思维导图伴你学

高中物理

主　编　罗时翔
编　者　陈瑞云　何新平　张学凤
　　杨　俊　郭金禾　陈红玲

北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

思维导图伴你学系列图书编写委员会

总 主 编：张鹏生

副总主编：刘卫民　陈瑞云　李和平　仲卫东

编　　委：（以姓氏笔划为序）

王世武　田名凤　刘卫民　刘宏雁　刘俊平　仲卫东　张文娣　张鹏生

李和平　陈瑞云　杨艳君　杨善林　范宏怡　胡国华　胡晓东　侯　佳

赵荣颖　高　晔　殷佳梅　徐春丽　崔　明　韩　校　谢先君

图书在版编目(CIP)数据

思维导图伴你学：高中物理/罗时翔主编．—北京：北京大学出版社，2012.9

ISBN 978-7-301-20965-3

Ⅰ.①思…　Ⅱ.①罗…　Ⅲ.①中学物理课—高中—教学参考资料　Ⅳ.①G634

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 154667 号

书　　名：思维导图伴你学——高中物理

著作责任者：罗时翔 主编

策　　划：谢先君

责 任 编 辑：刘　维

标 准 书 号：ISBN 978-7-301-20965-3/G·3461

出 版 发 行：北京大学出版社

地　　址：北京市海淀区成府路 205 号　100871

网　　址：http://www.pup.cn

电　　话：发行部 62759022　编辑部 62767832　出版部 62754962

电 子 信 箱：swdt1078@163.com

印　刷　者：霸州市福利胶印厂

经　销　者：新华书店

787 毫米×1092 毫米　16 开本　19 印张　35 张彩色插图　570 千字

定　　价：68.00 元

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有　侵权必究

举报电话：62967706　　电子信箱：fd@pup.pku.edu.cn

前　言

思维导图（Mind Map）是英国著名学者东尼·博赞（Tony Buzan）在20世纪60年代提出的一种新型记忆与思维方法。它以放射性思维为基础，是一种简单、高效的思维工具和学习工具。

思维导图能全面调动人类左脑的逻辑、顺序、条理、文字、数字以及右脑的图像、想象、颜色、空间、整体思维的功能，使大脑潜能得到最充分的开发，从而极大地激发人们的创造性思维能力。东尼·博赞也因此被称为“大脑先生”。美国《时代》周刊曾评价东尼·博赞的思维导图“对头脑的贡献就像霍金对宇宙的贡献那么大”。

思维导图已成为当今世界应用最广泛的高效学习工具之一。它已被世界上至少2.5亿人所使用，在教育、医学、农业、工业、气象、管理等各个领域均发挥着巨大的作用。

思维导图伴你学系列图书，是以新课标要求为前提，组织初中和高中一线名师和专家历时两年多编写而成。它是以思维导图为工具，以放射性思维为基础，以帮助学生开发左右脑潜能为目的的一种简单、高效的学习方法。

本套图书分初中和高中两个系列，初中系列有语文、数学、英语、物理和化学5个学科，高中系列有语文、数学、英语、物理、化学、生物、政治、历史、地理9个学科，以“思维导图＋伴读手册＋学习光盘”三位一体的形式组成，打破了传统图书的单一模式，与以往教辅图书相比，无论是形式还是内容都有较大的突破。

（1）思维导图。每个学科由一张学科知识考点总导图和若干张分章节的学习导图组成。其中初中系列共有导图143张，高中系列共有导图369张，总计512张。这些导图的内容均与新课标的要求相对应，既有必修部分，也有选修部分，而且重点突出、层次分明。分章节的导图均按“知识梳理—学法指导—总结升华”三个模块编制。所有导图均按思维导图的特征和要求绘制，彩色印刷，便于读者学习和记忆。

（2）伴读手册。每个学科一册，其主要内容是通过解题指南和同步检测对导图对应的知识点，进行讲解和练习。每个例题均有解题思路分析，而且这些思维分析过程均用思维导图呈现。真正做到了思维过程的可视化，读者只要掌握了这种分析方法，就能有效地提高自己的思维品质，使学习和考试变得更容易。

（3）学习光盘。每个学科1张DVD，内容分为三个部分：第一部分讲解什么是思维导图，怎样绘制和使用思维导图等内容。其余两部分分别讲解了本学科的知识梳理和学法指导。读者观看了光盘后，不仅能掌握本学科的知识结构与联系，而且会明白怎样用思维导图的方法来学习本学科的知识。

思维导图伴你学系列图书从功能上来说，有以下主要特征：

（1）这是一套能帮助中学生提高思维品质的图书。思维导图之所以能被广泛使用，其

根本原因是这种思维方法具有科学性。它的放射性思维模式既能快速抓住问题的本质，又能逐步深入地找到解决问题的办法；同时，它用彩图（关键词、线条、色彩）的形式将同类问题相连接，把逻辑思维和形象思维有机结合，能充分开发人的大脑潜能。

（2）这是一套能帮助中学生提高记忆水平的图书。东尼·博赞是“世界记忆协会”的创始人。思维导图最初就是一种新型的快速笔记方法，它把枯燥的知识信息变成可视的、容易记忆和理解的导图。它能培养读者抓住关键词，记住知识结构。只要认真地读懂了导图，就能很快地记住导图的知识内容。

（3）这是一套能帮助中学生提高学习效率的图书。高效的记忆方法能使读者在同样的时间内掌握更多的知识；名师精选的学习内容能使读者快速把握考试重点，提高备考效率；科学的思维方法可以让读者很快找到解决问题的思路，节省考试时间，取得更好的考试成绩。

使用本套图书时，建议先看光盘，了解什么是思维导图和怎样利用（绘制、运用）思维导图学习；再看总的知识导图和分章节的学习导图，最好能自己动手绘制思维导图，这对提高运用思维导图的能力非常有好处。最后再结合导图所讲的知识内容看书，并用“解题指南”中提供的方法分析“同步检测”中的习题，如此可以达到事半功倍的效果。

本书在编写过程中得到了中国人民大学附属中学第二分校的大力支持，在此表示衷心感谢！

由于水平有限，本书难免会有一些疏漏之处，欢迎读者批评指正。

编　者

目　录

第一章　直线运动 …… 1

第一节　运动的描述 …… 1

第二节　匀变速直线运动的研究 …… 8

本章知识检测题 …… 18

第二章　相互作用 …… 23

第一节　三种性质力 受力分析 …… 23

第二节　力的合成与分解 …… 29

本章知识检测题 …… 34

第三章　牛顿运动定律 …… 38

第一节　牛顿第一定律　牛顿第三定律 …… 38

第二节　牛顿第二定律及其应用 …… 43

本章知识检测题 …… 51

第四章　曲线运动 万有引力与航天 …… 54

第一节　曲线运动 …… 54

第二节　万有引力与航天 …… 62

本章知识检测题 …… 68

第五章　机械能守恒定律 …… 71

第一节　功　功率　动能、势能和动能定理 …… 71

第二节　机械能守恒定律与能量守恒定律 …… 80

本章知识检测题 …… 91

第六章　静电场 …… 96

第一节　电场的性质 …… 96

第二节　电容器 带电粒子在电场中的运动 …… 105

本章知识检测题 …… 121

第七章　恒定电流 …… 128

第一节　欧姆定律与电阻定律 …… 128

第二节　焦耳定律与闭合电路的欧姆定律 …… 137

本章知识检测题 …… 149

第八章　磁场 …… 155

第一节　磁场　磁场对电流的作用 …… 155

第二节　磁场对运动电荷的作用 …… 163
本章知识检测题 …… 175
第九章　电磁感应 …… 182
第一节　电磁感应　楞次定律 …… 182
第二节　法拉第电磁感应定律 …… 186
本章知识检测题 …… 197
第十章　交变电流 电磁波 传感器 …… 204
第一节　交变电流 …… 204
第二节　电磁波与传感器 …… 211
本章知识检测题 …… 216
第十一章　机械振动与机械波 …… 220
第一节　机械振动 …… 220
第二节　机械波 …… 226
本章知识检测题 …… 233
第十二章　光学 …… 236
第一节　光的传播 …… 236
第二节　光的波动性 …… 243
本章知识检测题 …… 248
第十三章　热学 …… 251
第一节　分子动理论 气体 …… 251
第二节　内能与热力学定律 …… 255
本章知识检测题 …… 259
第十四章　动量 …… 262
第一节　动量和冲量　动量定理 …… 262
第二节　动量守恒定律 …… 266
本章知识检测题 …… 275
第十五章　原子结构与原子核 …… 279
第一节　原子结构 …… 279
第二节　原子核 …… 281
本章知识检测题 …… 287

第一章　直线运动

第一节　运动的描述

解题指南

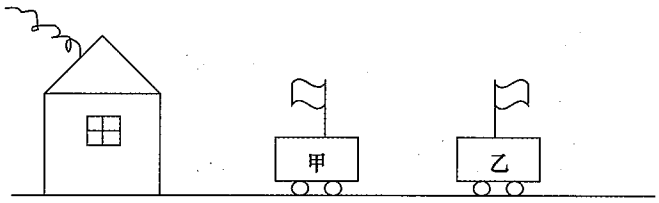
例 1　观察下图中烟囱冒出的烟和平直路面上甲、乙两车上的小旗，关于甲、乙两车相对房子的运动情况，下列说法正确的是（　　）

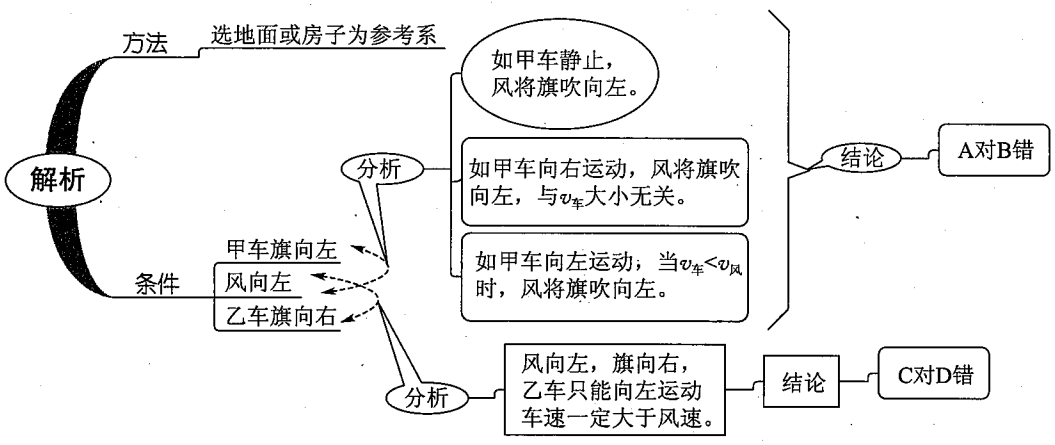
A. 甲车可能静止或向右运动或向左缓慢运动，乙车一定向左运动

B. 甲车一定向右运动，乙车一定向左运动

C. 乙车速度一定大于风速

D. 乙车速度可能小于风速





错解分析：甲车旗向左，以为甲车一定向右运动，误选 B。

◎【答案】AC

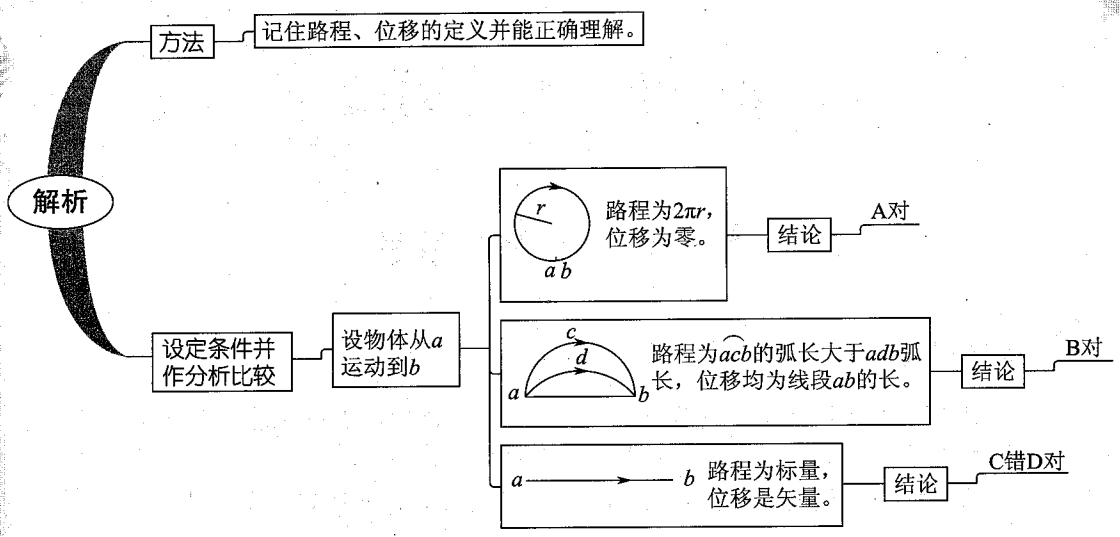
例 2　关于路程和位移，下列说法中正确的是（　　）

A. 物体通过一段路程，其位移可能为零

B. 物体通过的路程不等，其位移可能相同

C. 物体沿直线向某一方向运动，通过的路程就是位移

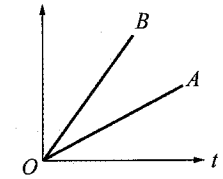
D. 物体沿直线向某一方向运动，通过的路程等于位移的大小



错解分析：当矢量的大小等于标量时，就误以为这两个量相等，错选 C。

◎【答案】ABD

例 3 如图所示，横轴表示时间，A、B 是两物体的运动图像，下列说法正确的是（　　）

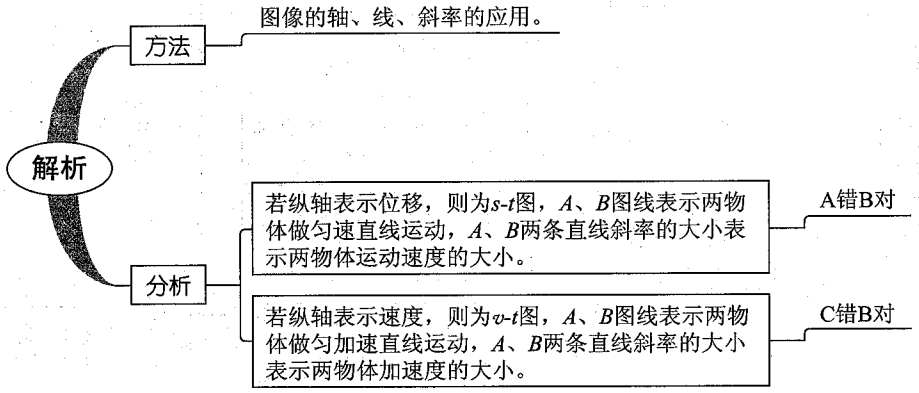


A. 物体可能做匀速直线运动，且速度 $v_A > v_B$

B. 物体可能做匀速直线运动，且速度 $v_A < v_B$

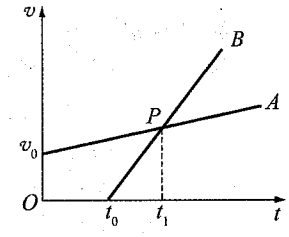
C. 物体可能做匀加速直线运动，且加速度 $a_A > a_B$

D. 物体可能做匀加速直线运动，且加速度 $a_A < a_B$



◎【答案】BD

例 4 如图所示为 A、B 两物体做匀加速运动的 $v-t$ 图像，下列说法正确的是（　　）

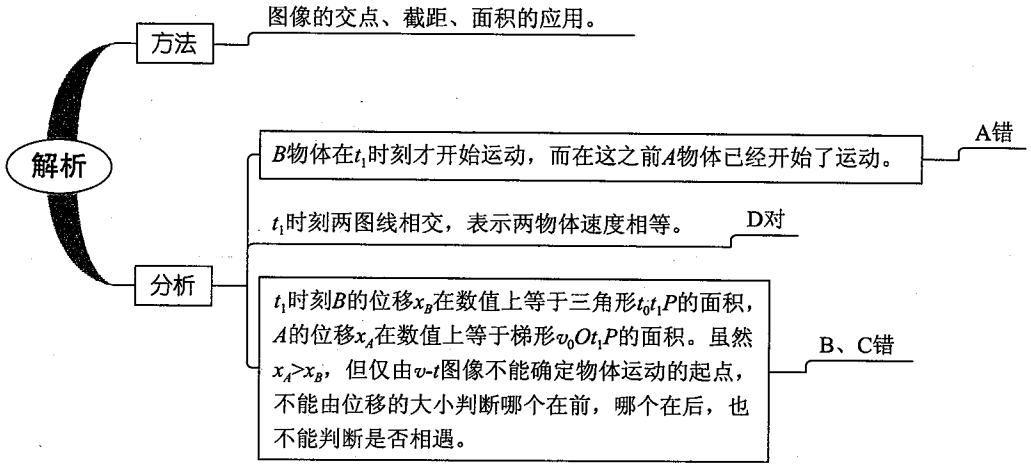


A. B 比 A 先开始运动

B. t_1 时刻两物体相遇

C. t_1 时刻 A 在 B 的前方

D. t_1 时刻两物体速度相等



点评：经常有选择题在 $v-t$ 图像不能确定物体运动起点的问题上设置陷阱，如按同一起点计算，其中有一个或几个选项正确，但起点不确定，这些选项都不能选。如果在题目的叙述中规定了两物体的运动起点，那就可按题目的条件去分析计算了。

◎【答案】D

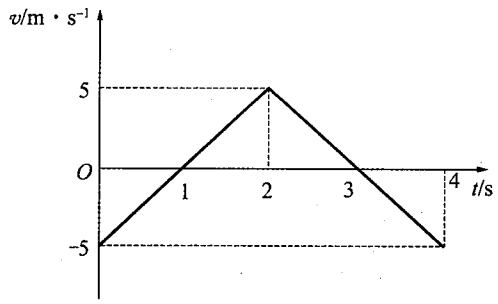
例 5　如图所示为某物体运动的 $v-t$ 图像，下列说法正确的是（　　）

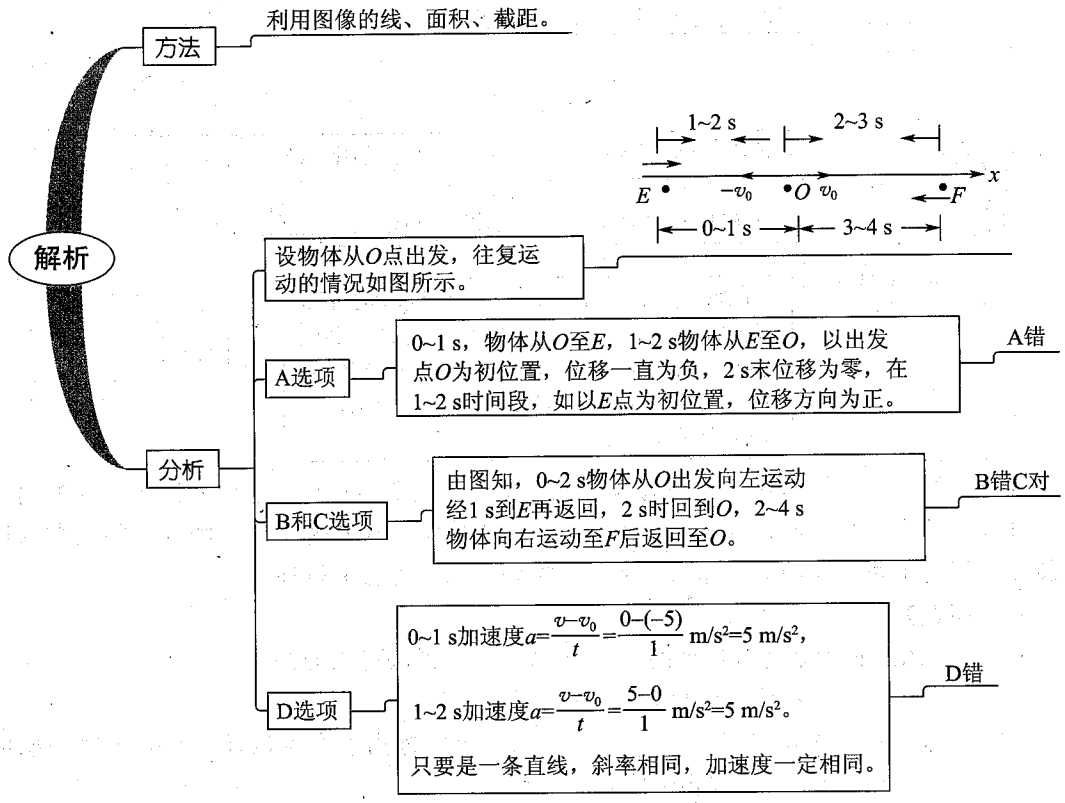
A. 0～2 s 内物体的位移先负后正

B. 0～2 s 内物体朝一个方向运动，2 s 末物体离出发点最远，2～4 s 物体朝反方向运动，4 s 末物体回到出发点

C. 0～4 s 内物体做往返运动，两次回到出发点

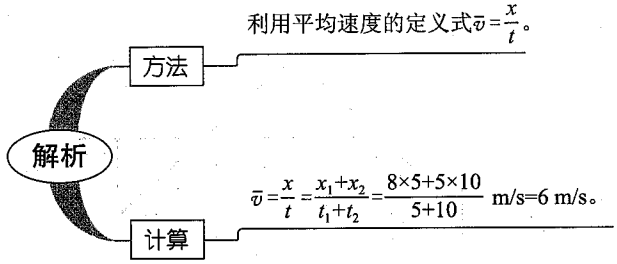
D. 0～1 s 和 1～2 s 物体的加速度不同





◎【答案】C

例 6 一物体做单方向的直线运动，前 5 s 平均速度为 8 m/s，紧接着后 10 s 平均速度为 5 m/s，求物体通过全程的平均速度为多少？



错解分析：$\bar{v}=\frac{v_1+v_2}{2}=\frac{8+5}{2}$ m/s=6.5 m/s，这是没考虑公式的适用条件，乱套公式造成的错误。对本题当 $t_1=t_2$ 时，此式才成立。

◎【答案】6 m/s

例 7 皮球以 8 m/s 的速度与地面发生碰撞，经过 0.5 s 以 6 m/s 的速度反弹，求皮球与地面发生碰撞过程中的加速度。

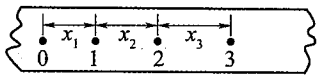
解析
- 方法：公式法。
- 分析计算：对涉及矢量运算的题，一定要规定正方向。对本题，如果规定反弹速度的方向为正，则初速$v_0=-8$ m/s，$a=\frac{v-v_0}{t}=\frac{6-(-8)}{0.5}$ m/s^2=28 m/s^2，正号表示所求加速度方向向上。

点评：解本题常易犯的错误：(1) 只注意了速度的大小，没考虑方向。(2) 将数值代入公式时，把初速度、末速度弄错。(3) 只求了加速度的大小，忘记了方向。

要注意的问题：如所求物理量是矢量，题目没说只求大小，则最终答案一定要交代方向。

◎【答案】28 m/s^2，方向向上

例 8　实验题：用接在 50 Hz 交流电源上的打点计时器测小车的运动情况，某次实验得到一段纸带如图所示，每 5 个打印点取一个计数点，分别标明 0，1，2，3，量得 0 与 1 两点间的距离 $x_1=30$ mm，2 与 3 两点间距离 $x_3=48$ mm，求：



(1) 小车在 0 与 1 及 2 与 3 两点的平均速度 $\bar{v}_1$，$\bar{v}_3$ 各为多少？

(2) 小车做什么运动？

解析
- 方法：公式法：平均速度的定义式$\bar{v}=\frac{x}{t}$。
- 分析计算：(1)根据题设条件$t=5T=5\times0.02$ s=0.1 s。$\bar{v}_1=\frac{x_1}{t}=\frac{30\times10^{-3}}{0.1}$ m/s=0.30 m/s，$\bar{v}_3=\frac{x_3}{t}=\frac{48\times10^{-3}}{0.1}$ m/s=0.48 m/s。(2)由(1)的计算知，小车的速度在增加，所以小车做加速运动。

易错点：0 与 1，2 与 3 之间还有四个点没画出，如不认真读题，会误将 0 与 1，2 与 3 之间的时间间隔当做 $t=T=0.02$ s 代入公式计算，造成错误。

◎【答案】(1) 0.30 m/s，0.48 m/s　(2) 小车做加速运动

同步检测

1. 下列运动物体，可以看做质点的是（　　）

A. 从起跳到落地的撑竿跳高运动员

B. 绕地球运行的人造卫星

C. 一端固定并可绕着该端转动的木杆

D. 离开枪膛时的子弹

2. 甲、乙、丙三人各乘一辆飞艇，甲看到楼房匀速上升，乙看到甲匀速上升，丙看到乙匀速下降，甲看到丙匀速上升，则甲、乙、丙相对于楼房的运动情况可能是（　　）

A. 甲匀速下降，乙匀速上升，丙静止不动

B. 甲和乙匀速下降，且 $v_{乙}>v_{甲}$，丙静止

C. 甲和乙匀速下降，且 $v_{乙}>v_{甲}$，丙匀速上升

D. 甲和乙匀速下降，且 $v_{乙}>v_{甲}$，丙匀速下降

3. 甲、乙两人同时由相同位置 A 沿直线运动到同一位置 B，甲先以速度 v_1 匀速运动了一半路程，然后以速度 v_2 匀速走完了剩下的后一半路程；乙在由 A 运动到 B 的过程中，前一半时间内运动速度为 v_1，后一半时间内的运动速度为 v_2，若 $v_1<v_2$，则甲与乙相比较（　　）

A. 甲先到达 B 地

B. 乙先到达 B 地

C. 只要 v_1、v_2 取值合适，甲、乙两人可以同时到达

D. 以上情况都有可能

4. 下列说法不正确的是（　　）

A. 物体的速度很大，加速度可能很小

B. 物体的速度在增大，加速度可能在减小

C. 物体速度变化越快，加速度一定越大

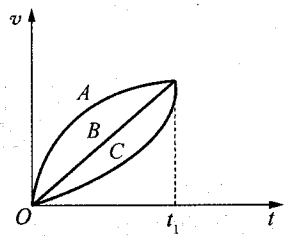
D. 物体速度变化越大，加速度一定越大

5. 一物体做匀变速直线运动，某一时刻速度大小 $v_1=4$ m/s，1 s 后速度大小 $v_2=10$ m/s。在这 1 s 内物体的加速度大小为（　　）

A. 可能小于 4 m/s^2　　B. 可能等于 6 m/s^2

C. 一定等于 6 m/s^2　　D. 可能大于 10 m/s^2

6. A、B、C 三物体的位移—时间图像如图所示，在 $0\sim t_1$ 时间内（　　）



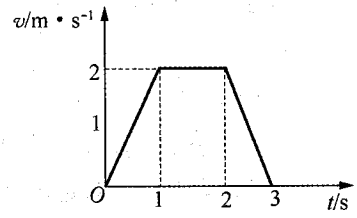
A. 平均速度 $v_A=v_B=v_C$

B. 平均速度 $v_A>v_B>v_C$

C. B 做直线运动，A、C 做曲线运动

D. A、B、C 均做直线运动

7. 如图所示是某质点运动的速度-时间图像，由图像得到的正确结果是（　　）



A. 0～1 s 内的平均速度是 2 m/s

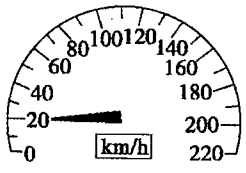
B. 0～2 s 内的位移大小是 3 m

C. 0～1 s 内的加速度大于 2～3 s 内的加速度

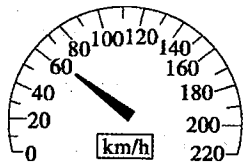
D. 0～1 s 内的运动方向与 2～3 s 内的运动方向相反

8. 如图所示是某汽车的速度计，开始时指针指示在如图甲所示位置，经过8 s后指针指示在如图乙所示位置，若汽车做匀变速直线运动，那么它的加速度约为（　　）

A. 11 m/s²　　B. 5.0 m/s²　　C. 1.4 m/s²　　D. 0.6 m/s²



甲



乙

9. 敦煌曲子词《浣溪沙》中有这样的诗句："满眼风波多闪烁，看山恰似走来迎，仔细看山山不动，是船行。"其中"看山恰似走来迎"和"是船行"所选的参照物分别是（　　）

A. 山和船　　B. 船和山　　C. 地面和山　　D. 河岸和流水

10. 足球以 10 m/s 的速度飞来，被运动员一脚踢回，踢出时的速度大小为 20 m/s，球与脚接触时间为 0.1 s，求此过程中足球的加速度。

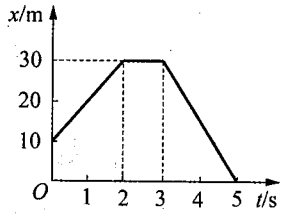
11. 一辆汽车沿平直公路行驶，先以速度 v_1 通过前$\frac{1}{3}$的位移，再以速度 $v_2=60$ km/h 通过其余$\frac{2}{3}$的位移，若整个位移的平均速度 $\bar{v}=40$ km/h。则通过第一段位移的平均速度是多少？

12. 如图所示为一物体沿直线运动 $x-t$ 图像，根据图像求：

(1) 前 2 s 内的位移、第 3 s 内的位移、前 5 s 的总路程和位移。

(2) 求出 0～2 s、2～3 s、3～5 s 各段的速度。

(3) 画出与 $x-t$ 图像对应的 $v-t$ 图像。



参考答案

1. BD　2. BCD

3. B　解析：$t_{甲}=\frac{x}{2v_1}+\frac{x}{2v_2}$，$\bar{v}_{甲}=\frac{x}{t_{甲}}=\frac{2v_1v_2}{v_1+v_2}$，

$\bar{v}_{乙}=\frac{v_1\frac{t}{2}+v_2\frac{t}{2}}{t}=\frac{v_1+v_2}{2}$，$\frac{\bar{v}_{乙}}{\bar{v}_{甲}}=\frac{(v_1+v_2)^2}{4v_1v_2}$，

由于 $(v_1+v_2)^2-4v_1v_2=(v_1-v_2)^2>0$，所以 $\bar{v}_{乙}>\bar{v}_{甲}$，

再由 $t=\frac{x}{v}$，得 $t_{乙}<t_{甲}$。

4. D

5. BD　解析：v_1、v_2 同向时 $a_1=\frac{v_2-v_1}{t}=\frac{10-4}{1}$ m/s²$=6$ m/s²，

v_1、v_2 反向时 $a_2=\frac{v_2-v_1}{t}=\frac{-10-4}{1}$ m/s²$=-14$ m/s²。

6. AD　7. B　8. C　9. B

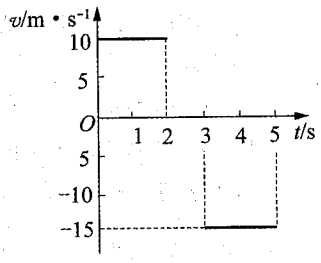
10. 300 m/s²，方向与踢出的方向相同。

11. 24 km/h　解析：$\bar{v}=\dfrac{x}{t_1+t_2}=\dfrac{x}{\dfrac{x}{3v_1}+\dfrac{2x}{3v_2}}=\dfrac{3v_1v_2}{2v_1+v_2}$，

$v_1=\dfrac{v_2\bar{v}}{3v_2-2\bar{v}}=\dfrac{60\times40}{3\times60-2\times40}$ km/h=24 km/h。

12. (1) 由图可知：在前 2 s 内，由 $x_0=10$ m 运动到 $x_2=30$ m，位移 $\Delta x_1=x_2-x_1=20$ m。

在第 3 s 内，物体静止，位移 $\Delta x_2=0$，在前 5 s 内，先由 $x_1=10$ m 到 $x_2=30$ m，再返回到 $x_3=0$，总路程 $s=20$ m+30 m=50 m。前 5 s 内的位移 $\Delta x_3=x_3-x_1=-10$ m。



(2) 0～2 s 内的平均速度 $\bar{v}_1=\dfrac{\Delta x}{\Delta t}=\dfrac{30-10}{2}$ m/s=10 m/s。2～3 s内物体静止，速度 $\bar{v}_2=0$，3～5 s 内的平均速度 $\bar{v}_3=\dfrac{\Delta x'}{\Delta t'}=\dfrac{0-30}{2}$ m/s=−15 m/s。

(3) $v-t$ 图像如图所示。

第二节　匀变速直线运动的研究

解题指南

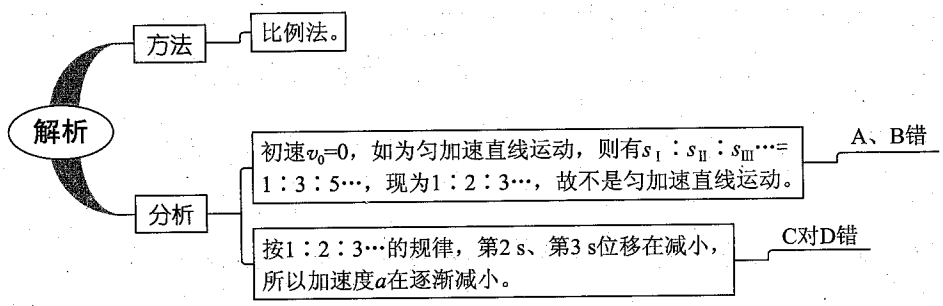
例 1　一物体从静止开始沿某一方向做直线运动，第 1 s 内位移 1 m，第 2 s 内位移 2 m，第 3 s 内位移 3 m，……该物体的运动是（　　）

A. 匀加速直线运动，加速度 $a=1$ m/s²

B. 匀加速直线运动，加速度 $a=\sqrt{2}$ m/s²

C. 非匀变速直线运动，加速度 a 逐渐减小

D. 非匀变速直线运动，加速度 a 逐渐增大

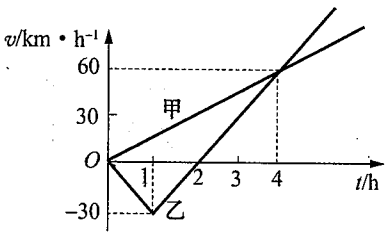


错解分析：

用 $\Delta s=at^2$ 计算，误选 A。错在没弄清题目条件，乱套公式。对本题，如果 A 对，则匀加速直线运动的初速度 v_0 不能为零，经简单计算，v_0 应为 0.5 m/s。现 $v_0=0$，应该用 $s=\frac{1}{2}at^2$ 分析计算才合理。

◎【答案】C

例 2　$t=0$ 时，甲、乙两汽车从相距 70 km 的两地开始相向行驶，它们的 $v-t$ 图像如图所示，忽略汽车掉头所需时间，下列对汽车运动的描述正确的是（　　）

