 能够到达  $x$  轴上距离原点  $O$  最远的  $P$  点, 如图4所示。

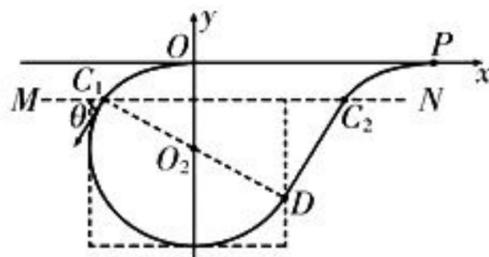


图4

设电子  $b$  经电场加速后到达直线  $MN$  时的速度大小为  $v$ , 速度方向与水平方向成  $\theta$  角, 电子  $b$  在直线  $MN$  下方矩形磁场区域中做匀速圆周运动的轨迹半径为  $r_1$ , 根据动能定理得  $eE\Delta y = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$ , 且  $\cos \theta = \frac{v_0}{v}$ , 根据洛伦兹力提供向心力得  $evB_2 = m\frac{v^2}{r_1}$ , 解得  $v = 2v_0$ ,  $\theta = 60^\circ$ ,  $r_1 = \frac{4\sqrt{3}}{3}R$ 。根据几何关系可知, 电子  $b$  在直线  $MN$  下方矩形磁场中做圆周运动的轨迹圆圆心  $O_2$  在  $y$  轴上, 当电子  $b$  从矩形磁场右边界射出时, 出射方向与水平方向间的夹角等于  $60^\circ$ 。电子  $b$  在电场中从  $O$  点运动到  $C_1$  点的过程中, 加速度  $a_1 = \frac{eE}{m}$ ,  $\Delta y = \frac{1}{2}a_1t_1^2$ , 解得  $t_1 = \frac{2R}{v_0}$ 。电子  $b$  在面积最小的矩形磁场中运动的过程中有  $vt_2 = \pi r_1$ , 解得  $t_2 = \frac{2\sqrt{3}\pi R}{3v_0}$ 。电子  $b$  离开矩形磁场后从  $D$  点运动到直线  $MN$  上的  $C_2$  点的过程中有  $vt_3 = \frac{2r_1}{\tan \theta}$ , 解得  $t_3 = \frac{4R}{3v_0}$ 。电子  $b$  返回电场中从  $C_2$  点运动到  $P$  点的过程中有  $t_4 = t_1 = \frac{2R}{v_0}$ 。因此电子  $b$  从  $O$  点运动到

$$P \text{ 点所用的总时间 } t = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 = \frac{(16 + 2\sqrt{3}\pi)R}{3v_0}.$$

点评:掌握磁聚焦和磁发散模型规律是解决本题的关键。磁聚焦是指当电性相同的带电粒子平行射入圆形有界匀强磁场时,若轨迹半径与磁场半径相等,则粒子从磁场边界上同一点射出,该点切线与入射方向平行。磁发散是指当电性相同的带电粒子从圆形有界匀强磁场边界上同一点射入时,若轨迹半径与磁场半径相等,则粒子出射方向与入射点的切线方向平行。磁聚焦和磁发散模型的示意图如图5所示。

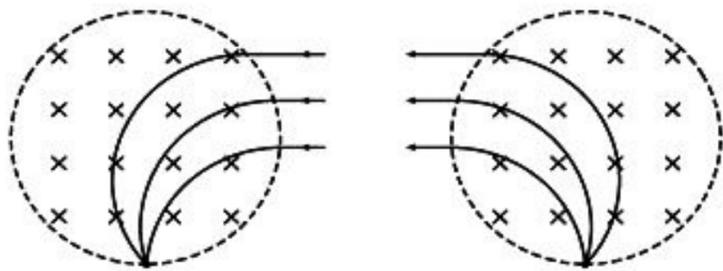


图5

#### 四、电磁感应型问题

涉及电磁感应现象的计算题主要考查电磁感应现象与直流电路、能量转化、动量等的综合。解决这类问题的基本思路:用法拉第电磁感应定律或楞次定律求感应电动势的大小和方向→根据闭合电路欧姆定律求闭合电路中的感应电流→分析导体的受力情况→根据平衡条件或牛顿第二定律列式求解。

**例4** 如图6所示,间距  $l=1\text{ m}$  的平行光滑金属导轨  $AB$ 、 $A'B'$  与水平面间的夹角  $\alpha=30^\circ$ ,在  $A$ 、 $A'$  端接有阻值  $R=0.3\ \Omega$  的定值电阻,在  $B$ 、 $B'$  端通过光滑圆弧绝缘件连接平行光滑金属导轨  $BCD$ 、 $B'C'D'$ ,其中轨道  $BC$ 、 $B'C'$  间的距离为  $l$ ,轨道  $CD$ 、 $C'D'$  (左端略伸出) 间的距离为  $\frac{l}{2}$ ,在  $D$ 、 $D'$  端通过不光滑的圆弧绝缘件连接足够长的平行光滑倾斜金属导轨  $DE$ 、 $D'E'$ ,倾斜导轨与水平面间的夹角  $\beta=30^\circ$ ,间距为  $l'$ 。在  $E$ 、 $E'$  端接有电容为  $C_0$  的电容器。所有导轨之间的区域内均分布着垂直于轨道平面向上的磁场,  $AA'$  连线和金属棒  $a$  之间磁场的磁感应强度  $B_1$  随时间  $t$  变化的规律如图7所示,其他导

轨之间磁场的磁感应强度  $B_2 = B_3 = \frac{1}{2}\text{ T}$ 。

金属棒  $a$ 、 $b$  的质量均为  $m=0.1\text{ kg}$ ,长度均为  $l$ ,阻值均为  $r=0.2\ \Omega$ ;金属棒  $c$  的质量为  $m_c$ ,电阻不计。初始状态下,金属棒  $b$  被锁定在  $C$ 、 $C'$  处,金属棒  $c$  静止在  $D$ 、 $D'$  处的绝缘件边缘处,金属棒  $a$  到  $AA'$  连线的距离为  $l$ ,并刚好在磁感应强度为  $B_2$  的磁场边界处保持静止。当磁感应强度  $B_1$  不再变化时,金属棒  $a$  开始下滑,经过时间  $t_1=1\text{ s}$ ,其速度达最大,匀速通过  $BB'$  连线,且当金属棒  $a$  经过  $BB'$  连线时解除金属棒  $b$  的锁定,之后金属棒  $a$ 、 $b$  在各自导轨上运动足够长时间。当金属棒  $a$  运动到  $CC'$  连线处与两固定在  $C$ 、 $C'$  处的金属立柱相撞并粘在一起时,金属棒  $b$  滑上绝缘件边缘与金属棒  $c$  相碰,并以碰前速度的一半返回,金属棒  $c$  恰能通过  $DD'$  连线处的绝缘件滑上导轨  $DE$ 、 $D'E'$ 。三根金属棒始终保持与导轨垂直且接触良好,不计其他电阻,除  $D$ 、 $D'$  处绝缘件外不计其他所有摩擦,忽略各金属棒通过连接处时的能量损失,取重力加速度  $g=10\text{ m/s}^2$ 。求:

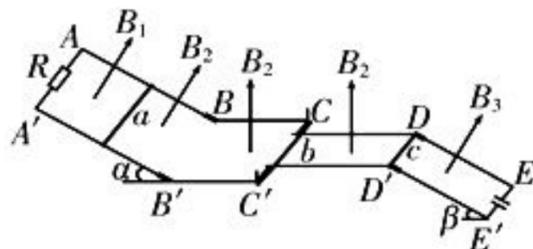


图6

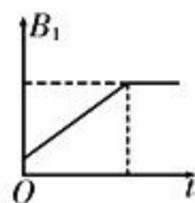


图7

(1)磁感应强度  $B_1$  随时间  $t$  的变化率  $\frac{\Delta B_1}{\Delta t}$ 。

(2)金属棒  $a$  在时间  $t_1$  内通过的位移和滑上水平导轨后金属棒  $a$  中产生的焦耳热。

(3)金属棒  $c$  下滑时间  $t_2$  内电容器储存的电能。(用题中所给字母表示)

**过程分解:**过程一,金属棒  $a$  在感生磁场的作用下保持静止状态,属于受力平衡问题;过程二,金属棒  $a$  在倾斜导轨上下滑时做加速度逐渐减小的加速运动;过程三,金属棒  $a$ 、 $b$  在水平导轨上经过足够长时间的运动达到稳定状态,具有相同大小的速度;过程四,金属棒  $a$  运动到  $CC'$  连线处与两固定在  $C$ 、

$C'$ 处的金属立柱相撞并粘在一起后,金属棒  $b$  以碰前速度的一半返回,直至速度减小为零;过程五,金属棒  $c$  在倾斜导轨上做初速度为零的匀加速直线运动。

**解析:**(1)金属棒  $a$  在磁感应强度为  $B_2$  的磁场边缘保持静止时,根据平衡条件得  $mg \sin \alpha = B_2 Il$ 。根据闭合电路欧姆定律得  $I = \frac{E}{R+r} = \frac{kl^2}{R+r}$ ,其中  $k = \frac{\Delta B_1}{\Delta t}$ ,解得  $\frac{\Delta B_1}{\Delta t} = \frac{1}{2} \text{ T/s}$ 。

(2)金属棒  $a$  在导轨  $AB$ 、 $A'B'$  之间磁感应强度为  $B_2$  的磁场中达最大速度  $v_0$  后做匀速运动的过程中,根据法拉第电磁感应定律得  $E = B_2 lv_0$ ,金属棒  $a$  中的感应电流  $I = \frac{E}{R+r}$ ,金属棒  $a$  受到的安培力  $F_{安} = B_2 Il = \frac{B_2^2 l^2 v_0}{R+r}$ ,根据平衡条件得  $F_{安} = mg \sin \alpha$ ,解得  $v_0 = 1 \text{ m/s}$ 。对金属棒  $a$  应用动量定理得  $mg \sin \alpha \cdot t_1 - B_2 \bar{I} t_1 = mv_0 - 0$ ,又有  $q = \bar{I} t = \frac{B_2 l x}{R+r}$ ,解得  $x = 0.8 \text{ m}$ 。金属棒  $a$ 、 $b$  在各自导轨上运动足够长时间,达到稳定状态时满足  $B_2 l v_1 = B_2 \frac{l}{2} v_2$ ,根据动量定理得  $-B_2 \bar{I} t_1 = mv_1 - mv_0$ ,  $B_2 I \frac{l}{2} t_1 = mv_2$ ,解得  $v_1 = 0.2 \text{ m/s}$ ,  $v_2 = 0.4 \text{ m/s}$ ;根据能量守恒定律得回路中产生的焦耳热总量  $Q_{1\text{总}} = \frac{1}{2} mv_0^2 - \frac{1}{2} mv_1^2 - \frac{1}{2} mv_2^2 = \frac{1}{25} \text{ J}$ ,金属棒  $a$  中产生的焦耳热  $Q_{1a} = \frac{2}{3} Q_{1\text{总}} = \frac{2}{75} \text{ J}$ 。金属棒  $b$  与  $c$  碰后,速度变为  $\frac{v_2}{2}$ ,根据能量守恒定律得回路中产生的焦耳热总量  $Q_{2\text{总}} = \frac{1}{2} m \left(\frac{v_2}{2}\right)^2 = \frac{1}{500} \text{ J}$ ,金属棒  $a$  中产生的焦耳热  $Q_{2a} = \frac{Q_{2\text{总}}}{2} = \frac{1}{1000} \text{ J}$ 。因此金属棒  $a$  滑上水平导轨后产生的焦耳热  $Q_a = Q_{1a} + Q_{2a} = 0.0267 \text{ J}$ 。

(3)金属棒  $c$  在倾斜导轨上做初速度为零的匀加速直线运动,根据牛顿第二定律得  $m_c g \sin \beta - B_3 Il' = m_c a_c$ 。根据  $q = C_0 U = C_0 B_3 l' v$  可知,经过极短时间  $\Delta t$ ,  $\Delta q = C_0 B_3 l' \Delta v$ ,  $I = \frac{\Delta q}{\Delta t} = C_0 B_3 l' a_c$ ,解得  $a_c = \frac{m_c g \sin \beta}{m_c + C_0 B_3^2 l'^2}$ 。设经过时间  $t_2$  金属棒  $c$  的速度为  $v$ ,根据运动学公式得  $v = a_c t_2$ ,  $x = \frac{1}{2} a_c t_2^2$ ,电容器储存的电能  $E = m_c g \sin \beta \cdot x - \frac{1}{2} m_c v^2$ ,联立以上各式解得  $E = \frac{C_0 B_3^2 l'^2 (m_c g \sin \beta)^2 t_2^2}{2(m_c + C_0 B_3^2 l'^2)}$ 。

**点评:**求解本题需要灵活应用两个基本模型遵循的物理规律。一是利用电荷量为纽带,求解金属棒  $a$  在匀强磁场中切割磁感线产生的位移;二是利用微元法,求解金属棒  $c$  在含电容器的电路做匀加速直线运动时的加速度。



### 备考建议

一道综合性物理计算题的研究对象往往是不唯一的,研究过程也时常不是单一的,只有确定研究对象,并将整个运动过程分解成一个一个的子过程,把每个子过程的问题解决了,那么整个运动过程的问题也就自然得以解决了。求解综合性物理计算题需要抓住以下几个关键点:

1. 抓模型:牢记每一个基础物理模型的特征,熟练掌握适用的规律和方法。
2. 转情境:对具体的物理情境进行受力分析和运动分析,把问题情境转化为基础的物理模型。
3. 找关联:找出不用物理模型之间的连接点,注意速度的变化,加速度的变化,电阻的变化等细节问题。
4. 用规律:对于每一个子过程,找到最简洁的求解方法,利用力的观点、能量的观点或动量的观点分析求解。

(责任编辑 张 巧)



# 电阻测量的两种特殊方法赏析

■山东省青州第一中学 赵世渭

电阻的测量是历年高考电学实验中考查次数较多的实验之一,这类实验试题的形式多样,方法灵活,除了最常用的伏安法测电阻,还有半偏法和等效替代法这两种特殊的测量方法较为常见。

## 一、半偏法测电阻

### 1. 半偏法测电流表内阻。

(1)测量方法:①如图1所示,断开开关 $S_2$ ,闭合开关 $S_1$ ,移动滑动变阻器 $R_1$ 的滑片使变阻器接入电路的阻值从最大逐渐变小,使电流表读数等于其量程 $I_{\max}$ ;②保持滑动变阻器 $R_1$ 的滑片位置不变,闭合开关 $S_2$ ,将电阻箱 $R_2$ 的阻值从最大逐渐调小,当电流表读数等于 $\frac{I_{\max}}{2}$ 时,记录下电阻箱 $R_2$ 的阻值,则电流表的内阻等于此时电阻箱 $R_2$ 的阻值。

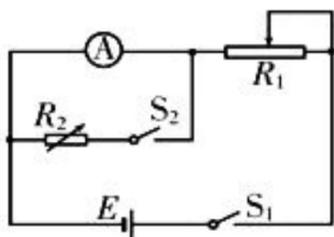


图1

(2)误差分析:当闭合开关 $S_2$ 时,电路总电阻减小,总电流增大,大于原电流表的满偏电流,而此时电流表半偏,因此流经电阻箱 $R_2$ 的电流比流经电流表所在支路的电流稍大,电阻箱 $R_2$ 的阻值比电流表的内阻稍小。我们把此时电阻箱 $R_2$ 的读数当成电流表的内阻,故测得的电流表的内阻偏小,即 $R_{A\text{测}} < R_{A\text{真}}$ 。

### 2. 半偏法测电压表内阻。

(1)测量方法:①如图2所示,将电阻箱 $R_2$ 的阻值调为零,闭合开关 $S$ ,调节滑动变阻器 $R_1$ 的滑片,使电压表读数等于其量程 $U_{\max}$ ;②保持滑动变阻器 $R_1$ 的滑片位置不变,调节电阻箱 $R_2$ ,当电压表读数等于 $\frac{U_{\max}}{2}$

时,记录下电阻箱 $R_2$ 的阻值,则电压表的内阻等于此时电阻箱 $R_2$ 的阻值。

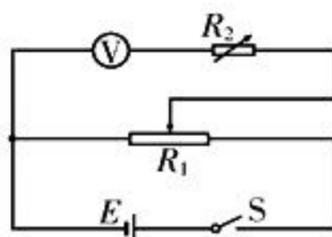


图2

(2)误差分析:当电阻箱 $R_2$ 的阻值由零逐渐增大时,电阻箱 $R_2$ 与电压表两端的总电压也将逐渐增大,因此当电压表读数等于 $\frac{U_{\max}}{2}$ 时,电阻箱 $R_2$ 两端的电压将稍大于 $\frac{U_{\max}}{2}$ ,使得此时电阻箱 $R_2$ 的阻值稍大于电压表的内阻,故测得的电压表的内阻偏大,即 $R_{V\text{测}} > R_{V\text{真}}$ 。

**例1** 热敏电阻是传感器中经常使用的电路元件,某学习小组要探究一热敏电阻的阻值随温度变化的规律,实验室可供选择的器材有:待测热敏电阻 $R_t$ (实验温度范围内,阻值约为几百欧到几千欧),电源 $E$ (电动势为1.5 V,内阻 $r$ 约为 $0.5 \Omega$ ),电阻箱 $R$ (阻值范围为 $0 \sim 9\,999.99 \Omega$ ),滑动变阻器 $R_1$ (最大阻值为 $20 \Omega$ ),滑动变阻器 $R_2$ (最大阻值为 $2\,000 \Omega$ ),微安表(量程为 $100 \mu\text{A}$ ,内阻为 $2\,500 \Omega$ ),开关两个,温控装置一套,导线若干。

同学们设计了如图3所示的测量电路,主要实验步骤如下:①按图示连接电路;②闭合开关 $S_1$ 、 $S_2$ ,调节滑动变阻器滑片 $P$ 的位置,使微安表指针满偏;③保持滑动变阻器滑片 $P$ 的位置不变,断开开关 $S_2$ ,调节电阻箱,使微安表指针半偏;④记录此时的温度和电阻箱的阻值。

回答下列问题:

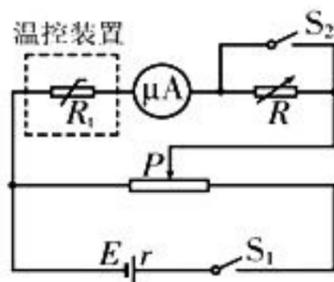


图3

(1) 为了更准确地测量热敏电阻的阻值, 滑动变阻器应选用\_\_\_\_(选填“ $R_1$ ”或“ $R_2$ ”)。

(2) 某温度下微安表半偏时, 电阻箱的读数为  $6\,000.00\ \Omega$ , 则该温度下热敏电阻的测量值为\_\_\_\_ $\Omega$  (结果保留到个位), 该测量值\_\_\_\_(选填“大于”或“小于”) 真实值。

(3) 多次实验后, 同学们绘制了如图4所示的图像。由图像可知, 该热敏电阻的阻值随温度的升高逐渐\_\_\_\_(选填“增大”或“减小”)。

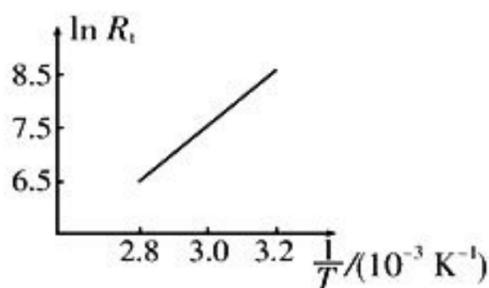


图4

**分析:** 该实验原理是利用半偏法测量电阻, 根据实验原理可知, 在开关  $S_2$  断开前后, 滑动变阻器分担的电压不变, 因此为了减小测量误差, 且在滑动变阻器的总电阻可满足要求的前提下, 应选择总阻值较小的滑动变阻器。在开关  $S_2$  断开后, 并联电路电阻变大, 滑动变阻器并联在电路中的部分分担的电压变大, 根据闭合电路欧姆定律可进行误差分析。

**解:** (1) 为了便于调节, 应选用总阻值较小的滑动变阻器  $R_1$ 。

(2) 利用半偏法测电阻时, 假设断开开关  $S_2$  前后, 滑动变阻器分担的电压不变。设微安表的内阻为  $R_g$ , 断开开关  $S_2$  前微安表的读数为  $I$ , 则  $I(R_1 + R_g) = \frac{I}{2}(R_1 + R_g + R)$ , 其中  $R_g = 2\,500\ \Omega$ ,  $R = 6\,000.00\ \Omega$ , 解得  $R_1 = 3\,500\ \Omega$ 。实际上, 断开开关  $S_2$  后, 根据闭合电路欧姆定律可知, 滑动变阻器分担的电压变大, 则  $I(R_1 + R_g) < \frac{I}{2}(R_1 + R_g + R)$ ,

解得  $R_1 < 3\,500\ \Omega$ 。因此测量值偏大。

(3) 根据  $\ln R_t - \frac{1}{T}$  图像可知, 热敏电阻的阻值随温度的升高逐渐减小。

**答案:** (1)  $R_1$  (2)  $3\,500$  大于 (3) 减小

**点评:** 解决本题需要熟练掌握实验器材的选取原则, 并能够通过电路图和操作步骤得出实验原理, 通过欧姆定律结合串并联电路特点分析实验误差。

## 二、等效替代法测电阻

### 1. 电流等效替代。

**测量方法:** ①如图5所示, 闭合开关  $S_1$ 、 $S_2$ , 调节滑动变阻器  $R$  的滑片  $P$ , 记录下电流表的示数  $I$ ; ②断开开关  $S_2$ , 闭合开关  $S_3$ , 保持滑片  $P$  的位置不变, 将电阻箱  $R_0$  的阻值从最大逐渐调小, 当电流表的示数为  $I$  时, 记录下电阻箱  $R_0$  的阻值, 此时电阻箱  $R_0$  的阻值与待测电阻  $R_x$  的阻值等效, 即  $R_x = R_0$ 。

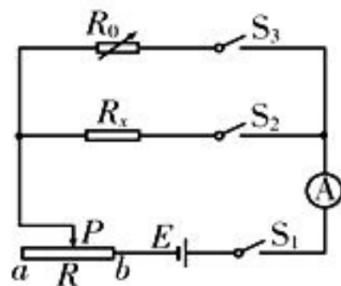


图5

### 2. 电压等效替代。

**测量方法:** ①如图6所示, 闭合开关  $S_1$ 、 $S_2$ , 调节滑动变阻器  $R$  的滑片  $P$ , 记录下电压表的示数  $U$ ; ②断开开关  $S_2$ , 闭合开关  $S_3$ , 保持滑片  $P$  的位置不变, 将电阻箱  $R_0$  的阻值从最大逐渐调小, 当电压表的示数为  $U$  时, 记录下电阻箱  $R_0$  的阻值, 此时电阻箱  $R_0$  的阻值与待测电阻  $R_x$  的阻值等效, 即  $R_x = R_0$ 。

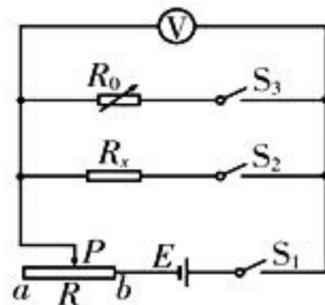


图6

**例2** 小明用如图7所示的电路测量待测电阻  $R_x$  的阻值(约几百欧)。  $R$  是滑动

变阻器,  $R_0$  是电阻箱(阻值范围为  $0 \sim 9\,999\ \Omega$ ),  $S_2$  是单刀双掷开关, 电源电动势  $E=6\ \text{V}$ 。

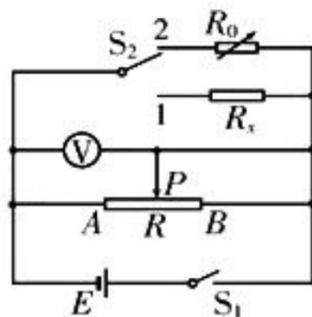


图 7

(1) 根据如图 7 所示的实验电路, 用笔画线代替导线将如图 8 所示的实物图连接完整。

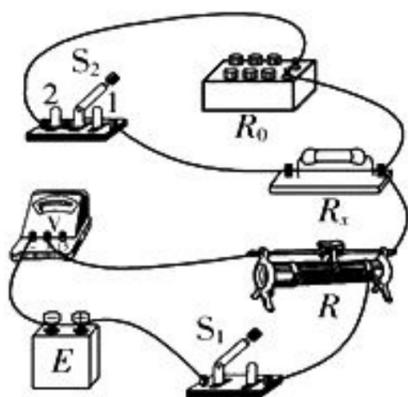


图 8

(2) 正确连接电路后, 断开开关  $S_1$ , 将开关  $S_2$  接 1, 调节多用电表, 将多用电表的两表笔接触待测电阻  $R_x$  两端的接线柱, 粗测其阻值, 此过程中存在的问题是\_\_\_\_。正确操作后, 粗测出待测电阻  $R_x$  的阻值为  $R'$ 。