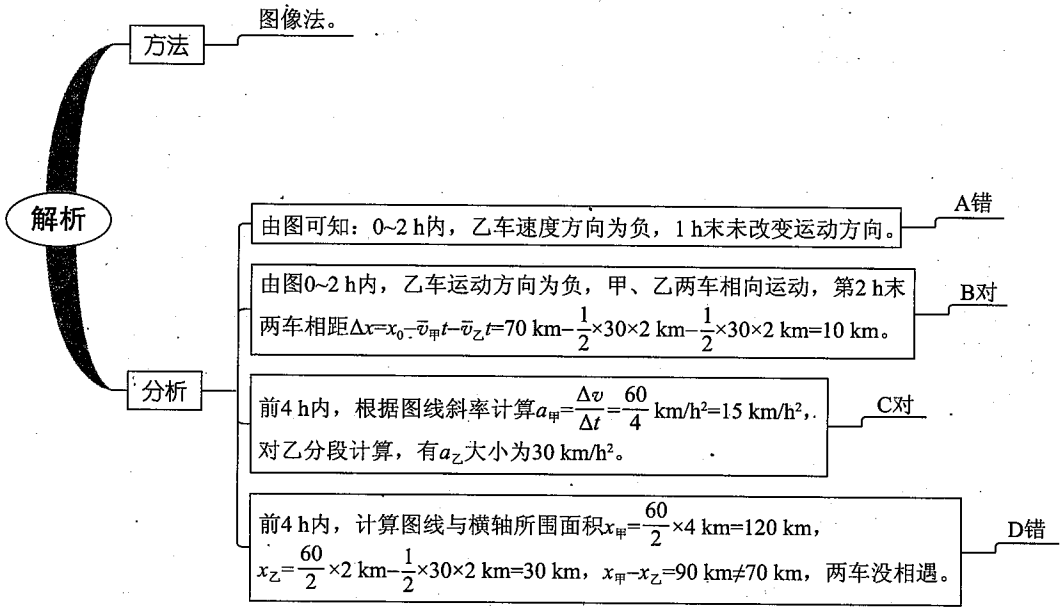


A. 在第 1 h 末，乙车改变运动方向

B. 在第 2 h 末，甲、乙两车相距 10 km

C. 在前 4 h 内，乙车运动加速度的大小总比甲车的大

D. 在第 4 h 末，甲、乙两车相遇



错解分析：

✓有的学生把图线的转折点当做方向改变，错选 A。要记住，对 $v-t$ 图像，横轴之上表示速度为正，横轴之下表示速度为负，不管图线怎么变化。

◎【答案】BC

例 3 如图所示，物体以一定的初速度在粗糙水平面上从 A 开始做匀减速直线运动，经 B 到 C 恰好停止。已知 $AB=\frac{3}{4}AC$，物体从 A 运动到 B 所用时间为 t，求物体从 B 运动到 C 所用时间为多少？



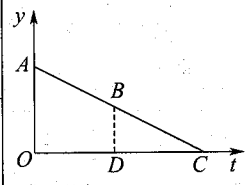
解析

逆向思维法：设初速$v_A=v_0$，则末速$v_C=0$，我们不妨将物体的运动倒过来，看做从C运动到A，采用逆向思维法，这样物体运动的初速$v_C=0$，末速$v_A=v_0$，加速度a大小不变，但方向反过来，由运动学公式：$x_{CB}=\frac{1}{4}x_{CA}=\frac{1}{2}at_{CB}^2$，$x_{CA}=\frac{1}{2}a(t_{CB}+t_{BA})^2$，再由对称性$t_{BA}=t_{AB}=t$，$t_{BC}=t_{CB}$，联立解得$t_{BC}=t$。

中间时刻速度法：由题设$x_{BC}=\frac{1}{4}x_{AC}$；由运动学公式$v_0^2=2ax_{AC}$；$v_B^2=2a\frac{x_{AC}}{4}$，解得$v_B=\frac{v_0}{2}$，又平均速度$v_{AC}=\frac{v_0+v}{2}=\frac{v_0}{2}$。所以$\bar{v}_{AC}=v_B$。由某段位移的平均速度等于中间时刻的瞬时速度，所以B为中间时刻，故$t_{BC}=t$。

比例法：先逆向转换，由题设$x_{CB}:x_{BA}=1:3$，由初速为零的匀变速直线运动的比例关系：$x_{\mathrm{I}}:x_{\mathrm{II}}:x_{\mathrm{III}}\cdots=1:3:5\cdots$，得$t_{CB}$、$t_{BA}$为相邻相等时间间隔，即$t_{CB}=t_{BA}$，由对称性$t_{BC}=t_{AB}=t$。

图像面积法：



作v–t图如左图所示，由相似三角形面积之比，等于对应边的平方比，得$\frac{OC^2}{DC^2}=\frac{S_{\Delta AOC}}{S_{\Delta BDC}}=4$，解得$OC=2DC$，即$OD=DC$，故$t_{BC}=t$。

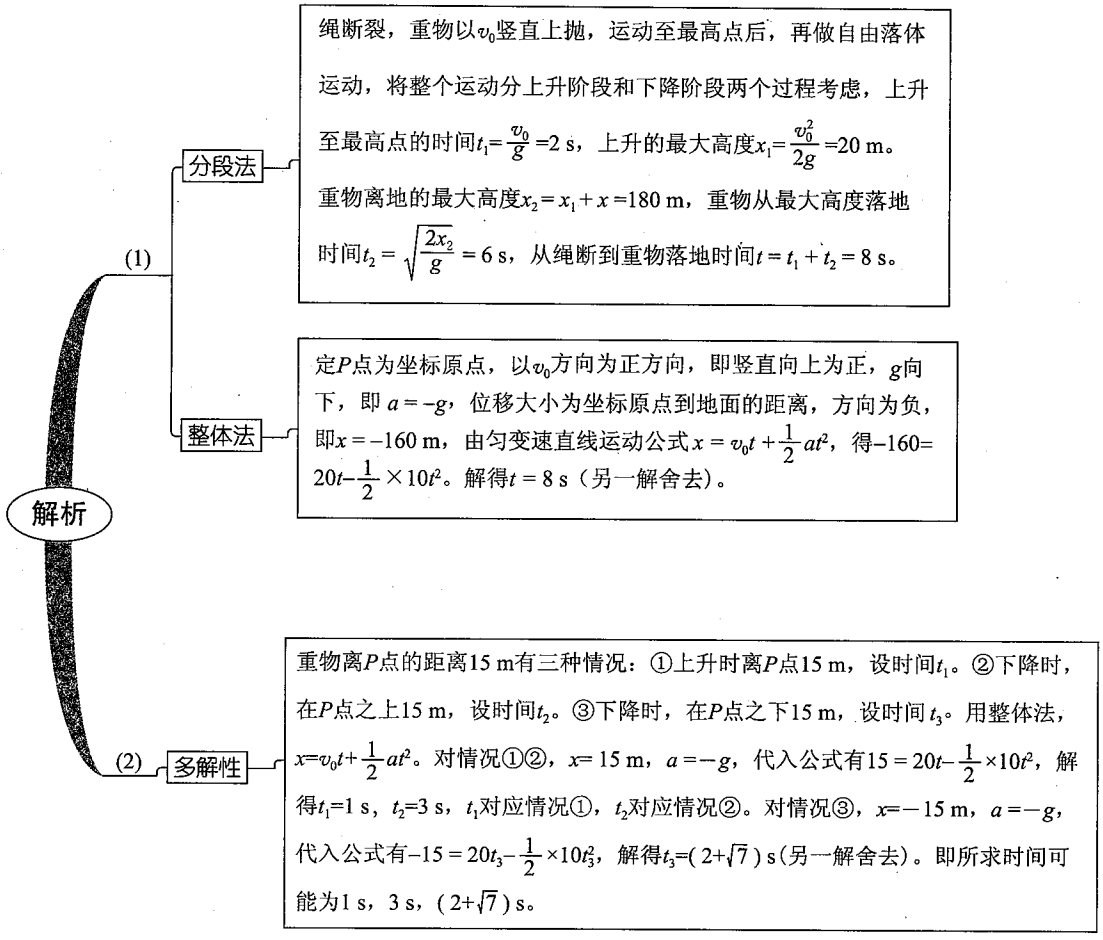
公式法：设AC长x，初速v_0，加速度a，由位移与速度关系式$v_0^2-v_B^2=2a\times\frac{3}{4}x$，$v_B^2=2a\times\frac{1}{4}x$，两式联立得$v_0=2v_B$。再由速度与时间关系式$t=\frac{v_0-v_B}{a}=\frac{2v_B-v_B}{a}=\frac{v_B}{a}$，又$t_{BC}=\frac{v_B}{a}$，所以$t_{BC}=t$。

◎【答案】t

例 4　气球下悬挂一重物，以 $v_0=20$ m/s 的速度匀速上升，当重物到达离地高 $x=160$ m 的 P 点时，悬挂重物的绳子突然断裂，忽略空气阻力，g 取 10 m/s^2，求：

（1）重物经多长时间落地？

（2）当重物距离 P 点 15 m 时所需时间为多少？



易错点：1. 有的学生以为绳一断裂，物体即自由下落，忽略了重物的初速度。

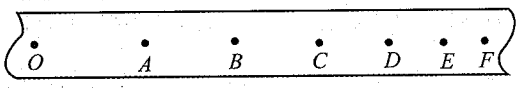
2. 第（2）问有三解，有的学生只能求一解或两解，没能全面分析考虑问题。

◎【答案】（1）8 s　（2）可能为 1 s、3 s 或 $(2+\sqrt{7})$ s

例 5 小球做直线运动的频闪照片如图所示，已知频闪周期 $T=0.1$ s，小球相邻位置间距 $OA=6.51$ cm，$AB=5.59$ cm，$BC=4.70$ cm，$CD=3.80$ cm，$DE=2.89$ cm，$EF=2.00$ cm。求：

（1）小球在位置 A 时的速度大小；

（2）小球运动的加速度大小。



解析

(1) 中间时刻速度法

发生每段位移的时间均为频闪周期T，A是位移OB中间时刻的位置，由中间时刻的瞬时速度等于发生这段位移的平均速度，有$v_A=v_{OB}=\frac{OA+AB}{2T}=0.605$ m/s。

(2) 逐差法

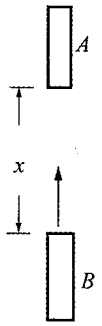
先简要介绍逐差法，逐差法就是要使纸带上的各个数据都能得到有效的利用，使计算结果更接近真实值。由公式$\Delta x=aT^2$得$x_3-x_1=(x_3-x_2)+(x_2-x_1)=2\Delta x=2aT^2$，同理$x_4-x_1=3aT^2$，…，$x_m-x_1=(m-1)aT^2$，$x_m-x_m=(m-n)aT^2$。对本题，设$OA=x_1$，$AB=x_2$，…，$EF=x_6$。根据以上公式，有$a_1=\frac{(x_4-x_1)}{3T^2}$，$a_2=\frac{(x_5-x_2)}{3T^2}$，$a_3=\frac{(x_6-x_3)}{3T^2}$，$a=\frac{a_1+a_2+a_3}{3}=\frac{x_6+x_5+x_4-x_3-x_2-x_1}{9T^2}=-0.9$ m/s^2，大小为0.9 m/s^2。熟悉了这个方法后，我们在具体运用时，可将整个纸带由 C 分成两大段，时间间隔为$3T$，直接由公式$a=\frac{(x_6+x_5+x_4)-(x_3+x_2+x_1)}{(3T)^2}$求得。

◎【答案】（1）0.605 m/s　（2）0.9 m/s^2

例 6　如图所示，A、B 两棒长均为 $L=1$ m，A 的下端和 B 的上端相距 $x=10$ m，A、B 同时开始运动。A 自由下落，B 竖直上抛，初速 $v_0=30$ m/s，求：

（1）A、B 何时相遇？

（2）从相遇开始到分离所需的时间？



解析

选地为参考系 → 方法（一） → 公式法

(1) 寻找联系：两棒相遇时运动时间相等，开始两棒间的距离等于两棒位移之和。设相遇时间t，直接用公式 $\frac{1}{2}gt^2+v_0t-\frac{1}{2}gt^2=x$，得 $t=\frac{x}{v_0}=\frac{1}{3}$ s。

(2) 寻找联系：分离时，A的上端与B的下端平齐，从相遇到分离，两棒位移之和为$2L$。设分离时间为 Δt，则有 $2L=v_A\Delta t+\frac{1}{2}g(\Delta t)^2+v_B\Delta t-\frac{1}{2}g(\Delta t)^2$，又 $v_A=gt$，$v_B=v_0-gt$，联立解得 $\Delta t=\frac{2L}{v_0}=\frac{1}{15}$ s。

巧选参考系法 → 方法（二） → 选A棒为参考系

选A为参考系（将A看做不动），由于A、B的加速度相等，所以它们的相对加速度为零，B相对A向上做匀速直线运动

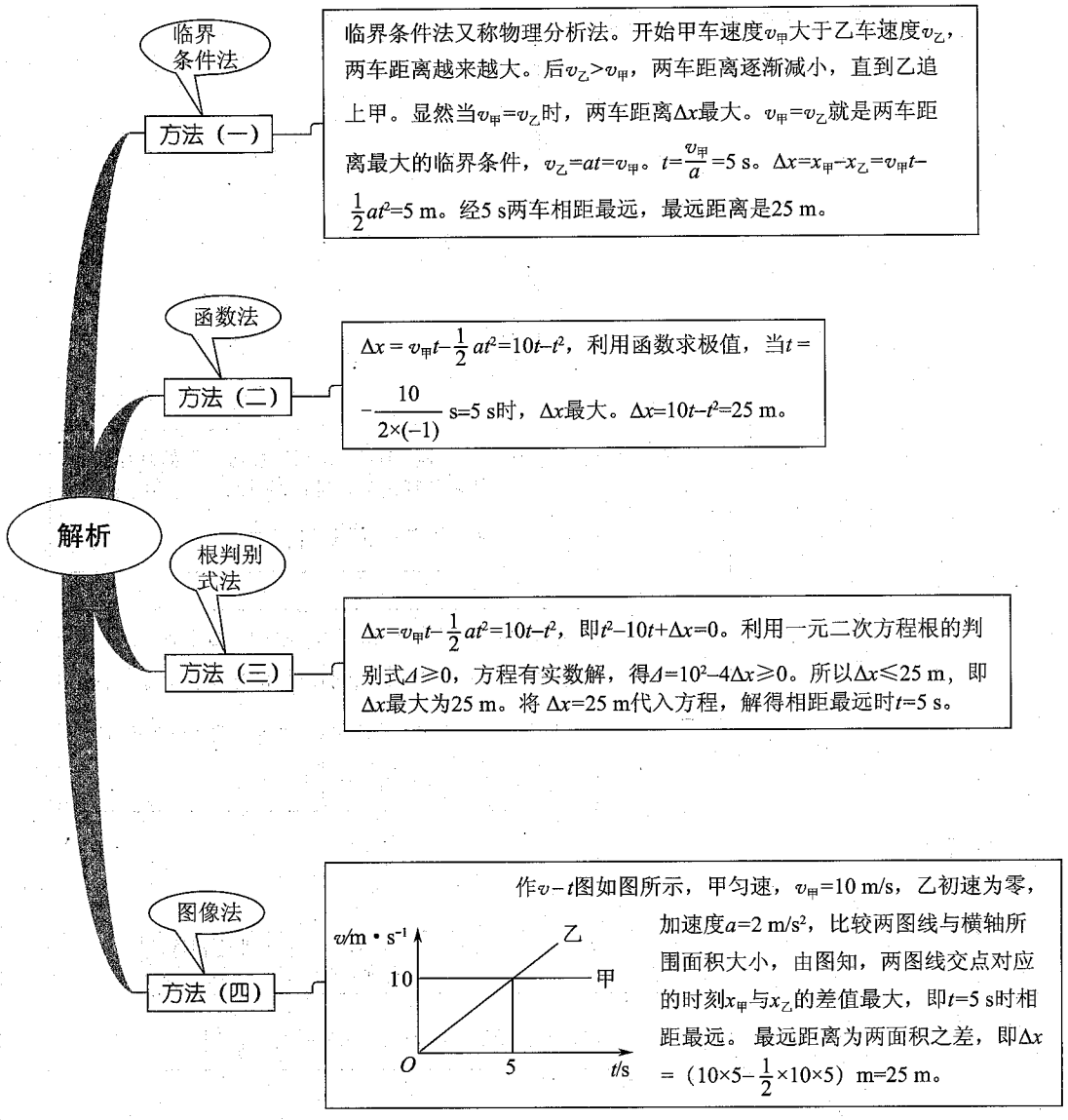
(1) 由匀速直线运动的公式，相遇时间 $t=\frac{x}{v_0}=\frac{1}{3}$ s。

(2) 从相遇开始到分离的时间 $\Delta t=\frac{2L}{v_0}=\frac{1}{15}$ s。

评析：本题为两个物体相关联的运动，有一定的难度，解题思路要清晰。寻找两物体位移、速度、时间的联系，并把相遇、分离的情况画出草图，是解题的关键。巧选参考系法仅作参考。

◎【答案】（1）$\frac{1}{3}$ s　（2）$\frac{1}{15}$ s

例 7 甲车以 10 m/s 的速度匀速行驶经过乙车时，乙车立刻以 2 m/s² 的加速度启动追赶甲车，求乙车追上甲车之前经多长时间两车相距最远？最远距离是多少？



评析：本题列出了追及与相遇问题常用的几种解题方法，但这类题目变化较多，不能一一列举。解这类题时，要抓住追与被追物体的运动性质，画出草图，寻找并分析两物体位移、速度、时间的联系，选择合适的解法，以不变应万变。

用 $v-t$ 图解题时，注意在 $v-t$ 图上不能确定物体运动的起点。如果开始时两物体不在同一起点，就不能直接比较面积，经常有选择题在这个知识点上设置陷阱。

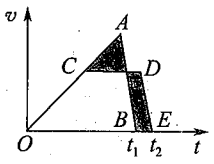
◎【答案】5 s　25 m

例 8　某电动车从甲地由静止出发沿平直公路运动到乙地停止。在运动过程中，电动车可以做加速度为 a_1 的匀加速运动，也可以做加速度为 a_2 的匀减速运动，也可以匀速运动，若甲、乙两地距离为 x，求电动车运动的最短时间为多少？

方法　图像法与公式法的综合运用。

解析

过程　首先分析判断电动车应怎样运动时间最短，电动车的运动只有两种可能，第一种先以a_1匀加速，接着以a_2匀减速停止运动。第二种是先以a_1匀加速，接着匀速，后以a_2匀速停止运动。我们不妨用v–t图来比较哪种情况时间短。如图所示，两种情况位移相等，图中△OAB面积与梯形$OCDE$面积要相等，显然第一种情况时间短。设最短时间为t，匀加速阶段的末速度为匀减速阶段的初速度，设为v，两阶段平均速度为$\frac{v}{2}$，设两阶段运动时间分别为t_1、t_2，由运动学公式$x=\frac{v}{2}t$ (1)，又$v=a_1t_1=a_2t_2$，所以$v(a_1+a_2)=va_1+va_2=a_2t_2\cdot a_1+a_1t_1\cdot a_2=a_1a_2(t_1+t_2)=a_1a_2t$，得$v=\frac{a_1a_2}{a_1+a_2}t$ (2)，(1)(2)两式联立解得$t=\sqrt{\frac{2(a_1+a_2)x}{a_1a_2}}$。即电动车运动的最短时间为$t=\sqrt{\frac{2(a_1+a_2)x}{a_1a_2}}$。



评析：物理题求极值常采用物理分析法或者数学演算法。物理分析法是根据题给的物理现象，运用物理规律进行分析，寻找出现极值时的条件或特征，从而求出极值，如例 7 中的解法一。数学演算法是利用物理规律列出方程，用数学演算求极值。本题是运用物理分析法，所以在分析时要借助图像作为辅助手段，找出时间 t 最小的条件。解难度较大的题，经常是几种方法综合运用。

◎【答案】最短时间为 $t=\sqrt{\frac{2\ (a_1+a_2)\ x}{a_1a_2}}$

同步检测

1. 从高空释放一个小球 A，1 s 后从同一点再释放一个小球 B，设两球都做自由落体运动，在落地前，A、B 两球之间的距离 Δx 和速度差 Δv 的变化为（　　）

   A. 均保持不变　　B. 均不断增大

   C. Δx 不断减小，Δv 不断增大　　D. Δx 不断增大，Δv 保持不变

2. 一物体以 $x=10t-2t^2$ 的规律做匀变速直线运动，由此可知，物体速度为零的时刻是（　　）

   A. 10 s　　B. 7.5 s　　C. 5 s　　D. 2.5 s

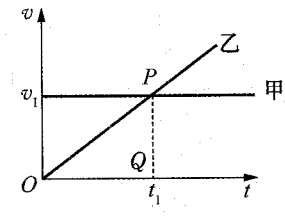
3. 一物体做匀减速直线运动，经 5 s 停止。已知第 1 s 内物体的位移为 27 m，物体的加速度大小为（　　）

A. 10 m/s²　　B. 8 m/s²　　C. 6 m/s²　　D. 4 m/s²

4. 一物体以 $v_0=40$ m/s 的速度竖直上抛，经 4 s 从同一点以相同速度上抛另一物体，g 取 10 m/s²，两物体相碰处离出发点的高度是（　　）

A. 80 m　　B. 60 m　　C. 40 m　　D. 20 m

5. 甲、乙两车在公路上沿同一方向做直线运动，它们的 $v-t$ 图像如图所示，两图像 $t=t_1$ 时相交于 P 点，P 在横轴上的投影为 Q，$\triangle OPQ$ 的面积为 s，在 $t=0$ 时刻，乙车在甲车前面，相距为 d，已知此后两车相遇两次，且第一次相遇的时刻为 t'，则下面四组 t' 和 d 的组合可能是（　　）



A. $t'=t_1$，$d=s$　　B. $t'=\frac{1}{2}t_1$，$d=\frac{1}{4}s$

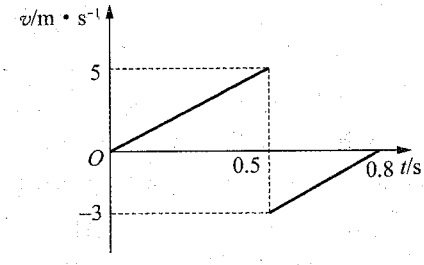
C. $t'=\frac{1}{2}t_1$，$d=\frac{1}{2}s$　　D. $t'=\frac{1}{2}t_1$，$d=\frac{3}{4}s$

6. 甲、乙、丙三辆汽车以相同的速度同时经某一路标，从此开始甲车一直做匀速直线运动，乙车先加速后减速，丙车先减速后加速，它们经过下一个路标时速度又相同，则（　　）

A. 甲先通过下一个路标　　B. 乙先通过下一个路标

C. 丙先通过下一个路标　　D. 条件不足，无法判断

7. 小球从空中自由下落，与水平地面第一次相碰后，又弹到空中某一高度，其速度随时间变化的关系式如图所示。若 g 取 10 m/s²，则（　　）



A. 小球第一次反弹后离开地面的速度大小为5 m/s

B. 碰撞前后速度改变量的大小为 8 m/s

C. 小球是从 1.25 m 高处自由下落的

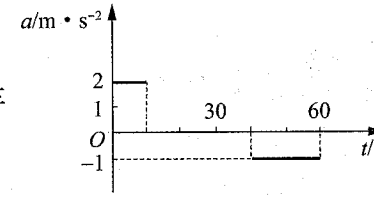
D. 小球反弹的最大高度是 0.5 m

8. 以 $v=36$ km/h 的速度沿平直的公路行驶的汽车，遇障碍刹车后获得大小为 $a=4$ m/s² 的加速度，刹车后 3 s 内汽车走过的路程为（　　）

A. 12 m　　B. 12.5 m

C. 48 m　　D. 90 m

9. 汽车由静止开始在平直公路上行驶，0～60 s 内汽车的加速度随时间变化的图线如图所示。



（1）画出汽车在 0～60 s 内的 $v-t$ 图线。

（2）求在这 60 s 内汽车行驶的路程。

10. 一物体从高空自由下落，在落地前最后 1 s 的平均速度是 45 m/s，g 取 10 m/s²，求物体下落的高度。

11. 我们在电影或电视中经常可以看到这样的惊险场面，一辆高速行驶的汽车从山顶落入山谷。为了拍摄汽车从山崖坠落的情境，电影导演通常用一辆模型汽车代替实际汽

车，设模型汽车与实际汽车的大小比例为 1∶25，那么山崖也必须用 1∶25 的比例来代替真实的山崖。设电影每分钟放映的胶片张数是一定的，为了能把模型汽车坠落的情境放映得恰如真实汽车坠落，问：

(1) 在实际拍摄的过程中，摄影机每秒拍摄的胶片数应为实景拍摄胶片数的几倍？

(2) 模型汽车坠落前的行驶速度应是真实汽车行驶速度的几倍？

12. A、B 两辆汽车在笔直的公路上同向行驶，当 B 车在 A 车前 84 m 处时，B 车速度为 4 m/s，且正以 2 m/s^2 的加速度做匀加速运动，经过一段时间后，B 车加速度突然变为零，A 车一直以 20 m/s 的速度做匀速运动，经过 12 s 两车相遇。问 B 车加速行驶的时间是多少？

参考答案

1. D　解析：$\Delta x=\frac{1}{2}g\ (t+1)^2-\frac{1}{2}g\,t^2=g\,t+\frac{1}{2}g$，$\Delta v=g\ (t+1)\ -g\,t=g$。

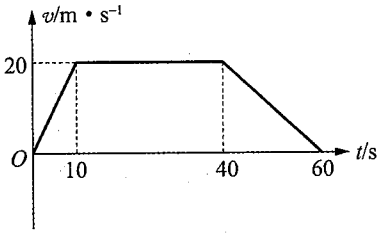
2. D　解析：将 $x=10t-2t^2$ 与 $x=v_0t+\frac{1}{2}at^2$ 比较，得 $v_0=10$ m/s，$a=-4$ m/s^2，$t=-\frac{v_0}{a}=2.5$ s。

3. C　4. B

5. D　解析：因相遇两次，所以第一次相遇时 $v_{甲}>v_{乙}$，得 $t'<t_1$，选项 A 错。若 $t'=\frac{1}{2}t_1$，则 $x_{甲}=v_{甲}\,t'=v_{甲}\frac{t_1}{2}=s$，$x_{乙}=\frac{1}{2}at'^2=\frac{1}{2}\frac{v_{甲}}{t_1}\left(\frac{t_1}{2}\right)^2=\frac{1}{8}v_{甲}\,t_1=\frac{s}{4}$，$d=x_{甲}-x_{乙}=\frac{3}{4}s$，所以 B、C 错，D 对。

6. B　7. BC　8. B

9. (1) 如右图所示　(2) 900 m



10. 125 m　解析：最后 1 s 的平均速度等于最后 1 s 中间时刻的瞬时速度，由 $v=g\,t_1$ 得 $t_1=\frac{v}{g}=\frac{45}{10}$ s$=4.5$ s。下落总时间为 $t=0.5$ s$+4.5$ s$=5$ s，$x=\frac{1}{2}g\,t^2=125$ m。

11. (1) 5 倍　(2) $\frac{1}{5}$　解析：(1) 竖直方向做自由落体运动，$y_{实}=\frac{1}{2}g\,t_{实}^2$，$y_{模}=\frac{1}{2}g\,t_{模}^2$，$y_{模}=\frac{1}{25}y_{实}\Rightarrow t_{模}=\frac{1}{5}t_{实}$。为使效果真实，拍摄模型的胶片张数与拍摄实景的胶片张数应相同，故每秒拍摄模型的胶片张数应是拍摄实景胶片张数的 5 倍。(2) 水平方向 $x_{模}=v_{模}\,t_{模}$，$x_{实}=v_{实}\,t_{实}$。为使效果真实，水平方向飞行距离也应有 $x_{模}=\frac{1}{25}x_{实}$，又 $t_{模}=\frac{1}{5}t_{实}$，联立解得 $v_{模}=\frac{1}{5}v_{实}$。

12. 6 s　解析：$x_A=v_At_0$，设 B 车加速行驶时间 t，$x_B=v_Bt+\frac{1}{2}a\,t^2+\ (v_B+at)\ (t_0-t)$，$t_0=12$ s。$x_A=x_B+84\Rightarrow t^2-24t+108=0$，解得 $t_1=6$ s，$t_2=18$ s（舍去）。

本章知识检测题

1. 下列说法中，正确的是（　　）

A. 运动着的物体，也可以被选来当做参考系

B. 转动的物体上各点的运动情况不同，故转动的物体一定不能当做质点

C. 巨大的物体，一定不能当做质点

D. 当物体沿直线朝一个方向运动时，位移等于路程

2. 关于瞬时速度，下列说法中不正确的是（　　）

A. 瞬时速度是物体在某一段时间内的速度

B. 瞬时速度是物体在某一段路程内的速度

C. 瞬时速度是物体在某一段位移内的速度

D. 瞬时速度是物体在某一位置或在某一时刻的速度

3. 下列所描述的运动中，不可能的是（　　）

A. 速度变化很大，加速度很小

B. 速度变化方向为正，加速度方向为负

C. 速度变化越来越快，加速度越来越小

D. 速度越来越大，加速度越来越小

4. 关于位移、路程与速度的关系，下列说法正确的是（　　）

A. 运动物体的位移越大，速度越大

B. 运动物体的位移变化越大，速度越大

C. 运动物体的位移对时间的变化率越大，速度越大

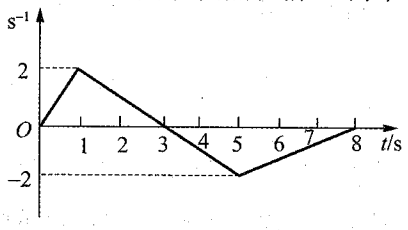
D. 只要物体做直线运动，物体的位移大小就一定与路程相等

5. 根据给出的速度、加速度的正负，下列对运动性质的判断正确的是（　　）

A. $v_0>0$，$a<0$，物体做加速运动　　B. $v_0<0$，$a<0$，物体做加速运动

C. $v_0<0$，$a<0$，物体做减速运动　　D. $v_0>0$，$a=0$，物体做匀速运动

6. 质点做直线运动的 $v-t$ 图像如图所示，规定向右为正方向，则该质点在前8 s内平均速度的大小和方向分别为（　　）



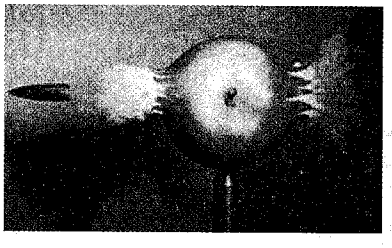
A. 0.25 m/s，向右

B. 0.25 m/s，向左

C. 1 m/s，向右

D. 1 m/s，向左

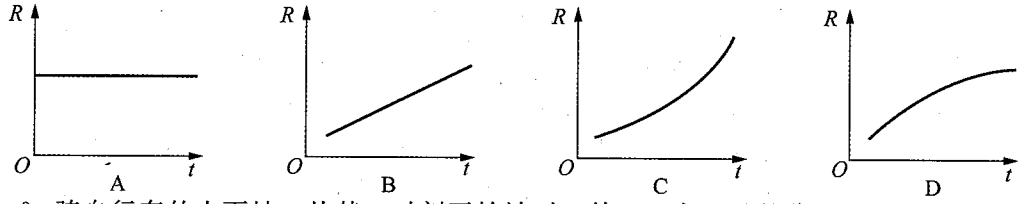
7. 如图所示为高速摄影机拍摄到的子弹穿过苹果瞬间的照片。该照片经过放大后分析出，在曝光时间内，子弹影像前后错开的距离约为子弹长度的1%～2%。已知子弹飞行速度约为 500 m/s，因此，可估算出这幅照片的曝光时间最接近（　　）



A. 10^{-3} s　　B. 10^{-6} s

C. 10^{-9} s　　D. 10^{-12} s

8. 大爆炸理论认为，我们的宇宙起源于约 137 亿年前的一次大爆炸。除开始瞬间外，在演化至今的大部分时间内，宇宙基本上是匀速膨胀的。20 世纪末，对 1A 型超新星的观测显示，宇宙正在加速膨胀，面对这个出人意料的发现，宇宙学家探究其背后的原因，提出宇宙的大部分可能由暗能量组成，它们的排斥作用导致宇宙在近段天文时期内开始加速膨胀。如果真是这样，则标志宇宙大小的宇宙半径 R 和宇宙年龄的关系，大致是下图中的哪个图像（　　）



9. 骑自行车的人下坡，从某一时刻开始计时，第 1 s 内通过的位移为 2 m，第 2 s 内通过的位移为 4 m，第 3 s 内通过的位移为 6 m，第 4 s 内通过的位移为 8 m，在这段时间内，骑车人的运动情况是（　　）

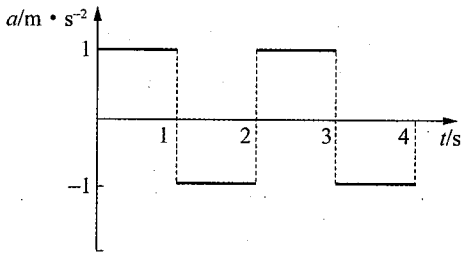
A. 不可能是匀加速直线运动

B. 一定是匀加速直线运动

C. 可能是匀加速直线运动，初速度为零，加速度为 2 m/s²

D. 可能是匀加速直线运动，初速度不为零，加速度为 2 m/s²

10. 一物体在 A、B 两点的正中间由静止开始运动（设不会超越 A、B），其加速度随时间变化如图所示，设向 A 的加速度方向为正方向，若从出发开始计时，则物体的运动情况是（　　）



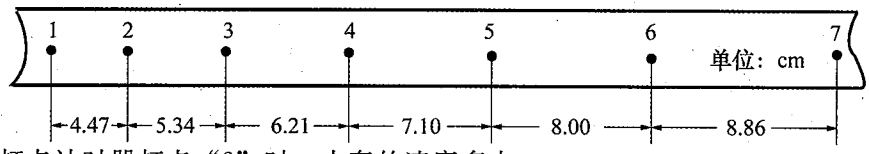
A. 先向 A，后向 B，再向 A，又向 B，4 秒末在原位置速度为零

B. 先向 A，后向 B，再向 A，又向 B，4 秒末在靠近 A 的某点且速度为零

C. 先向 A，后向 B，再向 A，又向 B，4 秒末在靠近 B 的某点且速度为零

D. 一直向 A 运动，4 秒末在靠近 A 的某点且速度为零

11. 做匀变速直线运动的小车带动纸带通过打点计时器，打出的部分计数点如图所示。每相邻两点间还有四个点未画出来，打点计时器使用的是 50 Hz 的低压交流电，设 1、3，2、4，3、5，4、6，5、7 两点间的平均速度分别等于 2，3，4，5，6 几点的瞬时速度。求：



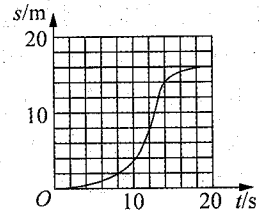
（1）打点计时器打点“2”时，小车的速度多大？

（2）小车的加速度为多少？

（3）请你依据本实验原理推断第 7 计数点和第 8 计数点之间的距离大约是多少？

12. 质点做直线运动，其 s-t 关系如图所示。质点在 0－20 s 内的平均速度大小为

_____ m/s；质点在_____时的瞬时速度等于它在 6－20 s 内的平均速度。



13. 短跑名将博尔特在北京奥运会上创造了 100 m 和 200 m 短跑项目的新世界纪录，他的成绩分别是 9.69 s 和 19.30 s。假定他在 100 m 比赛时从发令到起跑的反应时间是 0.15 s，起跑后做匀加速运动，达到最大速率后做匀速运动。200 m 比赛时，反应时间及起跑后加速阶段的加速度和加速时间与 100 m 比赛时相同，但由于弯道和体力等因素的影响，以后的平均速率只有跑 100 m 时最大速率的 96%。求：

(1) 加速所用时间和达到的最大速率。

(2) 起跑后做匀加速运动的加速度。(结果保留两位小数)

14. 甲车以 2 m/s 的速度做匀速直线运动。出发 12 s 后，乙车从同一地点由静止开始以 2 m/s^2 的加速度向同一方向做匀加速直线运动。求：

(1) 乙车出发后经多长时间才能追上甲车？

(2) 甲、乙两车相遇前的最大距离是多少？

15. 跳伞运动员从 365 m 高处自由下落，下落一段距离后才打开伞。打开伞后以 2 m/s^2 的加速度匀减速竖直下落，运动员到达地面时的速度为 4 m/s，g 取 10 m/s^2，求运动员在空中运动的时间和自由下落的距离。

16. 将两个小球同时竖直上抛，A 上升的最大高度比 B 上升的最大高度高 35 m，返回地面的时间比 B 迟 2 s，g 取 10 m/s^2，求：

(1) A 和 B 的初速度。

(2) A 和 B 分别达到的最大高度。

17. 原地起跳时，先屈腿下蹲，然后突然蹬地，从开始蹬地到离地是加速过程（视为匀加速），加速过程中重心上升的距离称为“加速距离”。离地后重心继续上升，在此过程中重心上升的最大距离称为“竖直高度”。现有下列数据：人原地上跳的“加速距离”$d_1=0.50$ m，“竖直高度”$h_1=1.0$ m；跳蚤原地上跳的“加速距离”$d_2=0.00080$ m，“竖直高度”$h_2=0.10$ m。假想人具有与跳蚤相等的起跳加速度，而“加速距离”仍为 0.50 m，则人上跳的“竖直高度”是多少？

18. 甲、乙两运动员在训练交接棒的过程中发现：甲经短距离加速后能保持 9 min 的速度跑完全程；乙从起跑后到接棒前的运动是匀加速的，为了确定乙起跑的时机，需在接力区前适当的位置设置标记，在某次练习中，甲在接力区前 $s_0=13.5$ m 处作了标记，并以 $v=9$ m/s 的速度跑到此标记时向乙发出起跑口令，乙在接力区的前端听到口令时起跑，并恰好在速度达到与甲相同时被甲追上，完成交接棒，已知接力区的长度为 $L=20$ m。求：

(1) 此次练习中乙在接棒前的加速度 a。

(2) 在完成交接棒时乙离接力区末端的距离。

参考答案

1. A　2. ABC　3. BC　4. C　5. BD

6. B　解析：由图像面积计算 0～3 s 内质点的位移 $x_1=\frac{1}{2}\times2\times3\ \text{m}=3\ \text{m}$，方向向右；3～8 s 内质点的位移 $x_2=\frac{1}{2}\times2\times5\ \text{m}=5\ \text{m}$，方向向左。所以前 8 s 总位移 $x=x_1-x_2=-2\ \text{m}$。平均速度 $\bar{v}=\frac{x}{t}=\frac{-2}{8}\ \text{m/s}=-0.25\ \text{m/s}$，即大小为 0.25 m/s，方向向左。

7. B　解析：曝光时间极短，子弹的运动可简化为匀速运动，影像前后错开的距离对应曝光时间内的位移。子弹长度的数量级为 10^{-2} m，故子弹位移的数量级为 10^{-4} m，曝光时间估算为 $t=\frac{x}{v}=\frac{10^{-4}}{500}\ \text{s}=2\times10^{-7}\ \text{s}$，与 B 选项最接近。

8. C　解析：宇宙先匀速膨胀，后加速膨胀，反映到 $R-t$ 图像上就是图像的斜率先不变，后逐渐变大。

9. D　10. D

11. (1) 0.491 m/s　(2) 0.87 m/s^2　(3) 9.73 cm

12. 0.8　10 s 和 14 s（在 9.5－10.5 s 和 13.5－14.5 s 间均视为正确）

13. (1) 1.29 s　11.24 m/s　(2) 8.71 m/s^2　解析：(1) 设加速时间 t，匀速运动速度 v，则有

$$\frac{1}{2}vt+(9.69-0.15-t)\,v=100,\qquad①$$

$$\frac{1}{2}vt+(19.30-0.15-t)\times0.96v=200,\qquad②$$

①②式联立解得 $t=1.29$ s，$v=11.24$ m/s。

(2) 加速度大小 $a=\frac{v}{t}=8.71\ \text{m/s}^2$

14. (1) 6 s　(2) 25 m

15. 18.8 s　60 m　解析：设运动员在空中自由下落的时间为 t_1，自由下落距离为 h_1，则有 $h_1=\frac{1}{2}gt_1^2$，开始减速时的速度 $v_2=g\,t_1=10t_1$，减速运动的距离 $h_2=\frac{v_2^2-v_1^2}{2a}=\frac{(10t_1)^2-4^2}{2\times2}$，由题设 $\frac{1}{2}gt^2+h_2=356\Rightarrow t_1=2\sqrt{3}$ s，$h_2=296$ m，自由下落距离 $h_1=356\ \text{m}-296\ \text{m}=60\ \text{m}$。减速下落时间 $t_2=\frac{v_1-v_2}{a}=(10\sqrt{3}-2)$ s，在空中运动的时间 $t=t_1+t_2=(12\sqrt{3}-2)\ \text{s}\approx18.8\ \text{s}$。

16. (1) 40 m/s　30 m/s　(2) 80 m　45 m　解析：$\frac{v_A^2}{2g}-\frac{v_B^2}{2g}=35$，$\frac{2v_A}{g}-\frac{2v_B}{g}=2$，两式联立求解。

17. 63 m　解析：对跳蚤：$v^2=2ad_2$，$v^2=2gh_2$；对人：$V^2=2ad_1$，$V^2=2gH\Rightarrow H=63\ \text{m}$。

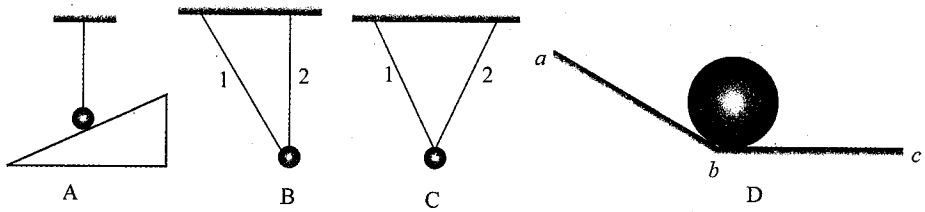
18. (1) 3 m/s^2　(2) 6.5 m　解析：(1) 设甲发出口令后，甲、乙达共同速度的时间为 t，在这段时间内甲乙的位移分别为 x_1 和 x_2，则有：$t=\frac{v}{a}$，$x_2=\frac{1}{2}at^2$，$x_1=vt$，$x_1=x_2+x_0\Rightarrow a=\frac{v^2}{2x_0}=3$ m/s^2。(2) 在这段时间内，乙的位移 $x_2=\frac{v^2}{2a}=13.5$ m，乙离接力区的距离为 $L-x_2=6.5$ m。

第二章　相互作用

第一节　三种性质力　受力分析

解题指南

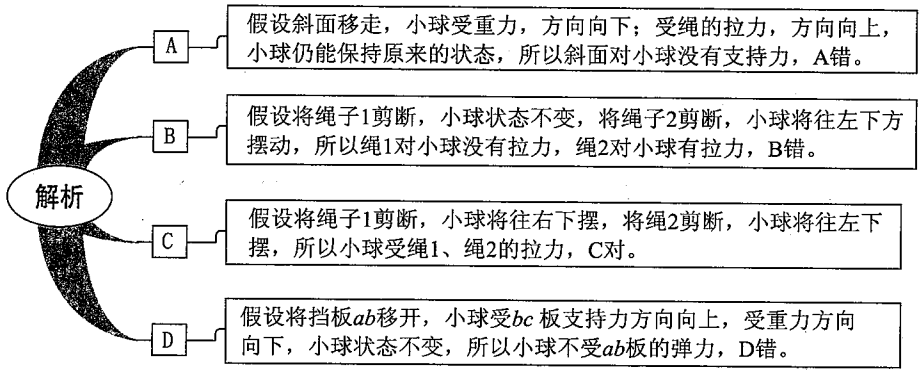
例 1　如图所示，小球均处于静止状态，下列说法正确的是（　　）



A　　B　　C　　D

A. A 图中斜面对小球有支持力　　B. B 图中小球受绳 1、绳 2 的拉力

C. C 图中小球受绳 1、绳 2 的拉力　　D. D 图中小球受挡板 *ab* 的弹力



◎【答案】C

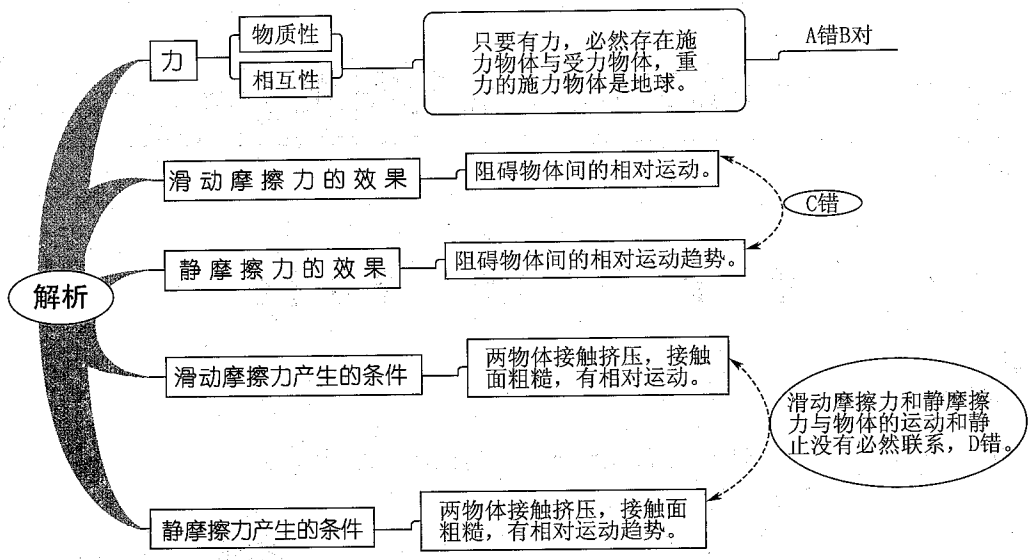
例 2　下列说法正确的是（　　）

A. 弹力和摩擦力可以找到施力物体，重力则没有施力物体

B. 某同学对空中打一拳，这位同学的拳头、胳膊与自身躯干构成相互作用的物体

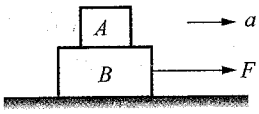
C. 摩擦力总是阻碍物体的运动或运动趋势

D. 静止的物体受的摩擦力是静摩擦力，运动的物体受的摩擦力是滑动摩擦力



◎【答案】B

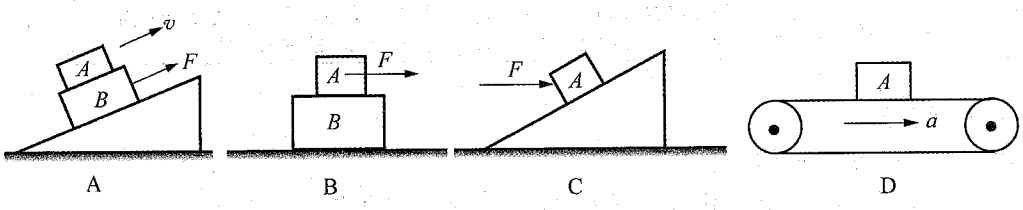
小结提升：力的作用是相互的，有受力物体一定有施力物体，施力物体同时也是受力物体。



分析摩擦力也要注意相互性，要抓住物体与接触面间或相互接触的两物体间的相对运动或相对运动趋势的情况。如图所示，A、B 叠放在光滑水平面上，在力 F 的作用下，一起以加速度 a 向右运动，A 相对于 B 有向左运动的趋势，B 给 A 的摩擦力是静摩擦力，与 A 运动方向相同，此静摩擦力 对 A 是动力，A 给 B 的静摩擦力是阻力。

如 A、B 有相对滑动则为滑动摩擦力，滑动摩擦力有时也作动力。在上图中，如 A 的加速度 a_A 小于 B 的加速度 a_B 时，则 A 相对于 B 向左滑动，A、B 的摩擦力为滑动摩擦力。A 相对地以 a_A 向右加速运动，此时 A 受 B 给的滑动摩擦力为动力，方向与运动方向相同。

例 3 如图所示的几种情况中，下列说法正确的是（　　）

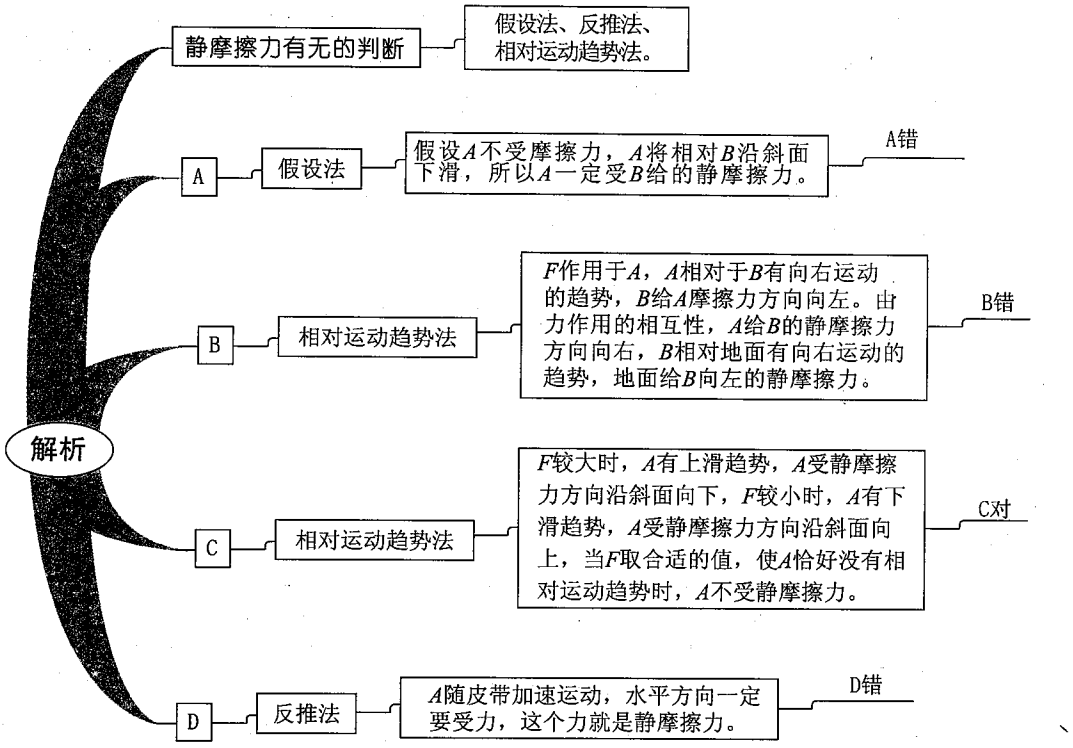


A. 在 F 作用下，A、B 一起沿固定斜面匀速上升，A 不受摩擦力

B. A、B 叠放在水平地面上，F 作用于 A 物体，A、B 均静止不动，B 不受 A 给的摩擦力但受地面的摩擦力

C. 质量为 m 的物体 A 在水平推力 F 作用下静止在固定的斜面上，A 受的摩擦力可能沿斜面向上，也可能沿斜面向下，也可能不受摩擦力

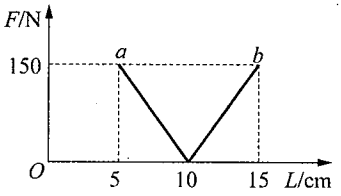
D. 质量为 m 的物体 A 随水平皮带一起以加速度 a 向右加速运动，A 不受摩擦力



◎【答案】C

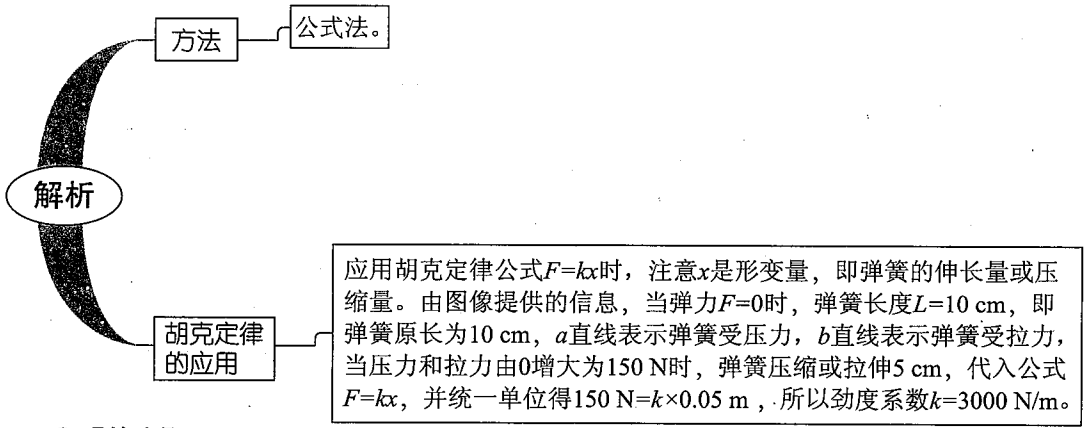
小结提升：上述三种方法中，任选一种均可解答本题。在学了牛顿运动定律后，我们经常根据物体的运动状态求静摩擦力，如本题中的 A、B、C 项，物体 A 处于平衡状态，可由 $F_{合}=0$ 判断静摩擦力的有无及方向。D 项中物体 A 做加速运动，可用 $F=ma$ 判断 A 一定受静摩擦力，且大小等于 ma。

例 4　一轻弹簧，其弹力 F 的大小与长度 L 的关系如图中直线 a、b 所示，这根弹簧的劲度系数为（　　）



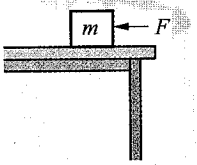
A. 1 000 N/m　　B. 2 000 N/m

C. 3 000 N/m　　D. 4 000 N/m



◎【答案】C

例 5 如图所示，一质量为 m 的物体与水平桌面的动摩擦因数为 μ，受水平向左的力 F 作用。从物体与桌边缘平齐开始到物体下落前这一过程中，物体受到的正压力为 F_N、摩擦力为 f，则（　　）

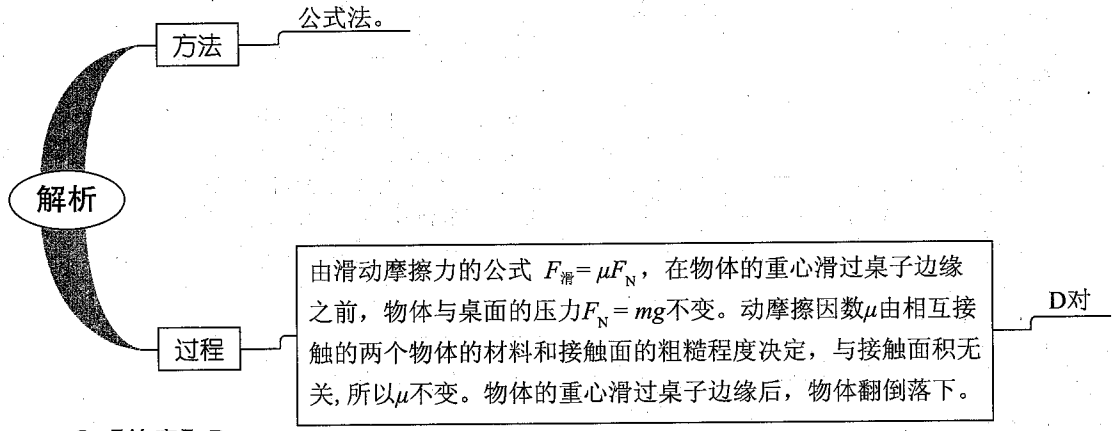


A. 接触面变小，F_N 变小，μ 变大，f 保持不变

B. 接触面变小，F_N 不变，μ 变小，f 变小

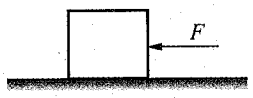
C. 接触面变小，F_N 变小，μ 不变，f 变小

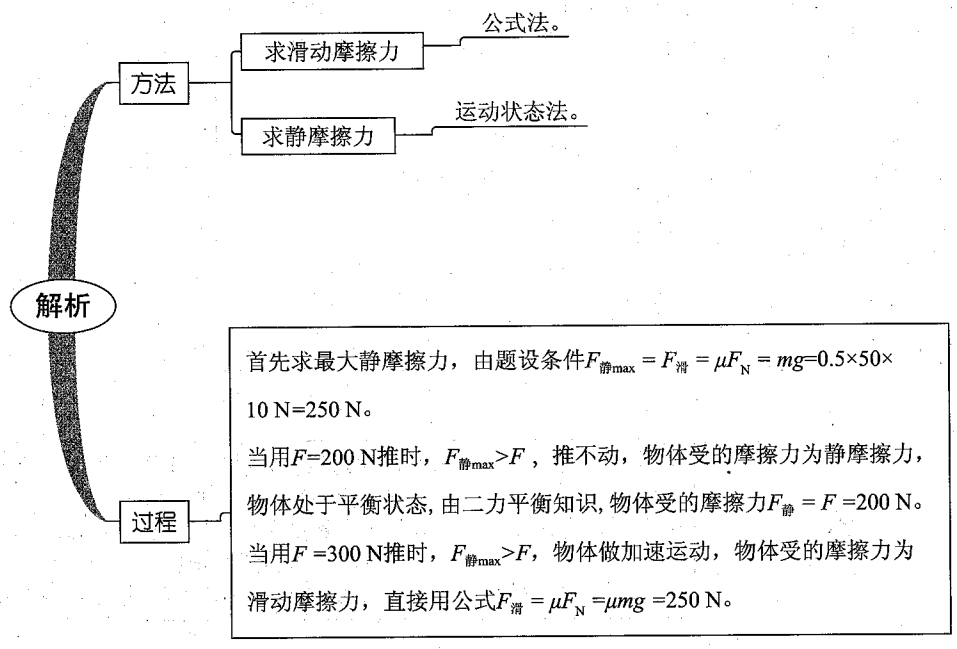
D. 接触面变小，F_N 不变，μ 不变，f 始终保持不变



◎【答案】D

例 6 如图所示，质量 50 kg 的物体与水平面的动摩擦因数为 0.5，现用水平推力 F 推物体，当 F 为 200 N 和 300 N 时，物体受到的摩擦力分别为多大？设最大静摩擦力和滑动摩擦力相等，g 取 10 m/s^2。



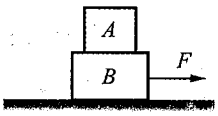


◎【答案】200 N　250 N

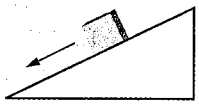
小结提升：求滑动摩擦力一般用 $F=\mu F_N$ 求。如果 μF_N 有一个未知，那就根据物体的运动状态来求。如物体处于平衡状态，则 $F_{滑}=F_{外}$。如物体做匀加速运动，那就由 $F_{合}=ma$ 求解。

同步检测

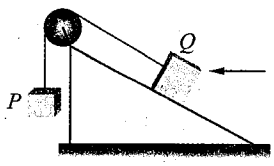
1. 关于重力和物体的重心，以下说法正确的是（　　）
   A. 只有静止的物体才受重力作用，重心就是物体所受重力的作用点
   B. 重力没有施力物体，形状规则的物体，重心在其几何中心
   C. 重力是地球对物体的吸引而产生的，重心可以在物体内，也可以在物体外
   D. 重心是物体内最重的一点，都可以用悬挂法来确定
2. 如图所示，物体 A、B 叠放在水平桌面上，用水平力 F 拉物体 B，使 A 随 B 一起向右做匀速直线运动，（　　）



   A. 物体 A 对物体 B 的摩擦力方向水平向右
   B. 物体 A 对物体 B 的摩擦力方向水平向左
   C. 物体 B 对物体 A 的摩擦力方向水平向右
   D. 物体 A 和 B 之间不存在摩擦力
3. 如图所示，物体沿固定光滑的斜面下滑，下列说法正确的是（　　）



   A. 物体受下滑力和斜面的支持力
   B. 物体受重力和斜面的支持力
   C. 物体受重力和斜面的支持力与摩擦力
   D. 物体受地球的引力和斜面的支持力及下滑力
4. 关于力，以下说法错误的是（　　）
   A. 只有相互接触的物体间才有力的作用，力的大小用弹簧测力计测量
   B. 一个力的存在必须和两个物体有关，任何一个物体一定既是施力物体，也是受力物体
   C. 物体的形状发生变化或运动状态发生改变，一定受到力的作用
   D. 物体的运动状态没发生改变，物体也可能受到力的作用
5. 关于物体受摩擦力作用的说法中，正确的是（　　）
   A. 运动的物体受滑动摩擦力，静止的物体受静摩擦力
   B. 滑动摩擦力与物体运动方向相反，静摩擦力与物体运动趋势方向相反
   C. 静止的物体受摩擦力一定为零，运动的物体受摩擦力一定不为零
   D. 静摩擦力的方向可能与物体的运动方向垂直
6. 如图所示，表面粗糙的固定斜面顶端安有滑轮，两物块 P、Q 用轻绳连接并跨过滑轮（不计滑轮的质量和摩擦），P 悬于空中，Q 放在斜面上，均处于静止状态。当用水平向左的恒力推 Q 时，P、Q 仍静止不动，则（　　）



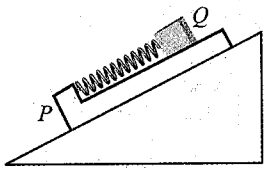
   A. Q 受的摩擦力一定变小

B. Q 受的摩擦力一定变大

C. 轻绳上拉力一定变小

D. 轻绳上拉力一定不变

7. L 型木板 P（上表面光滑）放在固定斜面上，轻质弹簧一端固定在木板上，另一端与置于木板上表面的滑块 Q 相连，如图所示，若 P、Q 一起沿斜面匀速下滑，不计空气阻力。则木板 P 的受力个数为（　　）



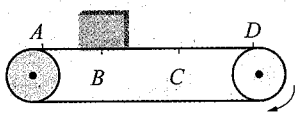
A. 3　　B. 4

C. 5　　D. 6

8. 一根轻质弹簧一端固定，用大小为 F_1 的力压弹簧的另一端，平衡时长度为 l_1；改用大小为 F_2 的力拉弹簧，平衡时长度为 l_2。弹簧的拉伸或压缩均在弹性限度内，该弹簧的劲度系数为（　　）

A. $\dfrac{F_2-F_1}{l_2-l_1}$　　B. $\dfrac{F_2+F_1}{l_2+l_1}$　　C. $\dfrac{F_2+F_1}{l_2-l_1}$　　D. $\dfrac{F_2-F_1}{l_2+l_1}$

9. 如图所示，一物体放在传送带上由 A 运动到 D，且物体在 AB 段做加速运动，BC 段做匀速运动，CD 段做减速运动，则以下说法中正确的是（　　）



A. 物体在 AB 段受静摩擦力作用，方向水平向右

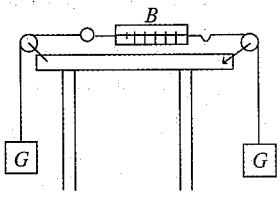
B. 物体在 CD 段受静摩擦力作用，方向水平向右

C. 物体在 BC 段不受静摩擦力作用

D. 物体在 BC 段受静摩擦力作用，方向水平向右

10. 一个质量为 2 kg 的物体，放在斜面上，物体与斜面间的动摩擦因数为 0.6，当斜面倾角分别为 30°和 60°时，求物体所受的摩擦力（设最大静摩擦力等于滑动摩擦力）。

11. 如图所示，一根绳子跨过两个定滑轮，绳的两端挂着砝码，每个砝码的质量为 1 kg，把滑轮间 B 处的绳子剪断后接入一个弹簧测力计。问测力计的读数是多少（滑轮的摩擦力、绳子和测力计的质量均忽略不计）？



参考答案

1. C　2. D　3. B　4. A　5. D　6. D

7. C　解析：对木板 P 进行受力分析，木板 P 受重力、斜面的支持力、滑块 Q 的弹力、弹簧的弹力和与斜面间的摩擦力，共 5 个力的作用。

8. C　解析：由胡克定律可知：$k=\dfrac{F_1}{l_0-l_1}=\dfrac{F_2}{l_2-l_0}$，解得 $k=\dfrac{F_1+F_2}{l_2-l_1}$。

9. A C

10. 当斜面倾角为 30°时，摩擦力大小为 9.8 N，方向沿斜面向上；当斜面倾角为 60°时，摩擦力为 5.88 N，方向沿斜面向上。

11. 9.8 N

第二节　力的合成与分解

解题指南

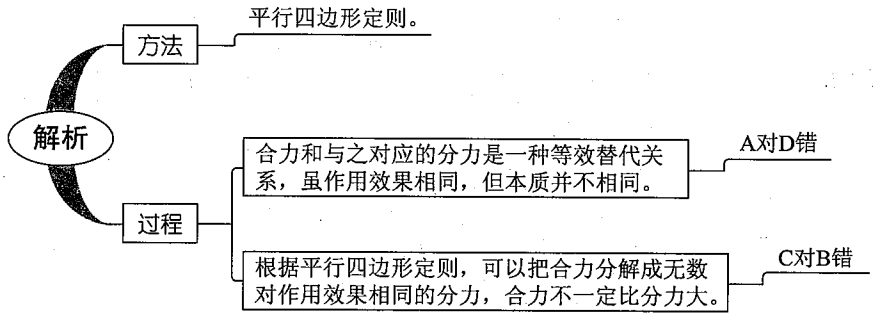
例 1　关于合力与分力，以下说法正确的是（　　）

A. 合力和与之对应的分力可以相互替代

B. 几个力的合力总是大于它的各分力中最小的力

C. 一个力分解成两个分力，在理论上可有无数多组解

D. 一个物体受到几个力的作用，同时也受到它们的合力的作用



小结：理解合力与分力的等效替代关系及平行四边形定则的内涵是解本题的关键。按平行四边形定则，将一个力分解，在理论上有无数多组解，而在实际问题中，只有符合实际情况的解才是所要求的解。

◎【答案】AC

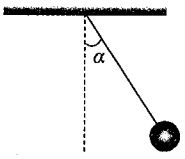
例 2　如图所示，用长为 L 的轻绳悬挂一重为 G 的小球，对小球施加一外力 F，使绳绷紧并与竖直方向成 α 角，小球处于静止状态，求 F 的最小值为（　　）

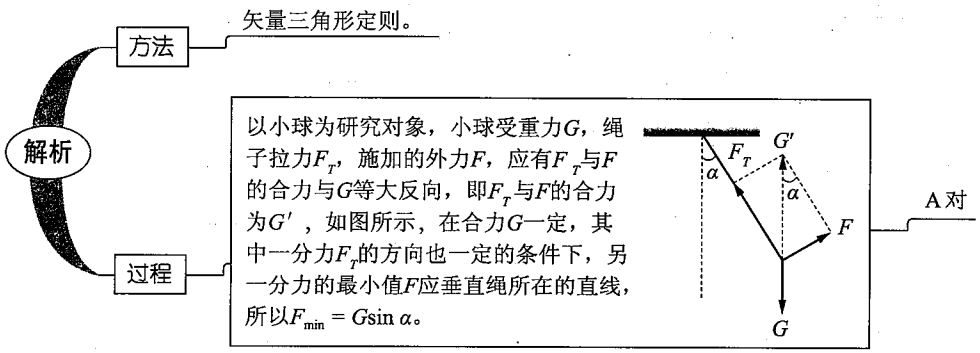
A. $G\sin\alpha$

B. $G\cos\alpha$

C. $G\tan\alpha$

D. $G\cot\alpha$



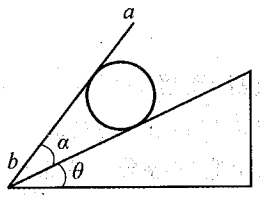


小结：利用矢量三角形定则分析求解最小力，实质是数形结合求极值的一种方法。数形结合是数学中常用的一种方法，在物理中，所有矢量都可利用这种数形结合的形式求

极值。

◎【答案】A

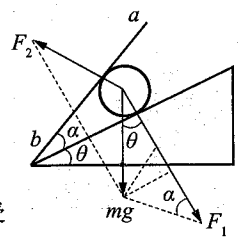
例 3 如图所示，质量为 m 的球放在倾角为 θ 的光滑的斜面上，求挡板 ab 与斜面的倾角 α 多大时，ab 所受压力最小？



解析

方法：矢量三角形定则。

过程：以球为研究对象，球受重力mg，产生的效果有两个：压紧斜面的分力F_1，挤压挡板的分力F_2。根据重力产生的效果将重力分解，如图所示，当挡板与斜面的夹角α增大时，F_1变小，但方向不变，始终与斜面垂直；F_2的大小、方向均改变，图中mg与F_1间的几条虚线表示变化的F_2。由图可看出：当F_2与F_1垂直，即$\alpha=90°$时，挡板ab所受压力最小，最小压力$F_{2\min}=mg\sin\theta$。



小结：要根据力的实际作用效果来确定力的分解方向。当合力的大小、方向及一个分力的方向确定，另一个分力的大小、方向均可变化时，往往用矢量三角形定则求解，该方法简单、直观，可使解题快捷、有效，是经常使用的方法之一。