(3) 小明通过下列步骤, 较准确地测出了  $R_x$  的阻值。

① 将滑动变阻器  $R$  的滑片  $P$  调至图甲中的\_\_\_\_(选填“ $A$ ”或“ $B$ ”)端。闭合开关  $S_1$ , 将开关  $S_2$  拨至 1, 调节滑片  $P$  至某一位置, 使电压表的示数达满偏值。

② 调节电阻箱  $R_0$ , 使其阻值\_\_\_\_(选填“大于  $R'$ ”或“小于  $R'$ ”)。

③ 将开关  $S_2$  拨至 2, 保持滑片  $P$  的位置不变, 调节电阻箱  $R_0$ , 使电压表的示数再次达满偏值, 记录下此时电阻箱的示数  $R_1$ , 则  $R_x =$ \_\_\_\_\_。

(4) 实验中, 滑动变阻器有两种规格可供选择, 分别是  $R_2$ (最大阻值为  $10\ \Omega$ ),  $R_3$ (最

大阻值为  $5\,000\ \Omega$ )。为了减小实验误差, 滑动变阻器应选用\_\_\_\_(选填“ $R_2$ ”或“ $R_3$ ”)。

分析: 该实验原理是利用电压等效替代法测电阻。用多用电表测量电阻时, 要把待测电阻与其他电路元件断开; 为了保护电路, 闭合开关之前, 应将滑动变阻器  $R$  的滑片  $P$  调至图甲中的  $A$  端; 两次实验电压表示数不变, 则并联电路电阻相等, 待测电阻  $R_x$  的阻值等于电阻箱  $R_0$  的阻值。

解: (1) 根据实验电路图连接实物图, 如图 9 所示。

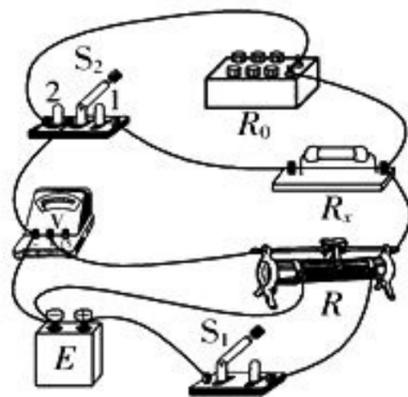


图 9

(2) 用多用电表测量电阻时, 要把待测电阻与其他电路元件断开。

(3) 闭合开关之前, 应将滑动变阻器  $R$  的滑片  $P$  调至图甲中的  $A$  端, 使电路接通后电压表的示数为零; 调节电阻箱  $R_0$ , 使其阻值小于  $R'$ ; 将开关  $S_2$  拨至 2, 保持滑片  $P$  的位置不变, 调节电阻箱  $R_0$ , 使电压表的示数再次达满偏值, 则此时并联电路的电阻相等, 待测电阻  $R_x$  的阻值等于电阻箱  $R_0$  的阻值, 即  $R_x = R_1$ 。

(4) 因为待测电阻  $R_x$  的阻值约为几百欧, 为了方便调节, 滑动变阻器应选用  $R_2$ 。

答案: (1) 如图 9 所示 (2) 待测电阻  $R_x$  未与其他电路元件断开 (3) ①  $A$  ② 小于  $R'$  ③  $R_1$  (4)  $R_2$

点评: 求解本题需要从实验要求中的安全、准确、操作方便的角度进行分析, 明确本实验测量电阻的原理, 知道两次实验电压表的示数相等, 说明并联电路的电阻相等, 即待测电阻  $R_x$  的阻值等于电阻箱  $R_0$  的阻值。

(责任编辑 张 巧)

# 利用惠斯通电桥理论测电阻

## 方法赏析

侯光喜

■中央民族大学附属中学贵阳学校

利用惠斯通电桥理论测电阻是指用已知阻值的3个电阻和1个灵敏电流计测第4个未知电阻的阻值的实验方法,其基本原理是部分电路的欧姆定律。利用惠斯通电桥理论测电阻的优点有四个:一是选材简单,只需2个已知阻值的定值电阻、一个电阻箱和一个灵敏电流计,不需使用电流表或电压表;二是易连接,在连接电路时不需顾虑正负接线柱的问题;三是易观察,调节电阻箱时只需关注灵敏电流计的指针是否指到零刻度线即可;四是精确度高,与采用电流表内、外接法测量电阻相比较,偶然误差小,且没有系统误差。

### 一、惠斯通电桥原理

将4个电阻如图1所示连接,中间桥接一个灵敏电流计,通入如图所示的电流后,调节电阻箱R,当灵敏电流计的示数为0时,说明b、e两点电

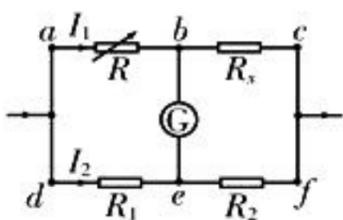


图1

势相等,相当于灵敏电流计没有接入电路,灵敏电流计在此电路中只起到了“监测”的作用,则  $U_{ab} = U_{de}$ ,  $U_{bc} = U_{ef}$ , 即  $I_1 R = I_2 R_1$ ,

$$I_1 R_x = I_2 R_2, \frac{I_1 R}{I_1 R_x} = \frac{I_2 R_1}{I_2 R_2}, \text{解得 } R_x = \frac{R R_2}{R_1}。$$

### 二、利用惠斯通电桥理论测电阻

**例题** 用如图2所示的电路可以精确测量未知电阻的阻值。图中  $R_x$  是待测电阻,  $R_0$  是已知阻值的定值电阻, G 是灵敏电流计, MN 是一段粗细均匀的电阻丝。

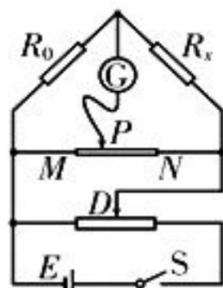


图2

请将以下实验步骤补充完整:

(1)将滑动变阻器的滑片D移到\_\_\_\_端,将滑片P移到电阻丝MN的中间某位置,闭合开关S,将滑片D向右移动,当灵敏电流计的示数为满偏值时,保持滑片D的位

置不变。

(2)将滑片P左右移动,当灵敏电流计的示数为\_\_\_\_时,保持滑片P的位置不变。

(3)再将滑片D向右移动,观察灵敏电流计的示数是否仍为\_\_\_\_。若灵敏电流计的示数为\_\_\_\_,则断开开关S,实验操作完毕;若灵敏电流计的示数不为\_\_\_\_,则继续将滑片D向右移动,直到灵敏电流计的示数为\_\_\_\_时,保持滑片D的位置不变,重复步骤(2)和(3),直到滑片D向右移动的过程中,灵敏电流计的示数始终为\_\_\_\_。

(4)测出  $MP = l_1$ ,  $PN = l_2$ , 根据测得的数据计算出待测电阻  $R_x =$ \_\_\_\_\_。

**解析:**步骤(1)中,闭合开关S前,将滑片D移到最左端,是为了保护灵敏电流计;步骤(3)利用“放大法”思想验证滑片P所在位置是让灵敏电流计示数为0的点。

当灵敏电流计的示数为0时,  $MP = l_1$ ,  $PN = l_2$ , 相当于知道了  $R_{MP}$  和  $R_{PN}$ ; 当灵敏电流计的示数为0时,没有电流通过灵敏电流计,则  $U_{MP} = U_{R_0}$ ,  $U_{R_x} = U_{PN}$ 。设通过定值电阻  $R_0$  所在支路的电流为  $I_1$ , 通过电阻丝MP段所在支路的电流为  $I_2$ , 则  $I_1 R_0 = I_2 R_{MP}$ ,  $I_1 R_x = I_2 R_{PN}$ ,  $\frac{I_1 R_0}{I_1 R_x} = \frac{I_2 R_{MP}}{I_2 R_{PN}}$ , 得  $\frac{R_0}{R_x} =$

$$\frac{R_{MP}}{R_{PN}}。 \text{根据电阻定律 } R = \rho \frac{l}{S}, \text{得 } \frac{R_0}{R_x} = \frac{\rho \frac{l_1}{S}}{\rho \frac{l_2}{S}}$$

$$\text{解得 } R_x = \frac{l_2}{l_1} R_0。$$

**答案:**(1)最左 (2)0 (3)0 0 0 满偏值 0 (4)  $\frac{l_2}{l_1} R_0$

### 跟踪训练

某同学计划采用如图3所示的电路测量一个微安表G的电阻,要求操作方便,测量准确,实验误差小。现有实验器材如下:

# “测绘小灯泡的伏安特性曲线”实验的学习价值分析

——以2021年高考全国甲卷电学实验试题为例

■山东省青岛第一中学 高翔(特级教师,正高级教师)

物理实验能力是指运用所学物理理论知识和技能,采用科学方法顺利完成物理实验活动的个性心理特征。具体分为物理实验操作能力、物理实验条件控制能力、物理实验现象和数据记录与处理能力、表达实验结果和运用测量结果解决现实问题的能力等。创造性地利用实验原理、选择新颖的实验方法、有效处理实验数据是创新能力在物理实验学习中的具体表现。

2021年高考全国甲卷的电学实验考查了“测绘小灯泡的伏安特性曲线”,命题依据是《普通高中物理课程标准》(2017年版2020年修订)学业质量(二)“水平3”中的“使用基本的器材获得数据;能分析数据,发现特点,形成结论,尝试用已有的物理知识进行解释”,紧扣“学业质量为选拔性考试提供依据”这一要求,体现了从抽象知识转向具体情境知识考查的设想,通过实验操作和对实验现象和结果的逻辑推理来评价学生的实验能力。

**题目:**某同学用如图1所示的电路探究小灯泡的伏安特性,所用器材有:小灯泡(额定电压为2.5 V,额定电流为0.3 A),电压表(量程为300 mV,内阻为300 Ω),电

流表(量程为300 mA,内阻为0.27 Ω),定值电阻 $R_0$ ,滑动变阻器 $R_1$ (阻值范围为0~20 Ω),电阻箱 $R_2$ (最大阻值为9 999.9 Ω),电源 $E$ (电动势为6 V,内阻不计),开关 $S$ ,导线若干。

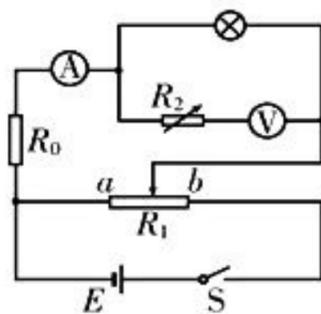


图1

完成下列填空:

(1)有3个阻值分别为10 Ω、20 Ω、30 Ω的定值电阻可供选择,为了描绘小灯泡电流在0~300 mA范围内的 $U-I$ 曲线, $R_0$ 应选取阻值为\_\_\_\_Ω的定值电阻。