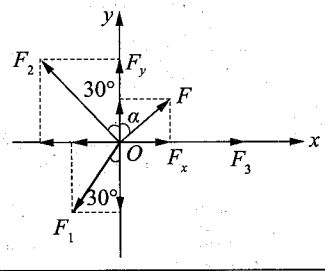
◎【答案】当 $\alpha=90°$时，ab 所受的压力最小。

例 4 已知共面的三个力 $F_1=20$ N，$F_2=30$ N，$F_3=40$ N，作用在物体的同一点上，三力之间的夹角都是 120°，求合力的大小和方向。

解析

方法（一）：正交分解法。

如图建立直角坐标系，分解不在轴上的力，则有：$F_{1x}=-F_1\sin 30°=-10$ N，$F_{1y}=-F_1\cos 30°=-10\sqrt{3}$ N，$F_{2x}=-F_2\sin 30°=-15$ N，$F_{2y}=F_2\cos 30°=15\sqrt{3}$ N，所以$F_x=F_{1x}+F_{2x}+F_3=15$ N，$F_y=F_{1y}+F_{2y}=5\sqrt{3}$ N，得合力的大小$F=\sqrt{F_x^2+F_y^2}=10\sqrt{3}$ N。合力与x轴的夹角$\alpha=\arctan\dfrac{F_y}{F_x}=\arctan\dfrac{5\sqrt{3}}{15}=30°$。



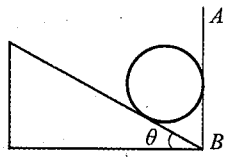
方法（二）：等效替换法与公式法综合应用。

由三个大小相等互成120°角的力的合力为零，对原题进行等效替换，第一步，将三个力的大小都看成 20 N，其合力为零。第二步，F_2减去 20 N，还剩10 N，F_3减去 20 N，还剩20 N，原题变为10 N与20 N的两个力，夹角120°，求其合力。第三步用公式求解，合力的大小$F=\sqrt{10^2+20^2-2\times10\times20\cos 60°}$ N$=10\sqrt{3}$ N，合力与F_3的夹角 $\alpha=\arctan\dfrac{10\sin120°}{20+10\cos120°}=30°$。

小结：进行正交分解时，应尽量使较多的力落在坐标轴上，只分解不在坐标轴上的力，把矢量运算转化为标量运算。等效替换是中学物理常用的一种解题方法，应学会应用。

◎【答案】$10\sqrt{3}$ N，与 F_3 成 30°角

例 5　光滑的球放在倾角为 θ 的斜面上，被一个竖直挡板 AB 挡住而静止。挡板 AB 可绕 AB 轴转动，如图所示。当 AB 板由竖直位置沿顺时针方向缓慢地转至水平的过程中，球对斜面的压力 F_1 和对挡板的压力 F_2 的大小变化是（　　）



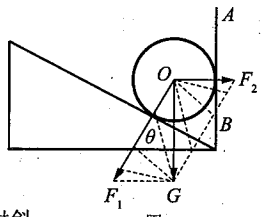
A. F_1 和 F_2 都逐渐减小　　B. F_1 逐渐减小，F_2 逐渐增大

C. F_1 逐渐增大，F_2 逐渐减小　　D. F_1 逐渐减小，F_2 先减小后增大

解析

方法一　图解法（力的分解）在解题中的应用。

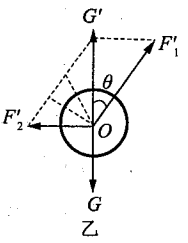
思维过程：虽然题目中的F_1和F_2是斜面和挡板受到的力，但研究对象只能选球。因为F_1和F_2都是变力，球受重力G不变，由“缓慢”二字知球处于动态平衡状态。先画开始时刻的受力图，球受的重力G产生的效果有两个：对斜面的压力F_1和对挡板的压力F_2。根据G产生的效果将其分解，如图甲所示。由图可知，当板逐渐转至水平的过程中，F_1的方向不变而大小逐渐减小，F_2与G的夹角逐渐减小而大小先减小后增大(图中与F_1垂直的虚线为F_2的最小值)。因此，本题的正确答案为D。



甲

方法二　图解法（力的合成）在解题中的应用。

思维过程：以球为研究对象，斜面对球的弹力为F_1'(大小等于F_1)，挡板对球的弹力为F_2'(大小等于F_2)，将F_1'、F_2'合成，其合力为G'，G'大小等于G，如图乙所示。在挡板逐渐转至水平的过程中，合力G'恒定，斜面对球的弹力F_1'方向不变，挡板对球的弹力F_2'与合力G'的夹角由90°逐渐减小为零。由图知F_1'逐渐减小，F_2'先减小后增大，故D对。当挡板水平时$F_1'=0$，$F_2'=G$。



乙

小结：本题是三力动态平衡问题，在三个力中，有一个是恒力（如 G），还有一个是方向不变仅大小变化的力（如 F_1），另一个则是大小和方向都变的力（如 F_2）。满足上述条件的题目，用图解法解题，具有直观、简便、快速的优势。作图时要规范，也可以利用力的图示中平行四边形的一个三角形求解。在解题中要特别注意方向变化的那个力，弄清其方向变化的范围。

◎【答案】D

同步检测

1. 关于合力与分力，下列说法正确的是（　　）

A. 合力一定大于每一个分力

B. 合力与它的几个分力是等效力

C. 合力与分力是同性质的力

D. 当两个力大小相等时，它们的合力可能与分力等大

2. 已知两个共点力的合力为 50 N，分力 F_1 的方向与合力 F 的方向成 30°角，分力 F_2 的大小为 30 N。则（　　）

A. F_1 的大小是唯一的　　B. F_2 的力向是唯一的

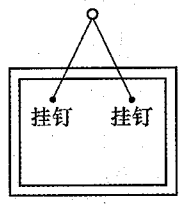
C. F_2 有两个可能的方向　　D. F_2 可取任意方向

3. 物体同时受到同一平面内三个共点力的作用，下列几组力的合力可能为零的是（　　）

A. 1 N、2 N、3 N　　B. 1 N、3 N、6 N

C. 8 N、8 N、8 N　　D. 8 N、7 N、6 N

4. 如图所示，用一根长 1 m 的轻质细绳将一质量为 1 kg 的画框对称悬挂在墙壁上，已知绳能承受的最大张力为 10 N，g 取 10 m/s^2，为使绳不断裂，画框上两个挂钉的间距最大为（　　）



A. $\frac{\sqrt{3}}{2}$ m　　B. $\frac{\sqrt{2}}{2}$ m

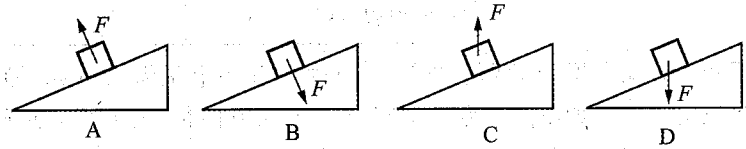
C. $\frac{1}{2}$ m　　D. $\frac{\sqrt{3}}{4}$ m

5. 两个大小分别为 F_1 和 F_2（$F_2<F_1$）的力作用在同一质点上，它们的合力的大小 F 满足（　　）

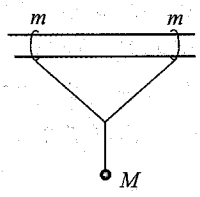
A. $F_2 \leqslant F \leqslant F_1$　　B. $\frac{F_1-F_2}{2} \leqslant F \leqslant \frac{F_1+F_2}{2}$

C. $F_1-F_2 \leqslant F \leqslant F_1+F_2$　　D. $F_1^2-F_2^2 \leqslant F^2 \leqslant F_1^2+F_2^2$

6. 如图所示，物块静止在固定的斜面上，分别按图示的方向对物块施加大小相等的力 F。A 中 F 垂直于斜面向上，B 中 F 垂直于斜面向下，C 中 F 竖直向上，D 中 F 竖直向下。施力后物块仍然静止，则物块所受的静摩擦力增大的是（　　）



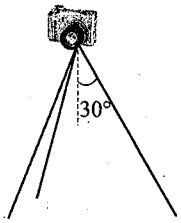
7. 如图所示，在一根水平的粗糙的直横梁上，套有两个质量均为 m 的铁环，两铁环系有等长的细绳，共同拴着质量为 M 的小球，两铁环与小球均保持静止，现使两铁环间距离增大少许，系统仍保持静止，则水平横梁对铁环的支持力 F_N 和摩擦力 f 将（　　）



A. F_N 增大，f 不变　　B. F_N 增大，f 增大

C. F_N 不变，f 增大　　D. F_N 不变，f 不变

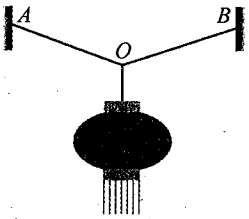
8. 如图所示，置于水平地面的三脚架上固定着一质量为 m 的照相机，三脚架的三根轻质支架等长，与竖直方向均成 30°角，则每根支架中承受的压力大小为（　　）



A. $\frac{1}{3}mg$　　B. $\frac{2}{3}mg$

C. $\frac{\sqrt{3}}{6}mg$　　D. $\frac{2\sqrt{3}}{9}mg$

9. 如图所示为节日里悬挂灯笼的一种方式，A、B 点等高，O 为结点，轻绳 AO、BO 长度相等，拉力分别为 F_A、F_B，灯笼受到的重力为 G。下列表述正确的是（　　）



A. F_A 一定小于 G

B. F_A 与 F_B 大小相等

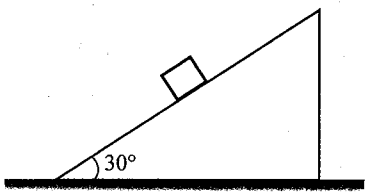
C. F_A 与 F_B 大小之和大于 G

D. F_A 与 F_B 大小之和等于 G

10. 如图所示，把一个重 10 N 的物体放在倾角为 $\theta=30°$的斜面上，从力的作用效果看，重力可以分解为两个分力。

（1）用作图法求出两个分力的大小。

（2）用计算法求出两个分力的大小。



11. 将一个 20 N 的力进行分解，已知其中一个力的方向与这个力成 30°角，求：

（1）另一个分力的大小不会小于多少？

（2）若另一个分力的大小是 $\frac{20}{\sqrt{3}}$ N，则已知方向的分力的大小是多少？

参考答案

1. BD　2. C　3. ACD

4. A　解析：绳子拉力 $F=10$ N 时，两挂钉间的距离最大。设绳与竖直方向夹角为 θ，设绳长 L_0，则有两个挂钉的间距 $L=2\times\frac{L_0}{2}\sin\theta$，$mg=2F\cos\theta$。联立解得 $L=\frac{\sqrt{3}}{2}$ m。

5. C

6. D　解析：物体受到沿斜面向上的静摩擦力，竖直向下的力会使其受到的静摩擦力增大。

7. C

8. D　解析：设每根支架承受的压力为 F，则 F 的竖直分力大小为 $\frac{mg}{3}$，所以 $F=\frac{\frac{mg}{3}}{\cos 30^\circ}=\frac{2\sqrt{3}}{9}mg$。

9. BC

10. (1) 5 N　$5\sqrt{3}$ N　(2) 5 N　$5\sqrt{3}$ N

11. (1) 10 N　(2) $\frac{20\sqrt{3}}{3}$ N 或 $\frac{40\sqrt{3}}{3}$ N

本章知识检测题

1. 两个共点力 F_1 和 F_2，它们的合力为 F。若 $F_1=20$ N，$F=50$ N，则 F_2 的大小可能为（　　）

A. 25 N　　B. 45 N　　C. 65 N　　D. 85 N

2. 关于地球上的物体，下列说法中正确的是（　　）

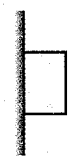
A. 物体只有静止时才受到重力作用

B. 物体只有落向地面时才受到重力作用

C. 物体落向地面时比物体上抛时所受的重力大

D. 物体所受重力的大小与物体的质量有关，与物体是否运动及怎样运动无关

3. 如图所示，木块沿竖直墙下落，木块的受力情况是（　　）



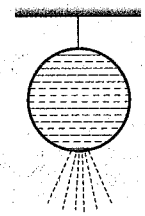
A. 受重力和摩擦力

B. 只受到重力

C. 受重力、摩擦力和弹力

D. 受重力和弹力

4. 如图所示，一个空心均匀球壳里面注满水，球的正下方有一个小孔。在水由小孔慢慢流出的过程中，空心球壳和里面水的共同重心将会（　　）



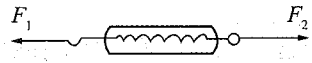
A. 一直下降

B. 一直上升

C. 先升高后降低

D. 先降低后升高

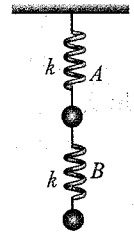
5. 如图所示，静止的弹簧测力计受到大小都为 5 N 的力 F_1、F_2 的作用，弹簧测力计的示数为（　　）



A. 0 N　　B. 5 N

C. 10 N　　D. 无法确定

6. 如图所示，两个轻质弹簧的劲度系数均为 k，悬挂的两个小球的质量均为 m，则 A、B 两弹簧的伸长量之比为（　　）



A. 1∶1　　B. 1∶2

C. 2∶1　　D. 4∶1

7. 在验证力的平行四边形定则的实验中，下面的说法正确的是（　　）

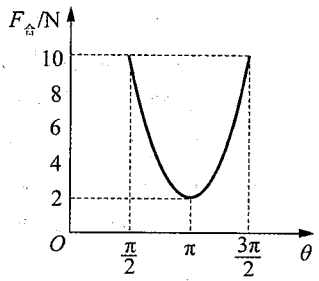
A. 拉橡皮筋的细绳套要稍长一些

B. 弹簧测力计不能超过木板的边界

C. 两分力间的夹角应尽量大些

D. 两分力应尽量大一些

8. 研究两个共点力的合力实验中，得出 $F_{合}$ 随夹角变化的规律如图所示，则（　　）



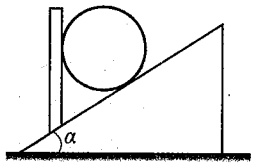
A. 两个分力分别为 8 N、10 N

B. 两个分力分别为 6 N、8 N

C. 2 N$\leqslant F_{合} \leqslant$12 N

D. 2 N$\leqslant F_{合} \leqslant$14 N

9. 如图所示，小球放在光滑固定的斜面上，现在用竖直挡板将小球挡住，当挡板从图示位置逆时针缓慢转动至水平的过程中，下列说法正确的是（　　）



A. 小球对斜面的压力逐渐减小

B. 小球对斜面的压力先减小后增大

C. 小球对挡板的压力逐渐减小

D. 小球对挡板的压力先减小后增大

10. 如图所示，杂技演员能轻松地顶住从高处落下的坛子，关于他顶坛子时头顶受到压力产生的直接原因是（　　）



A. 坛子的形变

B. 头的形变

C. 物体受到的重力

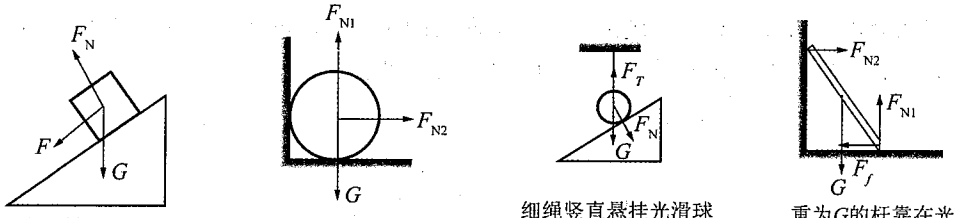
D. 人受到的重力

11. 如图所示，用一根细绳和一根杆组成三角支架，绳的一端绕在手指上，杆的一端顶在掌心，当它们的另一端挂上重物时，绳与杆对手指和手掌均有作用，对这两个作用的方向判断完全正确的是图中的（　　）



A　　B　　C　　D

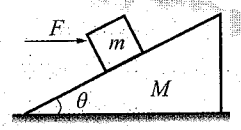
12. 如图所示是几个物体的受力分析图，其中正确的是（　　）



沿光滑斜面下滑的物体　　光滑球靠在墙角静止　　细绳竖直悬挂光滑球静止且与斜面接触　　重为G的杆靠在光滑竖直墙上静止

A　　B　　C　　D

13. 如图所示，质量为 m 的物体，放在质量为 M 的斜面体上，斜面体放在水平粗糙的地面上，m 和 M 均处于静止状态。当在物体 m 上施加一个水平力 F，且 F 由零逐渐加大的过程中，m 和 M 仍保持静止状态。在此过程中，下列判断正确的是（　　）



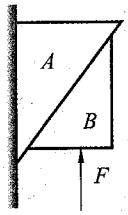
A. M 对 m 的支持力逐渐增大

B. m 受到的摩擦力逐渐增大

C. 地面受到的压力逐渐增大

D. 地面对 M 的摩擦力由零逐渐增大

14. 如图所示，物体 A 靠在竖直墙面上，在力 F 作用下，A、B 保持静止。物体 B 的受力个数为（　　）



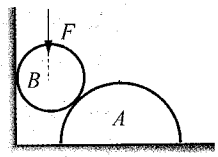
A. 2

B. 3

C. 4

D. 5

15. 在粗糙水平地面上与墙平行放着一个截面为半圆的柱状物体 A，A 与竖直墙之间放一光滑圆球 B，整个装置处于静止状态。现对 B 加一竖直向下的力 F，F 的作用线通过球心，设墙对 B 的作用力为 F_1，B 对 A 的作用力为 F_2，地面对 A 的作用力为 F_3。若 F 缓慢增大而整个装置仍保持静止，截面如图所示，在此过程中（　　）



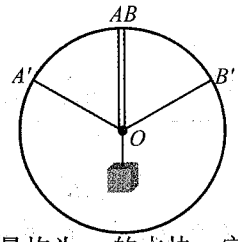
A. F_1 保持不变，F_3 缓慢增大

B. F_1 缓慢增大，F_3 保持不变

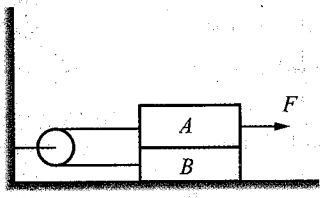
C. F_2 缓慢增大，F_3 缓慢增大

D. F_2 缓慢增大，F_3 保持不变

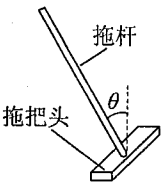
16. 如图所示，两根相同的橡皮绳 OA、OB，开始时夹角为 0，在 O 点处打结吊一个重 50 N 的物体后，结点 O 刚好位于圆心。A、B 分别沿圆周向两边移至 A'、B'，使 $\angle AOA'=\angle BOB'=60°$。欲使结点仍在圆心处，则此时结点处应挂物体的重力为多少牛？



17. 如图所示，A、B 是两块质量均为 m 的木块，它们之间的动摩擦因数为 μ，B 与地面间的动摩擦因数也为 μ，现对 A 施加一个水平向右的拉力 F，可使 A 向右，B 向左都做匀速直线运动。若滑轮处的摩擦不计，则 F 的大小等于多少？



18. 如图拖把是由拖杆和拖把头构成的擦地工具。设拖把头的质量为 m，拖杆质量可以忽略；拖把头与地板之间的动摩擦因数为常数 μ，重力加速度为 g，某同学用该拖把在水平地板上拖地时，沿拖杆方向推拖把，拖杆与竖直方向的夹角为 θ。



（1）若拖把头在地板上匀速移动，求推拖把的力的大小。

（2）设能使该拖把在地板上从静止刚好开始运动的水平推力与此时地板对拖把的正压力的比值为 λ。已知存在一临界角 θ_0，若 $\theta \leqslant \theta_0$，则不管沿拖杆方向的推力多大，都不可能使拖把从静止开始运动。求这一临界角的正切 $\tan\theta_0$。

参考答案

1. BC　2. D　3. B　4. D　5. B　6. C　7. A　8. BD　9. AD　10. A　11. D　12. D

13. AD　14. C　15. C

16. 25 N　解析：当两橡皮绳并排吊起重物时，每根橡皮绳对重物的拉力等于物体重力的一半，即 $F=\frac{G}{2}=25$ N。两橡皮绳的长度不变，说明橡皮绳中产生的弹力大小不变，仍为 $F=25$ N。两力之间的夹角增大为 120°时，由力的平行四边形定则可知其合力大小等于 25 N，方向竖直向上。合力与所吊物体的重力平衡，故所吊物体的重力为 $G_x=F=25$ N。

17. $4\mu mg$

18. （1）$F=\frac{\mu}{\sin\theta-\mu\cos\theta}mg$　（2）λ

解析：（1）设该同学沿拖杆方向用大小为 F 的力推拖把。将推拖把的力沿竖直和水平方向分解，按平衡条件有 $F\cos\theta+mg=N$　①　$F\sin\theta=f$　②

式中 N 和 f 分别为地板对拖把的正压力和摩擦力。按摩擦定律有 $f=\mu N$　③

联立①②③式得　$F=\frac{\mu}{\sin\theta-\mu\cos\theta}mg$　④

（2）若不管沿拖杆方向用多大的力都不能使拖把从静止开始运动，应有 $F\sin\theta\leqslant\lambda N$　⑤

这时①式仍满足。联立①⑤式得 $\sin\theta-\lambda\cos\theta\leqslant\lambda\frac{mg}{F}$　⑥

现考察使上式成立的 θ 角的取值范围。注意到上式右边总是大于零，且当 F 无限大时极限为零，有 $\sin\theta-\lambda\cos\theta\leqslant 0$　⑦

使上式成立的 θ 角满足 $\theta\leqslant\theta_0$，这里 θ_0 是题中所定义的临界角，即当 $\theta\leqslant\theta_0$ 时，不管沿拖杆方向用多大的力都推不动拖把。临界角的正切为 $\tan\theta_0=\lambda$　⑧

第二章　牛顿运动定律

第一节　牛顿第一定律　牛顿第三定律

解题指南

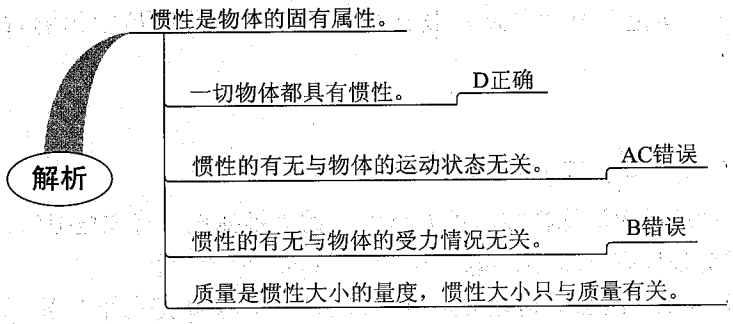
例 1　下列关于惯性的说法中正确的是（　　）

A. 物体只有静止或做匀速直线运动时才有惯性

B. 物体只有受外力作用时才有惯性

C. 物体的运动速度大时惯性大

D. 物体在任何情况下都有惯性



◎【答案】D

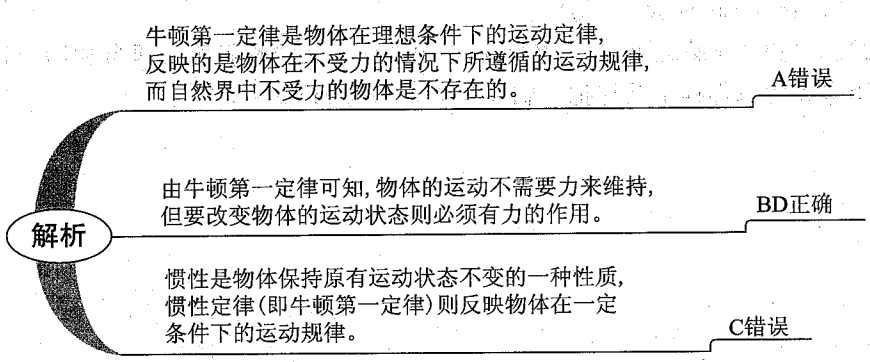
例 2　关于牛顿第一定律的下列说法中，正确的是（　　）

A. 牛顿第一定律是实验定律

B. 牛顿第一定律说明力是改变物体运动状态的原因

C. 惯性定律与惯性的实质是相同的

D. 物体的运动不需要力来维持



◎【答案】BD

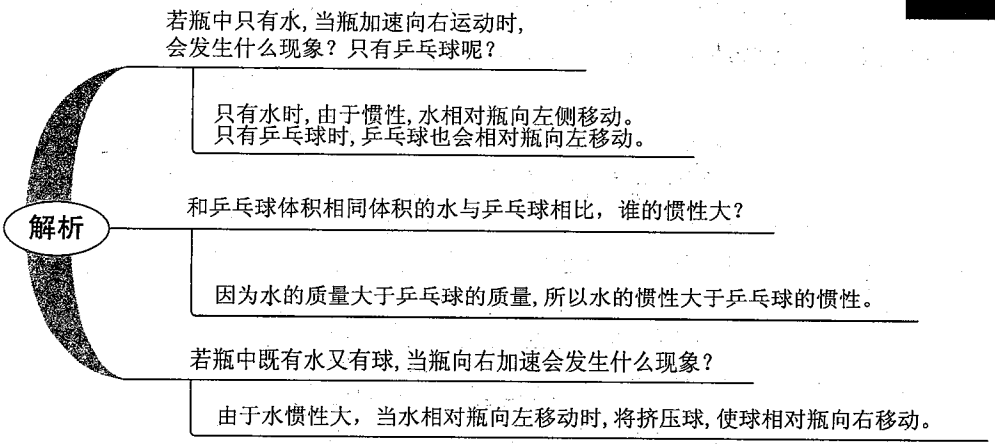
例 3　如图所示在瓶内装满水，将乒乓球用细线拴住并按入水中，线的另一端固定在瓶盖上。盖上瓶盖并将瓶子翻转，乒乓球将浮在水中。用手托着瓶子在水平向右做加速直线运动，乒乓球在瓶中的位置会如何变化？解释你所观察到的现象。



（1）若瓶中只有水，当瓶加速向右运动时，会发生什么现象？只有乒乓球呢？

（2）和乒乓球体积相同体积的水与乒乓球相比，谁的惯性大？

（3）若瓶中既有水又有球，当瓶向右加速会发生什么现象？



◎【答案】见解析。

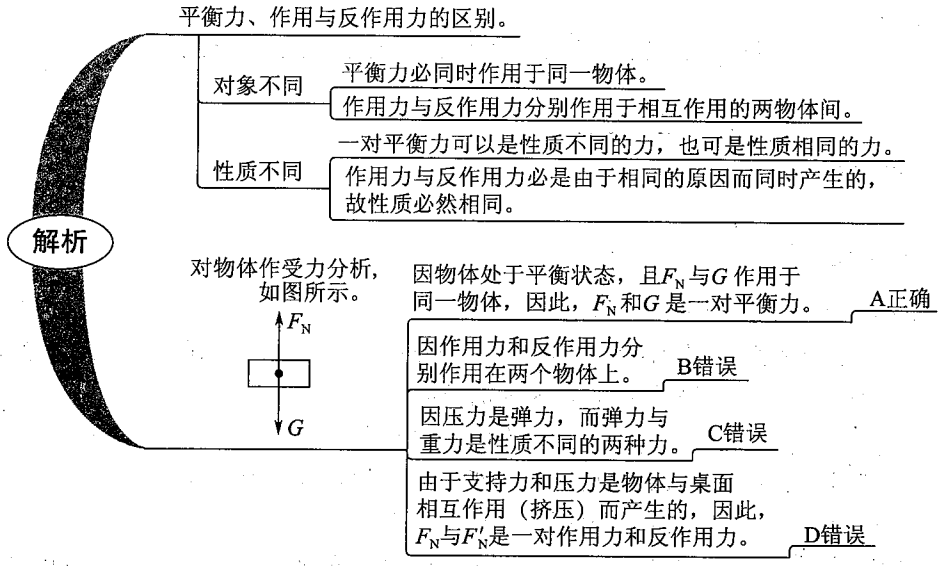
例 4　物体静止于水平桌面上，则（　　）

A. 桌面对物体的支持力的大小等于物体的重力，这两个力是一对平衡力

B. 物体所受的重力和桌面对它的支持力是一对作用力与反作用力

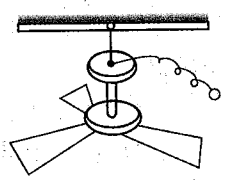
C. 物体对桌面的压力就是物体的重力，这两个力是同一种性质的力

D. 物体对桌面的压力和桌面对物体的支持力是一对平衡的力



◎【答案】A

例 5 在天花板上用悬绳吊一重为 G 的电风扇，电风扇静止时受几个力作用？如图所示，这些力的反作用力是哪些力？这些力的平衡力是哪些力？如果电风扇在匀速转动呢？当电风扇匀速转动与静止时相比较，对天花板的拉力是变大还是变小？为什么？



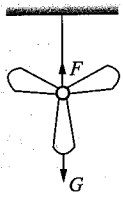
(1) 画出电风扇静止和匀速转动时的受力图（分别为图甲和图乙），说明分别是什么力。

(2) 指出图甲中 F、G 的反作用力及它们的平衡力。

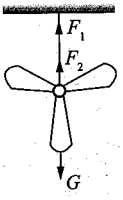
(3) 指出图乙中 F_1、F_2、G 的反作用力及它们的平衡力。

(4) 当电风扇静止时悬绳的拉力为多大？当电风扇转动呢？

(5) 电风扇静止和转动时，悬绳的拉力哪个大？



图甲



图乙

解析

(1) 对静止的电风扇受力分析如图甲所示，电风扇受两个力：重力G、悬绳拉力F。

对匀速转动的电风扇受力分析如图乙所示，电风扇受三个力：重力G、悬绳拉力F_1及空气对电风扇向上的作用力F_2。

(2) 根据牛顿第三定律可知

重力的施力物体是地球，那么G的反作用力是电风扇对地球的吸引力。

F的施力物体是悬绳，F的反作用力是电风扇对悬绳的拉力。

电风扇受到的重力G和悬绳的拉力F正好是一对平衡力。

(3) 根据牛顿第三定律

重力的施力物体是地球，那么G的反作用力是电风扇对地球的吸引力。

F_1的施力物体是悬绳，所以F_1的反作用力是电风扇对悬绳的拉力。

F_2的施力物体是空气，所以F_2的反作用力是电风扇对空气向下的作用力。

电风扇受到的重力G与绳的拉力F_1和空气对电风扇向上的作用力F_2的合力是一对平衡力。

(4) 静止时$F=G$，当转动时$F_1+F_2=G$，$F_1=G-F_2$。

(5) 静止时大。

◎【答案】见解析

同步检测

1. 下列对运动的认识不正确的是（　　）

A. 亚里士多德认为物体的自然状态是静止的，只有当它受到力的作用才会运动

B. 伽利略认为力不是维持物体速度的原因

C. 牛顿认为力的真正效果总是改变物体的速度，而不仅仅是使之运动

D. 伽利略根据理想实验推论出，如果没有摩擦，在水平面上的物体，一旦具有某一个速度，将保持这个速度继续运动下去

2. 我国《道路交通安全法》中规定：各种小型车辆前排乘坐的人（包括司机）必须系好安全带，这是因为（　　）

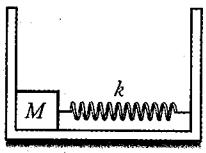
A. 系好安全带可以减小惯性

B. 是否系好安全带对人和车的惯性没有影响

C. 系好安全带可以防止因车的惯性而造成的伤害

D. 系好安全带可以防止因人的惯性而造成的伤害

3. 如图所示，U 形槽放在水平桌面上，物体 M 放于槽内静止，此时弹簧对物体的压力为 3 N，物体的质量为 0.5 kg，与槽底之间无摩擦。使槽与物体 M 一起以 6 m/s^2 的加速度向左水平运动时（　　）



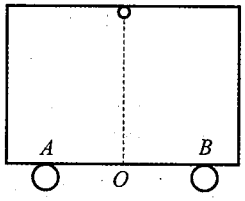
A. 弹簧对物体的压力为零

B. 物体对左侧槽壁的压力等于零

C. 物体对左侧槽壁的压力等于 3 N

D. 弹簧对物体的压力等于 6 N

4. 在平直轨道上，匀速向右行驶的封闭车厢内，悬挂着一个带滴管的盛油容器，滴管口正对车厢地板上的 O 点，如图所示，当滴管依次滴下三滴油时，设这三滴油都落在车厢的地板上，则下列说法中正确的是（　　）



A. 这三滴油依次落在 OA 之间，而且后一滴比前一滴离 O 点远些

B. 这三滴油依次落在 OA 之间，而且后一滴比前一滴离 O 点近些

C. 这三滴油依次落在 OA 之间同一位置上

D. 这三滴油依次落在 O 点上

5. 一汽车在路面情况相同的公路上直线行驶，下面关于车速、惯性、质量和滑行路程的讨论，正确的是（　　）

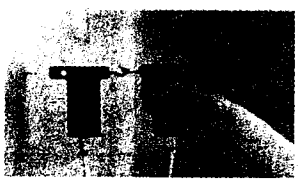
A. 车速越大，它的惯性越大

B. 质量越大，它的惯性越大

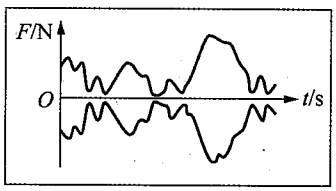
C. 车速越大，刹车后滑行的路程越长

D. 车速越大，刹车后滑行的路程越长，所以惯性越大

6. 用计算机辅助实验系统做验证牛顿第三定律的实验，单击实验菜单中“力的相互作用”。如图（a）所示，把两个力探头的挂钩钩在一起，向相反方向拉动，观察显示器屏幕上出现的结果，如图（b）所示。观察分析两个力传感器的相互作用力随时间变化的曲线，可以得到以下实验结论（　　）



(a)



(b)

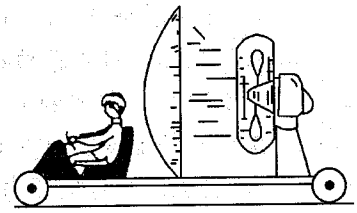
A. 作用力与反作用力时刻相等

B. 作用力与反作用力作用在同一物体上

C. 作用力与反作用力大小相等

D. 作用力与反作用力方向相反

7. 有人设计了一种交通工具，在平板车上装了一个电风扇，风扇运转时吹出的风全部打到竖直固定在小车中间的风帆上，靠风帆受力而向前运动，如图所示。对于这种设计，下列分析中正确的是（　　）



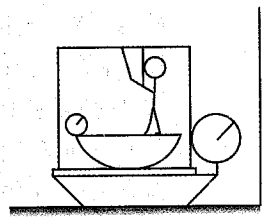
A. 根据牛顿第二定律，这种设计能使小车运行

B. 根据牛顿第三定律，这种设计能使小车运行

C. 这种设计不能使小车运行，因为它违反了牛顿第二定律

D. 这种设计不能使小车运行，因为它违反了牛顿第三定律

8. 一个重 500 N 的木箱放在大磅秤上，木箱内有一个质量为 50 kg 的人，站在小磅秤上。如图所示，如果人用力推木箱顶部，则小磅秤和大磅秤上的示数 F_1、F_2 的变化情况为（　　）