(2)闭合开关 $S$ 前,滑动变阻器的滑片应置于变阻器的\_\_\_\_(填“a”或“b”)端。

(3)在流过电流表的电流较小时,将电阻箱 $R_2$ 的阻值调为零,改变滑动变阻器滑片的位置,读取电压表和电流表的示数 $U$ 、 $I$ ,结果如图2所示。当流过电流表的电流为10 mA时,小灯泡的电阻为\_\_\_\_Ω(保留1位有效数

~~~~~

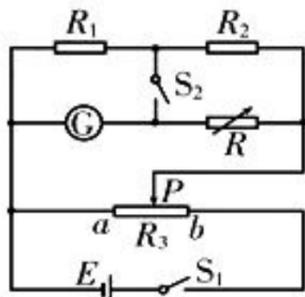


图3

- A. 微安表 $G$ (满偏电流 $I_g = 500 \mu\text{A}$ ,内阻 $R_g$ 约为300 Ω)
- B. 定值电阻 $R_1$ (阻值为1 000 Ω)
- C. 定值电阻 $R_2$ (阻值为9 000 Ω、90 Ω各一个)
- D. 电阻箱 $R$ (阻值范围为0~9 999.9 Ω)
- E. 滑动变阻器 $R_3$ (阻值范围为0~10 Ω)

F. 电源 $E$ (电动势为1.5 V)

G. 开关和导线若干

(1)在连接电路时,定值电阻 $R_2$ 应选择\_\_\_\_(选填“9 000”或“90”)Ω的电阻。

(2)闭合开关 $S$ 前,滑动变阻器 $R_3$ 的滑片 $P$ 应置于\_\_\_\_(选填“a”或“b”)端。

(3)闭合开关 $S$ 后,将滑动变阻器 $R_3$ 的滑片放置在合适位置,再闭合开关 $S_1$ ,反复调整电阻箱 $R$ ,直到开关 $S_1$ 闭合前后微安表的示数保持不变,读出此时电阻箱的示数 $R = 2 700 \Omega$ ,可得微安表内阻为\_\_\_\_Ω。

参考答案:(1)9 000 (2)a (3)300

(责任编辑 张巧)

字)。

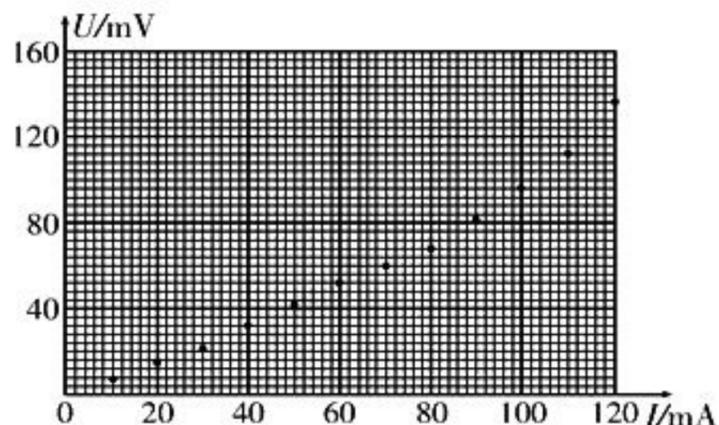


图 2

(4)为使得电压表满量程时对应于小灯泡两端的电压为 3 V,该同学经计算知,应将电阻箱  $R_2$  的阻值调整为  $\underline{\hspace{2cm}}$   $\Omega$ 。然后调节滑动变阻器  $R_1$ ,测得数据如表 1 所示。

表 1

|               |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $U/\text{mV}$ | 24.0  | 46.0  | 76.0  | 110.0 | 128.0 | 152.0 | 184.0 | 216.0 | 250.0 |
| $I/\text{mA}$ | 140.0 | 160.0 | 180.0 | 200.0 | 220.0 | 240.0 | 260.0 | 280.0 | 300.0 |

(5)由图 2 和表 1 可知,随流过小灯泡电流的增加,小灯泡的电阻  $\underline{\hspace{2cm}}$  (填“增大”“减小”或“不变”)。

(6)该同学观测到小灯泡刚开始发光时流过电流表的电流为 160 mA,可得此时小灯泡的电功率  $P_1 = \underline{\hspace{2cm}}$  W(保留 2 位有效数字);当流过电流表的电流为 300 mA 时,小灯泡的电功率为  $P_2$ ,则  $\frac{P_2}{P_1} = \underline{\hspace{2cm}}$  (保留至整数)。

**命题意图:**“测绘小灯泡的伏安特性曲线”是 2021 年高考全国甲卷实验试题中“一小一大”中“大”的部分,命题锁定在“读电路图——识别供电线路和测量线路”“电路故障的判断”“增容仪表测量数据的换算”“测量数据的处理”“根据描绘的图像获得结论”和“运用形成的结论解决问题——运用图像求解某状态下的电学参量”等六个方面,主要考查考生在熟悉的物理情景中应用基本知识和基本实验技能解决实际问题的能力。

**考点分析:**(1)会读电路图,能够识别“供电线路”和“测量线路”,能够从电路安全的角度认识保护电阻  $R_0$  的作用,通过估算选择保护电阻的规格。实验操作中要具有安全意识,注意在闭合开关 S 前后滑动变阻器滑片停放的位置和实验结束后应将开关 S 断开。

(2)电压表的测量电压和“增容”后小灯泡两端实际电压的换算是考查的重点。本题中设计了具有梯度的两个物理过程:第一个是当流过电流表的电流较小时,将电阻箱  $R_2$  的阻值调为零。这一过程不涉及电压的折合。在给出的坐标系中将测量的数据描绘成点,用平滑的曲线连接起来,形成可连续变化的函数图像,这是利用测量数据形成实验结论的环节。第二个是要使电压表量程大于小灯泡两端的额定电压,则需将电压表“增容”。这一过程旨在考查考生能否将记录的数据换算成小灯泡两端的实际电压和流经小灯泡电流的数据,进而描绘出小灯泡的伏安特性曲线。

**解析:**(1)电源电动势  $E = 6\text{ V}$ ,将电源电动势全加在测量电路上时,为了保证小灯泡两端的电压不超过其额定电压,则需保护电阻  $R_0$  起到分压作用,承担  $U_{\text{余}} = 6\text{ V} - 2.5\text{ V} = 3.5\text{ V}$  的电压。在题目给出电流表的量程为 300 mA 的条件下,保护电阻的最大阻值  $R_0 = \frac{3.5\text{ V}}{0.3\text{ A}} \approx 11.7\ \Omega$ ,即  $R_0$  应选取阻值为  $10\ \Omega$  的定值电阻。

(2)描绘小灯泡的  $U-I$  曲线,电压需要从 0 开始测量。根据实验原理图可知,滑动变阻器采用的是分压式接法,因此闭合开关 S 前,将滑动变阻器的滑片置于变阻器的  $a$  端,既可以保护电路,也可以保证电压从 0 开始调节。

(3)根据图 2 描出的点,画出小灯泡的  $U-I$  曲线如图 3 所示。当流过电流表的电流为 10 mA 时,小灯泡两端的电压为 7 mV,根据欧姆定律得小灯泡的电阻  $R = \frac{7 \times 10^{-3}}{10 \times 10^{-3}}\ \Omega = 0.7\ \Omega$ 。

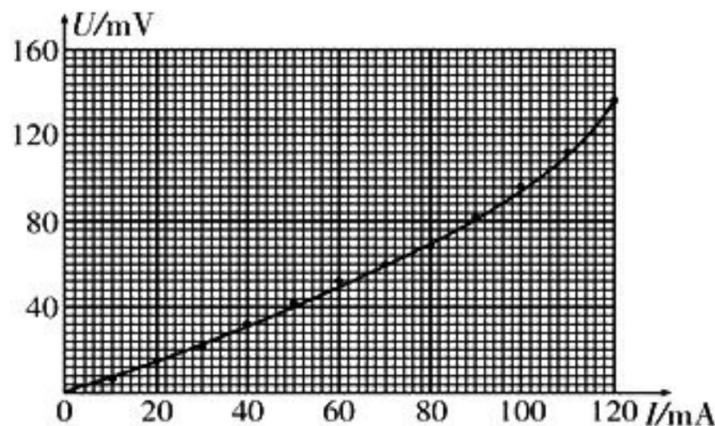


图 3

(4)题目提供的电压表的量程 300 mV (0.3 V) 太小,需要扩大量程才能使得电压表满量程时对应于小灯泡两端的电压为 3 V。当电压表满量程时对应于小灯泡两端的电压为 3 V,则  $\frac{3}{R_2+R_V} = \frac{0.3}{R_V}$ ,解得  $R_2 = 2\ 700\ \Omega$ 。

(5)由图 2 和表 1 可知,随流过小灯泡电流的增加, $U-I$  图像的斜率变大,则小灯泡的电阻增大。

(6)当流过电流表的电流为 160 mA 时,电压表的示数为 46 mV,小灯泡两端的电压为 0.46 V,则小灯泡的电功率  $P_1 = 0.46 \times 0.16\ \text{W} = 0.074\ \text{W}$ 。当流过电流表的电流为 300 mA 时,电压表的示数为 250 mV,小灯泡两端的电压为 2.5 V,则小灯泡的电功率  $P_2 = 2.5 \times 0.3\ \text{W} = 0.75\ \text{W}$ 。因此  $\frac{P_2}{P_1} = \frac{0.75}{0.074} = 10$ 。

答案:(1)10 (2)a (3)0.7 (4)2 700  
(5)增大 (6)0.074 10

**总结:**2021 年高考全国甲卷电学实验试题在兼顾考查基础性知识和学科基本思维方法的同时,设计了伸缩性较大的发展性目标——电压表“扩容”后测量电压与小灯泡两端实际电压的换算。这道试题并没有过分追求创新实验一味追求的实验原理创新,而是从中学物理教与学的实际,把基本知识和基本技能的培养和科学思维与实验方法的评价放在考生熟知的实验中进行考查。因此这道电学实验试题的命制从设计意图、试题结构和取得的成效上来说都是科学合理且富有成效的。

### 跟踪训练

(2021 年高考河北卷)某同学研究小灯泡的伏安特性,实验室提供的器材有:小灯泡 (6.3 V, 0.15 A), 直流电源 (9 V), 滑动变阻器, 量程合适的电压表和电流表, 开关和导线若干, 设计的电路如图 4 所示。

(1)根据图 4, 完成图 5 中的实物连线。

(2)根据图 4 完成实物连线后, 闭合开关, 小灯泡闪亮一下后熄灭, 观察发现灯丝被

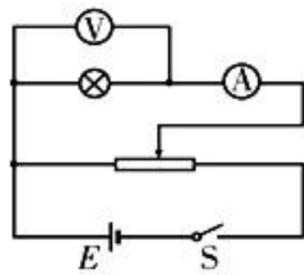


图 4

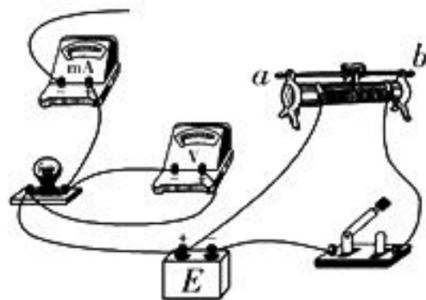


图 5

烧断, 原因可能是\_\_\_\_\_。

- A. 电流表短路
- B. 滑动变阻器的滑片接触不良
- C. 滑动变阻器滑片的初始位置在 b 端

(3)更换小灯泡后, 该同学正确完成了实验操作, 将实验数据描点作图, 得到  $I-U$  图像, 其中一部分如图 6 所示。根据图像计算出 P 点对应状态下小灯泡的电阻为\_\_\_\_\_  $\Omega$  (保留 3 位有效数字)。

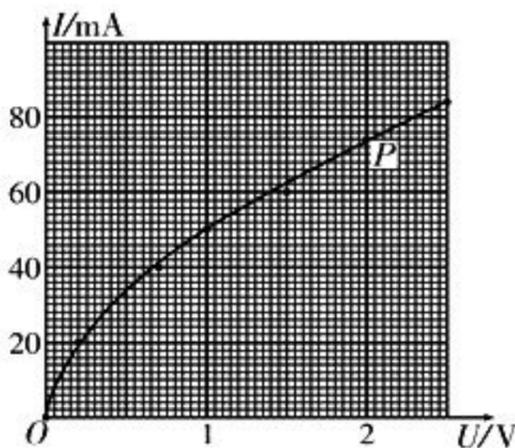


图 6

参考答案:(1)如图 7 所示 (2)C (3)27.0

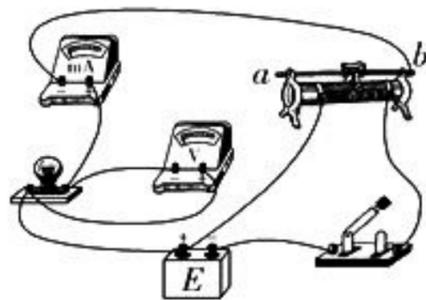


图 7

(责任编辑 张 巧)

# 高考物理模拟试题



■ 河南省南阳市第八中学 张宗磊

一、选择题(第 1~5 题为单选题,第 6~8 题为多选题)

1. 电子中微子可以将一个氯核转变为一个氩核,其核反应方程式为  $\nu_e + {}_{17}^{37}\text{Cl} \rightarrow {}_{18}^{37}\text{Ar} + {}_{-1}^0\text{e}$ 。已知  ${}_{17}^{37}\text{Cl}$  核的质量为 36.956 58 u,  ${}_{18}^{37}\text{Ar}$  核的质量为 36.956 91 u,  ${}_{-1}^0\text{e}$  的质量为 0.000 55 u, 1 u 质量对应的能量为 931.5 MeV。根据以上数据,可以判断参与上述反应的电子中微子的最小能量为( )。

- A. 0.82 MeV      B. 0.31 MeV  
 C. 1.33 MeV      D. 0.51 MeV

2. 在一弧形光滑轨道的上方搭有一水平光滑轨道,弧形光滑轨道在竖直虚线 M、N 处等高,如图 1 所示。A、B 两小球以相同的水平初速度  $v_0$  从竖直虚线 M 处同时沿两轨道滑动,且始终未离开轨道,则先到达竖直虚线 N 处的小球是( )。



图 1

- A. 小球 A      B. 小球 B  
 C. 两小球同时到达      D. 无法判断

3. 如图 2 所示,一条铁链 AB 长 2.75 m,将其 A 端悬挂在天花板上,使铁链自由下垂,某时刻将铁链释放,让铁链做自由落体运动,取重力加速度  $g = 10 \text{ m/s}^2$ ,则整条铁链通过悬点正下方 3.2 m 处的小孔 O 需要的时间为( )。

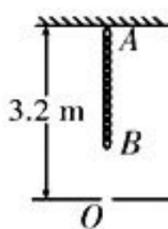


图 2

- A. 0.3 s      B. 0.5 s  
 C. 0.8 s      D. 1.1 s

4. 如图 3 所示,边长为  $L$  的正方形 ABCD 的 A、C 两个顶点放置电荷量为  $q$  的点电

荷, B、D 两个顶点放置电荷量为  $-q$  的点电荷,四个点电荷仅在彼此间的静电力作用下构成一个稳定的系统,绕正方形 ABCD 的中心做匀速圆周运动,每个点电荷的质量均为  $m$ ,则四个点电荷做匀速圆周运动的速率为( )。

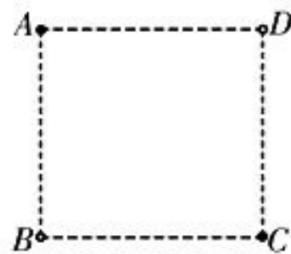


图 3

- A.  $\sqrt{\frac{3\sqrt{2}kq^2}{4mL}}$   
 B.  $\sqrt{\frac{5\sqrt{2}kq^2}{4mL}}$   
 C.  $\sqrt{\frac{(4-\sqrt{2})kq^2}{4mL}}$   
 D.  $\sqrt{\frac{(4+\sqrt{2})kq^2}{4mL}}$

5. 假想有一沿水平方向的匀强磁场,磁感应强度  $B$  很大。有一半径为  $R$ ,厚度为  $d$  ( $d \ll R$ ) 的金属圆盘,在此磁场中竖直下落,盘面始终位于竖直平面内并与磁场方向平行,如图 4 所示。假定圆盘的电阻为零,圆盘的密度  $\rho = 9 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ,圆盘的相对介电常数  $\epsilon = 9$ ,静电力常量  $k = 9.0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$ 。若要使圆盘在磁场中下落的加速度比没有磁场时减小百分之一(不计空气阻力),则磁场的磁感应强度为( )。

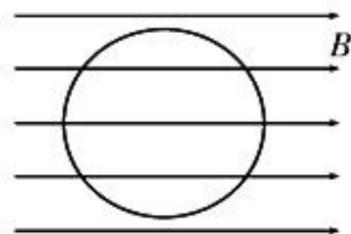


图 4

- A.  $1 \times 10^6 \text{ T}$       B.  $1 \times 10^7 \text{ T}$   
 C.  $1 \times 10^8 \text{ T}$       D.  $1 \times 10^9 \text{ T}$

6. 游泳作为一项有利于身心健康的有氧运动,而广受大家喜爱。若某人在静水中的速度大小为  $v_1$ ,某时刻从泳池边以速度  $v_1$  垂

直于池边向对面游过去,设水流是匀速的,其大小为  $v_2$ ,水流方向与此人出发时的池边垂直,则下列说法中正确的是( )。

A. 若人的速度  $v_1$  保持不变,水流速度  $v_2$  增大,则人到达对面池边的时间不变,路程变长

B. 若人的速度  $v_1$  保持不变,水流速度  $v_2$  减小,则人到达对面池边的时间变长,路程不变

C. 若水流速度  $v_2$  保持不变,人的速度  $v_1$  增大,则人到达对面池边的时间变短,路程变短

D. 若水流速度  $v_2$  保持不变,人的速度  $v_1$  减小,则人到达对面池边的时间不变,路程不变

7. 圆环形导体线圈  $a$  平放在水平桌面上,在线圈  $a$  的正上方固定一竖直螺线管  $b$ ,二者的轴线重合,螺线管  $b$  与电源、滑动变阻器连接成如图 5 所示的闭合电路。若将滑动变阻器的滑片  $P$  向下移动,则下列说法中正确的是( )。

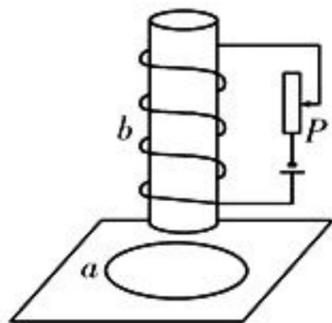


图 5

- A. 线圈  $a$  有扩张的趋势
- B. 线圈  $a$  有收缩的趋势
- C. 线圈  $a$  对水平桌面的压力将减小
- D. 线圈  $a$  对水平桌面的压力将增大

8. 如图 6 所示,两个半径相同的半圆形光滑轨道分别竖直放置在匀强磁场和匀强电场中,轨道两端在同一高度上。两个相同的带正电小球(可视为质点)同时分别从两轨道的左端最高点由静止释放, $M$ 、 $N$  分别为两轨道的最低点,则下列说法中错误的是( )。

A. 两小球到达轨道最低点时的速度  $v_M > v_N$

B. 两小球到达轨道最低点时对轨道的压力  $f_M < f_N$

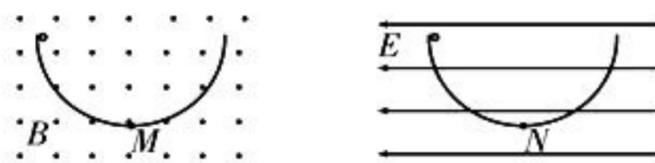


图 6

C. 两小球第一次到达轨道最低点所用的时间相同

D. 两小球都能到达轨道的另一端

## 二、非选择题

### (一)必考题

9. 某物理兴趣小组利用如图 7 所示的装置做“验证机械能守恒定律”实验。

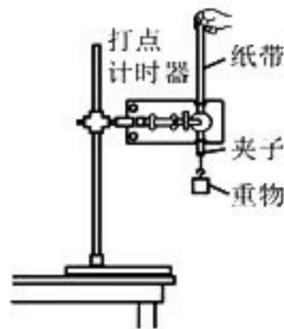


图 7

(1)为了验证机械能守恒,需要比较重物下落过程中任意两点之间的( )。

- A. 动能变化量与势能变化量
- B. 速度变化量和势能变化量
- C. 速度变化量和高度变化量

(2)甲同学经过正确的实验操作,从打出的纸带中选取一条点迹清晰的纸带如图 8 所示进行数据处理,其中  $O$  点为打点计时器打下的第一个点, $A$ 、 $B$ 、 $C$  为三个计数点,打点计时器通以频率为  $50\text{ Hz}$  的交变电流。用分度值为  $1\text{ mm}$  的刻度尺测得  $s_1 = 12.41\text{ cm}$ ,  $s_2 = 18.90\text{ cm}$ ,  $s_3 = 27.06\text{ cm}$ ,在计数点  $A$  和  $B$ 、 $B$  和  $C$  之间还各有一个点,重物的质量为  $1.00\text{ kg}$ 。当打点计时器打下  $B$  点时,重物的重力势能比开始下落时减少了  $\text{ J}$ ,重物的速度  $v_B = \text{ m/s}$ ,重物的动能比开始下落时增加了  $\text{ J}$ 。(取重力加速度  $g = 9.80\text{ m/s}^2$ ,结果均保留 3 位有效数字)

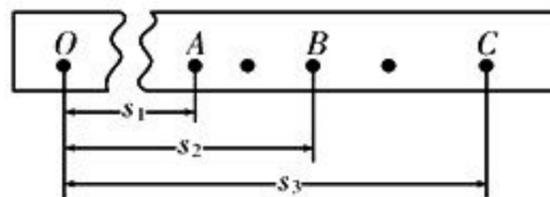


图 8

(3) ①乙同学利用自己实验时打出的纸带,测量出了各计数点到打点计时器打下的第一个点的距离  $h$ ,算出了各计数点对应的速度  $v$ ,然后以  $h$  为横轴、以  $\frac{v^2}{2}$  为纵轴作出了如图 9 所示的直线,则这条直线的斜率近似等于\_\_\_\_\_。

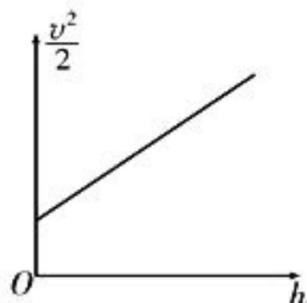


图 9

- A. 19.6      B. 9.8  
C. 8.9      D. 4.9

②乙同学作出的  $\frac{v^2}{2}-h$  图像未过原点  $O$  的原因是\_\_\_\_\_。

10. 某课题研究小组收集了数码相机、手机等用旧了的各种类型的电池,以及从废旧收音机上拆下的电阻、电容、电感线圈等。现从这些材料中选取两个待测元件,一个是电阻  $R_0$  (约为  $2 \text{ k}\Omega$ ),另一个是手机中常用的锂电池(电动势  $E$  标准值为  $3.7 \text{ V}$ ,允许最大放电电流为  $100 \text{ mA}$ )。在操作台上还准备有如下实验器材:

- A. 电压表  $V$  (量程为  $4 \text{ V}$ ,电阻  $R_V$  约为  $4 \text{ k}\Omega$ )  
B. 电流表  $A_1$  (量程为  $100 \text{ mA}$ ,电阻  $R_{A1}$  约为  $5 \Omega$ )  
C. 电流表  $A_2$  (量程为  $2 \text{ mA}$ ,电阻  $R_{A2}$  约为  $50 \Omega$ )  
D. 滑动变阻器  $R_1$  (最大阻值为  $200 \Omega$ ,额定电流为  $1 \text{ A}$ )  
E. 电阻箱  $R_2$  (阻值范围为  $0 \sim 999.9 \Omega$ ,最小分度值为  $0.1 \Omega$ )  
F. 开关一个,导线若干

(1)为了测定电阻  $R_0$  的阻值,该小组的一位成员设计了如图 10 甲所示的电路原理图,并选取了相应的器材(电源用待测的锂电池),其电路设计或器材选取中有不妥之处,

你认为应该怎样调整:\_\_\_\_\_。

(2)在实际操作过程中,发现滑动变阻器  $R_1$ 、电流表已损坏,请用余下的器材测量锂电池的电动势  $E$  和内阻  $r$ 。

①请画出实验电路图(标注所用器材符号),并用笔画线代替导线完成如图 10 乙所示的实物图连线。

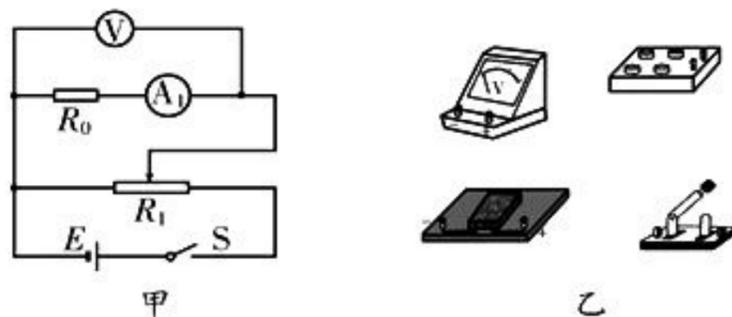


图 10

②为了便于分析,一般采用线性图像处理数据,请写出与线性图像对应的相关物理量间的函数关系式:\_\_\_\_\_。

11. 如图 11 甲所示,某同学在研究摩擦力特点的实验中,将木块放在水平长木板上,用力沿水平方向拉木块,拉力从 0 开始逐渐增大。分别用力传感器采集拉力和木块受到的摩擦力,并作出摩擦力  $f$  随拉力  $F$  变化的图像,如图 11 乙所示。已知木块的质量  $m = 0.78 \text{ kg}$ ,取重力加速度  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , $\sin 37^\circ = 0.6$ , $\cos 37^\circ = 0.8$ 。

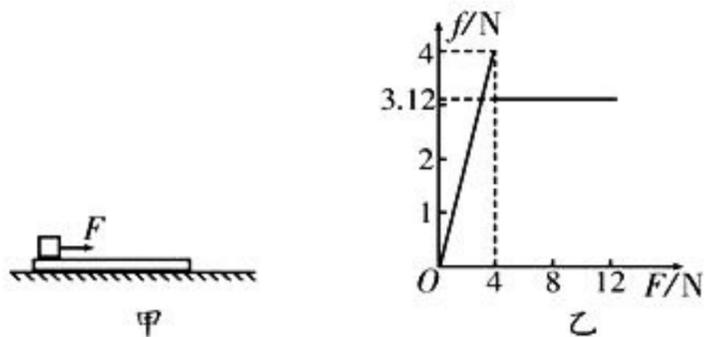


图 11

(1)求木块与长木板之间的动摩擦因数  $\mu$ 。

(2)若木块在与水平方向成  $\theta = 37^\circ$  角斜向右上方恒定拉力  $F$  作用下,以加速度  $a = 2 \text{ m/s}^2$  从静止开始做匀变速直线运动,则拉力应为多大?

(3)在(2)中拉力  $F$  作用  $2 \text{ s}$  后撤去该拉力,求在木块运动的整个过程中,摩擦力对木块做的功。

12. 如图 12 甲所示,光滑绝缘斜面的倾角  $\theta=30^\circ$ ,矩形区域  $GHJK$  ( $GH$  边与  $JK$  边相距为  $l$ ) 内分布着方向垂直于斜面的匀强磁场。质量为  $m$ 、边长为  $l$  的正方形闭合金属线框  $abcd$  平放在斜面上,开始时  $ab$  边与  $GH$  边相距也为  $l$ 。现用一平行于斜面的恒力  $F$  拉动线框,使其由静止开始 ( $t=0$ ) 沿斜面向上运动,当线框完全通过磁场后运动一段时间再撤去外力  $F$ 。已知线框在运动过程中产生的电流  $I$  随时间  $t$  变化的图像如图 12 乙所示(规定电流沿  $abcd$  方向为正)。已知线框向上穿过磁场时线框中电流大小为  $I_0$ ,线框前后两次通过磁场产生电流的时间之比为  $2:1$ ,重力加速度为  $g$ ,斜面足够长,线框的  $ab$  边始终与  $GH$  边平行,求:

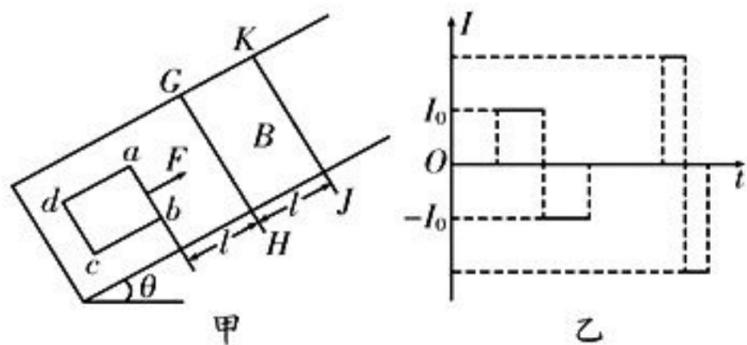


图 12

- (1) 匀强磁场的磁感应强度  $B$  的大小和方向。
- (2) 线框的阻值  $R$ 。
- (3) 撤去外力  $F$  之前线框位移  $x$  的大小。

(二) 选考题

13. [选修 3—3]

(1) 下列关于热学知识的说法中正确的是( )。

- A. 扩散现象与布朗运动都与温度有关
- B. 液体表面分子之间的距离总是大于内部分子之间的距离
- C. 液晶兼有液体和固体的性质
- D. 分子间距离的变化对分子引力的影响比对分子斥力的影响大
- E. 制造电冰箱的经验表明,热量可以从低温物体传递到高温物体

(2) 在某次深潜实验中,“蛟龙”号探测到 990 m 深处的海水温度为 280 K。某同学利

用该数据来研究气体状态随海水温度的变化,如图 13 所示,导热性良好的汽缸内由活塞封闭一定质量的气体,不计活塞的质量和摩擦,汽缸所在海平面处的温度  $T_0=300$  K,压强  $p_0=1$  atm,封闭气体的体积  $V_0=3$  m<sup>3</sup>。如果将该汽缸下潜至 990 m 深处,在此过程中封闭气体可视为理想气体。

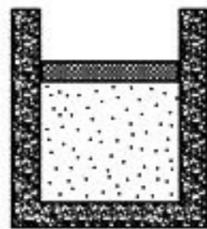


图 13

(i) 求在 990 m 深处汽缸内封闭气体的体积(已知 10 m 深的海水产生的压强相当于 1 atm)。

(ii) 在汽缸下潜的过程中,封闭气体\_\_\_\_(选填“吸热”或“放热”),传递的热量\_\_\_\_(填“大于”或“小于”)外界对气体所做的功。

14. [选修 3—4]

(1) 物体做简谐运动,通过 A 点时的速度为  $v$ ,经过 1.6 s 后物体第一次以相同的速度  $v$  通过 B 点,再经过 1.4 s 物体第二次通过 B 点,已知物体在这 3 s 内运动的总路程为 18 cm,则该简谐运动的周期为\_\_\_\_,振幅为\_\_\_\_。

(2) 半径为  $R$  的半球形介质的横截面如图 14 所示, $O$  为圆心,同一频率的单色光  $a$ 、 $b$  相互平行,从不同位置射入介质,光线  $a$  在  $O$  点恰好发生全反射,光线  $b$  的入射角  $i=45^\circ$ ,求:

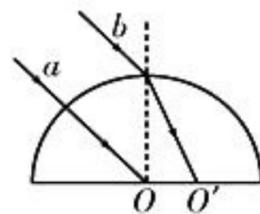


图 14

- (i) 介质的折射率。
- (ii) 光线  $a$ 、 $b$  的出射点  $O$  与  $O'$  之间的距离。