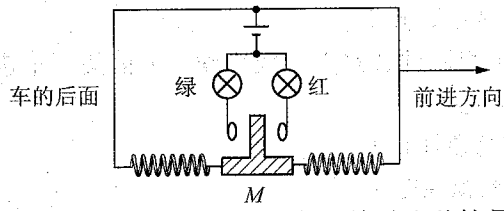
A. F_1 增大、F_2 减小

B. F_1 增大、F_2 增大

C. F_1 减小、F_2 不变

D. F_1 增大、F_2 不变

9. 有一仪器中电路如图所示，其中 M 是质量较大的金属块，将仪器固定在一辆汽车上，汽车启动时和急刹车时，发现其中一盏灯亮了，试分析是哪一盏灯亮了。



10. 请根据图中的情景，说明车子所处的状态，并对这种情景作出解释。



图甲　　图乙

参考答案

1. A　2. D　3. B　4. D　5. BC　6. CD　7. D　8. D

9. 汽车启动时绿灯亮，急刹车时红灯亮。

10. 从图甲可以看出，乘客向前倾，说明乘客相对车厢有向前运动的速度，所以汽车在减速。从图乙可看出，乘客向后倾，说明乘客有相对车厢向后运动的速度，说明列车在加速。

第二节　牛顿第二定律及其应用

解题指南

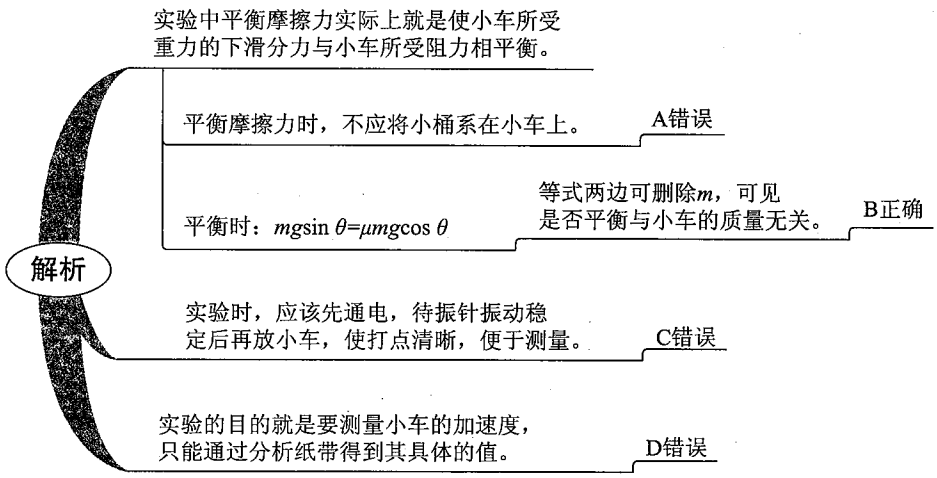
例 1　在“验证牛顿第二定律”的实验中，在研究作用力一定时加速度与质量成反比的结论时，下列说法中错误的是（　　）

A. 平衡摩擦力时，应将装沙的小桶用细绳通过定滑轮系在小车上

B. 每次改变小车质量时，不需要重新平衡摩擦力

C. 实验时，先放开小车，再接通打点计时器电源

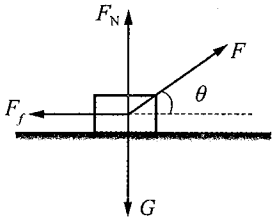
D. 小车运动的加速度，可从天平测出装沙小桶和沙的质量 m 及小车质量 M，直接用公式 $a=\frac{mg}{M}$ 求出（$m \ll M$）



◎【答案】B

例 2　如图所示，拉力 F 作用在重为 G 的物体上，使它沿水平地面匀速前进，若物体与地面的动摩擦因数为 μ，求拉力的最小值及此时拉力与地面的夹角 θ。

选取物体为研究对象，对其作受力分析如图所示。



解析

根据平衡条件有：$\begin{cases} F\cos\theta - F_f = 0, \\ F\sin\theta + F_N - G = 0, \\ F_f = \mu F_N。 \end{cases}$

解之得：$F = \dfrac{\mu G}{\cos\theta + \mu\sin\theta}$。

设 $\tan\varphi = \mu$，则 $\cos\varphi = \dfrac{1}{\sqrt{1+\mu^2}}$，代入上式可得：

$$F = \frac{\mu G}{\cos\theta + \tan\varphi \sin\theta} = \frac{\mu G\cos\theta}{\cos\theta\cos\varphi + \sin\theta\sin\varphi} = \frac{\mu G}{\cos(\theta - \varphi)\sqrt{1+\mu^2}}。$$

当 $\theta = \varphi$ 时，$\cos(\theta - \varphi) = 1$，此时 F 取最小值。

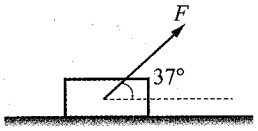
拉力取最小值 $F_{min} = \dfrac{\mu G}{\sqrt{1+\mu^2}}$ 时，拉力与地面的夹角 $\theta = \varphi = \arctan\mu$。

◎【答案】拉力的最小值为：$F_{min} = \dfrac{\mu G}{\sqrt{1+\mu^2}}$ 时，拉力与地面的夹角 $\theta = \arctan\mu$

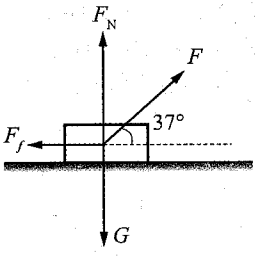
用牛顿运动定律分析各种物体不同的运动状态变化与所受合外力的关系是力学中的根本问题。即主要研究运动和力瞬时对应关系的动力学问题。可归纳为以下三种类型。

1. 已知力求运动。应用牛顿第二定律求加速度，如果再知道物体的初始条件，应用运动学公式就可以求出物体的运动情况——任意时刻的位置和速度以及运动轨迹。

例 3 质量为 12 kg 的箱子放在水平地面上，箱子和地面的动摩擦因数为 0.3，现用倾角为 37°的 60 N 力拉箱子，如图所示，3 s末撤去拉力，则撤去拉力时箱子的速度为多少？箱子继续运动多长时间而静止？



对箱子受力分析，如图所示。



解析

由受力分析可得：水平方向：$F_{合}=F\cos 37°-F_f=ma$，竖直方向：$F\sin 37°+F_N=G$，$F_f=\mu F_N$，

代入数据，计算可得：$a=1.9\ \text{m/s}^2$，

3 s末时的速度 $v=at=1.9\times 3\ \text{m/s}=5.7\ \text{m/s}$，

撤去拉力后，水平方向滑动摩擦力产生的加速度 $a=\mu g=3\ \text{m/s}^2$，

箱子还能运动的时间 $t=\frac{v}{a}=1.9\ \text{s}$。

◎【答案】5.7 m/s　1.9 s

2. 已知运动情况确定物体的受力情况。根据物体的运动情况确定运动物体的加速度，再根据牛顿第二定律确定物体的合外力，从而对物体受力分析确定物体的受力情况。

例 4　质量为 0.5 kg 的物体在与水平面成 30°角的拉力 F 作用下，沿水平桌面向右做直线运动，经过 0.5 m 的距离速度由 0.6 m/s 变为 0.4 m/s，已知物体与桌面间的动摩擦因数 $\mu=0.1$。求物体受到的拉力 F 的大小。

设物体的加速度为a，则有$v_t^2-v_0^2=2as$，

解析

所以 $a=\frac{v_t^2-v_0^2}{2s}=-0.20\ \text{m/s}^2$，

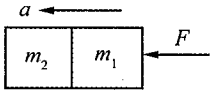
根据牛顿第二定律，物体所受到的合外力 $F_{合}=ma=-0.5\ \text{kg}\times 0.2\ \text{m/s}^2=-0.1\ \text{N}$，

所以$F=\frac{F_{合}+\mu mg}{\cos\theta+\mu\sin\theta}=0.43\ \text{N}$。

◎【答案】0. 43 N

3. 已知物体的受力情况和运动情况，可以求解物体的质量。根据物体的受力情况可以确定物体所受的合外力，根据物体的运动情况可以确定物体运动的加速度，确定了合外力和加速度根据牛顿第二定律就可以求解，确定物体的质量。

例 5　1966 年曾在地球的上空完成了以牛顿第二定律为基础的测定质量的实验。实验时，用双子星号宇宙飞船 m_1，去接触正在轨道上运行的火箭组 m_2，接触以后，开动飞船尾部的推进器，使飞船和火箭组共同加速，如图所示，推进器的平均推力 F 等于 895 N，推进器开动了 7 s，测出飞船和火箭组的速度改变是 0.91 m/s，已知双子星宇宙飞船的质量 $m_1=3\ 400\ \text{kg}$。求火箭组的质量 m_2 多大？



推进器的推力使宇宙飞船和火箭组产生的加速度：

$a=\frac{0.91\ \text{m/s}}{7\text{s}}=0.13\ \text{m/s}^2$，

解析

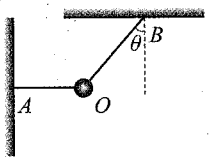
根据牛顿第二定律$F=ma=(m_1+m_2)a$得：

$m_2=\frac{F}{a}-m_1=\frac{895}{0.13}\ \text{kg}-3\ 400\ \text{kg}=3\ 500\ \text{kg}$。

◎【答案】3 500 kg

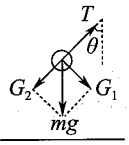
综上所述，应用牛顿运动定律解题，主要是研究恒力作用下力和运动的关系，而研究力和运动关系的桥梁是加速度。即解决问题的关键是加速度的求解，而加速度的求解依据的是物体的受力情况或运动情况。

例 6 如图所示，一质量为 m 的小球，用两根细绳悬挂处于静止，其中 AO 绳水平，OB 与竖直方向成 θ 角。（1）当剪断水平绳 AO 的瞬间小球的加速度大小和方向如何？（2）如果将细绳 OB 换成弹簧，当剪断水平绳 AO 的瞬间小球的加速度大小和方向又如何？



解析

（1）剪断水平绳AO的瞬间，细绳OB的拉力瞬间发生变化，受力分析如图所示。



将重力沿绳和垂直于绳的方向分解。则有：$G_1=mg\sin\theta$，$G_2=mg\cos\theta$。

沿绳方向的两个力的合力提供向心力，根据牛顿第二定律有：$T-G_2=m\frac{v^2}{r}$。

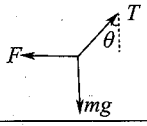
由于$v=0$，所以沿着绳的方向小球的加速度为零，即只在垂直于绳的方向小球有加速度。

根据牛顿第二定律，则有：$G_1=ma$。

解得$a=g\sin\theta$，方向与水平方向的夹角为θ。

（2）剪断水平绳的瞬间，弹簧OB的拉力不变，所以剪断的瞬间绳的拉力和重力的合力产生加速度。

没剪断水平绳前对小球受力分析如图所示。



剪断AO瞬间T和mg的合力与没剪断AO前OB的拉力F大小相等、方向相反。

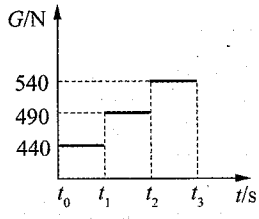
根据平衡的知识可求得没剪断AO前的拉力$F=mg\tan\theta$。

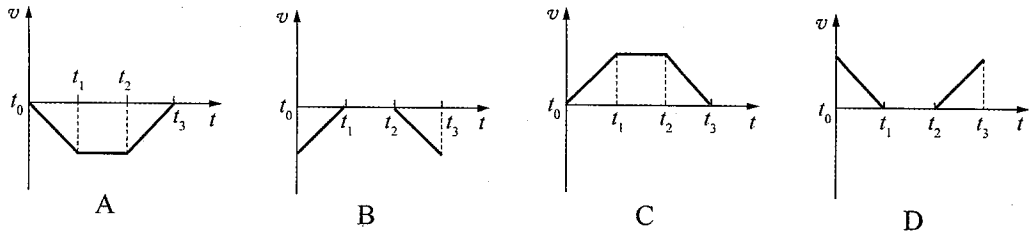
根据牛顿第二定律有：$F=ma$，解得$a=g\tan\theta$，方向水平向右。

◎【答案】（1）$a=g\sin\theta$，方向与水平方向的夹角为 θ

（2）$a=g\tan\theta$，方向水平向右

例 7 某人在地面上用弹簧测力计称得体重为 490 N。他将弹簧测力计移至电梯内称其体重，t_0 至 t_3 时间段内，弹簧测力计的示数如图所示，电梯运行的 $v-t$ 图可能是（取电梯向上运动的方向为正）（　　）





解析

在t_0～t_1阶段，弹簧测力计的示数小于实际重量，则处于失重状态，此时具有向下的加速度。

t_0～t_1阶段加速向下运动。

在t_1～t_2阶段，弹簧测力计示数等于实际重量，则既不超重也不失重。

t_1～t_2阶段匀速向下运动。

在t_2～t_3阶段，弹簧测力计示数大于实际重量，则处于超重状态，具有向上的加速度。

t_2～t_3阶段减速向下运动。

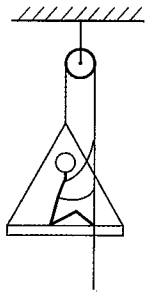
A正确

◎【答案】A

例 8　在 2008 年北京残奥会开幕式上，运动员手拉绳索向上攀登，最终点燃了主火炬，体现了残疾运动员坚忍不拔的意志和自强不息的精神。为了探究上升过程中运动员与绳索和吊椅间的作用，可将过程简化。一根不可伸缩的轻绳跨过轻质的定滑轮，一端挂一吊椅，另一端被坐在吊椅上的运动员拉住，如图所示。设运动员的质量为 65 kg，吊椅的质量为 15 kg，不计定滑轮与绳子间的摩擦。重力加速度 g 取 10 m/s^2。当运动员与吊椅一起正以加速度 1 m/s^2 上升时，试求：

（1）运动员竖直向下拉绳的力。

（2）运动员对吊椅的压力。

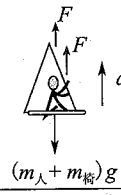


解析

解法一

设运动员受到绳向上的拉力为F，由于跨过定滑轮的两段绳子拉力相等，吊椅受到绳的拉力也是F。

对运动员和吊椅整体进行受力分析：

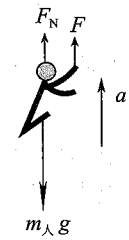


根据牛顿第二定律，有：$2F-(m_{人}+m_{椅})g=(m_{人}+m_{椅})a$，

解之得：$F=440\ \mathrm{N}$。

由牛顿第三定律，运动员竖直向下拉绳的力$F=440\ \mathrm{N}$。

设吊椅对运动员的支持力为F_N，对运动员进行受力分析：



根据牛顿第二定律，有：$F+F_N-m_{人}g=m_{人}a$，

解之得：$F_N=275\ \mathrm{N}$。

由牛顿第三定律，运动员对吊椅的压力为275 N。

解法二

设运动员和吊椅的质量分别为M和m；运动员竖直向下的拉力为F，对吊椅的压力大小为F_N。

根据牛顿第三定律，绳对运动员的拉力大小为F，吊椅对运动员的支持力大小为F_N。

分别以运动员和吊椅为研究对象，根据牛顿第二定律

$$F+F_N-Mg=Ma, \quad ①$$

$$F-F_N-mg=ma, \quad ②$$

解之得：

$F=440\ \mathrm{N}$，

$F_N=275\ \mathrm{N}$。

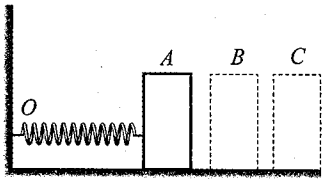
◎【答案】(1) 440 N　(2) 275 N

同步检测

1. 若将“超级市场”中运送货物所用的平板车固定在水平面上，配送员用4.0×10^2 N的水平力推动一箱质量为1.0×10^2 kg的货物时，该货物刚好能在平板车上滑动；若配送员推动平板车由静止开始加速前进，要使此箱货物不从车上滑落，配送员推车时的加速度大小可以为（　　）

A. 3.2 m/s^2　　B. 5.5 m/s^2　　C. 6.0 m/s^2　　D. 2.8 m/s^2

2. 如图所示，一轻质弹簧一端系在墙上的 O 点，自由伸长到 B 点，今用一小物体 m 把弹簧压缩到 A 点，然后释放，小物体能运动到 C 点静止，物体与水平地面间的动摩擦因数恒定，试判断下列说法正确的是（　　）



A. 物体从 A 到 B 速度越来越大，从 B 到 C 速度越来越小

B. 物体从 A 到 B 速度越来越小，从 B 到 C 加速度不变

C. 物体从 A 到 B 先加速后减速，从 B 到 C 一直减速运动

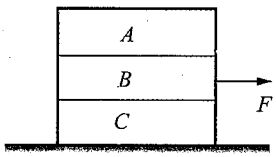
D. 物体在 B 点受合外力为零

3. 在水平面上放着两个质量分别为 2 kg 和 3 kg 的小铁块 m 和 M，它们之间用一根自由长度为 10 cm，劲度系数为 100 N/m 的轻弹簧相连，铁块与水平面之间的动摩擦因数均为 0.2。铁块 M 受到一大小为 20 N 的恒定水平外力 F，两个铁块一起向右做匀加速直线运动，如图所示，这时两铁块之间弹簧的长度应为（重力加速度 g 取 10 m/s^2）（　　）



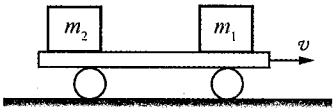
A. 12 cm　　B. 13 cm　　C. 15 cm　　D. 18 cm

4. 质量分别为 m、$2m$、$3m$ 的物块 A、B、C 叠放在光滑的水平地面上，现对 B 施加一水平力 F，已知 A、B 间，B、C 间最大静摩擦力均为 f_0，为保证它们能够一起运动，F 最大值为（　　）



A. $6f_0$　　B. $4f_0$　　C. $3f_0$　　D. $2f_0$

5. 如图所示，在一无限长的小车上，有质量分别为 m_1 和 m_2 的两个滑块（$m_1 > m_2$）随车一起向右匀速运动。设两滑块与小车间的动摩擦因数均为 μ，其他阻力不计，当车突然停止时，以下说法正确的是（　　）



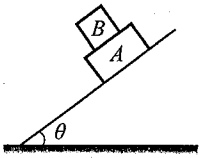
A. 若 $\mu=0$，两滑块一定相碰　　B. 若 $\mu=0$，两滑块一定不相碰

C. 若 $\mu\neq0$，两滑块一定相碰　　D. 若 $\mu\neq0$，两滑块一定不相碰

6. 小孩从滑梯上滑下的运动可视为匀加速直线运动，质量为 M 的小孩单独从滑梯上滑下，加速度为 a_1；该小孩抱着一只质量为 m 的小狗再从滑梯上滑下（小狗不与滑梯接触），加速度为 a_2。则 a_1 和 a_2 的关系为（　　）

A. $a_1 > a_2$　　B. $a_1 < a_2$　　C. $a_2 = 2a_1$　　D. $a_1 = a_2$

7. 两个叠在一起的滑块，置于固定的、倾角为 θ 斜面上，如图所示，滑块 A、B 质量分别为 M、m，A 与斜面间的动摩擦因数为 μ_1，B 与 A 之间的动摩擦因数为 μ_2，已知两滑块都从静止开始以相同的加速度从斜面滑下，滑块 B 受到的摩擦力（　　）

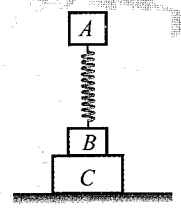


A. 等于零　　B. 方向沿斜面向上

C. 大小等于 $\mu_1 mg\cos\theta$　　D. 大小等于 $\mu_2 mg\cos\theta$

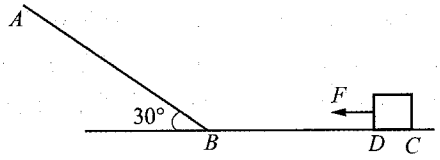
8. 如图所示，木块 A 与 B 用一轻弹簧相连，竖直放在木块 C 上，三者静置于地面上，

它们的质量之比是 1∶2∶3。设所有接触面都光滑，在沿水平方向抽出木块 C 的瞬间，木块 A 和 B 的加速度分别是 $a_A=$_____，所以 $a_B=$_____。



9. 假定“神舟”5 号飞船在发射后 3 s 内竖直上升了 180 m，上升过程是初速为零的匀加速直线运动，求飞船内质量为 60 kg 的宇航员对座椅的压力为多大？（g 取 10 m/s^2）

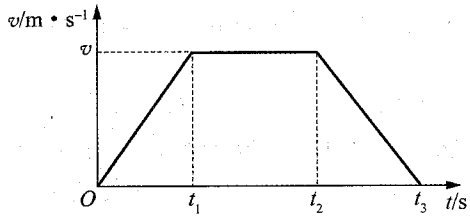
10. 如图所示，一足够长的光滑斜面倾角为 $\theta=30°$，斜面 AB 与水平面 BC 连接，质量 $m=2$ kg 的物体置于水平面上的 D 点，D 点距 B 点 $d=7$ m。物体与水平面间的动摩擦因数 $\mu=0.2$，物体受到一水平向左的恒力 $F=8$ N 作用，且当作用时间 $t=2$ s 后撤去该力，不考虑物体经过 B 点碰撞时的能量损失，重力加速度 g 取 10 m/s^2。求撤去拉力 F 后，经过多长时间物体经过 B 点。



11. 一学生住在 N 层的高楼内。他用弹簧测力计竖直悬挂质量为 m 的砝码，乘电梯从地面到达第 N 层，同时不断地观察弹簧测力计示数的变化，记下相应的数据和时间，最后画了如图所示的 $v-t$ 图像。试根据图像回答：（已知重力加速度为 g）

（1）在 $t_2\sim t_3$ 阶段弹簧测力计的示数是多大？

（2）楼层的平均高度是多？

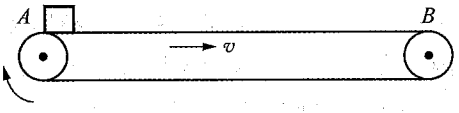


12. 水平传送带被广泛地应用于机场和火车站，如图所示，为一水平传送带装置示意图，紧绷的传送带 AB 始终保持恒定的速率 $v=1$ m/s 运行，一质量为 $m=4$ kg 的行李无初速地放在 A 处，传送带对行李的滑动摩擦力使行李开始做匀加速直线运动，随后行李又以与传送带相等的速率做匀速直线运动。设行李与传送带之间的动摩擦因数 $\mu=0.1$，A、B 间的距离 $L=2$ m，g 取 10 m/s^2。

（1）求行李刚开始运动时所受滑动摩擦力的大小与加速度的大小。

（2）求行李做匀加速直线运动的时间。

（3）如果提高传送带的运行速率，行李就能被较快地传送到 B 处，求行李从 A 处传送到 B 处的最短时间和传送带对应的最小运行速率。



参考答案

1. AD　2. C　3. D　4. D　5. BD　6. D　7. BC　8. 0　$\frac{3}{2}g$　9. 3 000 N

10. 撤去力 F 后，分别经过 1 s（第一次）和 1.8 s（滑上斜面后返回）物体经过 B 点。

11. (1) $mg-m\dfrac{v}{t_3-t_2}$　(2) $\dfrac{(t_2+t_3-t_1)\ v}{2\ (N-1)}$

12. (1) 4 N　1 m/s^2　(2) 1 s　(3) 2 s　2 m/s

本章知识检测题

1. 火车在长直水平轨道上匀速行驶，门窗紧闭的车厢内有一人向上跳起，发现仍落回到车上原处，这是因为（　　）

A. 人跳起后，车厢内空气给他以向前的力，带着他随同火车一起向前运动

B. 人跳起的瞬间，车厢的地板给他一个向前的力，推动他随同火车一起向前运动

C. 人跳起后，车在继续向前运动，所以人落下后必是偏后一些，只是由于时间很短，偏后距离太小，不明显而已

D. 人跳起后直到落地，在水平方向上人和车始终有相同的速度

2. 下列叙述中正确的是（　　）

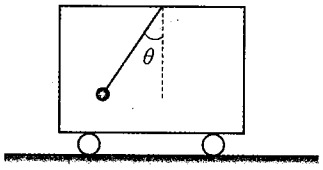
A. 物体只在不受力作用的情况下才能表现出惯性

B. 要消除物体的惯性，可以在运动的相反方向上加上外力

C. 物体惯性的大小与物体是否运动、运动的快慢以及受力无关

D. 惯性定律可以用物体的平衡条件取而代之

3. 如图所示，悬挂于小车里的小球偏离竖直方向 θ 角，则小车可能的运动情况是（　　）



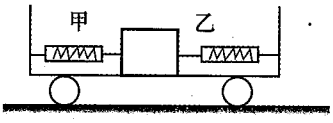
A. 向右加速运动

B. 向右减速运动

C. 向左加速运动

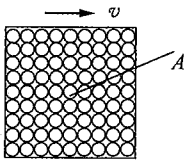
D. 向左减速运动

4. 如图所示，底板光滑的小车上用两个量程为 20 N、完全相同的弹簧测力计甲和乙系住一个质量为 1 kg 的物块，在水平地面上，当小车做匀速直线运动时，两个弹簧测力计的示数均为 10 N，当小车做匀加速直线运动时，弹簧测力计甲的示数变为 8 N。这时小车运动的加速度大小是（　　）



A. 2 m/s^2　　B. 4 m/s^2　　C. 6 m/s^2　　D. 8 m/s^2

5. 如图所示，有一箱装得很满的土豆，以一定的初速度在动摩擦因数为 μ 的水平地面上做匀减速运动（不计其他外力及空气阻力），则其中一个质量为 m 的土豆 A 受其他土豆对它的总作用力大小应是（　　）



A. mg　　B. mg

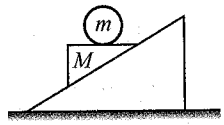
C. $mg\sqrt{\mu^2+1}$　　D. $mg\sqrt{1-\mu^2}$

6. 下列四个实验中，能在绕地球飞行的太空实验舱中完成的是（　　）

A. 用天平测量物体的质量　　B. 用弹簧测力计测物体的重力

C. 用温度计测舱内的温度　　D. 用水银气压计测舱内气体的压强

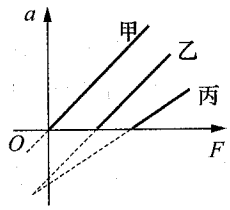
7. 如图所示，一个劈形物体 M 放在固定的斜面上，上表面水平，在水平面上放有光滑小球 m，劈形物体从静止开始释放，则小球在碰到斜面前的运动轨迹是（　　）



A. 沿斜面向下的直线　　B. 抛物线

C. 竖直向下的直线　　D. 无规则的曲线

8. 物体 A、B、C 均静止在同一水平面上，它们的质量分别为 m_A、m_B、m_C，与水平面的动摩擦因数分别为 μ_A、μ_B、μ_C，拉力 F 与物体加速度的关系图线如图甲、乙、丙所示，甲、乙直线平行，则以下说法中正确的是（　　）

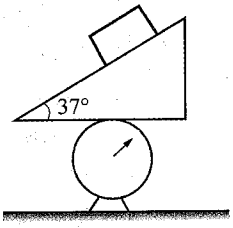


①$\mu_A<\mu_B$　$m_A=m_B$　　②$\mu_B>\mu_C$　$m_B>m_C$

③$\mu_B=\mu_C$　$m_B>m_C$　　④$\mu_A<\mu_C$　$m_A<m_C$

A. ①②　　B. ②④　　C. ③④　　D. ①④

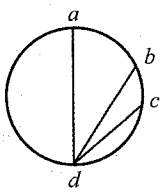
9. 如图所示，在托盘测力计放一个重力为 5 N 的斜木块，斜木块的斜面倾角为 37°，现将一个重力为 5 N 的小铁块无摩擦地从斜面上滑下，在小铁块下滑的过程中，测力计的示数为（g 取 10 m/s^2）（　　）



A. 8.2 N　　B. 7 N

C. 7.4 N　　D. 10 N

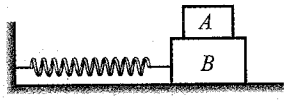
10. 如图所示，ad、bd、cd 是竖直面内三根固定的光滑细杆，a、b、c、d 位于同一圆周上，a 点为圆周的最高点，d 点为最低点。每根杆上都套有一个小滑环（图中未画出），三个滑环分别从 a、b、c 处释放（初速为 0），用 t_1、t_2、t_3 依次表示各滑环到达 d 所用的时间，则（　　）



A. $t_1<t_2<t_3$　　B. $t_1>t_2>t_3$

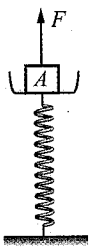
C. $t_3>t_1>t_2$　　D. $t_1=t_2=t_3$

11. 如图所示，质量为 m 的物体 A 放置在质量为 M 的物体 B 上，B 与弹簧相连，它们一起在光滑水平面上做简谐运动，振动过程中 A、B 之间无相对运动。设弹簧的劲度系数为 k。当物体离开平衡位置的位移为 x 时，A、B 间摩擦力的大小等于（　　）



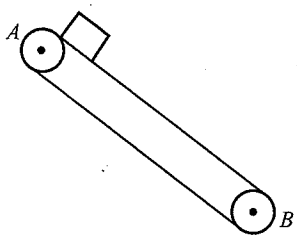
A. 0　　B. kx　　C. $\frac{m}{M}kx$　　D. $(\frac{m}{M+m})kx$

12. 如图所示，一个弹簧台秤的秤盘质量和弹簧质量都不计，盘内放一个物体 A 处于静止，A 的质量 $m=12$ kg，弹簧的劲度系数 $k=300$ N/m。现在给 A 施加一个竖直向上的力 F，使 A 从静止开始向上做匀加速直线运动，已知在 $t=0.2$ s 内 F 是变力，在 0.2 s 以后 F 是恒力，g 取 10 m/s^2，则 F 的最小值是_____，F 的最大值是_____。



13. 如图所示，传输带与水平面间的倾角为 $\theta=37°$，皮带以 10 m/s 的速率运

行，在传输带上端 A 处无初速地放上质量为 0.5 kg 的物体，它与传输带间的动摩擦因数为 0.5。若传输带 A 到 B 的长度为 16 m，则物体从 A 运动到 B 的时间为多少？



参考答案

1. D　2. C　3. AD　4. B　5. C　6. C　7. C　8. D　9. A　10. D　11. D

12. 240 N　360 N

13. 2 s

第四章　曲线运动 万有引力与航天

第一节　曲线运动

解题指南

例 1　一条宽为 L 的河流，水流速度为 v_s，已知船在静水中的速度为 v_c，那么：

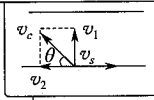
（1）怎样渡河时间最短？

（2）若 $v_c>v_s$，怎样渡河位移最小？

（3）若 $v_c<v_s$，怎样渡河，船漂下的距离最短？最短距离是多少？

解析

(1) 设船头斜向上游与河岸成任意角θ，这时船速在垂直于河岸方向的速度分量$v_1=v_c\sin\theta$，如图所示。

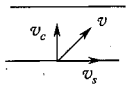


渡河所需时间为：$t=\dfrac{L}{v_c\sin\theta}$。

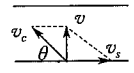
可以看出：L、v_c一定时，t随$\sin\theta$增大而减小。

当$\theta=90°$时，$\sin\theta=1$，所以，当船头与河岸垂直时，渡河时间最短，$t_{min}=\dfrac{L}{v_c}$。

运动示意图为：



(2) 渡河的最小位移即河的宽度。为了使渡河位移等于L，必须使船的合速度v的方向与河岸垂直。这时船头应指向河的上游，并与河岸成一定的角度θ，如图所示。



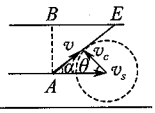
根据三角函数关系有：$v_c\cos\theta-v_s=0$。

由此可得：$\theta=\arccos\, v_s/v_c$。

因为$0\leqslant\cos\theta\leqslant1$，所以只有在$v_c>v_s$时，船才有可能垂直于河岸横渡。

(3) 由(2)可知，如果水流速度大于船在静水中的航行速度，则不论船的航向如何，总是被水冲向下游。

能使漂下的距离最短，必须用如图所示的方式航行：



设船头v_c与河岸成θ角，合速度v与河岸成α角，

α角越大，船漂下的距离x越短，

以v_s的矢尖为圆心，以v_c为半径画圆，当v与圆相切时，α角最大，

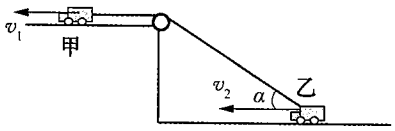
根据$\cos\theta=v_c/v_s$，船头与河岸的夹角应为：$\theta=\arccos v_c/v_s$，

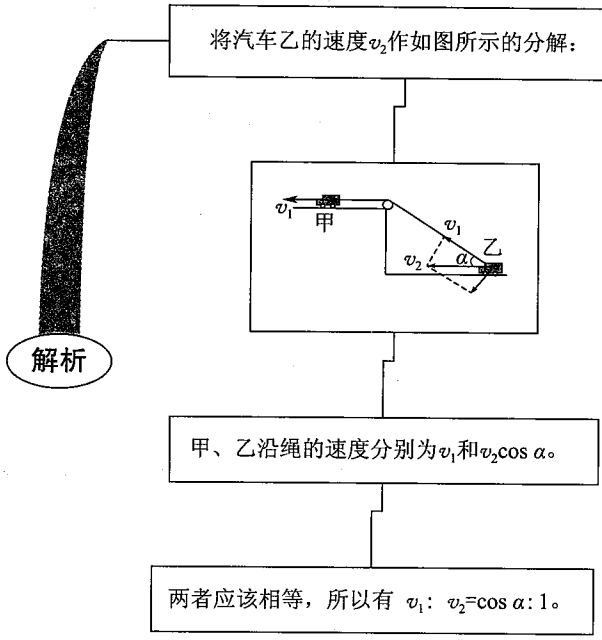
船漂下的最短距离为：$x_{min}=(v_s-v_c\cos\theta)\dfrac{L}{v_c\sin\theta}$，

此时渡河的最短位移为：$s=\dfrac{L}{\cos\theta}=\dfrac{v_s}{v_c}L$。

◎【答案】(1) 船头垂直河岸 (2) 船速与水速的合速度垂直河岸 (3) 船头与河岸的夹角 $\theta=\arccos\frac{v_c}{v_s}$　$s=\frac{v_s}{v_c}L$

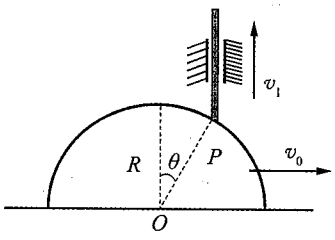
例 2　如图所示，汽车甲以速度 v_1 拉汽车乙前进，乙的速度为 v_2，甲、乙都在水平面上运动，求 $v_1:v_2$ 的值是多少？

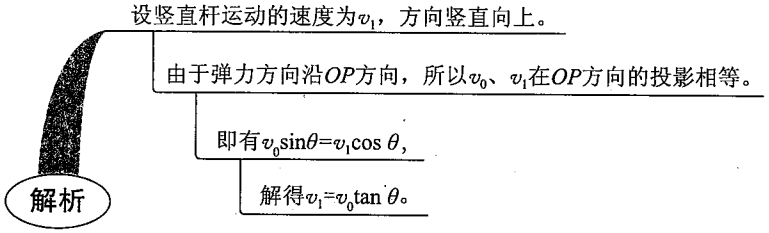




◎【答案】$\cos\alpha:1$

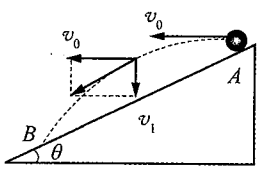
例 3　一个半径为 R 的半圆柱体沿水平方向向右以速度 v_0 匀速运动。在半圆柱体上搁置一根竖直杆，此杆只能沿竖直方向运动，如图所示。当杆与半圆柱体接触点 P 与柱心的连线与竖直方向的夹角为 θ 时，求竖直杆运动的速度。





◎【答案】$v_1=v_0\tan\theta$

例 4　如图所示，在倾角为 θ 的斜面顶端 A 处以速度 v_0 水平抛出一小球，落在斜面上的某一点 B 处，设空气阻力不计，求：(1) 小球从 A 运动到 B 处所需的时间；(2) 从抛出开始计时，经过多长时间小球离斜面的距离达到最大？



解析

（1）小球做平抛运动，同时受到斜面体的限制，设从小球从A运动到B处所需的时间为t。

水平位移为$x=v_0t$，

竖直位移为$y=\frac{1}{2}gt^2$，

由数学关系的得到：$\frac{1}{2}gt^2=(v_0t)\tan\theta$，$t=\frac{2v_0\tan\theta}{g}$。

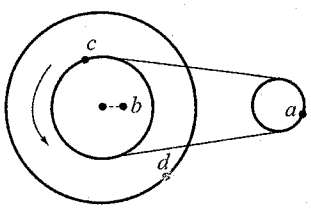
（2）从抛出开始计时，经过t_1时间小球离斜面的距离达到最大，当小球的速度与斜面平行时，小球离斜面的距离达到最大。

$v_{y1}=gt_1=v_0\tan\theta$，

$t_1=\frac{v_0\tan\theta}{g}$。

◎【答案】（1）$\frac{2v_0\tan\theta}{g}$　（2）$\frac{v_0\tan\theta}{g}$

例 5　如图所示装置中，三个轮的半径分别为 r、$2r$、$4r$，b 点到圆心的距离为 r，求图中 a、b、c、d 各点的线速度之比、角速度之比、加速度之比。



解析

（1）a、c与同一皮带接触，线速度相同，$v_a=v_c$。

b、c、d与同一轮轴上，线速度相同但半径不同，$r_b:r_c:r_d=1:2:4$。

所以$v_a:v_b:v_c:v_d=2:1:2:4$。

（2）a、c与同一皮带接触，线速度相同，半径不同，$\omega_a:\omega_b=2:1$。

b、c、d与同一轮轴上，$\omega_b=\omega_c=\omega_d$。

所以，$\omega_a:\omega_b:\omega_c:\omega_d=2:1:1:1$。

（3）根据，$a=v\omega$，及以上（1）（2）结论，

$a_a:a_b:a_c:a_d=4:1:2:4$。

◎【答案】2∶1∶2∶4；2∶1∶1∶1；4∶1∶2∶4

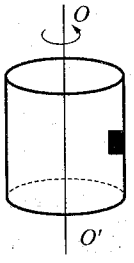
例 6　如图所示，在匀速转动的圆筒内壁上，有一物体随圆筒一起转动而未滑动。当圆筒的角速度增大以后，下列说法正确的是（　　）

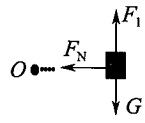
A. 物体所受弹力增大，摩擦力也增大了

B. 物体所受弹力增大，摩擦力减小了

C. 物体所受弹力和摩擦力都减小了

D. 物体所受弹力增大，摩擦力不变



对物体受力分析：

解析

G和F_1是一对平衡力，筒壁对它的弹力F_N提供它做匀速圆周运动的向心力。

当圆筒匀速转动时，不管其角速度多大，只要物体随圆筒一起转动而未滑动，则物体所受的（静）摩擦力F_1大小等于其重力。

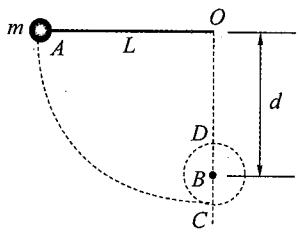
根据向心力公式 $F_N=mr\omega^2$，

当角速度ω较大时F_N也较大，

D正确。

◎【答案】D

例 7　小球 A 用不可伸长的细绳悬于 O 点，在 O 点的正下方有一固定的钉子 B，$OB=d$，初始时小球 A 与 O 同水平面无初速度释放，绳长为 L，为使小球能绕 B 点做完整的圆周运动，如图所示。试求 d 的取值范围。



解析

为使小球能绕B点做完整的圆周运动，则小球在D点对绳的拉力F_1应该大于或等于零。

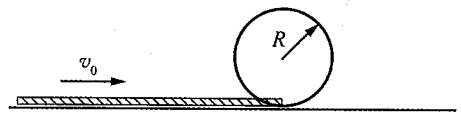
$mg \leqslant m\dfrac{v_D^2}{L-d}$，

根据机械能守恒定律可得：$\dfrac{1}{2}mv_D^2=mg[d-(L-d)]$，

由以上两式可求得：$\dfrac{3}{5}L \leqslant d < L$。

◎【答案】$\dfrac{3}{5}L \leqslant d < L$

例 8　如图所示，游乐列车由许多节车厢组成。列车全长为 L，圆形轨道半径为 R，（R 远大于一节车厢的高度 h 和长度 l，但 $L>2\pi R$）。已知列车的车轮是卡在导轨上的光滑槽中只能使列车沿着圆周运动而不能脱轨。试问：列车在水平轨道上应具有多大初速度 v_0，才能使列车通过圆形轨道？



解析

列车开上圆轨道时速度开始减慢，当整个圆轨道上都挤满了一节节车厢时，列车速度达到最小值v，此最小速度一直保持到最后一节车厢进入圆轨道，然后列车开始加速。

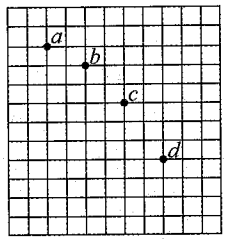
由于轨道光滑，列车机械能守恒，设单位长列车的质量为λ，则有：

$$\frac{1}{2}\lambda L v_0^2=\frac{1}{2}\lambda L v^2+\lambda 2\pi R\cdot gR,$$

要使列车能通过圆形轨道，则必有$v>0$。

解得：$v_0>2R\sqrt{\frac{\pi g}{L}}$。

◎【答案】$v_0>2R\sqrt{\frac{\pi g}{L}}$



例 9 如图所示，一张记录平抛运动的方格纸，小方格的边长为$l=1.25$ cm，小球在平抛运动途中的几个位置为图中的a、b、c、d所示，则小球平抛的初速度的计算式为$v_0=$_____。（用l、g表示）其值是_____。（g取9.8 m/s^2）

解析

平抛运动可分解为在竖直方向的初速度是零的自由落体运动，在水平方向的初速度为v_0的匀速直线运动。

解法一

在竖直方向从a点起，各点间的位移是1∶2∶3，所以a点不是平抛的起点。（想一想，为什么？）

设$a\to b$的时间为t，在水平方向，因为匀速运动则有$t=2l/v_0$，

设在a点瞬间时速度为v_0，其竖直分速度为v_y，a和b的高度差为y_1，b和c间为y_2，c和d间为y_3，

$$y_1=v_y t+\frac{1}{2}gt^2,\quad y_2=(v_y+gt)t+\frac{1}{2}gt^2,\quad y_3=(v_y+2gt)t+\frac{1}{2}gt^2,$$

可得：$y_3-y_2=y_2-y_1=l=gt^2$，

$v_0=2\sqrt{gl}$。

解法二

在水平方向有$2l=v_0 t$……①

在竖直方向有（想一想打点计时器）$\Delta y=l=gt^2$……②

⇒解可得$v_0=2\sqrt{gl}$。（此法便捷且最常用，需重点掌握）

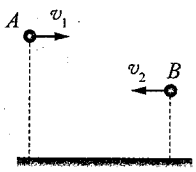
代入$l=1.25$ cm$=1.25\times10^{-2}$ m，$g=9.8$ m/s^2，

$v_0=2\sqrt{1.25\times10^{-2}\times9.8}$ m/s$=0.7$ m/s。

◎【答案】$v_0=2\sqrt{gl}$　0.7 m/s

同步检测

1. 关于曲线运动，下列说法正确的有（　　）
   A. 做曲线运动的物体速度方向在时刻改变，故曲线运动是变速运动
   B. 做曲线运动的物体，受到的合外力方向在不断改变
   C. 只要物体做圆周运动，它所受的合外力一定指向圆心
   D. 物体只要受到垂直于初速度方向的恒力作用，就一定能做匀速圆周运动
2. 洗衣机的甩干筒在旋转时有衣服附在筒壁上，则此时（　　）
   A. 衣服受重力、筒壁的弹力和摩擦力及离心力作用
   B. 衣服随筒壁做圆周运动的向心力由筒壁的弹力提供
   C. 筒壁对衣服的摩擦力随转速的增大而增大
   D. 筒壁对衣服的弹力随着衣服含水量的减少而减少
3. 如图所示，A、B 两点在同一竖直平面内，且 A 点比 B 点高，从 A、B 两点同时相向水平抛出两个小球，不计空气阻力，则（　　）



   A. 不管两小球抛出速度关系如何，它们都一定会在空中相遇
   B. 只有从 A 点抛出小球初始速度大于从 B 点抛出小球初速，两球才可能在空中某处相遇
   C. 只有从 A 点抛出小球初始速度小于从 B 点抛出小球初速，两球才可能在空中某处相遇
   D. 无论两小球初始速度关系如何，它们都不可能在空中相遇
4. 在一次汽车拉力赛中，汽车要经过某半径为 R 的圆弧形水平轨道，地面对汽车的最大静摩擦力为车重的 0.1 倍，汽车要想通过该弯道时不发生侧滑，那么汽车的行驶速度不应大于（　　）

   A. $\frac{g}{10R}$　　B. gR　　C. $\sqrt{g/10R}$　　D. $\sqrt{gR/10}$
5. 质量为 m 的小球在竖直平面内的圆形轨道的内侧运动，经过最高点而不脱离轨道的临界速度值是 v，当小球以 $2v$ 的速度经过最高点时，对轨道的压力值为（　　）

   A. 0　　B. mg　　C. $3mg$　　D. $5mg$
6. 在抗洪抢险中，战士驾驶摩托艇在救人。假设江岸是平直的，洪水沿江向下游流去，摩托艇在静水中的速度为 v_1，水流的速度为 v_2。战士救人的地点 A 离岸最近处 O 的距离为 d，如战士想在最短的时间内将人送上岸，则摩托艇登陆的地点离 O 点的距离为（　　）

   A. 0　　B. $\frac{dv_2}{v_1}$　　C. $\frac{dv_1}{v_2}$　　D. $\frac{dv_1}{\sqrt{v_1^2-v_2^2}}$
7. 平抛物体的初速度为 v_0，当水平方向分位移与竖直方向分位移大小相等时（　　）

   A. 运动的时间 $t=\frac{2v_0}{g}$　　B. 瞬时速率 $v_t=\sqrt{5}v_0$

C. 水平分速度与竖直分速度大小相等　　D. 位移大小等于 $2\sqrt{2}v_0^2/g$

8. 一小球质量为 m，用长为 L 的悬线固定于 O 点，在 O 点正下方 $L/2$ 处钉有一根长钉，把悬线沿水平方向拉直后无初速度地释放小球，当悬线碰到钉子的瞬时（　　）

A. 小球的向心加速度突然增大　　B. 小球的角速度突然增大

C. 小球的速度突然增大　　D. 悬线的张力突然增大

9. 一个物体以 $v=10$ m/s 的初速度做平抛运动，经$\sqrt{3}$ s时物体的速度与竖直方向的夹角为（g 取 10 m/s^2）（　　）

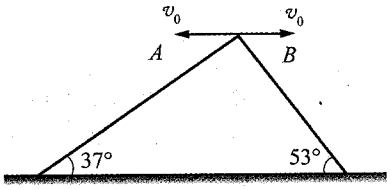
A. 30°　　B. 45°　　C. 60°　　D. 90°

10. 将质量为 m 的砝码置于水平圆盘边缘，圆盘半径为 R，圆盘对砝码的最大静摩擦力是其重量的 K 倍。当圆盘绕通过圆心的竖直轴转动，转动角速度达到 ω 时，砝码开始滑动。则（　　）

A. ω 与 K 成正比　　B. ω 与$\sqrt{K}$成正比

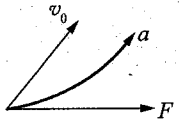
C. ω 与 Kg 成正比　　D. ω 与 Kmg 成正比

11. 如图所示的两个斜面，倾角分别为 37°和 53°，在顶点两个小球 A、B 以同样大小的初速度分别向左、向右水平抛出，小球都落在斜面上，若不计空气阻力，则 A、B 两个小球平抛运动时间之比为（　　）

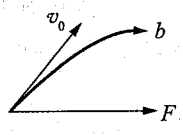


A. 1∶1　　B. 4∶3　　C. 16∶9　　D. 9∶16

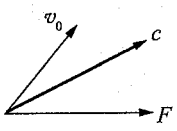
12. 若已知物体运动的初速度 v_0 的方向及它受到的恒定的合外力 F 的方向，图 a、b、c、d 表示物体运动的轨迹，其中正确的是（　　）



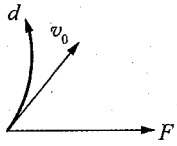
A



B

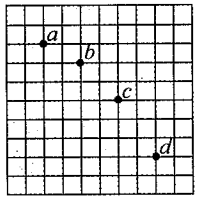


C

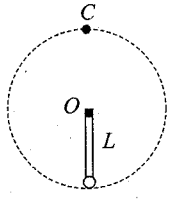


D

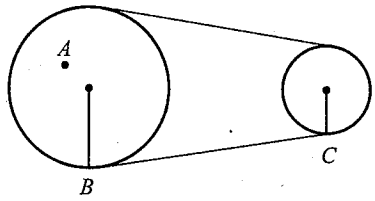
13. 如图所示是小球平抛运动中轨道上的三个点，已知正方形格的边长为 9 mm，则小球平抛运动的初速度 $v_0=$_____m/s。当小球运动到 b 点时速度 $v_b=$_____m/s，描绘出小球运动的轨迹，并指出 b 点小球速度的方向（g 取 10 m/s^2）。



14. 轻杆长 $L=0.5$ m，杆的一端固定着质量 $m=0.1$ kg 的小球。小球在杆的带动下，绕水平轴 O 在竖直平面内做圆周运动，小球运动到最高点 C 时速度为 2 m/s（g 取 10 m/s^2）。则此时小球对细杆的作用力大小为_____N，方向为_____。

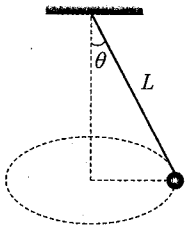


15. 如图所示 A 是 B 轮上的一点，B、C 两轮用皮带连接而不打滑，$r_A : r_B : r_C = 1 : 3 : 2$，则 A、B、C 三点的线速度之比_____；向心加速度之比_____。

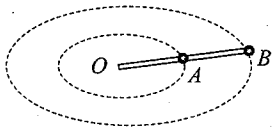


16. 物体从高 H 处自由下落，同时一颗子弹从地面上竖直向上射出。物体下落 $\frac{H}{8}$ 被子弹击中，则子弹射出时速度的大小为_____。

17. 在如图所示的圆锥摆中，已知绳子长度为 L，绳子转动过程中与竖直方向的夹角为 θ，求小球做匀速圆周运动的周期。



18. 如图所示，质量为 m 的小球 A、B 分别固定在轻杆的中点和端点，当杆在光滑水平面上绕 O 点匀速转动时，求杆 OA 段与 AB 段对球的拉力之比。

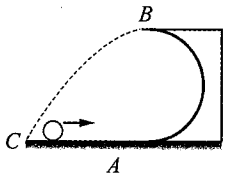


19. 船在 400 m 宽的河中横渡，河水流速是 2 m/s，船在静水中的航速是 4 m/s，试求：

(1) 要使船到达对岸的时间最短，船头应指向何处？最短时间是多少？航程是多少？

(2) 要使船航程最短，船头应指向何处？最短航程为多少？渡河时间又是多少？

20. 如图所示，一光滑的半径为 R 的半圆形轨道放在水平面上，一个质量为 m 的小球以某一速度冲上轨道，当小球将要从轨道口飞出时，轨道的压力恰好为零，则小球落地点 C 距 A 处多远？



参考答案

1. A　2. BD　3. D　4. D　5. C　6. B　7. ABD　8. ABD　9. A　10. B　11. D　12. B

13. 0.6　0.75　14. 0.2　竖直向下　15. 1 : 3 : 3　2 : 6 : 9　16. $2\sqrt{gH}$

17. $T = 2\pi\sqrt{\frac{L\cos\theta}{g}}$　18. 3 : 2

19. (1) 船头应垂直指向对岸，$t_{min} = 100$ s，航程 $s = 200\sqrt{5}$ m $= 447.2$ m　(2) 船头应与上游河岸成 60°角，最短航程为 400 m，渡河时间 $t = \frac{200}{3}\sqrt{3}$ s $= 115.5$ s

20. $2R$

第二节　万有引力与航天

解题指南

例 1　关于太阳系中行星的运动，以下说法正确的是（　　）

A. 行星轨道的半长轴越长，自转周期就越长

B. 行星轨道的半长轴越长，公转周期就越长

C. 水星轨道的半长轴最短，公转周期就最长

D. 天王星离太阳最远，公转周期就最长

解析　由开普勒第三定律 $\frac{a^3}{T^2}=k$，a越大，T越大，故BD正确，C错误。式中的T是公转周期而非自转周期，故A错。

◎【答案】BD

例 2　在圆轨道上的质量为 m 的人造地球卫星，它到地面的距离等于地球半径 R，地面上的重力加速度为 g，则（　　）

A. 卫星运动的速度为 $\sqrt{2Rg}$

B. 卫星运动的周期为 $4\pi\sqrt{\frac{2R}{g}}$

C. 卫星的加速度为 $\frac{1}{2}g$

D. 卫星的动能为 $\frac{1}{4}mgR$

解析　这是解决大多数天体运动类问题的起点。

万有引力充当向心力 $G\frac{Mm}{(2R)^2}=m\frac{v^2}{2R}$

又 $g=\frac{GM}{R^2}$，故 $v=\sqrt{\frac{GM}{2R}}=\sqrt{\frac{gR}{2}}$，A错误。

$T=\frac{2\pi\times 2R}{v}=\frac{4\pi R\sqrt{2}}{\sqrt{gR}}=4\pi\sqrt{\frac{2R}{g}}$，B正确。

$a=\frac{v^2}{r}=\frac{v^2}{2R}=\frac{g}{4}$，C错误。

卫星动能：$E_k=\frac{1}{2}mv^2=\frac{1}{2}m\frac{gR}{2}=\frac{mgR}{4}$，D正确。

◎【答案】BD

例 3　继神秘的火星之后，土星也成了全世界关注的焦点！经过近 7 年 35.2 亿公里在太空中风尘仆仆的穿行后，美航空航天局和欧航空航天局合作研究的“卡西尼”号土星探测器抵达预定轨道，开始“拜访”土星及其卫星家族。这是人类首次针对土星及其 31 颗已知卫星最详尽的探测！若“卡西尼”号探测器进入绕土星飞行的轨道，在半径为 R 的土星上空离土星表面高 h 的圆形轨道上绕土星飞行，环绕 n 周飞行时间为 t。试计算土星的质量和平均密度。

解析

设“卡西尼”号的质量为m，土星的质量为M。“卡西尼”号围绕土星的中心做匀速圆周运动，其向心力由万有引力提供。

$G\frac{Mm}{(R+h)^2}=m(R+h)(\frac{2\pi}{T})^2$，其中$T=\frac{t}{n}$，

$M=\frac{4\pi^2n^2(R+h)^3}{Gt^2}$，

又$V=\frac{4}{3}\pi R^3$，　$\rho=\frac{M}{V}=\frac{3\pi n^2(R+h)^3}{Gt^2R^3}$。

◎【答案】$M=\frac{4\pi^2n^2\ (R+h)^3}{Gt^2}$　$\rho=\frac{3\pi n^2\ (R+h)^3}{Gt^2R^3}$

例 4　一卫星绕某行星做匀速圆周运动，已知行星表面的重力加速度为g_0，行星的质量M与卫星的质量m之比$M/m=81$，行星的半径R_0与卫星的半径R之比$R_0/R=3.6$，行星与卫星之间的距离r与行星的半径R_0之比$r/R_0=60$。设卫星表面的重力加速度为g，则在卫星表面有$G\frac{Mm}{r^2}=mg$……经过计算得出：卫星表面的重力加速度为行星表面的重力加速度的1/3 600。上述结果是否正确？若正确，列式证明；若有错误，求出正确结果。

解析

题中所列关于g的表达式并不是卫星表面的重力加速度，而是卫星绕行星做匀速圆周运动的向心加速度。

上述结果错误。

卫星表面$\frac{Gm}{R^2}=g$，行星表面$\frac{GM}{R_0^2}=g_0$，即$(\frac{R_0}{R})^2\frac{m}{M}=\frac{g}{g_0}$，

正确的解法是：

$g=0.16g_0$。

◎【答案】不正确，$g=0.16g_0$

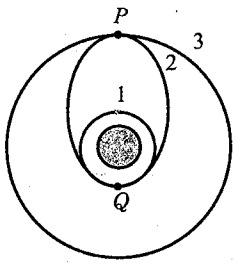
例 5　将卫星发射至近地圆轨道1（如图所示），然后再次点火，将卫星送入同步轨道3。轨道1、2相切于Q点，2、3相切于P点，则当卫星分别在1、2、3轨道上正常运行时，以下说法正确的是（　　）

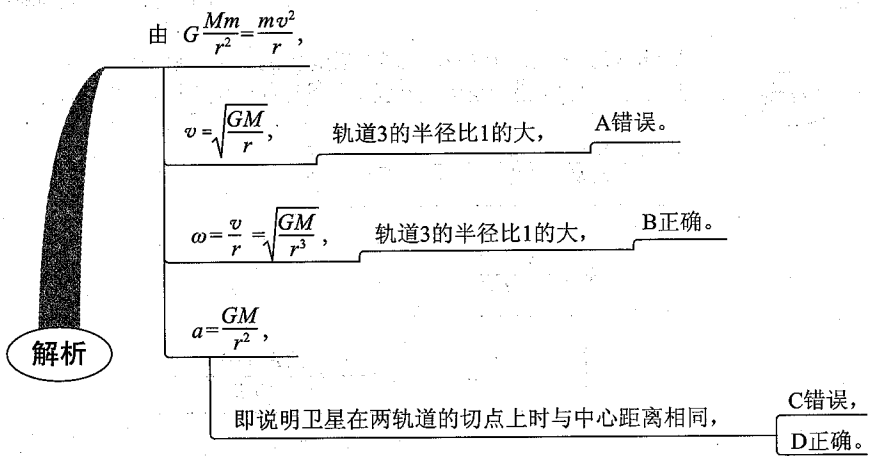
A. 卫星在轨道3上的速率大于在轨道1上的速率

B. 卫星在轨道3上的角速度小于在轨道1上的角速度

C. 卫星在轨道1上经过Q点时的加速度大于它在轨道2上经过Q点时的加速度

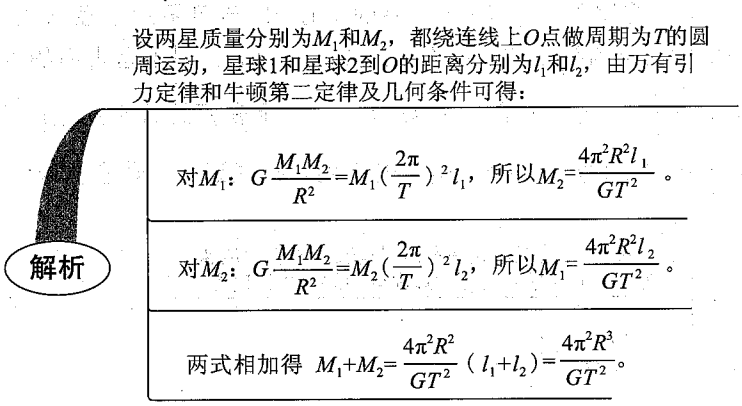
D. 卫星在轨道2上经过P点的加速度等于它在轨道3上经过P点时的加速度





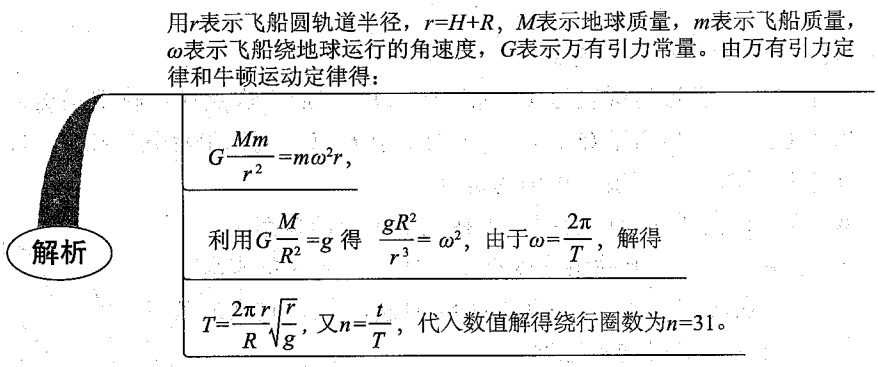
◎【答案】BD

例 6 两个星球组成双星，它们在相互之间的万有引力作用下，绕连线上某点做周期相同的匀速圆周运动。现测得两星中心距离为 R，其运动周期为 T，求两星的总质量。



◎【答案】$\frac{4\pi^2R^3}{GT^2}$

例 7 无人飞船“神舟”二号曾在离地高度为 $H=3.4\times10^5$ m 的圆轨道上运行了47 h。求在这段时间内它绕行地球多少圈？（地球半径 $R=6.37\times10^6$ m，重力加速度 g 取 9.8 m/s^2）



◎【答案】31 圈

例 8 卫星绕地球做匀速圆周运动，试估算最小周期为多少？（地球半径 $R=6.4\times10^6$ m）

分析：卫星的运行轨道半径越小，周期越小。所以卫星在近地轨道运行时周期为最小

周期。

解析：在地面附近，有 $mg=G\frac{Mm}{R^2}$，

由万有引力提供向心力，得 $G\frac{Mm}{R^2}=m\frac{4\pi^2}{T^2}R$，

两式联立得　$T=2\pi\sqrt{\frac{R}{g}}=5\,075\ \text{s}$。

◎【答案】5 075 s

同步检测

1. 下列说法中正确的是（　　）

   A. 开普勒发现了行星运动定律

   B. 牛顿较准确地测出了引力常量的数值

   C. 经典力学既适用于宏观世界，也适用于微观世界

   D. 经典力学既适用于低速运动，也适用于高速运动

2. “空间站”是科学家进行天文探测和科学试验的特殊而又重要的场所。假设“空间站”正在地球赤道平面内的圆周轨道上运行，其离地高度为同步卫星离地高度的十分之一，且运行方向与地球自转方向一致。下列关于该“空间站”的说法正确的有（　　）

   A. 运行的加速度一定等于其所在高度处的重力加速度

   B. 运行的速度等于同步卫星运行速度的$\sqrt{10}$倍

   C. 站在地球赤道上的人观察到它向东运动

   D. 在“空间站”工作的宇航员因受到平衡力而在其中悬浮或静止

3. 假如一个做圆周运动的人造地球卫星的轨道半径增大到原来的 2 倍，仍做圆周运动，则（　　）

   A. 根据公式 $v=\omega r$，可知卫星运动的线速度将增大到原来的 2 倍

   B. 根据公式 $F=m\frac{v^2}{r}$，可知卫星所需的向心力将减小到原来的$\frac{1}{2}$

   C. 根据公式 $F=G\frac{Mm}{r^2}$，可知地球提供的向心力将减小到原来的$\frac{1}{4}$

   D. 根据上述 B 和 C 中给出的公式，可知卫星运动的线速度将减小到原来的$\frac{\sqrt{2}}{2}$

4. 关于万有引力公式 $F=G\frac{m_1m_2}{r^2}$，以下说法中正确的是（　　）

   A. 公式只适用于星球之间的引力计算，不适用于质量较小的物体

   B. 当两物体间的距离趋近于 0 时，万有引力趋近于无穷大

   C. 两物体间的万有引力也符合牛顿第三定律

D. 公式中引力常量 G 的值是牛顿规定的

5. 设想把质量为 m 的物体放到地球的中心，地球的质量为 M，半径为 R，则物体与地球间的万有引力是（　　）

A. $G\frac{Mm}{R^2}$　　B. 无穷大　　C. 0　　D. 无法确定

6. 某同学设想驾驶一辆“陆地-太空”两用汽车沿地球赤道行驶，并且汽车相对于地球速度可以增加到足够大。当汽车速度增加到某一值时，它将成为脱离地面绕地球做圆周运动的“航天汽车”。不计空气阻力，已知地球的半径 $R=6\times10^6$ m。下列说法中正确的是（　　）

A. 汽车在地面上速度增加时，它对地面的压力增大

B. 当汽车速度增加到 7.9 km/s 时，将离开地面绕地球做圆周运动

C. 此“航天汽车”环绕地球做圆周运动的最小周期为 1 h

D. 在此“航天汽车”上可以用弹簧测力计测量物体的重力

7. 地球上有两位相距非常远的观察者，都发现自己的正上方有一颗人造地球卫星相对自己而言静止不动，则这两位观察者的位置以及两颗人造地球卫星到地球中心的距离可能是

A. 一人在南极，一人在北极，两卫星到地球中心的距离一定相等

B. 一人在南极，一个在北极，两卫星到地球中心的距离可以不等，但应成整数倍

C. 两人都在赤道上，两卫星到地球中心的距离一定相等

D. 两人都在赤道上，两卫星到地球中心的距离可以不等，但应成整数倍

8. 在研究宇宙发展演变的理论中，有一种学说叫“宇宙膨胀说”。这种学说认为引力常量 G 在缓慢地减小。根据这一理论，在很久很久以前，太阳系中地球的公转情况与现在相比（　　）

A. 公转半径 R 较大　　B. 公转周期 T 较小

C. 公转速率 v 较大　　D. 公转角速度 ω 较小

9. 设想人类开发月球，不断把月球上的矿藏搬运到地球上，假定经过长时间开采后，地球仍可看成是均匀的球体，月球仍沿开采前的圆周轨道运动，则与开采前相比（　　）

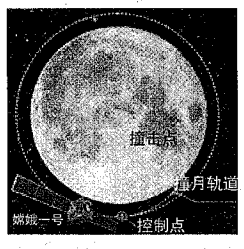
A. 地球与月球间的引力将增大　　B. 地球与月球间的引力将减小

C. 月球绕地球运动的周期将变长　　D. 月球绕地球运动的周期将变短

10. 若地球经过近日点和远日点时，速率分别为 v_1、v_2，受到太阳的万有引力分别为 F_1、F_2，则（　　）

A. $F_1>F_2$　　B. $F_1<F_2$　　C. $v_1<v_2$　　D. $v_1=v_2$

11. 为纪念伽利略将望远镜用于天文观测 400 周年，2009 年被定为以“探索我的宇宙”为主题的国际天文年。我国发射的“嫦娥”一号卫星绕月球经过一年多的运行，完成了既定任务，于 2009 年 3 月 1 日 16 时 13 分成功撞月。如图为“嫦娥”一号卫星撞月的模拟图，卫星在控制点开始进入撞月轨道。假设卫星绕月球做圆周运动的轨道半径为 R，周期为 T，引力常量为 G。根据题中信息，以下说法中正确的是（　　）



A. 可以求出月球的质量

B. 可以求出月球对“嫦娥”一号卫星的引力

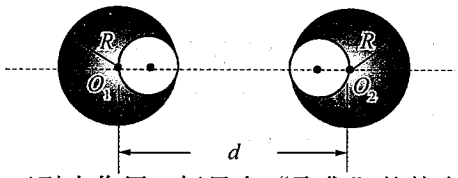
C. “嫦娥”一号卫星在控制点处应减速

D. “嫦娥”一号在地面的发射速度大于 11.2 km/s

12. 地球公转的轨道半径是 R_1，周期是 T_1；月球绕地球运转的轨道半径是 R_2，周期是 T_2。则太阳质量与地球质量之比是（　　）

A. $\dfrac{R_1^3T_1^2}{R_2^3T_2^2}$　　B. $\dfrac{R_1^3T_2^2}{R_2^3T_1^2}$　　C. $\dfrac{R_1^2T_1^2}{R_2^2T_2^2}$　　D. $\dfrac{R_1^2T_2^2}{R_2^2T_1^2}$

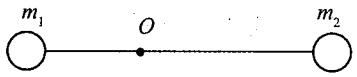
13. 如图所示，半径为 $R=0.2$ m 的两个均匀金属球，质量均为 $M=160$ kg，两球心相距 $d=2$ m，内部挖出一个半径为 $R/2$ 的球形空穴，空穴跟金属球相切。求挖出空穴后两球间万有引力的大小。



14. 现代观测表明，由于引力作用，恒星有“聚集”的特点。众多的恒星组成不同层次的恒星系统，最简单的恒星系统是两颗互相绕转的双星，如图所示，两星各以一定速率绕其连线上某一点匀速转动，这样才不至于因万有引力作用而吸引在一起。已知双星质量分别为 m_1、m_2，它们间的距离始终为 L，引力常量为 G，求：

(1) 双星旋转的中心 O 到 m_1 的距离。

(2) 双星的转动周期。



参考答案

1. A　2. AC　3. CD　4. C　5. C　6. B　7. C　8. BC　9. BD　10. A　11. AC　12. B

13. 将两球中挖出的部分分别放回两球中，设该填充球的质量均为 M'，则有

$$\frac{M'}{M}=\frac{\left(\frac{R}{2}\right)^3}{R^3}=\frac{1}{8},\ M'=\frac{M}{8}。$$