(责任编辑 张 巧)

# 高考物理模拟试题 (四)

■河南省洛阳市第二中学 王春旺

一、选择题(第 1~5 题为单选题,第 6~8 题为多选题)

1. 游乐场中的升降机在竖直方向上运行,  $t=0$  时刻的速度为零, 其加速度  $a$  随时间  $t$  变化的图像如图 1 所示, 以向上为正方向, 下列说法中正确的是( )。

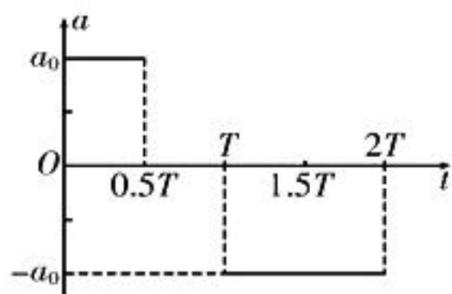


图 1

- A. 在  $0 \sim 0.5T$  内, 升降机的速度保持不变
- B. 在  $0.5T \sim T$  内, 升降机做匀速运动
- C. 在  $T \sim 2T$  内, 升降机所受合力为零
- D. 在  $0 \sim 2T$  内, 升降机一直向上运动

2. 2021 年 5 月 15 日, 我国首次火星探测任务“天问一号”探测器的着陆巡视器在火星乌托邦平原南部预选着陆区成功着陆, 开启探测火星之旅。火星上一天的时间与地球上的一天时间差不多, 若认为火星与地球的自转周期相同, 地球的质量为火星质量的 10 倍, 则下列关于地球和火星各自的同步卫星的判断中正确的是( )。

- A. 地球同步卫星的角速度较大
- B. 地球同步卫星的线速度较大
- C. 火星同步卫星的向心加速度较大
- D. 火星同步卫星的轨道半径较大

3. 如图 2 所示, 过山车的轨道可视为竖直平面内半径为  $R$  的圆形轨道。质量为  $m$  的游客随过山车一起运动, 该游客



图 2

经过圆形轨道最高点时的速度为  $v$ , 紧接着经过圆形轨道最低点时的速度为  $2v$ 。下列说法中正确的是( )。

- A. 游客的加速度方向始终指向圆心
- B. 游客从最高点运动到最低点的过程中机械能守恒
- C. 在最高点时, 座位对游客的作用力为  $m \frac{v^2}{R}$
- D. 游客经过最高点时的速度  $v < \sqrt{gR}$  时, 座椅对人的支持力  $F = mg - m \frac{v^2}{R}$

4. 如图 3 所示, “凹”字形金属线框右侧有一宽度为  $3L$  的匀强磁场区域, 磁场方向垂直于纸面向里。线框在纸面内向右匀速通过磁场区域,  $t=0$  时刻, 线框开始进入磁场。设逆时针方向为感应电流的正方向, 则线框中感应电流  $i$  随时间  $t$  变化的图像可能是图 4 中的( )。

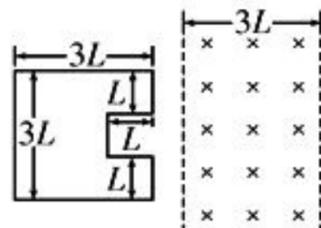


图 3

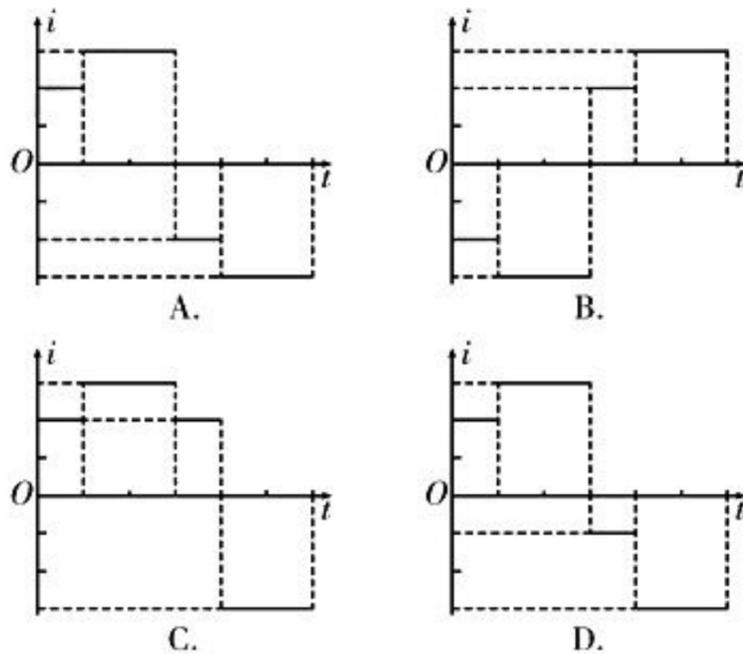


图 4

5. 某空军飞行员进行跳伞训练, 他从悬

停在空中的直升机上由静止跳下,跳离飞机一段时间后打开降落伞减速下落,他打开降落伞后的速度—时间图像如图 5 所示。降落伞用 8 根对称的绳悬挂飞行员,每根绳与中轴线的夹角均为  $\alpha = 37^\circ$ 。该飞行员的质量为 50 kg,降落伞的质量为 50 kg,不计飞行员所受的阻力,打开降落伞后伞所受阻力  $f$  与速度  $v$  成正比,即  $f = kv$  (取重力加速度  $g = 10 \text{ m/s}^2$ ,  $\sin 37^\circ = 0.6$ ,  $\cos 37^\circ = 0.8$ ),则下列判断中正确的是( )。

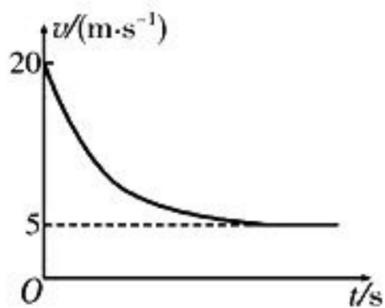


图 5

- A.  $k = 100 \text{ N} \cdot \text{s/m}$
- B. 打开降落伞瞬间,该飞行员的加速度  $a = 40 \text{ m/s}^2$ ,方向竖直向上
- C. 悬绳能够承受的拉力至少为 312.5 N
- D. 悬绳能够承受的拉力至少为 625 N

6. 利用如图 6 甲所示的实验装置观测光电效应,实验中测得某种金属的遏止电压  $U_c$  与入射光频率  $\nu$  之间的关系如图 6 乙所示,电子的电荷量  $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ ,则( )。

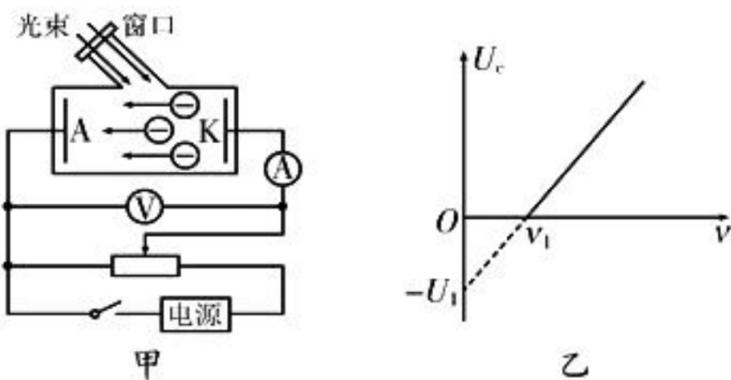


图 6

- A. 电源的右端为正极
- B. 普朗克常量为  $\frac{e\nu_1}{U_1}$
- C. 该金属的逸出功为  $eU_1$
- D. 若电流表的示数为  $10 \mu\text{A}$ ,则每秒内从阴极发出的光电子数的最小值为  $6.25 \times 10^{13}$

7. 如图 7 所示,在纸面内有一直角三角

形  $ABC$ ,  $P_1$  是  $AB$  的中点,  $P_2$  是  $AP_1$  的中点,  $BC$  的长度为 2 cm,  $\angle A = 30^\circ$ 。若在三角形  $ABC$  平面内有一匀强电场,电子(带负电,电荷量为  $e$ )在  $A$  点、 $C$  点、 $P_2$  点的电势能分别为  $-5 \text{ eV}$ 、 $19 \text{ eV}$ 、 $3 \text{ eV}$ ,则下列说法中正确的是( )。

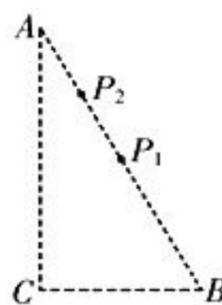


图 7

- A.  $A$  点的电势为 5 V
- B.  $B$  点的电势为  $-19 \text{ V}$
- C. 该电场的电场强度方向平行于  $AC$  边
- D. 该电场的电场强度大小为  $800 \text{ V/m}$

8. 如图 8 所示,高铁的供电流程是将 220 kV 或 110 kV 的高压经过牵引变电所进行变压,降至 27.5 kV,通过接触网上的电线与车顶上的受电器进行接触而完成受电,机车最终获得 25 kV 的电力使高铁机车运行。下列说法中正确的是( )。

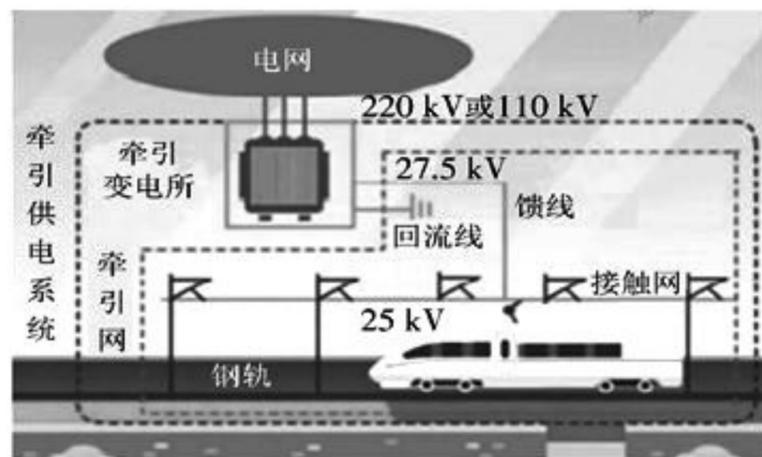


图 8

- A. 若电网的电压为 220 kV,则变电所的变压器原、副线圈匝数之比  $n_1 : n_2 = 8 : 1$
- B. 若电网的电压为 110 kV,则变电所的变压器原、副线圈匝数之比  $n_1 : n_2 = 1 : 4$
- C. 如果高铁机车功率为 9 000 kW,则自变电所至机车间的等效电阻约为  $6.9 \Omega$
- D. 如果高铁机车功率为 9 000 kW,则自变电所至机车间的等效电阻约为  $7.6 \Omega$

二、非选择题

(一)必考题

9. 用如图 9 所示的装置探究质量一定时加速度和合外力的关系。带有遮光条的小车的质量为  $M$ ,沙和沙桶的质量为  $m$ ,不计绳与滑轮的质量。

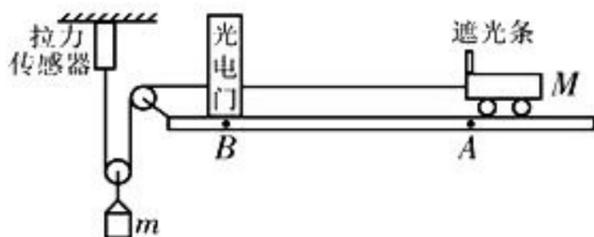


图 9

(1)用游标卡尺测量遮光条的宽度  $d$ , 其示数如图 10 所示, 则  $d =$  \_\_\_\_\_ mm; 测出小车静止时遮光条到光电门的距离为  $x$ , 将小车由静止释放, 由光电计时器读出遮光条通过光电门的时间是  $t$ , 则小车的加速度  $a =$  \_\_\_\_\_。(用测量量的符号表示)



图 10

(2)以拉力传感器的示数  $F$  为横坐标, 以小车的加速度  $a$  为纵坐标, 画出的  $a-F$  图像是一条直线, 如图 11 所示。图像与横轴的夹角为  $\theta$ , 求得图像的斜率为  $k$ 。则小车的质量为 \_\_\_\_\_。

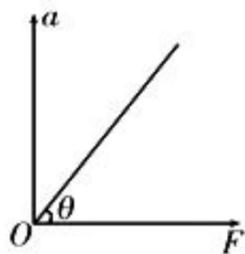


图 11

- A.  $\frac{1}{\tan \theta}$       B.  $\frac{1}{2 \tan \theta}$   
 C.  $\frac{2}{k}$       D.  $\frac{1}{k}$

10. 测定电池的电动势和内阻的电路如图 12 甲所示,  $MN$  为一段粗细均匀, 电阻率较大的电阻丝, 定值电阻  $R_0 = 1.2 \Omega$ 。调节滑片  $P$ , 记录电压表示数  $U$ , 电流表示数  $I$ , 以及对应的  $PN$  长度  $x$ , 绘制出如图 12 乙所示的  $U-I$  图像。

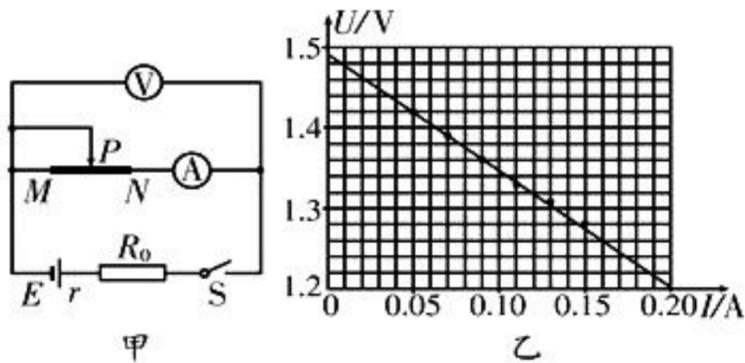


图 12

(1) 根据图乙求得电池的电动势  $E =$

\_\_\_\_\_ V (保留 3 位有效数字), 内阻  $r =$  \_\_\_\_\_  $\Omega$  (保留 2 位有效数字)。

(2) 实验中因电表内阻的影响, 电动势的测量值 \_\_\_\_\_ (选填“大于”“等于”或“小于”) 真实值。

(3) 根据实验数据可绘出如图 13 所示的  $\frac{U}{I}-x$  图像。若图像的斜率为  $k$ , 电阻丝横截面积为  $S$ , 则电阻丝的电阻率  $\rho =$  \_\_\_\_\_, 电表内阻对电阻率的测量 \_\_\_\_\_ (选填“有”或“没有”) 影响。

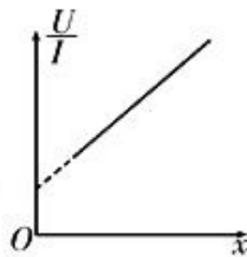


图 13

11. 如图 14 所示, 固定轨道由水平光滑轨道  $AB$ , 竖直半圆形光滑轨道  $BC$ , 粗糙轨道  $AP$ , 固定有水平轻弹簧的挡板组成。轨道  $AB$  与  $BC$  相切于  $B$  点, 半圆形轨道  $BC$  的半径  $R = 0.18 \text{ m}$ 。轨道  $AB$  上静置一质量  $m_1 = 0.3 \text{ kg}$  的小滑块  $a$ , 现用手将一质量  $m_2 = 0.1 \text{ kg}$  的小滑块  $b$  缓慢向右压缩弹簧一段距离, 并由静止释放, 滑块  $b$  离开弹簧一段时间后与滑块  $a$  发生弹性碰撞, 碰撞后滑块  $a$  沿轨道运动, 恰好能通过半圆形轨道的最高点  $C$ , 此后取走滑块  $a$ ; 碰撞后滑块  $b$  返回, 经弹簧反弹一次后恰好停在  $A$  点。已知滑块  $b$  与轨道  $AP$  之间的动摩擦因数  $\mu = 0.225$ , 滑块  $a$ 、 $b$  均可视为质点, 取重力加速度  $g = 10 \text{ m/s}^2$ 。求:

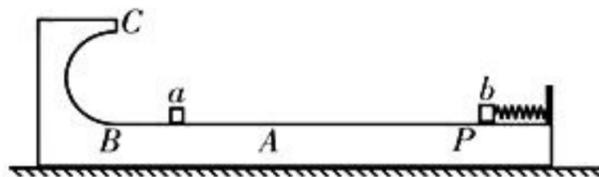


图 14

- (1) 碰撞后瞬间滑块  $a$  的速率  $v_1$ 。  
 (2)  $P$ 、 $A$  两点之间的距离  $L$ , 以及手对滑块  $b$  做的功  $W$ 。

12. 如图 15 所示, 虚线  $AB$ 、 $CD$  之间的区域中有竖直向上的匀强电场, 在虚线  $CD$  的右侧有一与其相切于  $M$  点的圆形有界匀强磁场, 磁场方向垂直于纸面 (图中未画出)。一带正电粒子从  $O$  点以水平初速度  $v_0$  正对  $P$  点进入该电场后, 从  $M$  点飞离  $CD$  边界,

再经磁场偏转后从  $N$  点垂直于  $CD$  边界回到电场区域,并恰能返回  $O$  点。已知  $O$ 、 $P$  两点之间的距离为  $d$ ,粒子质量为  $m$ ,电荷量为  $q$ ,电场强度  $E = \frac{\sqrt{3}mv_0^2}{qd}$ ,不计粒子自身重力。求:

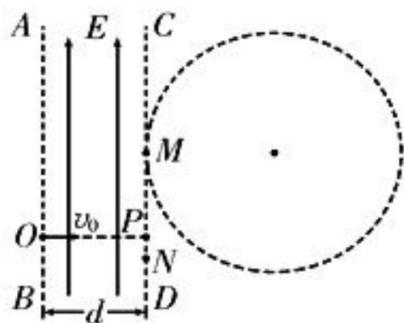


图 15

- (1)  $M$ 、 $N$  两点之间的距离。
- (2) 磁感应强度的大小和圆形匀强磁场的半径。
- (3) 粒子从  $O$  点出发至回到  $O$  点所用的时间。

(二) 选考题

13. [选修 3—3]

(1) 对于实际的气体,下列说法中正确的是\_\_\_\_\_。

- A. 气体体积变化时,其内能可能不变
- B. 气体的内能包括气体整体运动的动能
- C. 气体的内能包括气体分子热运动的动能
- D. 两个分子间的势能随这两个分子间距的减小而增大
- E. 两个分子间的斥力大小随这两个分子间距的减小而增大

(2) 如图 16 所示,一开口向下的汽缸竖直放置,汽缸壁内有卡口  $a$  和  $b$ ,厚度不计的活塞可以在卡口  $a$ 、 $b$  之间自由移动,卡口  $a$  距缸顶的高度为  $H$ ,卡口  $a$ 、 $b$  之间的距离为  $h$ ,活塞上方密封有一定质量的理想气体。活塞的质量为  $M$ ,面积为  $S$ ;活塞和汽缸壁均绝热,不计它们之间的摩擦。开始时活塞处于静止状态,且恰好对卡口  $a$  无压力,外界大气压强为  $p_0$ ,汽缸内外温度均为  $T$ 。现用电热丝缓慢加热汽缸

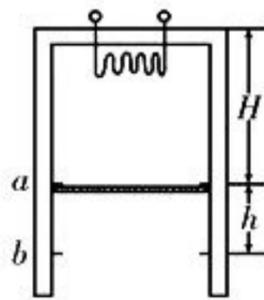


图 16

中的气体,直至活塞刚好到达卡口  $b$  处。重力加速度为  $g$ 。

(i) 求活塞刚好到达卡口  $b$  处时,缸内气体的温度。

(ii) 如果缸内气体每升高  $1^\circ\text{C}$ ,内能升高  $E_0$ ,求在此过程中缸内气体从电阻丝吸收的内能。

14. [选修 3—4]

(1) 某同学希望在暗室中用如图 17 所示的实验装置观察光现象,平面镜水平放置,单色线光源  $S$  垂直于

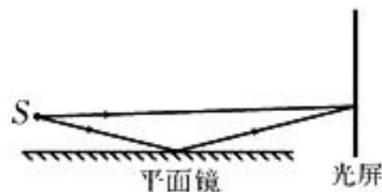


图 17

纸面放置, $S$  发出的光一部分直接入射到竖直放置的光屏上,另一部分通过平面镜反射后再射到光屏上。已知光源  $S$  发出的光为红光,则\_\_\_\_\_。

- A. 光现象为干涉现象,光屏上的条纹与镜面平行
- B. 光现象为衍射现象,光屏上的条纹与镜面平行
- C. 将光源沿竖直方向靠近平面镜,光屏上的相邻条纹间距减小
- D. 将光屏沿水平方向远离平面镜,光屏上的相邻条纹间距增大
- E. 若将  $S$  换成发射蓝光的线光源,其他条件不变,则光屏上的相邻条纹间距减小

(2) 如图 18 所示为某简谐横波  $t=0$  时刻的波形图,该波沿  $x$  轴正方向传播,振动周期  $T=2\text{ s}$ ,此时平衡位置为  $x_P=4\text{ m}$  的质点  $P$  刚要开始振动,质点  $Q$  的平衡位置为  $x_Q=15\text{ m}$  (图中未画出)。求:

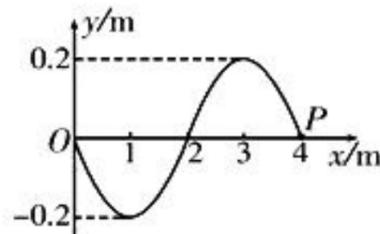


图 18

(i) 这列波的传播速度及质点  $P$  的振动方程。

(ii) 从该时刻起,经过多长时间质点  $Q$  第二次出现在波峰? (责任编辑 张 巧)

## 例谈“动碰动”一维对心弹性碰撞模型的处理方法



## 对心弹性碰撞模型的处理方法

■山东省聊城市东阿实验高中 袁恩国

求解涉及“动碰动”一维对心弹性碰撞模型的问题时,很多同学能够依据动量守恒定律和机械能守恒定律列出方程,但往往会由于计算难度大,而不能求出碰撞后两物体的速度。下面展示处理这类问题的四种方法,供同学们参考。

**“动碰动”一维对心弹性碰撞模型:**如图1所示,在光滑的水平面上有两个大小相等的小球1和2,其质量分别为 $m_1$ 和 $m_2$ ,其速度方向均向右,大小分别为 $v_1$ 和 $v_2$ ( $v_1 > v_2$ ),两小球发生对心弹性碰撞,求碰撞后两小球的速度 $v_1'$ 和 $v_2'$ 。

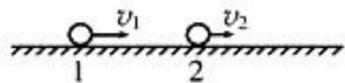


图1

**方法一:**依据动量守恒定律和机械能守恒定律求解。

两小球发生对心弹性碰撞,根据碰撞前后由两小球组成的系统动量守恒得 $m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v_1' + m_2 v_2'$ ,根据碰撞前后由两小球组成的系统机械能守恒得 $\frac{1}{2} m_1 v_1^2 +$

$$\frac{1}{2} m_2 v_2^2 = \frac{1}{2} m_1 v_1'^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2'^2, \text{ 解得}$$

$$v_1' = \frac{(m_1 - m_2)v_1 + 2m_2 v_2}{m_1 + m_2}, \quad v_2' = \frac{(m_2 - m_1)v_2 + 2m_1 v_1}{m_1 + m_2}.$$

如果碰前小球2的速度 $v_2 = 0$ ,则 $v_1' = \frac{(m_1 - m_2)v_1}{m_1 + m_2}$ ,  $v_2' = \frac{2m_1 v_1}{m_1 + m_2}$ ,这是“动碰静”一维对心弹性碰撞模型的碰后两小球的速度公式。

**方法二:**根据质心速度公式计算。

由两小球组成的系统的质心速度 $v_c = \frac{\text{总动量}}{\text{总质量}}$ 。因为由两小球组成的系统所受合外力为零,碰撞前后系统总动量不变,总质量也不变,所以系统的质心速度不变。根据动量守恒定律得 $m_1 v_1 + m_2 v_2 = (m_1 + m_2) v_c$ ,解得 $v_c = \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2} = \frac{m_1}{m_1 + m_2} v_1 +$

$\frac{m_2}{m_1 + m_2} v_2$ 。根据碰撞前后由两小球组成的系统动量守恒得 $m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v_1' + m_2 v_2'$ ,根据碰撞前后由两小球组成的系统机械能守恒得 $\frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2 = \frac{1}{2} m_1 v_1'^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2'^2$ ,解得 $v_1' = \frac{m_1 v_1}{m_1 + m_2} + \frac{-m_2 v_1}{m_1 + m_2} + \frac{2m_2 v_2}{m_1 + m_2} = \frac{2m_1 v_1}{m_1 + m_2} + \frac{-m_2 v_1 - m_1 v_1}{m_1 + m_2} + \frac{2m_2 v_2}{m_1 + m_2} = \frac{2m_1 v_1}{m_1 + m_2} + \frac{2m_2 v_2}{m_1 + m_2} - \frac{m_2 v_1 + m_1 v_1}{m_1 + m_2} = 2v_c - v_1$ ,同理得 $v_2' = 2v_c - v_2$ 。

**方法三:**转换参考系,将“动碰动”模型转换成“动碰静”模型求解。

如果以碰前小球2为参考系,则碰前小球1的速度 $v_{1\text{相对}} = v_1 - v_2$ ,设碰后两小球的速度分别为 $v_{1\text{相对}}'$ 和 $v_{2\text{相对}}'$ ,利用上述“动碰静”模型的结论得 $v_{1\text{相对}}' = \frac{(m_1 - m_2)v_{1\text{相对}}}{m_1 + m_2}$ ,

$v_{2\text{相对}}' = \frac{2m_1 v_{1\text{相对}}}{m_1 + m_2}$ ,再把碰后两小球相对碰前小球2的速度转化为相对地面的速度得 $v_1' = v_{1\text{相对}}' + v_2$ ,  $v_2' = v_{2\text{相对}}' + v_2$ 。

**方法四:**将“动碰动”模型等效为两个“动

碰静”模型求解。

先将速度为  $v_1$  的小球 1 与速度为  $v_2$  的小球 2 的一维对心弹性碰撞,等效为速度为  $v_1$  的小球 1 碰撞静止的小球 2 的一维弹性对心碰撞和速度为  $v_2$  的小球 2 碰撞静止的小球 1 的一维弹性对心碰撞,然后利用“动碰静”模型的结论求解碰后两小球的速度。

在速度为  $v_1$  的小球 1 与静止的小球 2 发生一维对心弹性碰撞的过程中,碰后小球 1

的速度  $v_{1\text{等效}} = \frac{(m_1 - m_2)v_1}{m_1 + m_2}$ ,碰后小球 2 的速

度  $v_{2\text{等效}} = \frac{2m_1v_1}{m_1 + m_2}$ 。在速度为  $v_2$  的小球 2 与

静止的小球 1 发生一维对心弹性碰撞的过程中,

碰后小球 1 的速度  $v_{1\text{等效}}' = \frac{2m_2v_2}{m_1 + m_2}$ ,碰后

小球 2 的速度  $v_{2\text{等效}}' = \frac{(m_2 - m_1)v_2}{m_1 + m_2}$ 。根据速

度的矢量性可知,速度为  $v_1$  的小球 1 与速度

为  $v_2$  的小球 2 发生一维对心弹性碰撞的过程中,

碰后小球 1 的速度  $v_1' = v_{1\text{等效}} + v_{1\text{等效}}'$

$= \frac{(m_1 - m_2)v_1 + 2m_2v_2}{m_1 + m_2}$ ,碰后小球 2

的速度  $v_2' = v_{2\text{等效}} + v_{2\text{等效}}' =$

$\frac{(m_2 - m_1)v_2 + 2m_1v_1}{m_1 + m_2}$ 。

**四种处理方法的比较:**利用方法一处理

问题的优点是思路直接,列出方程的难度较

小;缺点是计算非常烦琐,对计算能力的要求

很高,正确计算花费的时间较长,如果直接记

忆结论,那么结论本身也非常复杂,同学们容

易记混或者出错。利用方法二处理问题的优

点是结论方便记忆,计算相对简单,省时省

力;缺点是同学们需要明确质心速度的概念,

不要把求质心速度的过程误当成两小球碰后

共速的过程。利用方法三和方法四处理问

题的方法可以拓展同学们的解题思路。

### 例题

如图 2 所示,在光滑水平面上,大小相同的 A、B 两小球沿同一条直线同向运动,质量  $m_1 = 2 \text{ kg}$  的小球 A 的速度  $v_1 = 2 \text{ m/s}$ ,质量  $m_2 = 1 \text{ kg}$  的小球 B 的速度  $v_2 = 1 \text{ m/s}$ ,两小球发生弹性碰撞,求碰后两小球

的速度大小。

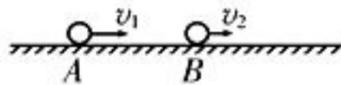


图 2

**解法一:**直接利用动量守恒定律和机械能守恒定律列方程求解。

设碰后两小球的速度分别为  $v_1'$  和  $v_2'$ ,由两小球组成的系统在水平方向上不受外力

作用,动量守恒,机械能也守恒。根据动量守

恒定律得  $m_1v_1 + m_2v_2 = m_1v_1' + m_2v_2'$  ①,根

据机械能守恒定律得  $\frac{1}{2}m_1v_1^2 + \frac{1}{2}m_2v_2^2 =$

$\frac{1}{2}m_1v_1'^2 + \frac{1}{2}m_2v_2'^2$  ②。将方程①移项整理

得  $m_1(v_1 - v_1') = m_2(v_2' - v_2)$  ③,将方程②移

项整理得  $m_1(v_1^2 - v_1'^2) = m_2(v_2'^2 - v_2^2)$  ④,联

立③④两式得  $v_1 + v_1' = v_2' + v_2$  ⑤,联立

①⑤两式解得  $v_1' = \frac{(m_1 - m_2)v_1 + 2m_2v_2}{m_1 + m_2}$ ,

$v_2' = \frac{(m_2 - m_1)v_2 + 2m_1v_1}{m_1 + m_2}$ ,代入数据解得

$v_1' = \frac{4}{3} \text{ m/s}, v_2' = \frac{7}{3} \text{ m/s}$ 。

**解法二:**利用质心速度求解。

利用  $m_1v_1 + m_2v_2 = (m_1 + m_2)v_c$  求得由

两小球组成的系统的质心速度  $v_c =$

$\frac{m_1v_1 + m_2v_2}{m_1 + m_2} = \frac{5}{3} \text{ m/s}$ 。设碰后两个球的速

度分别为  $v_1'$  和  $v_2'$ ,根据动量守恒定律得

$m_1v_1 + m_2v_2 = m_1v_1' + m_2v_2'$ ,根据机械能守

恒定律得  $\frac{1}{2}m_1v_1^2 + \frac{1}{2}m_2v_2^2 = \frac{1}{2}m_1v_1'^2 +$

$\frac{1}{2}m_2v_2'^2$ ,解得  $v_1' = 2v_c - v_1 = \frac{4}{3} \text{ m/s}, v_2' =$

$2v_c - v_2 = \frac{7}{3} \text{ m/s}$ 。

**解法三:**转换参考系,将“动碰动”模型转

换成“动碰静”模型求解。

以碰前小球 B 为参考系,则碰前小球 A

## 例谈曲面限制下平抛运动极值问题的处理方法

■甘肃省庆阳市陇东学院附属中学 张金龙 赵正委

在高考试题中,经常会将平抛运动与水平面、竖直面、斜面、曲面(抛物面和圆弧面)等结合在一起进行考查,解题思路通常是平抛运动分解为水平方向的匀速直线运动和竖直方向的自由落体运动,利用运动的合成与分解进行分析与求解。但遇到曲面限制下的平抛运动极值问题时,很多同学就会感觉束手无策了。下面通过两个实例展示在抛物面和圆弧面限制下平抛运动极值问题的四种数学求解方法,旨在帮助同学们构建数学模型,提升运用数学方法解决物理问题的能力。

### 一、处理极值问题的四种数学方法

#### 1. 利用对钩函数求极值。

形如  $f(x) = ax + \frac{b}{x}$  ( $a, b > 0$ ) 的函数称为对钩函数,对钩函数的图像是分别以  $y$  轴和  $y = ax$  为渐近线的两支曲线。若  $a > 0$ ,

$b > 0$ ,则函数图像在第一象限内的转折点为

$(\sqrt{\frac{b}{a}}, 2\sqrt{ab})$ ,即当自变量  $x > 0$  时,  $f(x)$

在  $x = \sqrt{\frac{b}{a}}$  处取最小值,最小值为  $2\sqrt{ab}$ ;函

数图像在第三象限内的转折点为

$(-\sqrt{\frac{b}{a}}, -2\sqrt{ab})$ ,即当自变量  $x < 0$  时,

$f(x)$  在  $x = -\sqrt{\frac{b}{a}}$  处取最大值,最大值为

$-2\sqrt{ab}$ 。

#### 2. 利用基本不等式求极值。

基本不等式  $a^2 + b^2 \geq 2ab$ ,当  $a = b$  时,  $a^2 + b^2$  取最小值  $2ab$ ;基本不等式的变形式  $a + b \geq 2\sqrt{ab}$ ,当  $a = b$  时,  $a + b$  取最小值

$2\sqrt{ab}$ ;基本不等式的拓展不等式链  $\frac{2}{\frac{1}{a} + \frac{1}{b}} \leq$

$\frac{4}{3}$  m/s,再把碰后两小球相对碰前小球 B 的速度转化为相对地面的速度得  $v_1' = v_{1\text{相对}} + v_2 = \frac{4}{3}$  m/s,  $v_2' = v_{2\text{相对}}' + v_2 = \frac{7}{3}$  m/s。

**解法四:**将“动碰动”模型等效为两个“动碰静”模型求解。

在等效的质量  $m_1 = 2$  kg 的小球 A 以速度  $v_1 = 2$  m/s 碰撞静止的质量  $m_2 = 1$  kg 的小球 B 的过程中,碰后小球 A 的速度  $v_{1\text{等效}} = \frac{(m_1 - m_2)v_1}{m_1 + m_2} = \frac{2}{3}$  m/s,碰后小球 B 的速度

$v_{2\text{等效}} = \frac{2m_1v_1}{m_1 + m_2} = \frac{8}{3}$  m/s。在等效的质量

$m_2 = 1$  kg 的小球 B 以速度  $v_2 = 1$  m/s 碰撞静止的质量  $m_1 = 2$  kg 的小球 A 的过程中,碰后小球 A 的速度  $v_{1\text{等效}}' = \frac{2m_2v_2}{m_1 + m_2} = \frac{2}{3}$  m/s,

碰后小球 B 的速度  $v_{2\text{等效}}' = \frac{(m_2 - m_1)v_2}{m_1 + m_2} =$

$-\frac{1}{3}$  m/s。因此碰后小球 A 的速度  $v_1' =$

$v_{1\text{等效}} + v_{1\text{等效}}' = \frac{4}{3}$  m/s,碰后小球 B 的速度

$v_2' = v_{2\text{等效}} + v_{2\text{等效}}' = \frac{7}{3}$  m/s。

### 跟踪训练

一个弹性球从高度  $h$  处自由下落,与地面发生弹性碰撞后,反弹上升的高度也为  $h$ 。如果一个质量为  $m$  的弹性球 2 和质量为  $3m$  的弹性球 1 上下叠放在一起(两小球不粘连)仍从高度为  $h$  处自由下落,与地面发生弹性碰撞后,那么弹性球 2 可以上升到更大的高度。已知所有碰撞均为弹性碰撞,重力加速度为  $g$ 。求弹性球 2 与弹性球 1 叠放在一起自由下落经地面反弹后上升的高度  $h'$  与它自由下落的高度  $h$  的比值。

参考答案:  $\frac{h'}{h} = 4$ 。

(责任编辑 张巧)

$$\sqrt{ab} \leq \frac{a+b}{2} \leq \sqrt{\frac{a^2+b^2}{2}}$$

### 3. 配方法求极值。

形如  $y = ax^2 + bx + c$  的解析式可变形为  $y = (x - A)^2 + \text{常数}$ , 当  $x = A$  时, 常数为  $y$  的极小值, 或变形为  $y = -(x - A)^2 + \text{常数}$ , 当  $x = A$  时, 常数为  $y$  的极大值。

### 4. 导数法求极值。

对函数  $f(x)$  求导数, 当  $f'(x) = 0$  时,  $x$  的解即为极值点, 通过比较不同  $x$  值对应的函数值即可求出函数  $f(x)$  的最大值或最小值。

## 二、抛物面限制下平抛运动极值问题的求解

**例 1** 如图 1 所示, 探险运动员探险时遇到一个一侧为竖直面, 另一侧为抛物面的山沟, 探险运动员从山沟的竖直面一侧以初速度  $v$  沿水平方向跳向另一侧抛物面。以沟底的  $O$  点为原点建立直角坐标系  $xOy$ , 山沟竖直面一侧的高度为  $2h$ , 另一侧抛物面的方程为  $y = \frac{x^2}{2h}$ , 探险运动员的质量为  $m$ , 当地的重力加速度为  $g$ , 忽略空气阻力。求: 探险运动员的初速度  $v$  为多少时, 他落在抛物面上时的动能最小? 最小动能是多少?

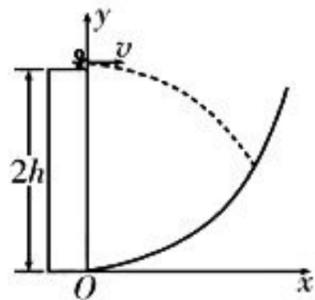


图 1

**分析:** 根据平抛运动规律可知, 做平抛运动物体的末动能由初速度和竖直位移共同决定; 根据动能定理可知, 末动能等于初动能和重力做功之和。当探险运动员的初速度增大, 即初动能增大时, 沿竖直方向下落的高度将减小, 重力做功将减小; 当探险运动员的初速度减小, 即初动能减小时, 沿竖直方向下落的高度将增大, 重力做功将增大。因此要想求得末动能的最小值需要利用平抛运动规律和曲面的限制条件得出用初速度表示的末动能表达式, 结合数学方法求解。

**解:** 设探险运动员从跳出到落到抛物面上的过程中, 水平位移为  $x$ , 竖直位移为  $h'$ ,

根据平抛运动规律得  $x = vt, h' = \frac{1}{2}gt^2$ , 根据

动能定理得  $mgh' = E_k - \frac{1}{2}mv^2$ 。根据几何

关系得  $y = 2h - h'$ , 结合抛物面方程  $y = \frac{x^2}{2h}$ ,

解得  $E_k = \frac{1}{2}m \left( \frac{4g^2h^2}{v^2 + gh} + v^2 \right)$ 。求动能  $E_k$  的

最小值可采用以下三种数学方法。

**方法一:** 根据不等式的性质得

$$\begin{aligned} E_k &= \frac{1}{2}m \left[ \frac{4g^2h^2}{v^2 + gh} + (v^2 + gh) - gh \right] \\ &= \frac{1}{2}m \left[ \frac{4g^2h^2}{v^2 + gh} + (v^2 + gh) \right] - \frac{1}{2}mgh \\ &\geq m \sqrt{\frac{4g^2h^2}{v^2 + gh} \cdot (v^2 + gh)} - \frac{1}{2}mgh \\ &= \frac{3}{2}mgh。 \end{aligned}$$

当  $\frac{4g^2h^2}{v^2 + gh} = v^2 + gh$ , 即  $v = \sqrt{gh}$  时,  $E_k$

取最小值, 且最小动能  $E_{k\min} = \frac{3}{2}mgh$ 。

**方法二:** 将方程  $E_k = \frac{1}{2}m \left( \frac{4g^2h^2}{v^2 + gh} + v^2 \right)$  配

方得

$$\begin{aligned} E_k &= \frac{1}{2}m \left[ (v^2 + gh) - 4gh + \frac{4g^2h^2}{v^2 + gh} \right] + \frac{3}{2}mgh \\ &= \frac{1}{2}m \left( \sqrt{v^2 + gh} - \frac{2gh}{\sqrt{v^2 + gh}} \right)^2 + \frac{3}{2}mgh。 \end{aligned}$$

当  $\sqrt{v^2 + gh} = \frac{2gh}{\sqrt{v^2 + gh}}$ , 即  $v = \sqrt{gh}$  时,

$E_k$  取最小值, 且最小动能  $E_{k\min} = \frac{3}{2}mgh$ 。

**方法三:** 将函数  $E_k = \frac{1}{2}m \left( \frac{4g^2h^2}{v^2 + gh} + v^2 \right)$  对

初速度  $v$  求导得

$$E_k' = mv - \frac{4mg^2h^2v}{(v^2 + gh)^2}$$

当  $E_k' = 0$ , 即  $v = \sqrt{gh}$  时,  $E_k$  取最小值,

且最小动能  $E_{k\min} = \frac{3}{2}mgh$ 。

**点评:** 本题中利用三种不同的数学方法求动能最小值的关键是根据平抛运动规律得

出动能  $E_k$  的函数表达式,方法一是利用不等式的性质进行求解,方法二是先对动能  $E_k$  的函数表达式进行配方,再利用不等式的性质进行求解,方法三是先通过求导确定动能最小时的速度,再确定对应的最小动能值。

### 三、圆弧面限制下平抛运动极值问题的求解

**例 2** 如图 2 所示,半径为  $R$  的  $\frac{1}{4}$  圆弧轨道  $AB$  位于竖直平面内,一金属小球从圆心  $O$  处以某一速度水平抛出,不计空气阻力,求:小球落在轨道  $AB$  上何处时,小球的动能最小? 最小动能为多少?

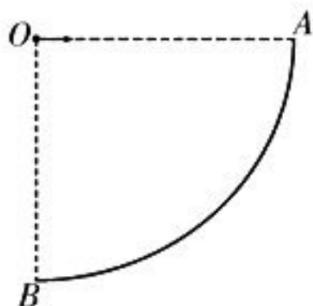


图 2

**分析:**要想让小球落在圆弧面上时的动能最小,即小球从  $O$  点抛出时的初动能和重力做功之和最小,需要先利用抛出点的坐标得出末动能的表达式,再利用数学方法求出动能的最小值及对应的位置坐标。

**解法一:**以小球抛出点  $O$  为坐标原点,水平向右为  $x$  轴,竖直向下为  $y$  轴建立直角坐标系  $xOy$ ,设小球抛出时的初速度为  $v$ ,根据平抛运动规律得  $x=vt, y=\frac{1}{2}gt^2$ ,根据动能定理得  $mgy = E_k - \frac{1}{2}mv^2$ ,根据几何关系得  $x^2 + y^2 = R^2$ ,联立以上各式解得  $E_k = \frac{1}{4}mg\left(\frac{R^2}{y} + 3y\right)$ 。根据对钩函数的性质可知,当  $\frac{R^2}{y} = 3y$ ,即  $y = \frac{\sqrt{3}}{3}R$  时,小球落在圆弧面上的坐标为  $\left(\frac{\sqrt{6}}{3}R, \frac{\sqrt{3}}{3}R\right)$ , $E_k$  取最小值,且最小动能  $E_{kmin} = \frac{\sqrt{3}}{2}mgR$ 。

**解法二:**将解法一中得出的动能表达式  $E_k = \frac{1}{4}mg\left(\frac{R^2}{y} + 3y\right)$  对竖直坐标  $y$  求导得

$$E_k' = \frac{1}{4}mg\left(-\frac{R^2}{y^2} + 3\right)$$

当  $E_k' = 0$ ,即  $y = \frac{\sqrt{3}}{3}R$  时,小球落在圆弧面上的坐标为  $\left(\frac{\sqrt{6}}{3}R, \frac{\sqrt{3}}{3}R\right)$ , $E_k$  取最小值,且最小动能  $E_{kmin} = \frac{\sqrt{3}}{2}mgR$ 。

**解法三:**以小球抛出点  $O$  为坐标原点,水平向右为  $x$  轴,竖直向下为  $y$  轴建立直角坐标系  $xOy$ ,设小球的合位移与水平方向之间的夹角为  $\theta$ ,则小球落在圆弧面上的位置坐标  $x = R\cos\theta, y = R\sin\theta$ ,根据平抛运动规律得  $x = vt, y = \frac{1}{2}gt^2$ ,根据动能定理得  $mgy = E_k - \frac{1}{2}mv^2$ ,因此动能  $E_k$  用  $\theta$  可表示为  $E_k = mgR\left(\sin\theta + \frac{\cos^2\theta}{4\sin\theta}\right) = \frac{mgR}{4}\left(3\sin\theta + \frac{1}{\sin\theta}\right)$ 。当  $3\sin\theta = \frac{1}{\sin\theta}$ ,即  $\sin\theta = \frac{\sqrt{3}}{3}$  时,小球落在圆弧面上的坐标为  $\left(\frac{\sqrt{6}}{3}R, \frac{\sqrt{3}}{3}R\right)$ , $E_k$  取最小值,且最小动能  $E_{kmin} = \frac{\sqrt{3}}{2}mgR$ 。

**点评:**求解本题的关键是确定末动能  $E_k$  的表达式,解法一是利用对钩函数求得的极值,解法二是利用导数法求得的极值,解法三是利用位移与水平方向之间的夹角作为变量表示的末动能  $E_k$ ,其本质还是利用对钩函数求解。本题也可以根据平抛运动规律,将水平分位移  $x$  作为自变量,确定出末动能  $E_k$  的表达式,进而利用数学方法求极值。

**小结:**求解抛物面和圆弧面限制下的平抛运动极值问题,对平抛运动沿水平方向和竖直方向进行分解时,需要考虑曲面对物体水平位移和竖直位移的限制,找出水平位移和竖直位移的关系,结合动能定理将物理问题转化为数学问题,灵活应用对钩函数法、基本不等式法、配方法、导数法等进行求解。

(责任编辑 张 巧)

# 棒与导轨问题



# 分类例析

■山东省德州市第一中学 李敏 梁洪秀 刘立毅(正高级教师)

两根平行金属导轨置于水平面或斜面上,一端通过导线、电阻或电容器等连接,处于垂直于导轨平面的匀强磁场中,金属棒垂直放在导轨上,且可相对导轨运动,我们称此类问题为棒与导轨问题。常见的棒与导轨模型大致可以分为发电式导轨、电动式导轨、综合发电与电动式导轨、电容放电和充电式导轨等。下面将此类问题进行归纳总结,供同学们参考。

## 一、单根金属棒,发电式

**例 1** 如图 1 所示,间距为  $L$  的平行金属轨道  $MN$ 、 $PQ$  均固定在竖直平面内,两轨道均由水平光滑直轨道和半径为  $r$  的四分之一光滑圆弧轨道组成,圆弧轨道的最低点切线水平,水平轨道有一部分处在竖直向上的匀强磁场中,磁场的边界垂直于轨道,磁场左右两边界间距也为  $L$ ,轨道  $N$ 、 $Q$  端接有阻值为  $R$  的定值电阻,磁场右侧轨道上固定有两个弹性金属立柱,两立柱连线与轨道垂直。一根质量为  $m$  的金属棒从轨道的  $M$ 、 $P$  端由静止释放,金属棒穿过磁场后,与金属立柱碰撞无能量损失,此后金属棒刚好能再次穿过磁场。金属棒和轨道电阻均不计,重力加速度为  $g$ ,求:

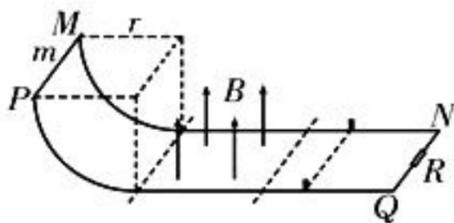


图 1

(1)金属棒到达圆弧轨道最低点时对轨道的压力大小。

(2)金属棒第一次穿过磁场的过程中,通

过电阻  $R$  的电荷量。

(3)金属棒第一次穿过磁场的过程中,电阻  $R$  中产生的焦耳热。

**分析:**金属棒沿光滑圆弧轨道下滑,当金属棒第一次进入磁场时,安培力做负功,金属棒做减速运动,当金属棒与金属立柱发生弹性碰撞后,金属棒将以碰撞前瞬间相同大小的速度再次进入磁场,运动至磁场左边界时速度减为 0。

**解:**(1)金属棒从释放到运动至圆弧轨道最低点的过程中,根据动能定理得  $mgr = \frac{1}{2}mv^2$ ,在圆弧轨道最低点时有  $N - mg = m\frac{v^2}{r}$ ,解得  $v = \sqrt{2gr}$ ,  $N = 3mg$ 。根据牛顿第三定律可知,此时金属棒对轨道的压力大小  $N' = N = 3mg$ 。

(2)设金属棒两次穿越磁场所用的时间为  $t$ ,通过金属棒的电荷量为  $q$ ,根据电流的定义式得  $I = \frac{q}{t}$ ,根据法拉第电磁感应定律得  $E = \frac{\Delta\Phi}{t}$ ,根据欧姆定律得  $I = \frac{E}{R}$ ,解得  $q = \frac{\Delta\Phi}{R} = \frac{BL \cdot 2L}{R}$ 。对整个运动过程应用动量定理得  $-BILt = 0 - mv$ ,即  $-BLq = -mv$ 。联立以上

各式解得  $B = \sqrt{\frac{mR}{2L^3} \cdot 2gr}$ ,  $q = \sqrt{\frac{2mL}{R} \cdot 2gr}$ 。

因此金属棒第一次穿过磁场的过程中,通过电阻  $R$  的电荷量  $q' = \frac{1}{2}q = \sqrt{\frac{mL}{2R} \cdot 2gr}$ 。

(3)设金属棒第一次穿出磁场时的速度为  $v_1$ ,根据动量定理得  $-BLq' = mv_1 - mv$ ,解得  $v_1 = \frac{\sqrt{2gr}}{2}$ 。根据能量守恒定律得  $Q =$

$$\frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_1^2, \text{解得 } Q = \frac{3}{4}mgr.$$

点评:(1)问,金属棒在沿圆弧轨道下滑的过程中,重力势能转化为动能,熟练运用动能定理和向心力表达式列出相关方程是解题的关键。(2)问和(3)问,金属棒进入磁场后,安培力做负功,速度减小,金属棒穿过磁场后,与金属立柱碰撞无能量损失,且金属棒刚好能再次穿过磁场,则金属棒以碰撞前瞬间相同大小的速度再次进入磁场和金属棒再次穿过磁场时速度恰好为0为隐含条件。金属棒两次进出磁场的过程中均为安培力做负功,运用动量守恒定律、法拉第电磁感应定律、能量守恒定律等列出相关方程,即可求出相关物理量。

## 二、两根金属棒,综合发电和电动式

**例 2** 如图2所示,空间存在竖直向下的匀强磁场,磁感应强度  $B=0.5\text{ T}$ 。在匀强磁场区域内,一对平行光滑金属导轨处于同一水平面内,导轨足够长,导轨间距  $L=1\text{ m}$ ,电阻可忽略不计。质量均为  $m=1\text{ kg}$ ,电阻均为  $R=2.5\ \Omega$  的导体棒  $MN$  和  $PQ$  垂直于导轨放置,且与导轨接触良好。先将导体棒  $PQ$  暂时锁定,导体棒  $MN$  在垂直于棒的拉力  $F$  作用下,由静止开始以加速度  $a=0.4\text{ m/s}^2$  向右做匀加速直线运动,5 s 后保持拉力  $F$  的功率不变,直到导体棒  $MN$  以最大速度  $v_{\max}$  做匀速直线运动。

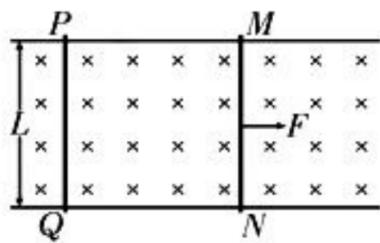


图2

(1)求导体棒  $MN$  的最大速度  $v_{\max}$ 。

(2)若导体棒  $PQ$  始终不解除锁定,当导体棒  $MN$  达到最大速度  $v_{\max}$  时,撤去拉力  $F$ ,导体棒  $MN$  继续运动多远后停下来?此过程中电路产生的焦耳热是多少?(运算结果可用根式表示)

(3)当导体棒  $MN$  达到最大速度  $v_{\max}$  时,解除导体棒  $PQ$  的锁定,同时撤去拉力

$F$ ,两导体棒最终均匀速运动。求解除导体棒  $PQ$  锁定后到两导体棒最终匀速运动的过程中,电路产生的总焦耳热。

分析:平行金属导轨固定在水平面上,置于竖直向下的匀强磁场中,锁定导体棒  $PQ$ ,导体棒  $MN$  受外力作用做匀加速直线运动至达到最大速度;若不解除导体棒  $PQ$  的锁定,撤去外力  $F$ ,则导体棒  $MN$  将做减速运动至停止;若解除导体棒  $PQ$  的锁定,同时撤去外力  $F$ ,则导体棒  $MN$  将做减速运动,导体棒  $PQ$  将做加速运动,最终两导体棒将以等大的速度做匀速运动。

解:(1)导体棒  $MN$  做匀加速运动,根据牛顿第二定律得  $F - BIL = ma$ ,经过 5 s 其速度  $v = at_1 = 2\text{ m/s}$ ,产生的感应电动势  $E = BLv$ 。在由两导体棒组成的回路中,电流  $I = \frac{E}{2R}$ 。联立以上各式解得  $F = 0.5\text{ N}$ 。第

5 s 时刻拉力  $F$  的功率  $P = Fv = 1\text{ W}$ 。当导体棒  $MN$  的速度达到最大值时,导体棒  $MN$  受力平衡,根据平衡条件得  $\frac{P}{v_{\max}} - BI_{\max}L = 0$ ,

其中  $I_{\max} = \frac{BLv_{\max}}{2R}$ ,解得  $v_{\max} = 2\sqrt{5}\text{ m/s}$ 。

(2)以导体棒  $MN$  为研究对象,设某时刻导体棒  $MN$  中的电流为  $i$ ,在极短时间  $\Delta t$  内,根据动量定理得  $-BiL\Delta t = m\Delta v$ ,对等式两边求和得  $\sum(-BiL\Delta t) = \sum(m\Delta v)$ ,其中  $\sum(i\Delta t) = \sum\Delta q$ ,  $\sum(m\Delta v) = 0 - mv_{\max}$ ,整理

得  $BLq = mv_{\max}$ ,解得  $q = \frac{20\sqrt{5}}{5}\text{ C}$ 。根据  $q =$

$\bar{I}t = \frac{E}{2R}t$ ,结合法拉第电磁感应定律  $E = \frac{BLx}{t}$

得  $q = \frac{BLx}{2R}$ ,解得  $x = 40\sqrt{5}\text{ m}$ 。在导体棒

$MN$  做减速运动的过程中,根据动能定理得

$W_{\text{安}} = 0 - \frac{1}{2}mv_{\max}^2$ ,则电路产生的焦耳热  $Q = -W_{\text{安}} = 10\text{ J}$ 。

(3)设两导体棒最终的共同速度为  $v'$ ,自解除导体棒  $PQ$  锁定至两导体棒达共速的过程中,根据动量守恒定律得  $mv_{\max} = 2mv'$ ,解得  $v' = \sqrt{5}\text{ m/s}$ 。设该过程中两导体棒中产

生的焦耳热为  $Q'$ , 根据能量守恒定律得  $Q' = \frac{1}{2}mv_{\max}^2 - \frac{1}{2} \times 2mv'^2 = 5 \text{ J}$ 。