两完整球之间的万有引力为 $F=G\dfrac{M^2}{d^2}$，

两填充球之间的万有引力为 $F_1=G\dfrac{M'^2}{(d-R)^2}$，

填充球与另一完整球之间的万有引力为 $F'=G\dfrac{M'M}{\left(d-\frac{R}{2}\right)^2}$。

以 F_2、F_3 分别表示两空腔球之间和填充球与空腔球之间的万有引力，则有

$F=F_1+F_2+2F_3$，$F_3=F'-F_1$，

从而 $F_2=F+F_1-2F'=G\frac{M^2}{d^2}+G\frac{M'^2}{(d-R)^2}-2G\frac{M'M}{\left(d-\frac{R}{2}\right)^2}$

$=GM^2\left[\frac{1}{d^2}+\frac{1}{64\ (d-R)^2}-\frac{1}{(2d-R)^2}\right]$

$=6.67\times10^{-11}\times160^2\times\left[\frac{1}{2^2}+\frac{1}{64\times\ (2-0.2)^2}-\frac{1}{(2\times2-0.2)^2}\right]\text{N}$

$\approx3.2\times10^{-7}\ \text{N}$

14. 设双星旋转的中心 O 到 m_1 的距离为 x，由 $F_{引}=F_{向}$ 知

$$G\frac{m_1m_2}{L^2}=m_1\frac{4\pi^2}{T^2}x,\ G\frac{m_1m_2}{L^2}=m_2\frac{4\pi^2}{T^2}\ (L-x),$$

联立以上两式解得：

双星旋转的中心到 m_1 的距离为 $x=\frac{m_1}{m_1+m_2}L$，

双星的转动周期为 $T=2\pi L\sqrt{\frac{L}{G\ (m_1+m_2)}}$。

本章知识检测题

1. 2011 年 11 月 3 日，“神舟八号”飞船与“天宫一号”目标飞行器成功实施了首次交会对接。任务完成后“天宫一号”经变轨升到更高的轨道，等待与“神舟九号”交会对接。变轨前和变轨完成后“天宫一号”的运行轨道均可视为圆轨道，对应的轨道半径分别为 R_1、R_2，线速度大小分别为 v_1、v_2。则 $\frac{v_1}{v_2}$ 等于（　　）

A. $\sqrt{\frac{R_1^3}{R_2^3}}$　　B. $\sqrt{\frac{R_2}{R_1}}$

C. $\frac{R_2^2}{R_1^2}$　　D. $\frac{R_2}{R_1}$

2. 人造卫星绕地球做匀速圆周运动，其轨道半径为 R，线速度为 v，周期为 T。若要使卫星的周期变为 $2T$，可以采取的办法是（　　）

A. R 不变，使线速度变为 $v/2$　　B. v 不变，使轨道半径变为 $2R$

C. 使轨道半径变为 $\sqrt[3]{4}R$　　D. 使卫星的高度增加 R。

3. 地球赤道上的物体重力加速度为 g，物体在赤道上随地球自转的向心加速度为 a，要使赤道上的物体“飘”起来，则地球的转速应为原来的（　　）

A. g/a 倍　　B. $\sqrt{(g+a)\ /a}$ 倍

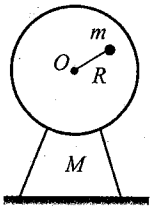
C. $\sqrt{(g-a)\ /a}$ 倍　　D. $\sqrt{g/a}$倍

4. 同步卫星离地距离 r，运行速率为 v_1，加速度为 a_1，地球赤道上的物体随地球自转的向心加速度为 a_2，第一宇宙速度为 v_2，地球半径为 R，则（　　）

A. $a_1/a_2=r/R$；　　B. $a_1/a_2=R^2/r^2$

C. $v_1/v_2=R^2/r^2$　　D. $v_1/v_2=\sqrt{R/r}$

5. 在质量为 M 的电动机飞轮上，固定着一个质量为 m 的重物，重物到轴的距离为 R，如图所示，为了使电动机不从地面上跳起，电动机飞轮转动的最大角速度不能超过（　　）



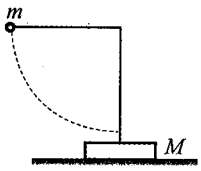
A. $\frac{M+m}{mR}\cdot g$　　B. $\sqrt{\frac{M+m}{mR}\cdot g}$

C. $\sqrt{\frac{M-m}{mR}\cdot g}$　　D. $\sqrt{\frac{Mg}{mR}}$

6. 一颗正在绕地球转动的人造卫星，由于受到阻力作用则将会出现（　　）

A. 速度变小　　B. 动能增大　　C. 角速度变小　　D. 半径变大

7. 如图所示，放置在水平地面上的支架质量为 M，支架顶端用细线拴着的摆球质量为 m，现将摆球拉至水平位置，而后释放，摆球运动过程中，支架始终不动。以下说法正确的应是（　　）



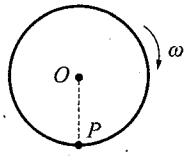
A. 在释放瞬间，支架对地面压力为 $(m+M)\ g$

B. 在释放瞬间，支架对地面压力为 Mg

C. 摆球到达最低点时，支架对地面压力为 $(m+M)\ g$

D. 摆球到达最低点时，支架对地面压力为 $(3m+M)\ g$

8. 有一个在水平面内以角速度 ω 匀速转动的圆台，半径为 R。如图所示，圆台边缘处坐一个人，想用枪击中台心的目标，如果枪弹水平射出，出口速度为 v，不计阻力的影响，则（　　）



A. 枪身与 OP 夹角成 $\theta=\sin^{-1}(\omega R/v)$ 瞄向圆心 O 点的右侧

B. 枪身与 OP 夹角成 $\theta=\sin^{-1}(\omega R/v)$ 瞄向圆心 O 点的左侧

C. 枪身与 OP 夹角成 $\theta=\tan^{-1}(\omega R/v)$ 瞄向圆心的左侧

D. 枪身沿 OP 瞄准 O 点

9. 某飞行员的质量为 m，驾驶飞机在竖直面内以速度 v 做匀速圆周运动，圆的半径为 R，在圆周的最高点和最低点比较，飞行员对坐椅的压力最低点比最高点大（设飞行员始终垂直坐椅的表面）飞行员对坐椅的压力差为（　　）

A. mg　　B. $2mg$　　C. $mg+\frac{mv^2}{R}$　　D. $\frac{2mv^2}{R}$

10. 一飞机以 150 m/s 的速度在高空中水平匀速飞行，相隔 1 s 先后释放 A、B 两物，关于 A、B 在运动过程中它们的位置关系，下列说法中正确的是（　　）

A. B 总在 A 的前方，水平方向距离为 150 m

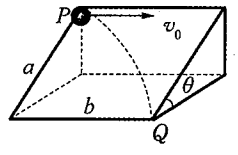
B. A 总在 B 的正下方 5 m 处

C. B 总在 A 的前斜上方

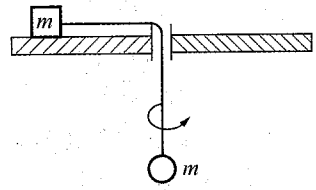
D. 以上说法都不正确

11. 河水流速为 4 m/s，AB 是河岸上的两点，其大小为河宽的 3 倍，要使船从 A 出发驶向与 B 正对的彼岸 C 位置，则船速至少应为_____m/s。

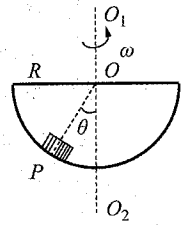
12. 如图所示，光滑斜面长为 a，宽为 b，倾角为 θ，一小物体沿斜面上方顶点 P 水平射入，从右下方顶点 Q 离开斜面，试求其入射的初速度 v_0。



13. 如图所示，质量为 m 的木块，用光滑细绳拴着，置于很大的水平转盘上，细绳穿过转盘中央的细管，与质量也为 m 的小球相连，木块的最大静摩擦力为其重力的 μ 倍（$\mu=0.2$），当转盘以角速度 $\omega=4$ 弧度/秒匀速转动时，要保持木块与转盘相对静止，木块转动的轨道半径的范围是多少？



14. 内壁光滑的半球形容器，可绕过球心 O 的竖直轴 O_1O_2 转动，在容器中放一个小物体 P（可视为质点）。当容器以某一角速度 ω 旋转时，物体 P 在如图所示位置恰能保持相对静止。已知半球的半径为 R，$\angle POO_2=\theta$，求角速度 ω。



参考答案

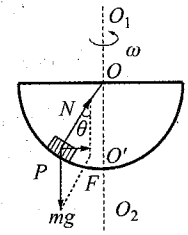
1. B　2. C　3. D　4. AD　5. B　6. B　7. BD　8. A　9. B　10. D

11. 1.26

12. $b\sqrt{\dfrac{g\sin\theta}{2a}}$

13. 0.735 m$\geqslant R\geqslant$0.49 m

14. 物体 P 随半球形容器做匀速圆周运动，其轨道平面为水平面，圆心为 O'，如图所示，P 所受合力 $F=mg\tan\theta$ 为向心力，则有



$mg\tan\theta=m\omega^2r=m\omega^2R\sin\theta$，

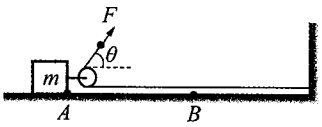
$\omega=\sqrt{\dfrac{g}{R\cos\theta}}$

第五章　机械能守恒定律

第一节　功　功率　动能、势能和动能定理

解题指南

例 1　质量为 m 的物块放在光滑的水平面上，细绳绕过滑轮后与水平方向成 θ 角，大小为 F 的恒力始终沿绳方向拉绳的末端，如图所示。将物块由 A 点拉至 B 点，前进的距离为 s，求恒力 F 所做的功。

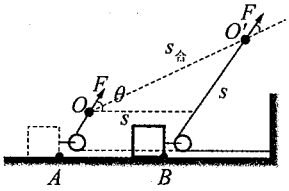


解法1：本题中F为恒力，作用在绳上，但在作用过程中整个绳的形状有所改变，应用$W=FL\cos\theta$时，L取作用点相对地面的位移。

解析

解法2：因为细绳本身不消耗和储存能量，故力F对细绳做的功等于细绳对滑轮做的功。转换对象求解。

◇【解】解法一：其实，力 F 的作用点为细绳的末端 O。当物体在水平方向移动 s 时，力 F 需将细绳拉过 s 长度，力 F 的作用点既有水平移动，又有沿绳的移动，其合位移 $s_{合}$ 方向由 O 指向 O'，$s_{合}=2s\cos\dfrac{\theta}{2}$。



F 与 $s_{合}$ 方向的夹角 $\alpha=\theta/2$，由功的定义得：

$$W=Fs_{合}\cos\frac{\theta}{2}=2Fs\cos^2\frac{\theta}{2}=Fs\ (1+\cos\theta)。$$

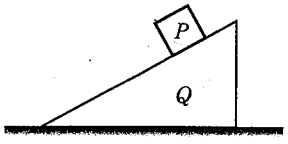
解法二：因为细绳本身不消耗和储存能量，故力 F 对细绳做的功等于细绳对滑轮做的功。

又因为合力做功等于各分力做功的代数和，故有

$$W_F=Fs+Fs\cos\theta=Fs\ (1+\cos\theta)。$$

◎【答案】$Fs(1+\cos\theta)$

例 2　小物块 P 位于光滑的斜面上，斜面 Q 位于光滑的水平地面上，如图所示，从地面上看，在小物块沿斜面下滑的过程中，斜面对小物块的作用力（　　）



A. 垂直于接触面，做功为零

B. 垂直于接触面，做功不为零

C. 不垂直于接触面，做功为零

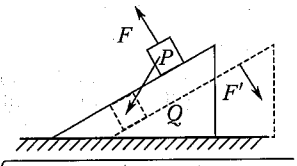
D. 不垂直于接触面，做功不为零

错解：斜面对小物块的作用力垂直于接触面，作用力与物体的位移垂直，故做功为零，即A选项正确。

解析

分析纠错：小物块P在下滑过程中和斜面之间有一对相互作用力F和F'，垂直于接触面。如果把斜面Q固定在水平桌面上，物体P的位移方向和弹力方向垂直，这时斜面对物块P不做功。

但此题告诉的条件是斜面放在光滑的水平面上，可以自由滑动。此时弹力方向仍然垂直与斜面，但是物块P的位移方向却是从初位置指向末位置，如图所示。弹力和位移方向不再垂直而是成一钝角，所以弹力对小物块P做负功。



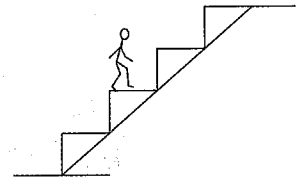
B对

注意：$W=FL\cos\alpha$中L的含义是物体相对于地面的位移。

也可得到弹力对斜面做正功，一对相互作用力作用之和为0，物块和斜面系统没有机械能向其他形式的能量转化，只是物块的机械能减少，斜面的机械能增加，物块机械能的减少量与斜面机械能的增加量相等，也可以说，物块的重力势能转化为物块和斜面的动能。

◎【答案】B

例3 自动扶梯以恒定的速度v_1运转，运送人员上楼。某人第一次站到扶梯上后相对扶梯静止不动，扶梯载人上楼过程中做功为W_1，做功功率为P_1。第二次这人在运动的扶梯上又以相对扶梯的速度v_2同时匀速向上走，这次扶梯做功W_2，做功功率P_2。则以下说法中正确的是（　　）



A. $W_1>W_2$，$P_1>P_2$　　B. $W_1>W_2$，$P_1=P_2$

C. $W_1=W_2$，$P_1<P_2$　　D. $W_1=W_2$，$P_1=P_2$

解析

(1) 在扶梯上，人相对扶梯静止不动和人相对于扶梯匀速向上行走，相对地面上的人都是做匀速直线运动，两次人均处于平衡状态，两次人的受力情况相同，即扶梯对人向上的支持力等于重力。

(2) 两次扶梯提供的速率v不变，由公式$P=Fv\cos\alpha$可知，两次扶梯做功的功率不变，即$P_1=P_2$。

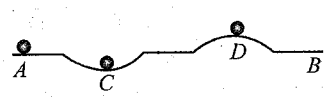
(3) 但两次上楼所用时间不同，$t_1>t_2$，据$W=Pt$知，$W_1>W_2$。

也可以从功能关系上来解释，虽然扶梯两次都是把人运上去，人的动能不变，重力势能增量相同，但第一次全部是电梯做功的效果，而第二次除了扶梯做功以外，人自己也做了功，消耗了自身的能量。所以$W_1>W_2$。

综上，B对。

◎【答案】B

例4 如图所示，小球以大小为v_0的初速度由A端向右运动，到B端时的速度减小为v_B；若以同样大小的初速度由B端向左运动，到A端时的速度减小为v_A。已知小球运动过程中始终未离开该粗糙轨道，途中经过两圆弧面。比较v_A、v_B的大小，结论是（　　）

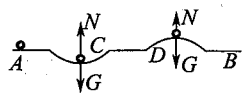


A. $v_A > v_B$　　B. $v_A = v_B$

C. $v_A < v_B$　　D. 无法确定

解析

(1) 物体从A到B，和从B到A两种情况下路程相同；全过程中重力做功之和为0，只有摩擦力做功，摩擦力始终与运动方向相反，但大小是变化的。注意分析圆周运动的受力特点。



(2) 小球向右通过凹槽C时的速率比向左通过凹槽C时的速率大。　$N-mg=\frac{mv^2}{R}$，可知对应的弹力N一定大，滑动摩擦力也大，克服阻力做的功多。

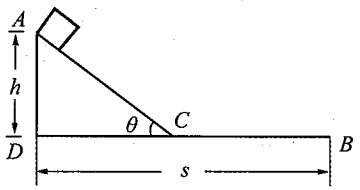
(3) 又小球向右通过凸起D时的速率比向左通过凸起D时的速率小。　$mg-N=\frac{mv^2}{R}$，可知对应的弹力N一定大，滑动摩擦力也大，克服阻力做的功多。

所以小球向右运动全过程克服阻力做功多，动能损失多，末动能小。　A对

◎【答案】A

例 5　如图所示，物体从高为 h 的斜面体的顶端 A 由静止开始滑下，滑到水平面上的 B 点停止，A 到 B 的水平距离为 s，已知斜面体和水平面都由同种材料制成。

求物体与接触面间的动摩擦因数。



解析　使用动能定理求解多过程问题

(1) 了解由哪些过程构成，选哪个过程研究；

(2) 分析每个过程物体的受力情况；

(3) 各个力做功有何特点，对动能的变化有无贡献；

(4) 从总体上把握全过程，表达出总功，找出初、末状态的动能；

(5) 对所研究的过程运用动能定理列方程。

◇【解】解法一：过程分段法

设物体质量为 m，斜面长为 l，物体与接触面间的动摩擦因数为 μ，斜面与水平面间的夹角为 θ，滑到 C 点的速度为 v，根据动能定理有：

$$mgh-\mu mgl\cos\theta=\frac{1}{2}mv^2-0,$$

$$s_{DC}=l\cos\theta,$$

物体从 C 滑到 B，根据动能定理得：$-\mu mgs_{CB}=0-\frac{1}{2}mv^2$，

联立上式解得：$\mu=\frac{h}{s}$。

解法二：过程整体法

根据动能定理有：

$$mgh-\mu mgl\cos\theta-\mu mgs_{CB}=0,$$

$$s_{CB}+l\cos\theta=s,$$

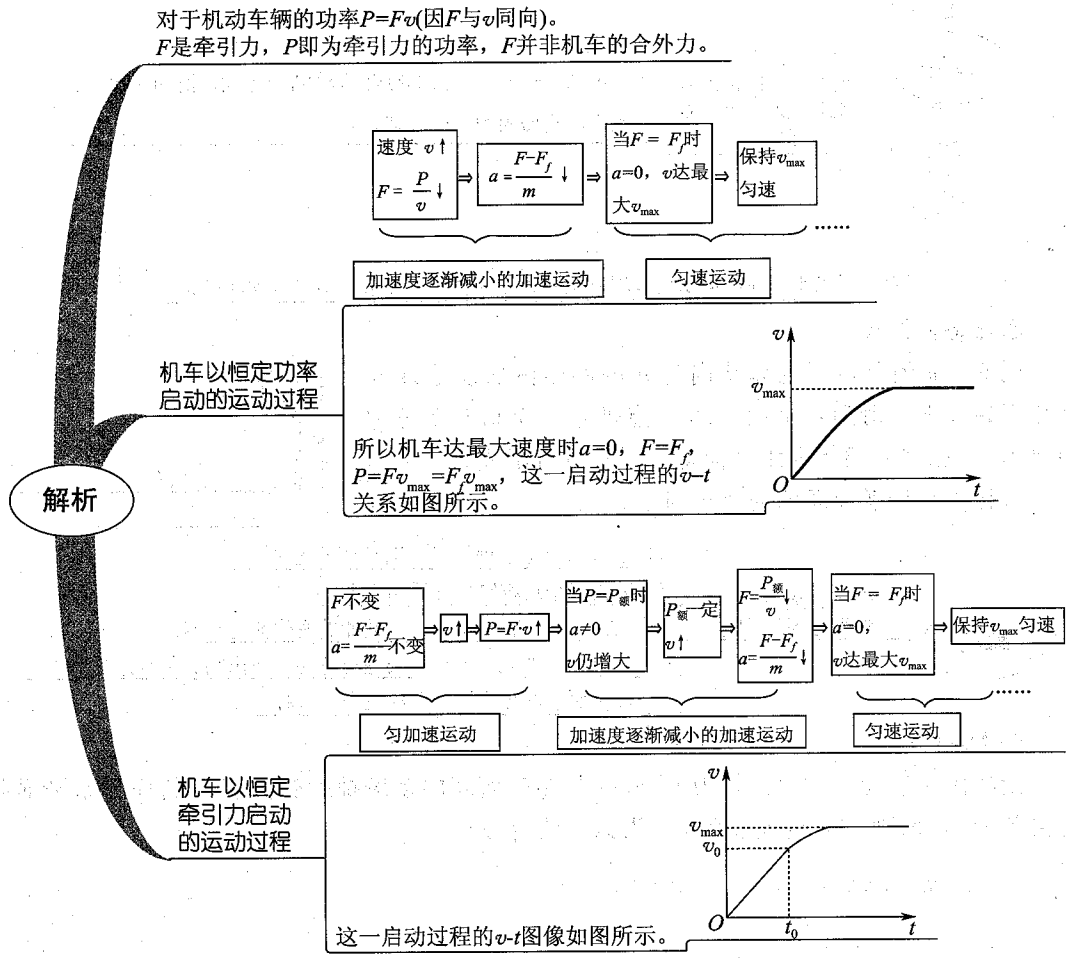
联立解得：$\mu=\frac{h}{s}$。

◎【答案】$\mu=\frac{h}{s}$

例 6　某汽车发动机的额定功率为 $P=6.0\times10^4$ W，汽车的质量为 $m=5\times10^3$ kg，该车在水平路面上沿直线行驶时，阻力是车重的 0.1 倍，g 取 10 m/s^2。试求：

(1) 汽车保持额定功率的大小由静止启动后能达到的最大速度是多少？

(2) 若汽车从静止开始保持以 $a=0.5$ m/s^2 的加速度做匀加速运动，这一过程能维持多长时间？



◇【解】(1) 设汽车以额定功率启动达到最大速度时牵引力为 F，此时汽车的加速度 $a=0$。

根据牛顿第二定律和功率的表达式：

$$F-F_f=ma=0,$$

$$F_f=0.1mg,$$

$$P=Fv_{max},$$

联立解得：$v_{max}=12$ m/s。

(2) 设汽车从静止开始做匀加速运动直至终止时速度为 v，这一过程所用时间为 t，由于速度为 v 时汽车的实际功率等于汽车的额定功率，设此时牵引力为 F'，根据匀变速运动公式和牛顿第二定律得：

$$F'-F_f=ma,$$

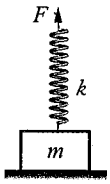
$$v=at,$$

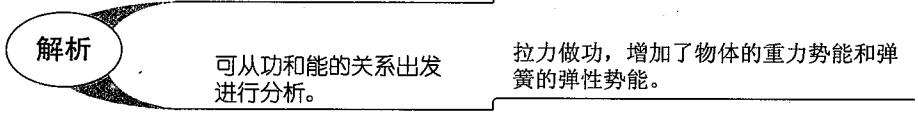
$$F'v=P,$$

联立解得：$t=16$ s。

◎【答案】(1) 12 m/s　(2) 16 s

例 7　如图所示，质量为 m 的物体静止在地面上，物体上面连着一个直立的轻质弹簧，弹簧的劲度系数为 k。现用手拉住弹簧上端，使弹簧上端缓慢提升高度 h，此时物体已经离开地面，求拉力所做的功。





◇【解】从拉力做功的效果出发进行分析，拉力做功，增加了物体的重力势能和弹簧的弹性势能。

物体刚好离开地面时，弹簧的伸长量为 $x=\frac{mg}{k}$，

可见物体上升的高度为 $\Delta h=h-x=h-\frac{mg}{k}$，

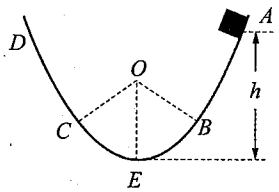
从而，物体重力势能的增加量为 $\Delta E_p=mg\Delta h=mg\left(h-\frac{mg}{k}\right)$，

弹簧弹性势能的增加量为 $\Delta E'=\frac{1}{2}kx^2=\frac{m^2g^2}{2k}$，

所以拉力做的功为 $W=\Delta E_p+\Delta E'=mg\left(h-\frac{mg}{2k}\right)$。

◎【答案】$mg\left(h-\frac{mg}{2k}\right)$

例 8　如图所示，AB 和 CD 为两个对称斜面，其上部足够长，下部分别与一个光滑圆弧面的两端相切，圆弧所对圆心角为 120°，半径 $R=2$ m，整个装置处在竖直平面内。一个物体在离弧底 E 的高度 $h=3$ m 处以速率 $v_0=4$ m/s 沿斜面向下运动，若物体与斜面间的动摩擦因数 $\mu=0.02$，试求物体在斜面（不包括圆弧部分）上能走多长的路程？



物体在斜面上受力分析，重力的斜向下分力$mg\sin 60°$大于滑动摩擦力$\mu mg\cos 60°$，物体将从右侧加速下滑，在圆弧段不受摩擦力，接着上滑到左侧(减速)，速度减为0后再加速下滑，通过圆弧段再减速上升到右侧最高点，如此反复，由于克服摩擦力做功，机械能向内能转化，物体每次上升的最高点总比前一次要低，最终在BC之间往复运动，整个运动过程分析细节非常复杂。

解析

可用动能定理分析全过程。整个过程只有重力和摩擦力做功，重力是恒力，做功与路径无关，只与初末位置有关，可用$W=FL$(L为力的方向上的位移)；摩擦力是变力，但大小不变，方向始终与运动方向相反，因而可用$W=-Fs_{\text{相}}$($s_{\text{相}}$为物体在斜面上的路程)。

根据动能定理列式，分析物体从出发到最终在B、C之间往复的全过程，末状态取在B点或C点(速度为0)。

◇【解】设物体在斜面上走过的路程为 s，经分析，物体在运动过程中只有重力和摩擦力对它做功，最后的状态是在 B、C 之间来回运动，则在全过程中，由动能定理得：

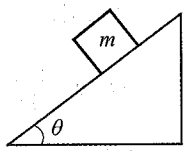
$$mg[h-R\ (1-\sin 30°)]-\mu mg\cos 60°=0-\frac{1}{2}mv_0^2,$$

代入数据，解得：$s=280$ m。

◎【答案】280 m

同步检测

1. 质量为 m 的物块始终固定在倾角为 θ 的斜面上，下列说法中正确的是（　　）



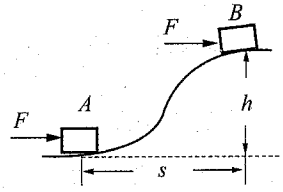
A. 若斜面向右匀速移动距离 s，斜面对物体没有做功

B. 若斜面向上匀速移动距离 s，斜面对物体做功 mgs

C. 若斜面向左以加速度 a 移动距离 s，斜面对物体做功 mas

D. 若斜面向下以加速度 a 移动距离 s，斜面对物体做功 $m(g+a)s$

2. 质量为 m 的小车在水平恒力 F 推动下，从山坡底部 A 处由静止起运动至高为 h 的坡顶 B，获得速度为 v，AB 的水平距离为 s。下列说法正确的是（　　）



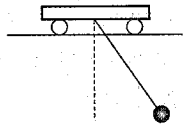
A. 小车克服重力所做的功是 mgh

B. 合力对小车做的功是 $mv^2/2$

C. 推力对小车做的功是 $Fs-mgh$

D. 阻力对小车做的功是 $mv^2/2+mgh-Fs$

3. 如图所示，一辆玩具小车静止在光滑的水平导轨上，一个小球用细绳悬挂在车上，由图中位置无初速释放，则小球在下摆过程中，下列说法正确的是（　　）



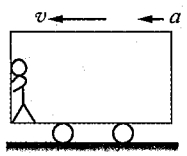
A. 绳对车的拉力对车做正功

B. 绳的拉力对小球不做功

C. 小球所受的合力对小球不做功

D. 绳的拉力对小球做负功

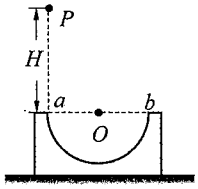
4. 在加速运动的车厢中，一个人用力向前推车厢，如图所示，人相对车厢未移动，则下列说法正确的是（　　）



A. 人对车不做功　　B. 人对车做负功

C. 推力对车做正功　　D. 人对车做正功

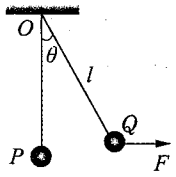
5. 如图所示，固定在地面上的半圆轨道直径 ab 水平，质点 P 从 a 点正上方高 H 处自由下落，经过轨道后从 b 点冲出竖直上抛，上升的最大高度为 $2H/3$，空气阻力不计。当质点下落再经过轨道 a 点冲出时，能上升的最大高度 h 为（　　）



A. $h = 2H$　　B. $h = H/3$

C. $h < H/3$　　D. $H/3 < h < 2H/3$

6. 一质量为 m 的小球，用长为 l 的轻绳悬挂于 O 点，小球在水平力 F 作用下，从最低点 P 缓慢地移到 Q 点，如图所示，则在此过程中（　　）



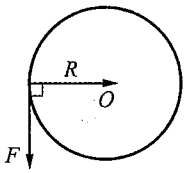
A. 小球受到的合力做功为 $mgl\ (1-\cos\theta)$

B. 拉力 F 的功为 $Fl\sin\theta$

C. 重力势能的变化为 $mgl\ (1-\cos\theta)$

D. 水平力 F 做功 $mgl\ (1-\cos\theta)$

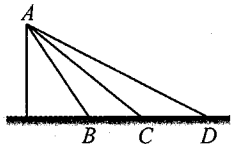
7. 如图所示，某个力 $F=10$ N 作用于半径为 $R=1$ m 的转盘的边缘上，力 F 的大小保持不变，但方向保持任何时刻均与作用点的切线一致，则转动一周这个力 F 做的总功为（　　）



A. 0 J　　B. 20π J

C. 10 J　　D. 20 J

8. 如图所示，一物体由静止开始，从 A 点出发分别沿三个倾斜角度不同但高度相同的光滑斜面滑下，并滑至同一水平面上的 B、C、D 三点。则（　　）



A. 物体到达 B、C、D 三点时速度相同

B. 物体到达 B、C、D 三点时重力的瞬时功率相等

C. 物体沿 AD 斜面下滑重力的平均功率最大

D. 物体沿 AB 斜面下滑的加速度数值最大

9. 一辆汽车在平直的公路上以速度 v_0 开始加速行驶，经过一段时间 t，前进了距离 l，此时恰好达到其最大速度 v_m，设此过程中发动机始终以额定功率 P 工作，汽车所受阻力恒定为 F，则在这段时间里，发动机所做的功为（　　）

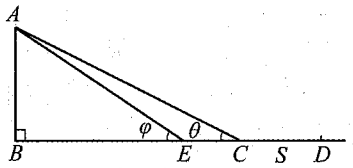
A. $Fv_m t$　　B. Pt

C. $\frac{1}{2}mv_m^2+Fl-\frac{1}{2}mv_0^2$　　D. $Ft\frac{v_0+v_m}{2}$

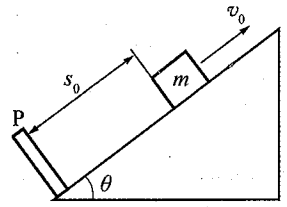
10. 人的心脏每跳一次大约输送 8×10^{-5} m^3 的血液，正常人血压（可看做心脏压送血液的压强）的平均值约为 1.5×10^4 Pa，心跳约每分钟 70 次，据此估测心脏工作的平均功率为_____。

11. 如图所示，BD 为一水平面，AC 是斜面，一物体从 A 点由静止开始沿 AC 滑下，

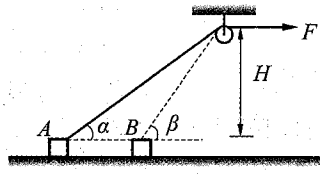
滑至 D 点时速度刚好为 0，如果斜面改为 AE（$\varphi>0$），且该物体从 A 点由静止开始沿 AE 滑下，最终物体静止于水平面上的 F 点（图中未画出）。试推断 F 点在 D 点的左边、右边、还是与 D 点重合。（已知物体与接触面之间的动摩擦因数处处相同，不计物体通过 E 或 C 点时的能量损失）



12. 如图所示，斜面倾角为 θ，滑块质量为 m，滑块与斜面的动摩擦因数为 μ，从距挡板为 s_0 的位置以 v_0 的速度沿斜面向上滑行。设重力沿斜面的分力大于滑动摩擦力，且每次与 P 碰撞前后的速度大小保持不变，斜面足够长。求滑块从开始运动到最后停止滑行的总路程 s。



13. 如图在光滑的水平面上，物块在恒力 $F=100$ N 的作用下从 A 点运动到 B 点，不计滑轮的大小，不计绳与滑轮的质量及绳、滑轮间的摩擦，$H=2.4$ m，$\alpha=37°$，$\beta=53°$，求绳的拉力对物体所做的功。

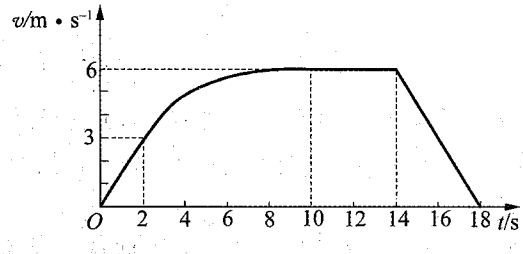


14. 某兴趣小组对一辆自制遥控小车的性能进行研究。他们让这辆小车在水平的直轨道上由静止开始运动，并将小车运动的全过程记录下来，通过处理转化为 $v-t$ 图像，如图所示（除 2～10 s 时间段图像为曲线外，其余时间段图像均为直线）。已知在小车运动的过程中，2～14 s 时间段内小车的功率保持不变，在 14 s 末停止遥控而让小车自由滑行，小车的质量为 1.0 kg，可认为在整个运动过程中小车所受到的阻力大小不变。求：

（1）小车所受到的阻力大小。

（2）小车匀速行驶阶段的功率。

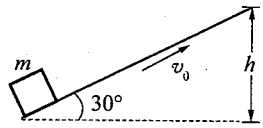
（3）小车在加速运动过程中位移的大小。



15. 如图所示，绷紧的传送带在电动机带动下，始终保持以 $v_0=2$ m/s 的速度匀速运行，传送带与水平地面的夹角 $\theta=30°$，现把一质量 $m=10$ kg 的工件轻轻地放在传送带的底端，由传送带传送至 $h=2$ m 的高处，已知工件与传送带间的动摩擦因数 $\mu=\sqrt{3}/2$，g 取 10 m/s^2。

(1) 试通过计算分析工件在传送带上做怎样的运动。

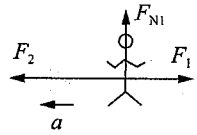
(2) 工件从传送带底端运动至 $h=2$ m 高处的过程中摩擦力对工件做了多少功?