点评:(2)问,利用微元法求解导体棒  $MN$  的位移时,选动量定理而不选动能定理是因为安培力的元功  $-BiL\Delta x$  中变量  $i$  和  $\Delta x$  的积无法求出,而安培力的元冲量  $-BiL\Delta t$  中变量  $i$  和  $\Delta t$  的积  $i\Delta t = \Delta q$  可以求出。焦耳热  $Q = -W_{\text{安}}$  的条件为:①磁场不变,或以相对磁场静止的物体为参考系;②纯电阻电路;③动生电动势;④单棒为闭合回路的唯一电源,无反电动势;⑤单棒所受安培力做负功。(2)问所述情况符合这5个条件,所以导体棒  $MN$  克服安培力做功,使其动能全部转化为闭合回路的焦耳热。(3)问中的两导体棒均为电源,不符合这5个条件,需要用能量守恒定律求总焦耳热。导体棒  $MN$  的速度从  $v_{\max}$  减小到  $v'$  的过程中,根据动能定理得  $W_{\text{安}1} = \frac{1}{2}mv'^2 - \frac{1}{2}mv_{\max}^2$ ,导体棒  $MN$  克服安培力做的功不等于回路的总焦耳热。导体棒  $PQ$  的速度从0增大到  $v'$  的过程中,根据动能定理得  $W_{\text{安}2} = \frac{1}{2}mv'^2 - 0$ 。将上述两式相加得  $W_{\text{安}1} + W_{\text{安}2} = mv'^2 - \frac{1}{2}mv_{\max}^2 = -Q_{\text{总}}$ ,即安培力对两导体棒做的总功等于回路中总焦耳热的负值。实际上,导体棒  $MN$  克服安培力做的功转化为导体棒  $PQ$  的动能与回路的焦耳热,这是两导体棒同时运动满足的功能关系。

### 三、三根金属棒,发电式

**例 3** 如图3甲所示,间距为  $l$  的两平行金属导轨固定在水平面上,导轨的一部分处于宽度为  $3L$  的匀强磁场区域中,磁感应强度  $B$  随时间  $t$  变化的图像如图3乙所示,在磁场区域内锁定放置“联动双杆”(由两根相同的金属杆  $ab$  和  $cd$  用长度为  $L$  的刚性绝缘轻杆连接构成),其中金属杆  $cd$  恰好位于磁场左边界处。 $t=0$  时刻,一金属杆  $ef$  从左侧以速度  $v_0 = 12 \text{ m/s}$  滑向“联动双杆”。 $t=5 \text{ s}$  时刻,金属杆  $ef$  与“联动双杆”发生碰撞(碰撞前解除锁定),碰后金属杆  $ef$  和  $cd$

粘在一起形成“联动三杆”。为使“联动三杆”恰好能从磁场区域滑出,在金属杆  $ef$  和  $cd$  碰撞后立即对“联动三杆”施加一平行导轨的水平恒力  $F$ ,并在金属杆  $ab$  到达磁场右边界时撤去。已知金属杆  $ab$ 、 $cd$  和  $ef$  的质量均为  $m=0.1 \text{ kg}$ ,长度均为  $l=0.5 \text{ m}$ ,电阻均为  $R=0.02 \Omega$ ,绝缘轻杆的长度  $L=0.3 \text{ m}$ 。运动过程中,金属杆  $ab$ 、 $cd$  和  $ef$  与导轨始终接触良好,且保持与导轨垂直,不计摩擦阻力和导轨电阻,忽略磁场边界效应,规定垂直于纸面向里为磁场正方向。求:

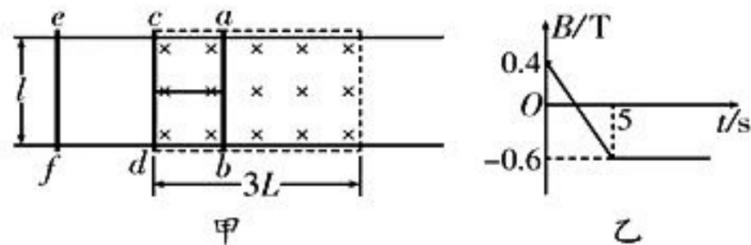


图3

(1)  $t=4 \text{ s}$  时刻,流过金属杆  $ab$  的电流  $I$  的大小和方向。

(2) “联动三杆”在磁场区域内所受的水平恒力  $F$  的大小和方向。

(3) 金属杆  $ab$  两端电压  $U_{ab}$  与“联动三杆”位移大小  $x$  的关系。

分析:平行金属导轨固定在水平面上,导轨上的单杆和“联动双杆”分别位于磁场外部和内部。当磁场变化时,金属杆与导轨组成的闭合回路均为电源;当磁场恒定时,金属杆  $ef$  与“联动双杆”碰撞并粘在一起组成“联动三杆”,受水平恒力  $F$  作用做匀减速运动,回路中无感应电流;金属杆  $ab$  滑出磁场后,回路中有感应电流,“联动三杆”做减速运动至停止。

解:(1)  $t=4 \text{ s}$  时刻,根据法拉第电磁感应定律得  $E = \frac{lL\Delta B}{\Delta t}$ ,根据闭合电路欧姆定律得  $I = \frac{E}{R_{\text{总}}}$ ,根据串并联电路特点得  $R_{\text{总}} = R + \frac{R}{2} = 1.5R$ ,解得  $I = 1 \text{ A}$ 。根据楞次定律和安培定则判断知,电流方向由  $a$  指向  $b$ 。

(2) 设金属杆  $ef$  与“联动双杆”碰后瞬间的速度为  $v_1$ ,金属杆  $ab$  恰好运动到磁场右边



界时的速度为  $v_2$ , 在金属杆  $ab$  与“联动双杆”碰撞的过程中, 根据动量守恒定律得  $mv_0 = 3mv_1$ , 解得  $v_1 = 4 \text{ m/s}$ 。从金属杆  $ab$  恰好运动到磁场右边界到“联动三杆”恰好滑出磁场区域的过程中, 根据动量定理得  $-Bil\Delta t = 3m\Delta v$ , 对等式两边求和得  $-Bl\sum(i\Delta t) = 3m\sum\Delta v$ , 整理得  $Blq = 3mv_2$ , 其中  $q = \frac{BLl}{R_{\text{总}}} = 3 \text{ C}$ , 解得  $v_2 = 3 \text{ m/s}$ 。在恒力  $F$  作用的过程中, 根据动能定理得  $2FL = \frac{1}{2} \times 3m(v_1^2 - v_2^2)$ , 解得  $F = \frac{7}{4} \text{ N}$ , 方向水平向左。

(3)“联动三杆”在磁场区域内运动的过程中, 即  $0 \leq x \leq 0.6 \text{ m}$  时, 根据动能定理得  $Fx = \frac{1}{2} \times 3m(v_1^2 - v^2)$ , 解得  $v = \sqrt{16 - \frac{35x}{3}}$ , 此时金属杆  $ab$  和  $cd$  相当于两个反向串联的电源, 则  $U_{ab} = -Blv$ , 所以  $U_{ab} = -0.3 \sqrt{16 - \frac{35x}{3}} \text{ (V)}$ 。从金属杆  $ab$  恰好运动到磁场右边界到“联动三杆”恰好滑出磁场区域的过程中, 即  $0.6 \text{ m} < x \leq 0.9 \text{ m}$  时, 根据动量定理得  $-Bli\Delta t = 3m\Delta v$ , 对等式两边求和得  $-Bl\sum(i\Delta t) = 3m\sum\Delta v$ , 整理后得  $Blq = 3m(v_2 - v)$ , 其中  $q = \frac{Bl(x - 2L)}{R_{\text{总}}}$ ,  $v_2 = 3 \text{ m/s}$ , 解得  $v = 9 - 10x$ , 此时金属杆  $ab$  为外电路电阻, 其两端电压为路端电压, 即  $U_{ab} = \frac{2}{3}Blv$ , 所以  $U_{ab} = 1.8 - 2x \text{ (V)}$ 。

点评:(1)问, 金属杆与导轨组成闭合电路, 产生的感生电动势  $E_{\text{感}} = \frac{lL\Delta B}{\Delta t}$ , 等效电路如图 4 所示, 且  $E_{ab} = E_{bd} = E_{cd} = E_{ca} = \frac{1}{4}E_{\text{感}}$ 。(2)问, 公式  $q = n \frac{\Delta\Phi}{R}$  成立的条件为: ①纯电阻电路; ②回路中电阻恒定; ③动生电动势时杆为唯一电源, 无反电动势等。(3)问, “联动三杆”在区域  $0 \leq x \leq 0.6 \text{ m}$  中运动时, 受恒力作用, 可选择动能定理求解  $v$  与  $x$  的关系, 此过程的等效电路如图 5 所示, 且满

足  $E_{ab} = E_{cd}$ , 电流  $I = 0$ , 但金属杆  $ab$  两端电压不为零, 这是同学们的认知困惑点; 金属杆  $cd$  和  $ef$  在区域  $0.6 \text{ m} < x \leq 0.9 \text{ m}$  中运动时, 受变化的安培力作用, 只能选择动量定理求解  $v$  与  $x$  的关系。本题的求解过程, 实现了物理核心素养所要求的“锻炼科学思维、领悟科学方法、发展科学探究能力”的目标, 突出考查了同学们的物理建模、推理和论证能力。

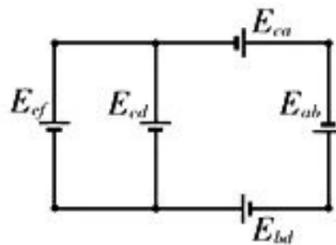


图 4

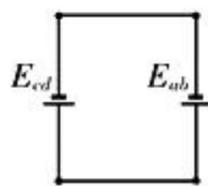


图 5

## 跟踪训练

1. 利用如图 6 所示的装置可以探究导体棒在有磁场存在的斜面上的运动情况,  $MN$ 、 $M'N'$  是两根相距  $L = 0.5 \text{ m}$  的足够长光滑金属导轨, 放置在倾角均为  $\theta = 30^\circ$  的对称斜面上, 两导轨在斜面底端平滑连接, 斜面底端水平, 两导轨右侧接有阻值  $R = 0.8 \Omega$  的定值电阻, 导轨电阻不计。整个装置处于磁感应强度  $B = 1 \text{ T}$ , 方向垂直于左侧斜面向上的匀强磁场中。质量  $m = 0.1 \text{ kg}$ , 电阻  $r = 0.2 \Omega$  的导体棒 1 从左侧导轨上足够高处由静止释放, 运动到斜面底端时与放置在此处质量也为  $m = 0.1 \text{ kg}$  的绝缘棒 2 发生完全弹性碰撞(等质量的物体发生完全弹性碰撞时, 交换速度)。若不计两棒与导轨间的摩擦阻力, 运动过程中两棒与导轨始终接触良好且与导轨垂直, 取重力加速度  $g = 10 \text{ m/s}^2$ 。

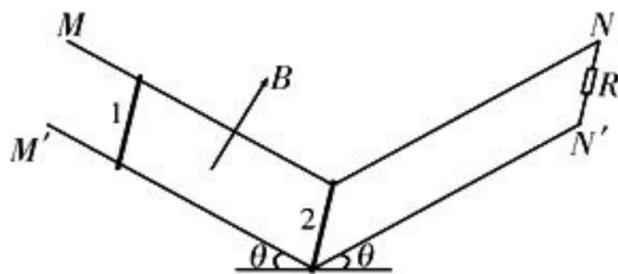


图 6

(1) 求第一次碰撞后, 绝缘棒 2 沿右侧斜面上滑的最大高度  $h$ 。

(2)若第二次碰撞后,导体棒1沿左侧斜面上滑的最大距离为0.25 m,求导体棒1从与绝缘棒第二次碰撞到沿左侧斜面上滑到最大距离处所用的时间 $t$ 。

(3)若从释放导体棒1到系统状态不再发生变化的整个过程中,电阻 $R$ 产生的热量 $Q=0.64$  J,求导体棒1释放点的高度 $H$ 。

2.如图7所示,两根金属导轨相距 $L=1$  m,其中 $MN$ 段与 $PQ$ 段平行,位于同一水平面内, $NN_0$ 段与 $QQ_0$ 段平行,位于与水平面成夹角 $\theta=37^\circ$ 的斜面内,且 $MNN_0$ 与 $PQQ_0$ 均固定在竖直平面内。在水平导轨区域和倾斜导轨区域内分别有垂直于水平面和斜面向下的匀强磁场,磁感应强度 $B_1=B_2=0.5$  T; $ab$ 和 $cd$ 是质量均为 $m=0.2$  kg,有效电阻分别为 $R_{ab}=0.5\ \Omega$ 和 $R_{cd}=1.5\ \Omega$ 的两根金属棒,金属棒 $ab$ 置于水平导轨上,与水平导轨间的动摩擦因数 $\mu=0.5$ ,金属棒 $cd$ 置于光滑的倾斜导轨上,两金属棒均与导轨垂直且接触良好。从 $t=0$ 时刻起,金属棒 $ab$ 在水平外力 $F_1$ 的作用下由静止开始以加速度 $a=2\ \text{m/s}^2$ 向右做匀加速直线运动,金属棒 $cd$ 在平行于斜面方向的力 $F_2$ 的作用下保持静止状态。不计导轨的电阻,水平导轨足够长,金属棒 $ab$ 始终在水平导轨上运动,取重力加速度 $g=10\ \text{m/s}^2$ , $\sin 37^\circ=0.6$ , $\cos 37^\circ=0.8$ 。

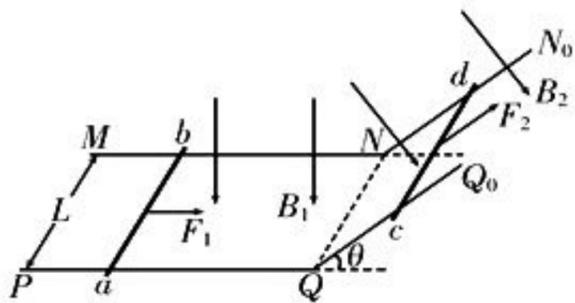


图7

(1)求 $t=5$  s时刻,金属棒 $cd$ 消耗的电功率 $P$ 。

(2)规定图示 $F_1$ 、 $F_2$ 的方向为力的正方向,分别求出力 $F_1$ 、 $F_2$ 随时间 $t$ 变化的函数关系式。

(3)若改变力 $F_1$ 和 $F_2$ 随时间 $t$ 变化的规律,使金属棒 $ab$ 的运动速度 $v$ 与位移 $x$ 满足关系式 $v=0.4x$  (m/s),金属棒 $cd$ 仍然静

止在倾斜导轨上,求金属棒 $ab$ 从静止开始到位移 $x=5$  m的过程中,力 $F_1$ 所做的功 $W$ 。

3.如图8所示,间距 $L=0.5$  m的平行光滑导轨固定在竖直平面内,导轨足够长,电阻不计。在 $y>0$ 的区域存在垂直于导轨平面向里的磁场,磁感应强度随坐标(单位为m)的分布规律为 $B=8+2y$  (T)。完全相同的两金属棒 $ab$ 、 $cd$ 与导轨垂直并接触良好,每根金属棒的长度 $L=0.5$  m,质量 $m=0.5$  kg,电阻 $R=6\ \Omega$ 。金属棒 $ab$ 在 $y=2$  m处获得一个竖直向上的初速度后,在沿竖直方向的拉力作用下沿导轨向上运动的过程中,始终能保证放置在 $y=1$  m处的金属棒 $cd$ 静止,取重力加速度 $g=10\ \text{m/s}^2$ 。求:

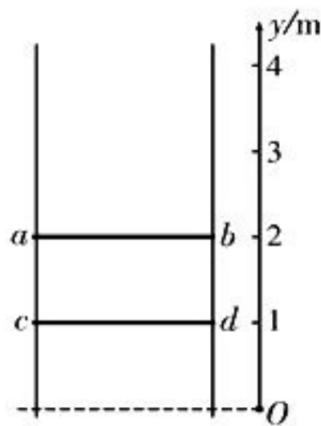


图8

(1)金属棒 $ab$ 切割磁感线产生的感应电动势大小。

(2)金属棒 $ab$ 的速度随坐标(单位为m)的变化关系。

(3)金属棒 $ab$ 从 $y=2$  m处运动到 $y=8$  m处所用的时间。

(4)金属棒 $ab$ 从 $y=2$  m处运动到 $y=8$  m处的过程中拉力做的功。

参考答案:1. (1) $h=0.2$  m;(2) $t=0.275$  s;(3) $H=0.8$  m。

2. (1) $P=\frac{75}{8}$  W;(2) $F_1=1.4+0.25t$  (N), $F_2=1.2-0.25t$  (N);(3) $W=6.025$  J。

3. (1) $E=12$  V;(2) $v=\frac{12}{4+y}$  (m/s) ( $y\geq 2$  m);(3) $\Delta t=4.5$  s;(4) $W_F=83.25$  J。

(责任编辑 张 巧)



## 浅析磁通量变化量

# 在电磁感应现象中的应用

福建省南平市高级中学 应德勇

在电磁感应现象中,磁通量的变化量是一个重要的物理量,涉及感应电流的产生条件,法拉第电磁感应定律等。下面以四个与磁通量变化量有关的问题为例阐述磁通量变化量在电磁感应现象中的应用,希望对同学们的复习备考有所帮助。

### 一、若 $\Delta\Phi=0$ ,则闭合回路中不产生感应电流

在电磁感应现象中,产生感应电流的条件是穿过闭合回路的磁通量发生变化。若在闭合回路中磁通量不发生变化,即  $\Phi_{初}=\Phi_{末}$ ,则在闭合回路中不产生感应电流。

**例 1** 如图 1 所示,倾斜光滑金属导轨  $ab$ 、 $cd$  的间距  $l=1\text{ m}$ ,两导轨与水平面之间的夹角  $\theta=30^\circ$ ,导轨电阻不计, $a$ 、 $c$  两端连接一阻值  $R=2.4\ \Omega$  的定值电阻。空间存在磁感应强度  $B_0=2\text{ T}$  的匀强磁场,方向垂直于导轨平面向上。将一根金属棒放置在导轨上距  $ac$  连线为  $x_0=0.5\text{ m}$  处,金属棒的质量  $m=0.5\text{ kg}$ ,电阻  $r=0.8\ \Omega$ 。现将金属棒由静止释放,金属棒沿导轨向下运动过程中始终与  $ac$  连线平行且与导轨接触良好。已知当金属棒从初始位置向下滑行  $x=1.6\text{ m}$  到达虚线  $MN$  处时已经达到稳定速度,金属导轨足够长,取重力加速度  $g=10\text{ m/s}^2$ 。

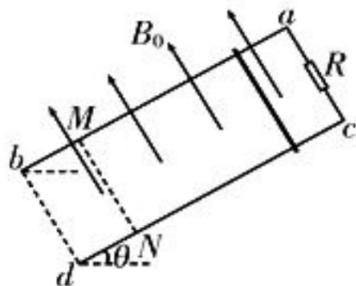


图 1

(1) 金属棒的稳定速度是多少?

(2) 金属棒从释放到运动至虚线  $MN$  处的过程中,忽略电流变化引起的电磁辐射损失,电阻  $R$  上产生的焦耳热是多少?

(3) 若将由静止释放金属棒的时刻记作  $t=0$ ,则从此刻开始,为使金属棒中不产生感应电流,可让磁感应强度按一定的规律变化。试写出磁感应强度  $B$  随时间  $t$  变化的函数表达式。

**解析:**(1) 金属棒沿导轨向下运动,切割磁感线产生感应电动势,根据法拉第电磁感应定律得感应电动势  $E=B_0lv$ ,根据闭合电路欧姆定律得感应电流  $I=\frac{E}{R+r}$ ,根据牛顿第二定律得  $mg\sin\theta-B_0Il=ma$ ,当金属棒的加速度为零时速度最大,即  $mg\sin\theta-\frac{B_0^2l^2v_{\max}}{R+r}=0$ ,解得  $v_{\max}=2\text{ m/s}$ 。

(2) 金属棒从释放到获得最大速度的过程中,根据能量守恒定律得  $mgx\sin\theta=\frac{1}{2}mv_{\max}^2+Q$ ,解得  $Q=3\text{ J}$ ,故电阻  $R$  上产生的焦耳热  $Q_R=\frac{R}{R+r}Q=2.25\text{ J}$ 。

(3) 当回路中的总磁通量不变,即  $\Phi_{初}=\Phi_{末}$  时,金属棒中不产生感应电流,沿导轨做匀加速运动,则  $B_0lx_0=Bl(x_0+\frac{1}{2}a't^2)$ ,根据牛顿第二定律得  $mg\sin\theta=ma'$ ,解得  $B=\frac{2}{1+5t^2}(\text{T})$ 。

### 二、利用 $q=N\frac{\Delta\Phi}{R+r}$ 可求回路中通过的

电荷量  $q$

通过回路截面的电荷量  $q=I\Delta t$ ,根据闭

合电路欧姆定律得  $I = \frac{E}{R+r}$ , 根据法拉第电磁感应定律得  $E = N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ , 联立以上各式可得  $q = N \frac{\Delta\Phi}{R+r}$ , 可见  $q$  仅与  $N, \Delta\Phi$  和回路总电阻  $R+r$  有关, 与时间  $t$  无关。

**例 2** 足够长的平行光滑金属导轨  $cd$  和  $ef$  水平放置, 在其左端连接倾斜角  $\theta = 37^\circ$  的光滑金属导轨  $ge, hc$ , 导轨间距均为  $L = 1 \text{ m}$ , 导轨电阻不计。在水平导轨和倾斜导轨上, 各放一根与导轨垂直的金属杆  $a, b$ , 两金属杆与导轨始终接触良好。两金属杆的质量均为  $m = 0.1 \text{ kg}$ , 电阻  $R_a = 2 \ \Omega, R_b = 3 \ \Omega$ 。在水平导轨和倾斜导轨区域内分别有竖直向上和竖直向下的匀强磁场, 且两磁场的磁感应强度  $B_1 = B_2 = 0.5 \text{ T}$ 。已知从  $t = 0$  时刻起, 金属杆  $a$  在外力  $F_1$  作用下由静止开始水平向右运动, 金属杆  $b$  在水平向右的外力  $F_2$  作用下始终保持静止状态, 且  $F_2 = 0.75 + 0.2t \text{ (N)}$ 。取重力加速度  $g = 10 \text{ m/s}^2$ ,  $\sin 37^\circ = 0.6, \cos 37^\circ = 0.8$ 。

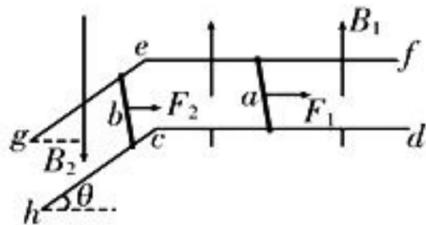


图 2

(1) 请你通过计算判断金属杆  $a$  的运动情况。

(2) 从  $t = 0$  时刻起, 求  $1 \text{ s}$  内通过金属杆  $b$  的电荷量。

**解析:** (1) 金属杆  $b$  保持静止状态, 根据平衡条件得  $F_2 - B_2 IL = mg \tan \theta$ , 其中  $F_2 = 0.75 + 0.2t \text{ (N)}$ , 解得  $I = 0.4t \text{ (A)}$ 。金属杆  $a$  水平向右运动, 切割磁感线产生感应电动势, 根据法拉第电磁感应定律得感应电动势  $E = B_1 Lv$ , 根据闭合电路欧姆定律得  $E = I(R_a + R_b)$ , 解得  $v = 4t \text{ (m/s)}$ , 即金属杆  $a$  做加速度为  $4 \text{ m/s}^2$  的匀加速直线运动。

(2) 根据匀变速直线运动规律可知, 金属杆  $a$  在  $1 \text{ s}$  内的位移  $d = \frac{1}{2} a_0 t^2$ , 其中加速度

$a_0 = 4 \text{ m/s}^2$ , 根据法拉第电磁感应定律得  $\bar{E} = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{B_1 L d}{\Delta t}$ , 根据闭合电路欧姆定律得  $\bar{I} = \frac{\bar{E}}{R_a + R_b}$ ,  $1 \text{ s}$  内通过金属杆  $b$  的电荷量  $q = \bar{I} \Delta t$ , 联立以上各式解得  $q = \frac{B_1 L a_0 t^2}{2(R_a + R_b)}$ , 代入数据解得  $q = 0.2 \text{ C}$ 。

### 三、利用 $\Delta\Phi = B\Delta S = Blx$ 可求单导体棒运动的位移

根据磁通量的表达式  $\Phi = B \cdot S$  ( $B$  与  $S$  垂直) 可知, 单导体棒切割磁感线运动, 闭合回路的面积  $S$  发生变化, 则磁通量发生变化, 即  $\Delta\Phi = B\Delta S = Blx$ , 其中  $l$  为导体棒的长度,  $x$  为导体棒发生的位移。

**例 3** 如图 3 所示, 左右对称的两根相同金属导轨分别固定在竖直平面内, 间距为  $l$ , 两导轨水平部分的长度为  $L$ , 构成的水平面区域内分布着磁感应强度为  $B$ , 方向竖直向上的匀强磁场 (边界  $ab, cd$  处无磁场),  $P, Q$  两金属杆放在导轨两侧弧形部分, 质量均为  $m$ , 接入导轨所在回路的电阻均为  $R$ , 离导轨水平部分的高度均为  $h$ 。同时释放两金属杆后, 恰好不会相碰。重力加速度大小为  $g$ , 不计导轨电阻和摩擦阻力, 两金属杆与导轨始终垂直且接触良好。

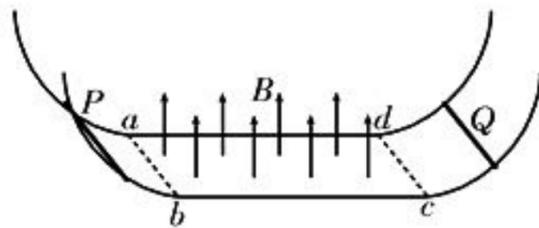


图 3

(1) 求金属杆  $P$  刚进入磁场时受到的安培力大小  $F$ 。

(2) 若  $P, Q$  两金属杆的质量分别为  $m, \frac{3}{4}m$ , 电阻仍均为  $R$ , 金属杆  $P$  放在原来位置, 金属杆  $Q$  放在导轨右侧弧形部分的  $4h$  高度处, 先释放金属杆  $P$ , 当它在导轨水平部分上的速度减为零时, 再释放金属杆  $Q$ , 此后两金属杆发生正碰, 碰撞时间极短, 碰撞前后两金属杆的总动能减少了  $\frac{3}{4}mgh$ , 求金属杆

$P$  第一次停止运动时所在的位置,以及最终两金属杆之间的距离。

**解析:**(1) 设金属杆  $P$  沿导轨下滑进入磁场时的速度大小为  $v_0$ , 根据机械能守恒定律得  $mgh = \frac{1}{2}mv_0^2$ , 解得  $v_0 = \sqrt{2gh}$ 。金属杆  $P$  刚进入磁场时, 回路中的总电动势  $E = 2Blv_0$ , 回路中的电流  $I = \frac{E}{2R}$ , 金属杆  $P$  受到的安培力大小  $F_{安} = BIl$ , 联立以上各式解得  $F_{安} = \frac{B^2 l^2}{R} \sqrt{2gh}$ 。

(2)  $P$ 、 $Q$  两金属杆质量相同又同时释放时, 设两金属杆在磁场中运动的过程中, 通过金属杆  $P$  的电荷量为  $q_1$ , 平均电流为  $I_1$ , 时间为  $t_1$ , 对金属杆  $P$  应用动量定理得  $-BlI_1 t_1 = 0 - mv_0$ , 其中  $I_1 t_1 = q_1$ ,  $q_1 = \frac{BlL}{2R}$ , 可得  $\frac{B^2 l^2 L}{2R} = mv_0$ 。 $P$ 、 $Q$  两金属杆质量不同时, 只释放金属杆  $P$ , 设它在磁场中的位移为  $x$  时速度减为零, 同理得  $\frac{B^2 l^2 x}{2R} = mv_0$ , 解得  $x = L$ , 因此金属杆  $P$  第一次停止运动时位于  $cd$  边界处。

设金属杆  $Q$  与  $P$  碰撞前瞬间的速度大小为  $v$ , 碰撞后瞬间金属杆  $Q$  与  $P$  的速度大小分别为  $v_1$ 、 $v_2$ , 在金属杆  $Q$  沿导轨下滑到边界  $cd$  的过程中, 根据机械能守恒定律得  $\frac{3}{4}mg \times 4h = \frac{1}{2} \times \frac{3}{4}mv^2$ , 在金属杆  $Q$  与  $P$  碰撞的过程中, 根据动量守恒定律得  $\frac{3}{4}mv = \frac{3}{4}mv_1 + mv_2$ , 根据题意得  $\frac{1}{2} \times \frac{3}{4}mv^2 - \frac{1}{2} \times \frac{3}{4}mv_1^2 - \frac{1}{2}mv_2^2 = \frac{3}{4}mgh$ , 解得  $v_1 = 0$ ,  $v_2 = \frac{3}{2}\sqrt{2gh}$  (另一组解  $v_1 = \frac{12}{7}\sqrt{2gh}$ ,  $v_2 = \frac{3}{14}\sqrt{2gh}$  舍去)。说明金属杆  $Q$  与  $P$  碰撞后, 金属杆  $Q$  停止在边界  $cd$  处, 金属杆  $P$  以速度  $v_2 = \frac{3}{2}\sqrt{2gh} = \frac{3}{2}v_0$  向左进入磁场。设金属杆  $P$  停止运动前在磁场中通过的路程为  $x'$ , 则  $\frac{B^2 l^2 x'}{2R} = mv_2$ , 解得  $x' = \frac{3}{2}L$ , 说明金属杆  $P$

在磁场中向左运动距离  $L$  后, 经导轨左侧圆弧部分返回又在磁场中向右运动了  $\frac{1}{2}L$  才停止运动, 因此最终两金属杆之间的距离  $\Delta x = \frac{1}{2}L$ 。

#### 四、利用 $\Delta\Phi = B\Delta S$ 可求双导体棒运动的相对位移

根据磁通量的表达式  $\Phi = B \cdot S$  ( $B$  与  $S$  垂直) 可知, 双导体棒切割磁感线运动 (双导体棒的有效切割长度相同), 闭合回路的面积  $S$  发生变化, 则磁通量发生变化, 即  $\Delta\Phi = B\Delta S = Blx$ , 其中  $l$  为导体棒的长度,  $x$  为双导体棒发生的相对位移。

**例 4** 如图 4 所示, 在磁感应强度为  $B$  的匀强磁场区域内, 与磁场方向垂直的平面中有两根固定的足够长的平行金属导轨, 在导轨上平放着

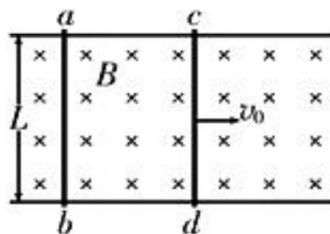


图 4

两根导体棒  $ab$  和  $cd$ , 两导体棒彼此平行, 与导轨构成一矩形回路。导轨间距为  $L$ , 两导体棒的质量都是  $m$ , 电阻均为  $R$ , 导轨电阻可忽略不计。设导体棒可在导轨上无摩擦地滑行, 初始时刻导体棒  $ab$  静止, 给导体棒  $cd$  一个向右的初速度  $v_0$ 。求两导体棒之间距离增加量  $x$  的上限  $x_{\max}$ 。

**解析:** 当导体棒  $cd$  在磁场中运动时, 切割磁感线产生感应电动势, 两导体棒中有感应电流通过, 导体棒  $cd$  受到安培力作用而做减速运动, 导体棒  $ab$  受到安培力作用而做加速运动。当两导体棒的速度相等时, 它们之间的距离最大。设两导体棒的共同速度为  $v$ , 根据动量守恒定律得  $mv_0 = 2mv$ , 解得  $v = \frac{1}{2}v_0$ , 对导体棒  $ab$  应用动量定理得  $BIL\Delta t = mv$ , 其中  $I\Delta t = q$ ,  $q = \frac{\Delta\Phi}{2R} = \frac{BLx_{\max}}{2R}$ , 联立以上各式解得  $x_{\max} = \frac{mv_0 R}{B^2 L^2}$ 。

**注意:** 在利用  $\Delta\Phi = B\Delta S$  求解位移时, 若是单导体棒运动, 则可求得的是单导体棒发生的位移; 若是双导体棒运动, 则可求得的是

双导体棒之间的相对位移。

### 跟踪训练

1. 如图 5 所示, 固定在水平面上的金属框架处于竖直向下的匀强磁场中, 金属棒  $MN$  与框架构成一个边长为  $l$  的正方形  $MDEN$ 。  $t=0$  时刻, 磁感应强度  $B=B_0$ , 金属棒  $MN$  沿框架向右做初速度为 0, 加速度为  $a$  的匀加速直线运动。为使金属棒  $MN$  中不产生感应电流, 求从  $t=0$  时刻开始, 磁感应强度  $B$  随时间  $t$  变化的关系式。

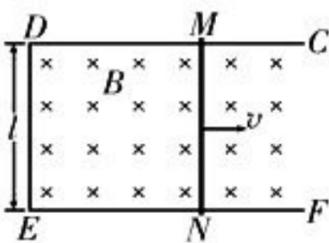


图 5

2. 如图 6 所示, 两固定平行光滑长直导轨的电阻不计, 倾角  $\theta=30^\circ$ , 间距  $d=0.5\text{ m}$ ; 在矩形区域  $acfe$  内分布着磁感应强度  $B=2\text{ T}$ , 方向垂直于导轨平面向上的匀强磁场; 分界线  $ac$  与  $ef$  的间距  $l=1\text{ m}$ , 金属棒  $AC$  和  $MN$  的质量均为  $m=0.1\text{ kg}$ , 电阻均为  $R=1\ \Omega$ 。金属棒  $MN$  从导轨顶端由静止开始沿导轨下滑, 同时金属棒  $AC$  以某一速度从分界线  $ac$  处开始沿导轨匀速下滑。当金属棒  $AC$  运动到分界线  $ef$  处时, 金属棒  $MN$  恰好运动到分界线  $ac$  处。取重力加速度  $g=10\text{ m/s}^2$ , 求:

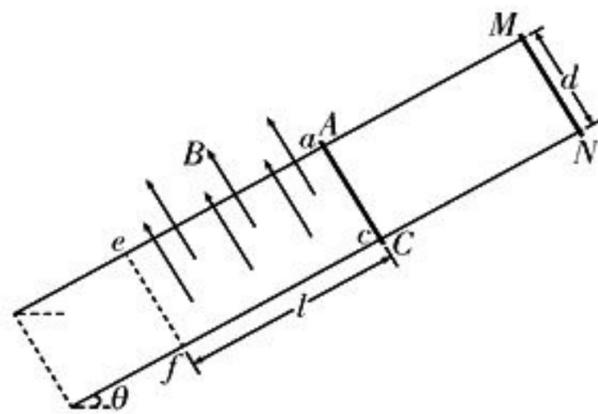


图 6

(1) 金属棒  $AC$  的速度大小  $v_0$  和金属棒  $MN$  运动到分界线  $ac$  处时的速度大小  $v_1$ 。

(2) 金属棒  $MN$  从分界线  $ac$  运动到  $ef$  的过程中, 通过金属棒  $MN$  的电荷量  $q$ 。

3. 如图 7 所示, 在水平桌面上固定两根相距  $L=1\text{ m}$  的平行且足够长的光滑金属导轨, 导轨的左端连接阻值  $R=3\ \Omega$  的定值电

阻, 导轨上放有垂直于导轨的金属杆  $P$ , 金属杆的质量  $m=0.1\text{ kg}$ , 接入电路的电阻  $r=2\ \Omega$ , 整个空间存在磁感应强度  $B=$

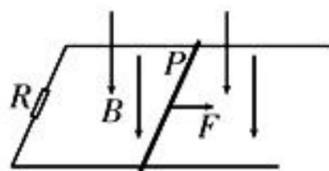


图 7

$0.5\text{ T}$ , 方向竖直向下的匀强磁场。初始时刻金属杆在水平向右的恒力  $F$  的作用下, 向右以速度  $v=4\text{ m/s}$  做匀速直线运动, 经  $1.5\text{ s}$  后撤去恒力  $F$ 。金属杆  $P$  始终与导轨垂直且接触良好, 导轨电阻忽略不计, 求:

(1) 水平恒力  $F$  的大小。

(2) 从初始时刻到金属杆  $P$  停止运动的过程中, 电阻  $R$  上产生的焦耳热。

(3) 从初始时刻到金属杆  $P$  停止运动的过程中, 金属杆向右运动的位移。

4. 如图 8 所示, 在磁感应强度为  $B$  的匀强磁场区域内, 垂直于磁场方向的水平面中有两根固定的足够长的平行金属

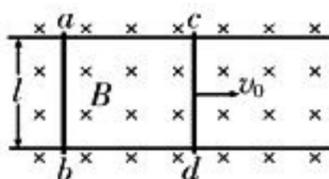


图 8

导轨, 在导轨上平放着两根导体棒  $ab$  和  $cd$ , 两导体棒彼此平行, 构成一矩形回路。导轨间距为  $l$ , 导体棒的质量均为  $m$ , 电阻均为  $R$ , 导轨电阻可忽略不计。设两导体棒可在导轨上无摩擦地滑行, 初始时刻导体棒  $ab$  静止, 给导体棒  $cd$  一个向右的初速度  $v_0$ , 求:

(1) 当导体棒  $cd$  的速度减为  $0.8v_0$  时, 它的加速度大小。

(2) 从开始运动到最终稳定, 电路中产生的电能。

(3) 两导体棒之间距离增加量  $x$  的上限  $x_{\max}$ 。

参考答案: 1.  $B = \frac{2l}{2l+at^2} B_0$ 。

2. (1)  $v_0 = 1\text{ m/s}$ ,  $v_1 = 5\text{ m/s}$ ; (2)  $q = 0.5\text{ C}$ 。

3. (1)  $F = 0.2\text{ N}$ ; (2)  $Q_R = 1.2\text{ J}$ ; (3)  $x = 14\text{ m}$ 。

4. (1)  $a = \frac{3B^2 l^2 v_0}{10mR}$ ; (2)  $Q = \frac{1}{4} m v_0^2$ ;

(3)  $x_{\max} = \frac{m v_0 R}{B^2 l^2}$ 。

(责任编辑 张 巧)

## 高考物理模拟试题(三)

### 参考答案与提示

1. A 提示:核反应  $\nu_e + {}_{17}^{37}\text{Cl} \rightarrow {}_{18}^{37}\text{Ar} + {}_{-1}^0\text{e}$  是一个质量增加的反应,反应中增加的质量是由中微子的能量转化而来的,根据能量守恒定律得上述反应中电子中微子的最小能量  $\Delta E = \Delta mc^2 = [(36.956\ 91\ \text{u} + 0.000\ 55\ \text{u}) - 36.956\ 58\ \text{u}] \times 931.5\ \text{MeV} = 0.82\ \text{MeV}$ 。

2. B 提示:小球 B 沿弧形光滑轨道运动,沿水平方向的分速度  $v_x$  从  $v_0$  开始先增大后减小,到了竖直虚线 N 处后又达到  $v_0$ ,在整个运动过程中沿水平方向的平均速度大于  $v_0$ 。A、B 两小球沿水平方向的位移相同,根据运动的独立性可知,小球 B 先到达竖直虚线 N 处。

3. B 提示:铁链被释放后做自由落体运动,整条铁链通过小孔 O 所需要的时间为铁链 A 端到达小孔 O 所用的时间与铁链 B 端到达小孔 O 所用的时间之差。铁链 A 端到达小孔 O 所用的时间  $t_A$  满足  $3.2\ \text{m} = \frac{1}{2}gt_A^2$ ,解得  $t_A = 0.8\ \text{s}$ ;铁链 B 端到达小孔 O 所用的时间  $t_B$  满足  $3.2\ \text{m} - 2.75\ \text{m} = \frac{1}{2}gt_B^2$ ,解得  $t_B = 0.3\ \text{s}$ 。因此整条铁链通过小孔 O 需要的时间为  $0.8\ \text{s} - 0.3\ \text{s} = 0.5\ \text{s}$ 。

4. C 提示:因为四个点电荷的运动规律都是绕正方形 ABCD 的中心做匀速圆周运动,所以彼此间的静电力提供各自做圆周运动所需的向心力。选位于 A 点的点电荷为研究对象,对其进行受力分析,如图 1 所示,

则  $2 \frac{kq^2}{L^2} \cos 45^\circ - \frac{kq^2}{(\sqrt{2}L)^2} = m \frac{v^2}{r}$ ,其中  $r = \frac{\sqrt{2}}{2}L$ ,解得  $v = \sqrt{\frac{(4 - \sqrt{2})kq^2}{4mL}}$ 。

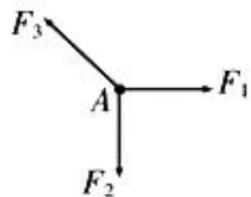


图 1

5. A 提示:圆盘下落时,其厚度相当于切割磁感线的有效长度,圆盘下落的速度为  $v$  时产生的感应电动势  $E = Bdv$ ,圆盘两侧的

电压  $U = E$ ,圆盘两侧表面构成的电容器的电容  $C = \frac{\epsilon S}{4\pi kd} = \frac{\epsilon \pi R^2}{4\pi kd}$ ,盘面两侧储存的电荷量  $q = CU = \frac{\epsilon \pi R^2}{4\pi kd} \cdot Bdv = \frac{\epsilon R^2 Bv}{4k}$ 。当圆盘下落速度变化时,会导致圆盘两侧表面储存的电荷量变化,相应形成的电流  $I = \frac{\Delta q}{\Delta t} =$

$\frac{\epsilon R^2 B}{4k} \cdot \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{\epsilon R^2 B}{4k} \cdot a$ ,圆盘受到向上的安培力  $F_{安} = BId = \frac{\epsilon R^2 B^2 da}{4k}$ 。根据牛顿第二定律得  $mg - F_{安} = ma$ ,其中  $m = \rho \cdot \pi R^2 d$ ,解得  $a = \frac{g}{1 + \frac{\epsilon B^2}{4\pi k\rho}}$ 。要使圆盘在磁场中下落的

加速度比没有磁场时减小  $\frac{1}{100}$ ,即要求  $a = (1 - \frac{1}{100})g$ ,即  $\frac{g}{1 + \frac{\epsilon B^2}{4\pi k\rho}} = (1 - \frac{1}{100})g$ ,解得

$B = 1 \times 10^6\ \text{T}$ 。

6. AC 提示:某人从泳池边以速度  $v_1$  垂直池边向对面游过去,根据运动的分解可知,若人的速度  $v_1$  保持不变,水流速度  $v_2$  增大,则人到达对面池边的时间不变,路程变长,选项 A 正确。若人的速度  $v_1$  保持不变,水流速度  $v_2$  减小,则人到达对面池边的时间不变,路程变短,选项 B 错误。若水流速度  $v_2$  保持不变,人的速度  $v_1$  增大,则人到达对面池边的时间变短,路程变短,选项 C 正确。若水流速度  $v_2$  保持不变,人的速度  $v_1$  减小,则人到达对面池边的时间变长,路程变长,选项 D 错误。

7. BD 提示:当滑片 P 向下移动时,变阻器接入电路的电阻减小,根据闭合电路欧姆定律可知,通过螺线管 b 的电流增大,螺线管 b 产生的磁场增强,穿过线圈 a 的磁通量增大;根据楞次定律可知,需要线圈 a 的面积缩小或线圈 a 远离螺线管 b 才能阻碍磁通量

的增大,因此线圈  $a$  应有收缩的趋势,或线圈  $a$  受到向下的作用力,使得线圈  $a$  对桌面的压力增大。

8. BCD 提示:小球在磁场中运动,当它到达轨道最低点时有  $F_M = \frac{mv_M^2}{r} + mg + qv_M B$ ,小球在电场中运动,当它到达轨道最低点时有  $F_N = \frac{mv_N^2}{r} + mg$ 。因为小球在磁场中运动时受到的洛伦兹力对小球不做功,整个过程中小球的机械能守恒,小球在电场中运动时受到的静电力对小球做负功,小球到达轨道最低点时的速率较小,所以小球在电场中运动的时间较长,选项 A 正确,C 错误。因为  $v_M > v_N$ ,所以  $F_M > F_N$ ,根据牛顿第三定律得  $f_M > f_N$ ,选项 B 错误。小球在磁场中运动时的机械能守恒,小球可以到达轨道的另一端,小球在电场中运动时,静电力对小球做负功,小球在到达轨道另一端之前速度就减小到零了,选项 D 错误。

9. (1) A (2) 1.85 1.83 1.67

(3) ① B ② 该同学做实验时先释放了纸带,后合上了打点计时器的开关

提示:(1)根据机械能守恒的内容可知,为了验证机械能守恒,需要比较重物在下落过程中任意两点间的动能变化量和势能变化量。(2)当打点计时器打下 B 点时,重物的重力势能比开始下落时减少的量  $\Delta E_p = mg \cdot s_2 = 1.00 \times 9.80 \times 18.90 \times 10^{-2} \text{ J} = 1.85 \text{ J}$ ,重物的速度  $v_B = \frac{s_3 - s_1}{4T} = \frac{(27.06 - 12.41) \times 10^{-2}}{4 \times 0.02} \text{ m/s} = 1.83 \text{ m/s}$ ,重物的动能比开始下落时增加的量  $\Delta E_k = \frac{1}{2}mv_B^2 = \frac{1}{2} \times 1.00 \times 1.83^2 \text{ J} = 1.67 \text{ J}$ 。

(3) ① 根据机械守恒定律得  $\frac{1}{2}mv^2 = mgh$ ,化简得  $\frac{1}{2}v^2 = gh$ ,因此  $\frac{v^2}{2} - h$  图像的斜率近似等于重力加速度  $g$ ,选项 B 正确。② 根据题图可知,当  $h=0$  时,重物的速度不等于零,原因是该同学做实验时先释放了纸带,后合上了打点计时器的开关,导致打点计时器打下第

一个点时重物的速度不等于零。

10. (1) 将电流表  $A_1$  替换为电流表  $A_2$

(2) ① 实验电路如图 2 甲所示,实物图连线如图 2 乙所示。②  $\frac{1}{U} = \frac{1}{E} + \frac{r}{E} \cdot \frac{1}{R_2}$  (其他合理表述均可)

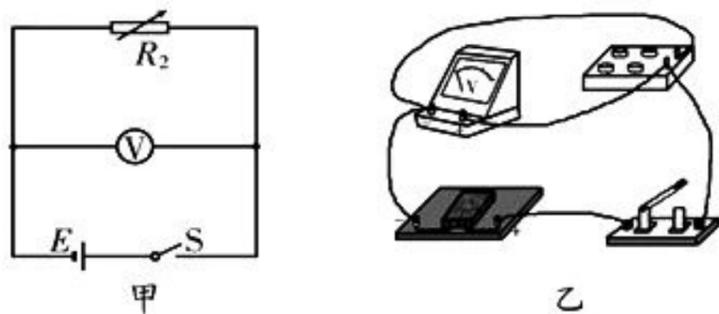


图 2

提示:(1)电动势  $E$  标称值为  $3.7 \text{ V}$ ,电阻  $R_0$  约为  $2 \text{ k}\Omega$ ,通过  $R_0$  的电流不超过  $2 \text{ mA}$ ,因此应将电流表  $A_1$  替换为  $A_2$ ,以减小测量时的相对误差。(2) ① 题目提供的器材可用的还有电源、电压表、电阻箱和开关等,可以用电阻箱和电压表测定锂电池的电动势和内阻。② 根据闭合电路欧姆定律得  $E = U + \frac{U}{R_2}r$ ,其中变量分别是  $R_2$  和  $U$ ,变形得  $\frac{1}{U} = \frac{1}{E} + \frac{r}{E} \cdot \frac{1}{R_2}$ ,在这个表达式中  $\frac{1}{U}$  与  $\frac{1}{R_2}$  之间为线性关系。

11. (1) 根据  $f-F$  图像可知,木块受到的滑动摩擦力  $f = 3.12 \text{ N}$ ,又有  $f = \mu N$ ,  $N = mg$ ,解得  $\mu = 0.4$ 。(2) 木块在重力  $mg$ 、支持力  $N$ 、拉力  $F$  和滑动摩擦力  $f$  的作用下做匀变速直线运动,将拉力  $F$  分解到水平方向和竖直方向上,在水平方向上根据牛顿第二定律得  $F \cos \theta - f = ma$ ,在竖直方向上根据平衡条件得  $F \sin \theta + N = mg$ ,又有  $f = \mu N$ ,解得  $F = 4.5 \text{ N}$ 。(3) 对木块运动的整个过程应用动能定理得  $W_F + W_f = 0$ ,其中  $W_F = Fs_1 \cos \theta$ ,  $s_1 = \frac{1}{2}at_1^2$ ,解得  $W_f = -14.4 \text{ J}$ 。

12. (1) 根据  $I-t$  图像可知,线框向上和向下穿过磁场的过程都做匀速运动,设向上穿过磁场时线框的速度大小为  $v_1$ ,向下穿过磁场时线框的速度大小为  $v_2$ ,线框中电流大小为  $I$ ,根据运动学公式和欧姆定律可得,线框向上穿过磁场时有  $v_1 t_1 = 2l$ ,  $I_0 R = Blv_1$ ;

线框向下穿过磁场时有  $v_2 t_2 = 2l$ ,  $IR = Blv_2$ ; 线框向下穿过磁场时, 根据平衡条件得  $mg \sin \theta = BI l$ , 根据题设条件得  $t_1 : t_2 = 2 : 1$ 。联立以上各式解得  $B = \frac{mg}{4I_0 l}$ 。根据右手定则可知, 磁场方向垂直于斜面向上。(2) 线框向上穿过磁场时, 根据平衡条件得  $F = mg \sin \theta + BI_0 l$ ; 线框从开始运动到  $ab$  边上刚好进入磁场的过程中, 根据动能定理得  $(F - mg \sin \theta)l = \frac{1}{2} m v_1^2$ 。联立以上两式解得  $v_1 = \sqrt{\frac{gl}{2}}$ 。将  $B = \frac{mg}{4I_0 l}$ ,  $v = \sqrt{\frac{gl}{2}}$  代入  $I_0 R = Blv_1$ , 解得  $R = \frac{mg \sqrt{2gl}}{8I_0^2}$ 。(3) 撤去外力  $F$  前线框位移的大小为  $x$ , 则线框离开磁场后在外力  $F$  作用下的位移为  $x - 3l$ , 从线框离开磁场到再次进入磁场的过程中, 根据动能定理得  $F(x - 3l) = \frac{1}{2} m v_2^2 - \frac{1}{2} m v_1^2$ , 其中  $v_1 = \sqrt{\frac{gl}{2}}$ ,  $v_2 = 2 \sqrt{\frac{gl}{2}}$ ,  $F = \frac{3mg}{4}$ , 解得  $x = 4l$ 。

13. (1) ACE (2) (i)  $2.8 \times 10^{-2} \text{ m}^3$   
 (ii) 放热 大于 提示: (1) 扩散现象和布朗运动都是分子热运动的证据, 选项 A 正确。液体表面分子之间的距离可能小于内部分子之间的距离, 选项 B 错误。液晶是介于液体和晶体之间的过渡状态, 它既具有液体的流动性, 又像某些晶体那样具有光学各向异性, 选项 C 正确。分子斥力曲线比分子引力曲线更陡, 因此分子间距离的变化对分子斥力的影响较大, 选项 D 错误。电冰箱把热量从低温物体传递给高温物体, 消耗电能, 这是热力学第二定律的克劳修斯表述, 选项 E 正确。  
 (2) (i) 当汽缸下潜至 990 m 深处时, 设封闭气体的压强为  $p$ , 温度为  $T$ , 体积为  $V$ , 因为 10 m 深的海水产生的压强相当于 1 atm, 所以  $p = p_0 + \rho gh = 100 \text{ atm}$ 。根据理想气体状态方程得  $\frac{p_0 V_0}{T_0} = \frac{pV}{T}$ , 解得  $V = 2.8 \times 10^{-2} \text{ m}^3$ 。(ii) 气体温度降低, 气体内能减小; 在深潜实验中, 气体体积变小, 外界对气

体做功。根据热力学第一定律可知, 气体放热, 且放出的热量大于外界对气体所做的功, 因为放出的热量中还有一部分使气体的内能减小。

14. (1) 6 s 或 2 s  
 9 cm 或 3 cm 提示: 如图 3 所示,  $O$  为平衡位置, 物体在  $M$ 、 $N$  之间做简谐运动,  $A$ 、 $B$  为关于  $O$  点对称的点。设物体由  $A$  点向  $B$  点运动, 则其运动的对称性主要表现在以下两个方面: 第一, 物体通过  $A$  点和  $B$  点的速度相等, 且从  $A$  点运动到  $O$  点和从  $O$  点运动到  $B$  点所用的时间相等; 第二, 物体向右运动经过  $B$  点与向左运动经过  $B$  点时的速度大小相等、方向相反, 且从  $B$  点运动到  $N$  点和从  $N$  点运动到  $B$  点所用的时间相等。根据上述结论, 设物体从  $A$  点运动到  $O$  点(从  $O$  点运动到  $B$  点)所用的时间为  $t_1$ 、路程为  $s_1$ , 从  $B$  点运动到  $N$  点(从  $N$  点运动到  $B$  点)所用时间为  $t_2$ 、路程为  $s_2$ , 则  $2t_1 = 1.6 \text{ s}$ ,  $2t_2 = 1.4 \text{ s}$ , 因此  $t_1 + t_2 = 1.5 \text{ s}$ , 即  $\frac{1}{4} T = 1.5 \text{ s}$ , 解得  $T = 6 \text{ s}$ 。根据题意得  $2s_1 + 2s_2 = 18 \text{ cm}$ , 则振幅  $A = s_1 + s_2 = 9 \text{ cm}$ 。考虑到物体运动方向的不确定性, 如图 4 所示, 当物体先沿路径  $A \rightarrow M \rightarrow N \rightarrow B$ , 后沿路径  $B \rightarrow O \rightarrow A \rightarrow M \rightarrow O \rightarrow B$  运动时, 同理得  $4t_2 + 2t_1 = 1.6 \text{ s}$ ,  $4t_1 + 2t_2 = 1.4 \text{ s}$ ,  $t_1 + t_2 = 0.5 \text{ s}$ , 即  $\frac{1}{4} T = 0.5 \text{ s}$ , 解得  $T = 2 \text{ s}$ 。根据题意得  $4s_2 + 2s_1 + 4s_1 + 2s_2 = 18 \text{ cm}$ , 则振幅  $A = s_1 + s_2 = 3 \text{ cm}$ 。

(2) (i) 光线  $a$  在  $O$  点恰好发生全反射, 则  $\sin C = \frac{1}{n}$ ,  $C = i = 45^\circ$ , 解得  $n = \sqrt{2}$ 。  
 (ii) 设光线  $b$  在介质中的折射角为  $r$ , 根据折射定律得  $n = \frac{\sin i}{\sin r}$ , 解得  $\sin r = \frac{1}{2}$ , 即  $r = 30^\circ$ 。根据几何关系得  $O$  与  $O'$  之间的距离  $\Delta x = R \tan r = \frac{\sqrt{3}}{3} R$ 。

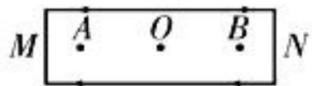


图 3

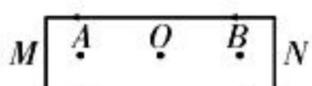


图 4

(责任编辑 张 巧)

## 高考物理模拟试题(四)

### 参考答案与提示

1. B 提示:在  $0 \sim 0.5T$  内,加速度保持  $a_0$  不变,升降机做匀变速直线运动,速度一直增加;在  $0.5T \sim T$  内,加速度为零,升降机做匀速运动;在  $T \sim 2T$  内,加速度保持  $-a_0$  不变,升降机做匀变速直线运动,所受合力不为零。根据加速度—时间图像与横轴围成的面积表示速度的变化量可知,升降机在  $0 \sim 1.5T$  内一直向上运动,在  $1.5T$  时刻速度减小到零,在  $1.5T \sim 2T$  内向下运动。

2. B 提示:火星与地球的自转周期相同,则二者的角速度相同,即地球和火星各自同步卫星的角速度相同,选项 A 错误。根据  $G \frac{Mm}{r^2} = mr \left( \frac{2\pi}{T} \right)^2$  可知,地球的质量较大,则地球同步卫星的轨道半径  $r$  较大,选项 D 错误。根据  $v = \omega r$  和  $a = \omega^2 r$  可知,地球同步卫星的线速度和向心加速度均较大,选项 B 正确, C 错误。

3. D 提示:在圆形轨道的最高点和最低点,游客受到的合外力指向圆形轨道的圆心,加速度方向指向圆心,但是在非最高点和最低点,游客受到的合外力不指向圆心,加速度方向也不指向圆心,选项 A 错误。游客从最高点运动到最低点的过程中,机械能不守恒,选项 B 错误。当游客经过最高点时的速度  $v < \sqrt{gR}$ ,即所需的向心力小于重力时,座椅对游客有向上的支持力  $F$ ,根据牛顿第二定律得  $mg - F = m \frac{v^2}{R}$ ,解得  $F = mg - m \frac{v^2}{R}$ ,选项 C 错误, D 正确。

4. A 提示:设线框的速度为  $v$ ,线框总电阻为  $R$ ,当  $t < \frac{L}{v}$  时,只有线框右侧的两个短边切割磁感线,产生的感应电动势  $E_1 = 2BLv$ ,根据楞次定律可知,感应电流的方向沿逆时针,大小为  $I_1 = \frac{E_1}{R} = \frac{2BLv}{R}$ ;当  $\frac{L}{v} \leq t < \frac{3L}{v}$  时,线框从右侧中间短边进入磁场至

左侧长边进入磁场,产生的感应电动势  $E_2 = 3BLv$ ,根据楞次定律可知,感应电流的方向沿逆时针,大小为  $I_2 = \frac{E_2}{R} = \frac{3BLv}{R}$ ;当  $\frac{3L}{v} \leq t < \frac{4L}{v}$  时,线框从左侧长边进入磁场至右侧中间短边离开磁场,产生的感应电动势  $E_3 = 2BLv$ ,根据楞次定律可知,感应电流方向沿顺时针,大小为  $I_3 = \frac{E_3}{R} = \frac{2BLv}{R}$ ;当  $\frac{4L}{v} \leq t < \frac{6L}{v}$  时,线框从右侧中间短边离开磁场至左侧长边离开磁场,产生的感应电动势  $E_4 = 3BLv$ ,根据楞次定律可知,感应电流方向沿顺时针,大小为  $I_4 = \frac{E_4}{R} = \frac{3BLv}{R}$ 。

5. C 提示:根据速度—时间图像可知,当飞行员的速度  $v_1 = 5 \text{ m/s}$  时加速度减小到零,根据平衡条件得  $kv_1 = (m_1 + m_2)g$ ,解得  $k = 200 \text{ N} \cdot \text{s/m}$ ,选项 A 错误。打开降落伞的瞬间,飞行员的速度  $v_2 = 20 \text{ m/s}$ ,降落伞所受阻力  $f = kv_2 = 200 \times 20 \text{ N} = 4000 \text{ N}$ ,根据牛顿第二定律得  $f - (m_1 + m_2)g = (m_1 + m_2)a$ ,解得  $a = 30 \text{ m/s}^2$ ,方向竖直向上,选项 B 错误。隔离飞行员进行受力分析,设每根悬绳能够承受的拉力至少为  $F$ ,根据牛顿第二定律得  $8F \cos \alpha - m_1 g = m_1 a$ ,解得  $F = 312.5 \text{ N}$ ,选项 C 正确, D 错误。

6. AC 提示:只有对光电管施加反向电压,即电源右端为正极,才能在光电管 K、A 两极之间形成使光电子减速的电场,光电流才可能为零,对应的电压表读数为截止电压  $U_c$ ,选项 A 正确。根据爱因斯坦光电效应方程得  $U_c = \frac{h}{e} \nu - \frac{W_0}{e}$ ,因此  $U_c - \nu$  图像的斜率  $\frac{U_1}{\nu_1} = \frac{h}{e}$ ,纵轴截距  $-U_1 = -\frac{W_0}{e}$ ,解得普朗克常量  $h = e \frac{U_1}{\nu_1}$ ,金属的逸出功  $W_0 = eU_1$ ,选项

B 错误, C 正确。每秒从阴极发出的光电子的电荷量  $q = It = 1 \times 10^{-5} \text{ C}$ , 根据  $q = ne$ , 解得  $n = 6.25 \times 10^{13}$ , 选项 D 错误。

7. AD 提示: A 点的电势  $\varphi_A = \frac{E_{PA}}{-e} = 5 \text{ V}$ , 选项 A 正确。P<sub>2</sub> 点的电势  $\varphi_{P_2} = \frac{E_{PP_2}}{-e} = -3 \text{ V}$ , 故 B 点的电势  $\varphi_B = \varphi_A + 4(\varphi_{P_2} - \varphi_A) = -27 \text{ V}$ , 选项 B 错误。C 点的电势  $\varphi_C = \frac{E_{PC}}{-e} = -19 \text{ V}$ , 设 BP<sub>1</sub> 的中点为 P, 则 P 点的电势  $\varphi_P = \varphi_A + 3(\varphi_{P_2} - \varphi_A) = -19 \text{ V}$ , 故 PC 连线是等势线。根据几何关系知  $PC \perp AB$ , 故该电场的电场强度方向平行于 AB 边, 选项 C 错误。根据几何关系得 AB 的长度为 4 cm, 故该电场的电场强度  $E = \frac{\varphi_A - \varphi_B}{4 \times 10^{-2} \text{ m}} = 800 \text{ V/m}$ , 选项 D 正确。

8. AC 提示: 若电网的电压为 220 kV, 则  $\frac{n_1}{n_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{220 \text{ kV}}{27.5 \text{ kV}} = \frac{8}{1}$ , 若电网的电压为 110 kV, 则  $\frac{n_1}{n_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{110 \text{ kV}}{27.5 \text{ kV}} = \frac{4}{1}$ , 选项 A 正确, B 错误。若高铁机车功率为 9 000 kW, 根据  $P = UI$ ,  $U = 25 \text{ kV}$ , 解得  $I = 360 \text{ A}$ , 变电所至机车间的等效电阻  $R = \frac{U_2 - U}{I} = 6.9 \Omega$ , 选项 C 正确, D 错误。

9. (1) 5.50  $\frac{d^2}{2xt^2}$  (2) D

提示: (1) 20 分度的游标卡尺的精确度为 0.05 mm, 则遮光条的宽度  $d = 5 \text{ mm} + 10 \times 0.05 \text{ mm} = 5.50 \text{ mm}$ 。遮光条通过光电门的速度  $v = \frac{d}{t}$ , 小车由静止开始做匀加速直线运动, 根据运动学公式得  $v^2 = 2ax$ , 解得  $a = \frac{d^2}{2xt^2}$ 。(2) 拉力传感器的示数  $F$  即为绳的拉力, 对小车应用牛顿第二定律得  $F = Ma$ , 解得  $a = \frac{1}{M}F$ , 故  $a-F$  图像的斜率  $k = \frac{1}{M}$ , 解得小车质量  $M = \frac{1}{k}$ 。因为  $a-F$  图像的横轴和纵轴无标度, 也没有相同的标度, 所以不能用直线倾角  $\theta$  的正切值计算斜率。

10. 1.49 0.25 小于  $kS$  没有

提示: (1) 根据闭合电路欧姆定律得  $U = E - I(r + R_0)$ , 则  $U-I$  图像与纵轴的交点坐标表示电动势, 故  $E = 1.49 \text{ V}$ ;  $U-I$  图像的斜率表示  $r + R_0$ , 则  $r + R_0 = \frac{1.49 - 1.2}{0.20} \Omega = 1.45 \Omega$ , 解得  $r = 0.25 \Omega$ 。(2) 根据实验原理图可知, 伏安法测电阻相对于电源来说采用的是电流表外接法, 由于电压表的分流作用, 电流表的测量值偏小, 当外电路短路时, 电流的测量值等于真实值, 电源的  $U-I$  图像如图 1 所示, 则电动势的测量值小于真实值。(3) 根据欧姆定律可知, 电阻  $R = \frac{U}{I} = \frac{\rho x}{S}$ , 则  $\frac{U}{I}-x$  图像的斜率  $k = \frac{\rho}{S}$ , 解得  $\rho = kS$ 。若考虑电

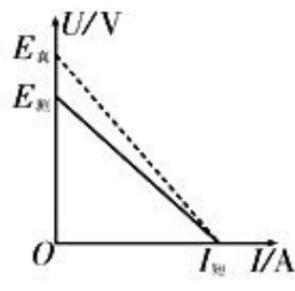


图 1

流表的内阻, 则  $\frac{U}{I} = \frac{\rho x}{S} - R_A$ , 即图像的斜率不变, 因此得出的电阻率不受电表内阻的影响。

11. (1) 碰撞后滑块  $a$  沿轨道运动, 设滑块  $a$  恰好能够通过半圆形轨道最高点  $C$  时的速率为  $v_c$ , 则  $m_1 g = m_1 \frac{v_c^2}{R}$ , 根据机械能守恒定律得  $\frac{1}{2} m_1 v_1^2 = \frac{1}{2} m_1 v_c^2 + m_1 g \cdot 2R$ , 解得  $v_1 = 3 \text{ m/s}$ 。(2) 滑块  $b$  与  $a$  发生弹性碰撞, 设碰撞前后瞬间滑块  $b$  的速率分别为  $v$ 、 $v_2$ , 则  $m_2 v = m_1 v_1 - m_2 v_2$ ,  $\frac{1}{2} m_2 v^2 = \frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2$ , 解得  $v = 6 \text{ m/s}$ ,  $v_2 = 3 \text{ m/s}$ 。根据能量守恒定律得  $\frac{1}{2} m_2 v^2 = \mu m_2 g \cdot 2L$ , 解得  $L = 1 \text{ m}$ 。从用手将滑块  $b$  向右压缩弹簧到滑块  $b$  第一次到达  $A$  点的过程中, 根据动能定理得  $W - \mu m_2 g L = \frac{1}{2} m_2 v^2$ , 解得  $W = 2.025 \text{ J}$ 。

12. (1) 根据题意, 作出带电粒子的运动轨迹, 如图 2 所示。粒子从  $O$  点运动到  $M$  点所用的时间  $t_1 = \frac{d}{v_0}$ , 粒子在电场中的加速度

$$a = \frac{qE}{m} = \frac{\sqrt{3}v_0^2}{d}, \text{故 } P、$$

M 两点之间的距离

$$\text{为 } \frac{1}{2}at_1^2 = \frac{\sqrt{3}}{2}d, \text{粒子}$$

在 M 点时沿竖直方

向的分速度  $v_y =$

$at_1 = \sqrt{3}v_0$ , 粒子在 M

点时的速度  $v = \sqrt{v_0^2 + v_y^2} = 2v_0$ , 速度偏转角

$\theta$  的正切值  $\tan \theta = \frac{v_y}{v_0} = \sqrt{3}$ , 故  $\theta = 60^\circ$ . 粒子

从 N 点运动到 O 点所用的时间  $t_2 = \frac{d}{2v_0}$ , 粒

子从 N 点运动到 O 点沿竖直方向的位移

$y = \frac{1}{2}at_2^2 = \frac{\sqrt{3}}{8}d$ , 即 P、N 两点之间的距离为

$\frac{\sqrt{3}}{8}d$ . 因此 M、N 两点之间的距离为  $\frac{\sqrt{3}}{2}d +$

$\frac{\sqrt{3}}{8}d = \frac{5\sqrt{3}}{8}d$ . (2) 设粒子在磁场中做圆周运

动的半径为 R, 根据几何关系得  $R \cos \theta +$

$R = \frac{5\sqrt{3}}{8}d$ , 解得  $R = \frac{5\sqrt{3}}{12}d$ . 设匀强磁场的

磁感应强度为  $B_0$ , 根据  $qvB_0 = m \frac{v^2}{R}$ , 解得

$B_0 = \frac{8\sqrt{3}mv_0}{5qd}$ . 设圆形匀强磁场区域的半径

为  $R_0$ , 根据几何关系得  $R_0 = 2R \sin \theta$ , 解得

$R_0 = \frac{5}{4}d$ . (3) 粒子从 O 点运动到 M 点所用

的时间  $t_1 = \frac{d}{v_0}$ , 从 N 点运动到 O 点所用的时

间  $t_2 = \frac{d}{2v_0}$ , 在磁场中的运动时间  $t_3 = \frac{4\pi R}{2v_0} =$

$\frac{5\sqrt{3}\pi d}{18v_0}$ , 在无场区域中的运动时间  $t_4 =$

$\frac{R \sin \theta}{2v_0} = \frac{5d}{16v_0}$ , 因此粒子从 O 点出发至回到

O 点所用的时间  $t = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 = \frac{29d}{16v_0} +$

$\frac{5\sqrt{3}\pi d}{18v_0}$ .

13. (1) ACE

(2) (i) 加热后, 缸内气体经历等压变化

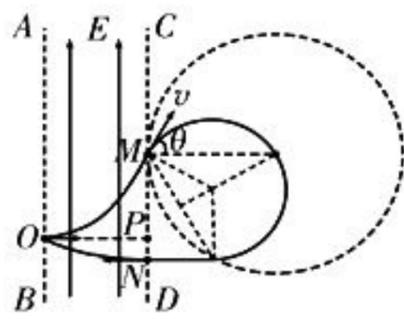


图 2

过程, 直至活塞刚好到达卡口 b 处, 设此时缸内气体的温度为  $T'$ , 活塞位于卡口 a 处和 b 处时缸内气体的体积分别为  $V_1$  和  $V_2$ , 根据

盖-吕萨克定律得  $\frac{V_1}{T} = \frac{V_2}{T'}$ , 式中  $V_1 = SH$ ,

$V_2 = S(H+h)$ , 解得  $T' = \frac{(H+h)T}{H}$ .

(ii) 从开始加热到活塞刚好到达卡口 b 处的

过程中, 设缸内气体的压强为  $p_1$ , 根据平衡

条件得  $p_0 S = mg + p_1 S$ , 缸内气体对外界做

的功  $W' = p_1 Sh$ , 解得  $W' = p_0 Sh - mgh$ , 即

外界对缸内气体做的功  $W = -W' = mgh -$

$p_0 Sh$ . 缸内气体内能的增加量  $\Delta U = \Delta T \cdot$

$E_0 = \frac{hT}{H} E_0$ , 根据热力学第二定律得  $\Delta U =$

$W + Q$ , 解得  $Q = \frac{hT}{H} E_0 + p_0 Sh - mgh$ .

14. (1) ADE 提示: 光现象为干涉现象,

光屏上的条纹与镜面平行, 选项 A 正确, B 错

误. 将光源沿竖直方向靠近平面镜, 相当于

双缝干涉的双缝间隔  $d$  减小, 由双缝干涉条

纹间距公式  $\Delta x = \frac{l}{d} \lambda$  可知, 光屏上的相邻条

纹间距增大, 选项 C 错误. 将光屏沿水平方

向远离平面镜, 相当于双缝到屏的距离  $l$  增

大, 则光屏上的相邻条纹间距增大, 选项 D 正

确. 若将 S 换成发射蓝光的线光源, 其他条

件不变, 因蓝光的波长比红光短, 故光屏上的

相邻条纹间距减小, 选项 E 正确.

(2) (i) 该波的波长  $\lambda = 4 \text{ m}$ , 波速  $v =$

$\frac{\lambda}{T} = 2 \text{ m/s}$ , 质点 P 的起振方向沿 y 轴的正

方向, 角频率  $\omega = \frac{2\pi}{T} = \pi \text{ rad/s}$ , 振幅  $A =$

$0.2 \text{ m}$ , 因此质点 P 的振动方程为  $y =$

$0.2 \sin \pi t \text{ m}$ . (2) 振动由质点 P 传到质点 Q

所需的时间  $t_1 = \frac{x_Q - x_P}{v} = 5.5 \text{ s}$ , 质点 Q 从

开始振动到第二次出现在波峰所需的时间

$t_2 = \frac{5T}{4} = 2.5 \text{ s}$ , 故总的时间  $t = t_1 + t_2 = 8 \text{ s}$ .

(责任编辑 张 巧)



# 2022年高考，

## 《中学生数理化（高中版）》高考理化与您同行



考场如战场，每一道试题都是一个战略高地，拦在您面前，阻挡您通往心仪的大学。2022年高考，中学生数理化（高中版）高考理化与您同行，助您攻克难题，做高考赢家！

中学生数理化（高中版）高考理化从2021年第9期至2022年第8期为一个学年，全面配合2022年高考物理、化学学科的复习，主要栏目有高考命题新动向，高考新考向分析，科学应试与策略，实验探究与展望，创新题追根溯源，易错题归类剖析，经典题突破方法，核心考点AB卷等。单月为物理专题复习，双月为化学专题复习，为密切配合新高考，2022年第5、6期于2022年3月中旬提前出版，第7、8期于2022年4月中旬提前出版。

### 《中学生数理化（高中版）》高考理化2021.9-2022.8学年编辑计划一览表

| 月份  | 进度配合      | 每期重点内容                                                                                 |
|-----|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| 9   | 物理第一轮复习   | 必修1（运动的描述、直线运动、牛顿运动定律）、必修2（曲线运动、动能定理、机械能守恒定律、能量守恒定律）、选修3-5（动量定理、动量守恒定律、波粒二象性、原子结构、原子核） |
| 10  | 化学第一轮复习   | 化学反应原理专题，包括化学反应的热效应、化学反应速率与化学平衡、水溶液中的离子反应与平衡、化学反应与电能                                   |
| 11  | 物理第一轮复习   | 选修3-1（静电场、恒定电流、磁场）、选修3-2（电磁感应、交变电流、传感器）                                                |
| 12  | 化学第一轮复习   | 物质结构与性质：①原子结构与性质，②分子结构与性质，③晶体结构与性质；物质结构 元素周期律                                          |
| 1   | 物理第二轮复习   | 选择题、实验题，高考物理模拟试题                                                                       |
| 2   | 化学第二轮复习   | 有机化学专题，包括有机化合物的结构特点与研究方法，烃，烃的衍生物，生物大分子，合成高分子                                           |
| 3   | 物理第二轮复习   | 解答题，高考物理模拟试题                                                                           |
| 4   | 化学第二轮复习   | 元素化合物和化学实验专题                                                                           |
| 5   | 物理第二轮复习   | 选做题，高考物理模拟试题                                                                           |
| 6   | 化学第二轮复习   | 高考热点专题：化学与生活、科技、环境、诺贝尔奖，科学应考，审题要领，选择题解题技巧，填空题答题规范等                                     |
| 7-8 | 物理、化学考前冲刺 | “强基计划”政策解读与真题展示，高考物理模拟试题；高考化学模拟测试                                                      |

# 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

ISSN 1001-6953



9 771001 695229