参考答案

1. ABC　2. ABD　3. AD

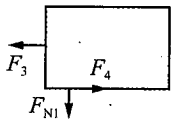
4. BC　解析：(1) 对人，如图 (a) 所示，车厢对人的作用力有：车厢对人的弹力 F_1，车厢底对人的支持力 F_{N1}，车厢底对人的静摩擦力 F_2，设车厢的位移为 s，则车厢对人做的功 $W_1=F_2s-F_1s$，由于人和车都在做加速运动，故有 $F_2-F_1=ma$，因而 $F_2>F_1$，故 $W_1>0$。



图(a)

(2) 对车厢，如图 (b) 所示，人对车厢的作用力有：推力 F_3，对底板的压力 F_{N2}，人对车的摩擦力 F_4，则人对车厢做的功 $W_2=F_3s-F_4s$。

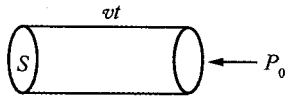
由于 $F_3=F_1$，$F_4=F_2$，所以 $F_3<F_4$，故有 $W_2<0$。由以上分析可知：人对车做负功，推力对车做正功，车对人做正功。



图(b)

5. D　6. CD　7. B　8. D　9. ABC

10. 1.4 W　解析：人的心脏每跳一次输送的血液看做长为 L，截面积为 S 的液柱，心脏每跳一次需做的功为 $W=FL=pSL=p\Delta V$，心跳每分钟 70 次，则心脏工作的平均功率为 $P=W/t=1.4$ W。



11. F 和 D 重合　解析：设斜面的高度为 h，对物体滑下的全过程应用动能定理有：$mgh-\mu mg\cos\theta\cdot AC-\mu mg\,CD=0$，即 $mgh-\mu mgBD=0$，$BD=\dfrac{h}{\mu}$。可见最后静止的位置和倾斜角 θ 无关，F 和 D 应重合。

12. $\dfrac{s_0\tan\theta}{\mu}+\dfrac{v_0^2}{2\mu g\cos\theta}$

13. 100 J　解析：绳的拉力对物体来说是个变力（大小不变，方向改变），但分析发现，人拉绳却是恒力，于是转换研究对象，用人对绳子做的功来求绳对物体所做的功 $W=Fl=F\left(\dfrac{H}{\sin\alpha}-\dfrac{H}{\sin\beta}\right)=100$ J。

14. (1) 1.5 N　(2) 9 W　(3) 42 m

15. (1) 工件先以 2.5 m/s^2 的加速度做匀加速直线运动，运动 0.8 m 与传送带达到相同速度 2 m/s 后做匀速直线运动。　解析：(1) 工件刚放上传送带时受到沿斜面向上的

滑动摩擦力：$F=\mu mg\cos\theta$。

工件开始做匀加速直线运动，由牛顿第二定律 $F-mg\sin\theta=ma$，可得：$a=g(\mu\cos\theta-\sin\theta)=2.5\ \text{m/s}^2$。

设工件经过位移 x 与传送带达到相同速度，$x=v_0^2/2a=0.8\ \text{m}<h/\sin\theta=4\ \text{m}$，

故工件先以 $2.5\ \text{m/s}^2$ 的加速度做匀加速直线运动，运动 0.8 m 与传送带达到相同速度 2 m/s 后做匀速直线运动。

(2) 220 J　解析：(2) 在工件从传送带底端运动至 $h=2$ m 高处的过程中，设摩擦力对工件做功 W_F，

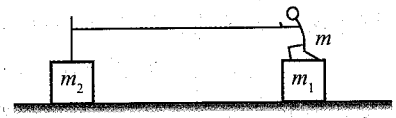
由动能定理得：$W_F-mgh=\frac{1}{2}mv_0^2$，

可得 $W_F=220$ J。

第二节　机械能守恒定律与能量守恒定律

解题指南

例 1　质量为 m_1、m_2 的两物体，静止在光滑的水平面上，质量为 m 的人站在 m_1 上用恒力 F 拉绳子，经过一段时间后，两物体的速度大小分别为 v_1 和 v_2，位移分别为 s_1 和 s_2，如图所示。则这段时间内此人所做的功的大小等于（　　）



A. Fs_2　　B. $F(s_1+s_2)$

C. $\frac{1}{2}m_2v_2^2$　　D. $\frac{1}{2}m_2v_2^2+\frac{1}{2}(m+m_1)v_1^2$

错解：人所做的功等于拉力F对物体m_2所做的功$W=Fs_2$，由动能定理可得：$Fs_2=\frac{1}{2}m_2v_2^2$。

人做的功就是人体消耗化学能的量度，不少学生错误地认为只是人对其他物体作用力所做的功。

解析

分析纠错：根据能量守恒可知，人通过做功消耗的化学能将全部转化为物体m_1和m_2的动能以及人的动能。所以人做的功的大小：$F(s_1+s_2)=\frac{1}{2}m_2v_2^2+\frac{1}{2}(m+m_1)v_1^2$。

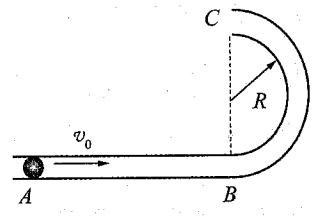
BD正确

◎【答案】BD

例 2　光滑圆管形轨道 AB 部分平直，BC 部分是处于竖直平面内半径为 R 的半圆，圆管截面半径 $r\ll R$，有一质量 m，半径比 r 略小的光滑小球以水平初速 v_0 射入圆管，

(1) 若要小球能从 C 端出来，初速度 v_0 应为多大？

(2) 在小球从 C 端出来的瞬间，对管壁的压力为 $\frac{1}{2}mg$，那



么小球初速度 v_0 应为多大?

解析

小球在细管内运动时，因不受摩擦力，只有重力做功，故机械能守恒，动能转化为重力势能。

若不取零势能面，则可利用动能的减少量等于重力势能的增加量。

本题中还要利用圆周运动的知识，从C端飞出时的速度大小决定了小球在C处对管壁有无压力，压力是什么方向。故对小球受力分析，讨论各种情况。

对单个物体研究，也可采用动能定理。

◆【解】(1) 要使小球能运动到 C 处，且从 C 端出来，必须满足 $v_C \geqslant 0$，

由机械能守恒定律，小球从 A 到 C 的过程中：$\frac{1}{2}mv_0^2-\frac{1}{2}mv_C^2=mg\cdot 2R$，　①

即 $\frac{1}{2}mv_0^2 \geqslant 2mgR$，

所以 $v_0 \geqslant 2\sqrt{gR}$。

(2) 小球在 C 处受到的弹力为 $F_N=\frac{1}{2}mg$，　②

讨论：若弹力向下时有 $F_N+mg=\frac{mv_C^2}{R}$，　③

由①②③式得：$v_0=\sqrt{5.5gR}$。

若弹力向上时有 $mg-F_N=\frac{mv_C^2}{R}$，　④

由①②④式得 $v_0=\sqrt{4.5gR}$。

◎【答案】(1) $v_0 \geqslant 2\sqrt{gR}$　(2) 若小球受到向下的弹力时，$v_0=\sqrt{5.5gR}$；若小球受到向上的弹力时，$v_0=\sqrt{4.5gR}$

例 3　如图所示，有一条长为 L 的均匀金属链条，一半长度在光滑斜面上，斜面倾角为 θ，另一半长度沿竖直方向向下垂在空中，当链条从静止开始释放后链条滑动，求链条刚好全部滑出斜面时的速度是多大。

解析

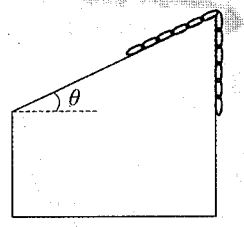
释放后的链条，竖直方向的一半向下运动，放在斜面上的一半向上运动，由于竖直部分越来越多，所以链条做的是变加速运动，不能用一般运动公式去求解。

因为斜面光滑，所以链条机械能守恒，重力势能转化为动能。

采用表达式：$E_1=E_2$，

此种表达式必须先选取零势能面，

初状态下的重力势能可分为两段直链条考虑，均匀直链条的重心在其中点位置。



◇【解】由于不受摩擦力，释放后的链条运动过程机械能守恒，重力势能转化为动能。

设斜面最高点为零势能点，链条总质量为 m，

开始时左半部分的重力势能为 $E_{p1}=-\frac{mg}{2}\cdot\frac{L}{4}\sin\theta$，

右半部分的重力势能 $E_{p2}=-\frac{mg}{2}\cdot\frac{L}{4}$，

机械能 $E_1=E_{p1}+E_{p2}=-\frac{mg}{8}L\ (1+\sin\theta)$，　　①

当链条全部滑出斜面时，重力势能 $E_p=-mg\frac{L}{2}$，

动能 $E_k=\frac{1}{2}mv^2$，

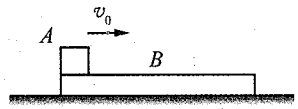
机械能 $E_2=E_p+E_k=-\frac{1}{2}mgL+\frac{1}{2}mv^2$，　　②

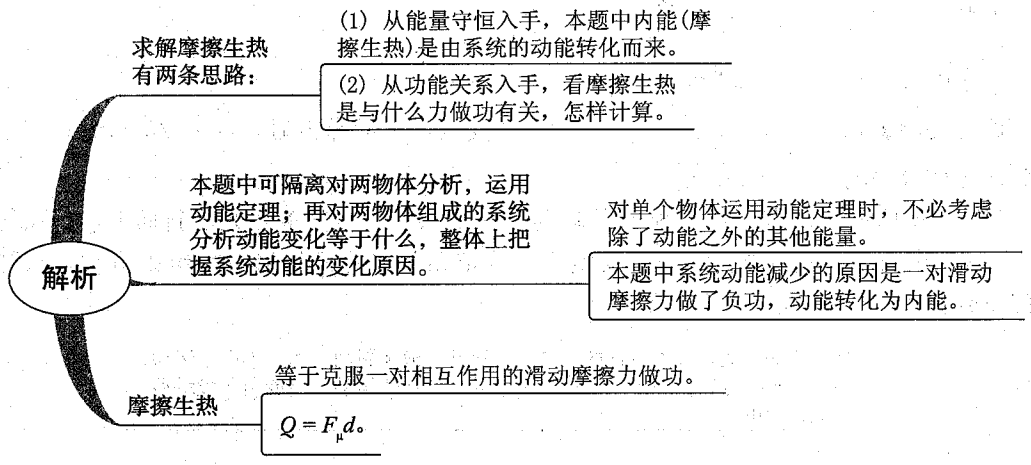
机械能守恒 $E_1=E_2$，　　③

由①②③式得 $v=\frac{\sqrt{gL\ (3-\sin\theta)}}{2}$。

◎【答案】$v=\frac{\sqrt{gL\ (3-\sin\theta)}}{2}$

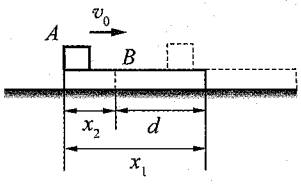
例 4　如图所示，一小铁块 A 以某一水平速度冲上放置在光滑水平面上的木板 B 上，由于 A、B 之间的摩擦力作用，小铁块 A 相对于木板 B 滑行了一段距离 d，两者就相对静止，已知 A、B 之间的滑动摩擦力为 F_μ，试求这一过程中系统中产生的热量。





◇【解】

设小物块 A 和木板 B 的质量分别为 m、M，小物块 A 的初速度为 v_0，两者达到的共同速度为 v，从 A 冲上 B 到两者达到共同速度 A、B 发生的位移分别为 x_1、x_2，如图所示。由动能定理对于 A 有 $-F_\mu x_1=\frac{1}{2}mv^2-\frac{1}{2}mv_0^2$，　　①



对于 B 有 $F_\mu x_2=\frac{1}{2}Mv^2-0$，　　②

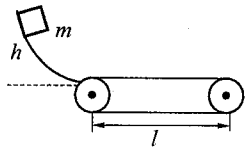
而 $x_1-x_2=d$，　　③

整理①、②和③式得 $F_\mu d=\frac{1}{2}mv_0^2-\frac{1}{2}(m+M)v^2$。　　④

从④式可以看出，等号的右边是系统在这个过程中机械能的减少量，根据能量守恒定律，减少的机械能转化成了系统的热能 Q，故 $Q=F_\mu d$。

◎【答案】$Q=F_\mu d$

例 5　如图所示，水平放置的传送带与一光滑曲面相接，一小滑块质量为 $m=0.1$ kg，从离传送带 $h=0.2$ m 高处由静止滑下，传送带水平部分长 $l=1.8$ m，滑块与传送带间的动摩擦因数 $\mu=0.1$。（g 取 10 m/s^2）



（1）把传送带固定不动，问滑块能否滑离传送带？产生多少热量？

（2）传送带逆时针以 $v_2=1$ m/s 匀速运动，问滑块能否滑离传送带？产生多少热量？

（3）传送带顺时针以 $v_3=1$ m/s 匀速运动，求滑块滑离传送带的时间及产生的热量。

解析

关键弄清滑块在传送带上的运动情况（需讨论）

若传送带不动，滑块可能一直减速到0，停在传送带上；也可能一直减速到传送带右端时速度还未减速到0，冲出传送带。滑块相对传送带的滑行距离为滑块对地位移大小。

若传送带逆时针转，滑块可能向右减速到0再反向加速，直到和传送带速度相同，再匀速运动到传送带左端（或者一直加速到左端时还没达到跟传送带速度相同）；也可能一直减速到传送带右端冲出去。滑块相对传送带滑行距离为滑块对地向右位移大小和传送带向左传送距离之和。

若传送带顺时针转，传送带速度大于滑块初速度时，滑块先加速到跟传送带速度相同再匀速（也可能一直加速到右端）；传送带速度小于滑块初速度时，滑块先减速到与传送带速度相同再匀速（也可能一直减速到右端）。滑块相对传送带滑行距离之和为滑块位移与传送带位移之差的大小。

摩擦生热的计算

$Q=\mu mg\Delta l$，

Δl为滑块相对传送带滑行的距离。

◇【解】（1）假设传送带足够长，滑块滑行距离为 l_0，在整个过程中运用动能定理：

$mgh-\mu mgl_0=0$，

则 $l_0=2$ m$>l$，

故能滑离传送带。

产生热量 $Q_1=\mu mg\Delta l_1=\mu mgl=0.18$ J。

（2）传送带逆时针转，滑块滑上后受到向左的滑动摩擦力，向右减速运动。若传送带足够长，则会减速至 0 后反向加速至与传送带速度相等。

由于 $l<l_0$，滑块向右速度未减小为 0 就滑离传送带。

滑块在斜面下滑过程中机械能守恒，刚滑到传送带时速度为 v_0，

$mgh=\frac{1}{2}mv_0^2$，则 $v_0=2$ m/s，

在传送带上 $a=\mu g=1$ m/s^2，

由 $l=v_0t_2-\frac{1}{2}at_2^2$ 得滑块在传送带上时间为 $t_2=(2-\sqrt{0.4})$ s，

所以传送带上一点向左运动 $l_2=v_2t_2=(2-\sqrt{0.4})$ m，

滑块相对传送带向右滑行 $\Delta l_2=l+l_2$，

所以产生热量 $Q_2=\mu mg\Delta l_2=0.32$ J。

(3) 传送带顺时针转，若传送带足够长，则滑块先向右匀减速到和传送带速度相同，再匀速运动，不受摩擦力。设减速时间为 t_3，滑块位移为 l_3。

$t_3=\frac{v_0-v_3}{a}=1$ s，

$l_3=\frac{v_0+v_3}{2}t_3=1.5\ \text{m}<1.8\ \text{m}=l$。

所以此后的 $l-l_3=0.3$ m 要匀速运动，滑块相对传送带静止，$t_4=\frac{l-l_3}{v_3}=0.3$ s。

总时间 $t=t_3+t_4=1.3$ s。

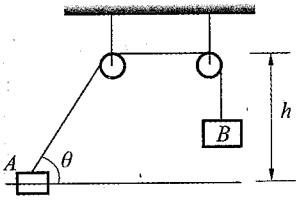
滑块相对传送带向右位移 $\Delta l_3=l_3-v_3t_3$。

产生热量 $Q_3=\mu mg\Delta l_3=0.05$ J。

◎【答案】(1) 能滑离传送带，热量为 0.18 J　(2) 能滑离传送带，热量为 0.32 J　(3) 1.3 s，0.05 J

例 6 如图所示，跨过同一高度处的光滑定滑轮的细线，连接着质量相同的物体 A 和 B，A 套在光滑水平杆上，细线与水平杆的夹角 $\theta=53°$，定滑轮离水平杆的高度 $h=0.2$ m，当由静止释放 B 后，A 所能获得的最大速度为多大？

($\cos 53°=0.6$，$\sin 53°=0.8$)



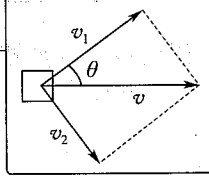
解析

本题的研究对象为绳子连接的两物体，在运动过程中没有摩擦生热，只有重力势能和动能之间的相互转化，因而机械能守恒。

用绳连接的两物体速度之间有一定的关系：由于绳不可伸长，所以沿绳方向的速度相等。

B的实际速度竖直向下(沿绳)，A的实际速度水平向右(不是沿绳)。

把A的速度沿绳、垂直绳分解为两个分速度v_1、v_2，$v_1=v_B$。



对A受力分析，当绳斜向右上时，它受到的合力为绳拉力的水平向右的分力，所以向右加速。直到绳竖直，合力为零。此后A再向右运动时绳拉力的水平分力向左，使它向右减速。所以A运动过程中，当绳竖直时速度最大。此时A沿绳方向的速度为0，则B的速度也为0，B下降到最低。

从B静止释放到A获得最大速度的过程，初末状态B的动能都为0，重力势能减少；A的重力势能不变，动能增加。

◇【解】因为水平杆光滑，没有摩擦力做功，以 A 和 B 为系统，系统的势能和动能相互转化，故系统机械能守恒。

设物体 A 的最大速度为 v，当 A 的速度最大时，B 的速度为零。此时 B 下降到最低点，下降的高度为 H。

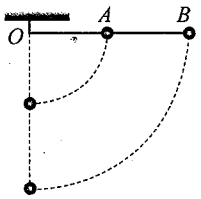
$H=\frac{h}{\sin 53^\circ}-h$。

根据机械能守恒定律得 $mg\left(\frac{h}{\sin 53^\circ}-h\right)=\frac{1}{2}mv^2$。

所以 $v=1$ m/s。

◎【答案】1 m/s

例 7　如图所示，在长为 L 的轻杆中点 A 和端点 B 各固定一质量均为 m 的小球，杆可绕无摩擦的轴 O 转动，使杆从水平位置无初速释放摆下。求当杆转到竖直位置时，轻杆对 A、B 两球分别做了多少功？



解析

错解：由于杆的弹力总垂直于小球的运动方向，所以轻杆对A、B两球均不做功。

绳的弹力是一定沿绳的方向的，而杆的弹力不一定沿杆的方向。所以当物体的速度与杆垂直时，不知弹力的方向，杆的弹力可以对物体做功。

不知其变化规律的力做功可根据功能关系求解。

分析：设当杆转到竖直位置时，A球和B球的速度分别为v_A和v_B。如果把轻杆、地球、两个小球构成的系统作为研究对象，那么由于系统内部只有重力势能和动能相互转化，系统的机械能守恒。A、B减少的重力势能等于它们增加的动能。

而相互联系的A、B两球圆周运动的角速度相等，所以B的速度为A的速度的两倍。

由机械能守恒定律解得A、B的速度。

再由动能定理求杆做功。也可由“除重力、弹簧弹力之外的其他力做功等于物体机械能的变化”求解。

◇【解】设当杆转到竖直位置时，A 球和 B 球的速度分别为 v_A 和 v_B。如果把轻杆、地球、两个小球构成的系统作为研究对象，那么由于杆和小球的相互作用力做功总和等于零，故系统机械能守恒。若取 B 的最低点为零重力势能参考平面，可得：

$$2mgL=\frac{1}{2}mv_A^2+\frac{1}{2}mv_B^2+\frac{1}{2}mgL。$$

又因 A 球和 B 球在各个时刻对应的角速度相同，故 $v_B=2v_A$。

由以上二式得：$v_A=\sqrt{\frac{3gL}{5}}$，$v_B=\sqrt{\frac{12gL}{5}}$。

根据动能定理，可解出杆对 A、B 做的功。对于 A 有 $W_A+mgL/2=\frac{1}{2}mv_A^2-0$，

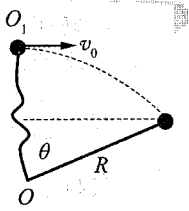
所以 $W_A=-0.2mgL$。

对于 B 有 $W_B+mgL=\frac{1}{2}mv_B^2-0$，所以 $W_B=0.2mgL$。

◎【答案】$W_A=-0.2mgL$　$W_B=0.2mgL$

例 8　一质量为 m 的质点，系于长为 R 的轻绳的一端，绳的另一端固定在空间的 O

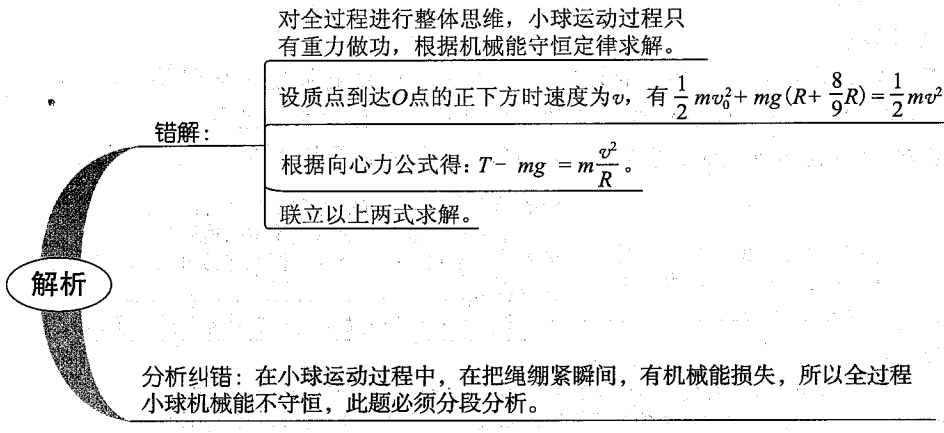
点，假定绳是不可伸长的、柔软且无弹性的。今把质点从 O 点的正上方离 O 点的距离为 $\frac{8}{9}R$ 的 O_1 点以水平的速度 $v_0=\frac{3}{4}\sqrt{gR}$ 抛出，如图所示。



试求：

(1) 轻绳即将伸直时，绳与竖直方向的夹角为多少？

(2) 当质点到达 O 点的正下方时，绳对质点的拉力为多大？



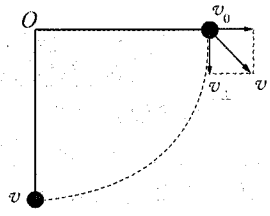
◇【解】质点的运动可分为三个过程：

第一过程：质点做平抛运动。设绳即将伸直时，绳与竖直方向的夹角为 θ，则 $v_0t=R\sin\theta$。

$\frac{1}{2}gt^2=\frac{8}{9}R-R\cos\theta$，其中 $v_0=\frac{3}{4}\sqrt{gR}$。

联立解得 $\theta=\frac{\pi}{2}$，$t=\frac{4}{3}\sqrt{\frac{R}{g}}$。

第二过程：绳绷直过程。绳绷直时，绳刚好水平，如图所示。由于绳不可伸长，故绳绷直时，沿绳方向速度 v_0 损失，质点仅有速度 $v_\perp$，且 $v_\perp=gt=\frac{4}{3}\sqrt{gR}$。



第三过程：小球在竖直平面内做圆周运动。设质点到达 O 点正下方时，速度为 v'，根据机械能守恒定律有：

$$\frac{1}{2}mv^2=\frac{1}{2}mv_\perp^2+mg\cdot R。$$

设此时绳对质点的拉力为 T，则

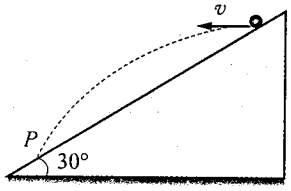
$$T-mg=m\frac{v^{12}}{R}。$$

联立解得：$T=\frac{43}{9}mg$。

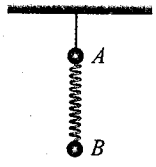
◎【答案】$T=\frac{43}{9}mg$

同步检测

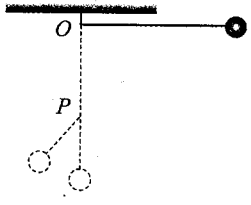
1. 在下列物理过程中，机械能守恒的有（　　）
   A. 把一个物体竖直向上匀速提升的过程
   B. 人造卫星沿椭圆轨道绕地球运行的过程
   C. 汽车关闭油门后沿水平公路向前滑行的过程
   D. 物体从高处以 0.9 g 的加速度竖直下落的过程
2. 下列叙述中正确的是（　　）
   A. 合外力对物体做功为零的过程中，物体的机械能一定守恒
   B. 物体在合外力作用下做变速运动，则物体动能一定变化
   C. 物体的动能不变，则物体所受的合外力一定为零
   D. 当只有重力或弹簧弹力对物体做功时，物体、弹簧和地球系统的机械能一定守恒
3. 如图所示，做平抛运动的小球的初动能为 6 J，不计一切阻力，它落在斜面上 P 点时的动能为（　　）



   A. 12 J　　B. 10 J　　C. 14 J　　D. 8 J
4. 如图所示，A 球用线悬挂且通过弹簧与 B 球相连，两球质量相等。当两球都静止时，将悬线烧断，下列说法正确的是（　　）
   A. 线断瞬间，A 球的加速度大于 B 球的加速度
   B. 线断后的最初一段时间里，重力势能转化为动能和弹性势能
   C. 在下落过程中，两小球和弹簧组成的系统机械能守恒
   D. 线断后最初一段时间里，动能的增量大于重力势能的减少



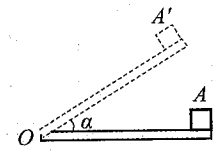
5. 如图所示，将小球拉紧，悬线在水平位置无初速释放，当小球达到最低点时，细线被与悬点在同一竖直线上的小钉 P 挡住，则在悬线被钉子挡住的前后瞬间比较（　　）
   A. 小球的机械能减少
   B. 小球的动能减小
   C. 悬线上的张力变小
   D. 小球的向心加速度变大



6. 质量为 m 的物体，在距地面 h 高处以 $\frac{g}{3}$ 的加速度由静止竖直下落到地面。下列说法中正确的是（　　）
   A. 物体的重力势能减少 $\frac{1}{3}mgh$　　B. 物体的动能增加 $\frac{1}{3}mgh$

C. 物体的机械能减少$\frac{1}{3}mgh$　　D. 重力做功$\frac{1}{3}mgh$

7. 如图所示，木板OA水平放置，长为l，在A处放置一个质量为m的物体，现绕O点缓缓抬高A端，直到当木板转动到与水平面成α角时停止转动。这时物体受到一微小的干扰便开始缓慢地匀速下滑，物体运动到O点，在整个过程中（　　）



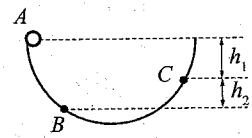
A. 支持力对物体做的总功为$mgl\sin\alpha$

B. 摩擦力对物体做的总功为零

C. 木板对物体做的总功为零

D. 木板对物体做的总功为正

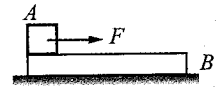
8. 如图所示，一物体从圆弧形轨道的A点无初速滑下，物体与圆弧轨道间的动摩擦因数为μ，由于摩擦力的作用物体沿轨道到达C点时的速度为零，C点比A点下降了h_1，物体又由C点沿轨道滑至B点，速度再次为零，B比C下降了h_2，则h_1与h_2比较有（　　）



A. $h_1>h_2$　　B. $h_1<h_2$

C. $h_1=h_2$　　D. 无法确定

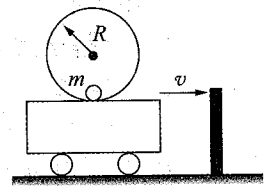
9. 如图所示，木块A放在木块B上左端，用恒力F将A拉至B的右端，第一次将B固定在地面上，F对A做功为W_1，产生热量为Q_1；第二次将B放在光滑水平地面上，这次F对A做功为W_2，产生热量为Q_2，则（　　）



A. $W_1<W_2$，$Q_1=Q_2$　　B. $W_1=W_2$，$Q_1=Q_2$

C. $W_1<W_2$，$Q_1<Q_2$　　D. $W_1=W_2$，$Q_1<Q_2$

10. 半径为R的圆桶固定在小车上，有一光滑小球静止在圆桶最低点，如图所示。小车以速度v向右做匀速运动，当小车遇到障碍物突然停止时，小球在圆桶中上升的高度可能为（　　）



A. 等于$v^2/2g$　　B. 大于$v^2/2g$

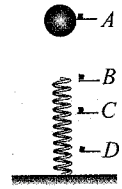
C. 小于$v^2/2g$　　D. 等于$2R$

11. 木块静止在光滑水平桌面上，一子弹水平射入木块的深度为d时，子弹与木块相对静止，在子弹入射的过程中，木块沿桌面移动的距离为L，木块对子弹的平均阻力为f，那么在这一过程中（　　）

A. 木块的机械能增量fL　　B. 子弹的机械能减少量为$f(L+d)$

C. 系统的机械能减少量为fd　　D. 系统的机械能减少量为$f(L+d)$

12. 如图所示，一根轻弹簧下端固定，竖立在水平面上。其正上方A位置有一只小球。小球从静止开始下落，在B位置接触弹簧的上端，在C位置小球所受弹力大小等于重力，在D位置小球速度减小到零。小球下降阶段下列说法中正确的是（　　）



A. 在B位置小球动能最大

B. 在C位置小球动能最大

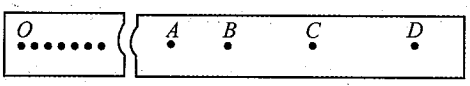
C. 从 $A \rightarrow C$ 位置小球重力势能的减少大于小球动能的增加

D. 从 $A \rightarrow D$ 位置小球重力势能的减少等于弹簧弹性势能的增加

13. 用重锤下落验证机械能守恒定律。

(1) 为进行“验证机械能守恒定律”的实验，有下列器材可供选择：铁架台（也可利用桌边），打点计时器以及复写纸、纸带，低压直流电源，天平，秒表，毫米刻度尺，导线，电键。其中不必要的器材是_____；缺少的器材是_____。

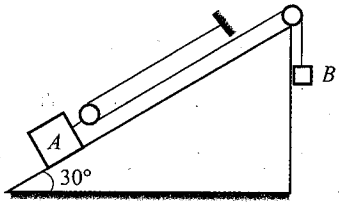
(2) 在验证机械能守恒定律的实验中，已知打点计时器所用电源的频率为 50 Hz，查得当地重力加速度 $g=9.80\ \mathrm{m/s^2}$，已知所用重物的质量 $m=1.00\ \mathrm{kg}$，实验中得到一条点迹清晰的纸带，把第一个点记作 O，另选连续的 4 个点 A、B、C、D 作为测量点，经测量知道 A、B、C、D 各点到 O 点的距离分别为 62.99 cm、70.18 cm、77.76 cm、85.73 cm，根据以上数据，可知重物由 O 点运动到 C 点，重力势能的减少量为_____J，动能的增加量为_____J（取 3 位有效数字）



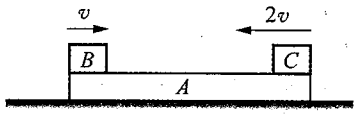
(3) 实验中产生系统误差的原因主要是_____。为了减小误差，悬挂在纸带下的重物的质量应选择_____。

(4) 如果以 $v^2/2$ 为纵轴，以 h 为横轴，根据实验数据绘出的 $v^2/2-h$ 图线是_____，该线的斜率等于_____。

14. 如图所示，已知 $m_A=m_B=m$，所有的摩擦力都可忽略不计，绳和滑轮的质量忽略不计，当 A、B 由静止释放后，B 下降 h 时，B 物体的速度为多大？（g 取 $10\ \mathrm{m/s^2}$）



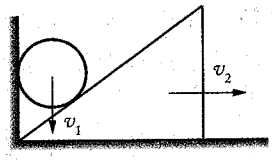
15. 质量为 m 的长木板 A 静止在光滑水平面上，另两个质量也是 m 的铁块 B、C 同时从 A 的左右两端滑上 A 的上表面，初速度大小分别为 v 和 $2v$，B、C 与 A 间的动摩擦因数均为 μ。



(1) 试分析 B、C 滑上长木板 A 后，A 的运动状态如何变化？

(2) 为使 B、C 不相撞，A 木板至少多长？

16. 如图所示，将楔形木块放在光滑水平面上靠墙边处并用手固定，然后在木块和墙面之间放入一个小球，球的下边缘离地面高度为 H，木块的倾角为 θ，球和木块质量相等，一切接触面均光滑，放手让小球和木块同时由静止开始运动，求球着地时球和木块的速度。



参考答案

1. B　2. D　3. C　4. ACD　5. D　6. B　7. AC　8. A　9. A

10. ACD　11. ABC　12. BCD

13. (1) 低压直流电源，秒表　交流电源，重锤　(2) 7.62　7.56 (3) 阻力对重锤和纸带的影响　质量较大的　(4) 过原点的倾斜直线　重力加速度 g

14. $v=\sqrt{\frac{6}{5}gh}$

解析：以 A 和 B 为系统，没有摩擦力做功，系统内动能和重力势能相互转化，系统的机械能守恒。B 下落时重力势能减少，动能增加，A 沿斜面上升时，动能和重力势能都增加。当 B 下落 h 时，A 实际上升的高度为 $\frac{h}{2}\sin 30°$，当 B 的速度为 v 时，A 的速度为 $\frac{v}{2}$。

设 B 下落的高度为 h，根据系统的机械能守恒定律得

$$mgh-mg\frac{h}{2}\sin 30°=\frac{1}{2}mv^2+\frac{1}{2}m\left(\frac{v}{2}\right)^2。$$

解得 $v=\sqrt{\frac{6}{5}gh}$。

15. 见解析

解析：B、C 都相对于 A 滑动时，A 所受合力为零，保持静止，这段时间为 $\Delta t_1=\frac{v}{\mu g}$。$B$ 刚好相对于 A 静止时，C 的速度为 v，A 开始向左做匀加速运动，由动量守恒可求出 A、B、C 最终的共同速度 $v'=\frac{v}{3}$，这段加速经历的时间为 $\Delta t_2=\frac{2v}{3\mu g}$，最终 A 将以 $v'=\frac{v}{3}$ 做匀速运动。

全过程系统动能的损失都将转化为系统的内能，而摩擦生热 $Q=fd=\mu mgd$，由能量守恒定律列式：$\mu mgd=\frac{1}{2}mv^2+\frac{1}{2}m(2v)^2-\frac{1}{2}\cdot 3m\left(\frac{v}{3}\right)^2$，解得 $d=\frac{7v^2}{3\mu g}$。这就是 A 木板应该具有的最小长度。

16. 小球 $v_1=\sqrt{2gH}\sin\theta$　木块 $v_2=\sqrt{2gH}\cos\theta$

解析：此题的关键是要找到球着地时小球和木块的速度的关系。因为小球和木块总是相互接触的，所以小球的速度 v_1 和木块的速度 v_2 在垂直于接触面的方向上的分速度相等，即 $v_1\cos\theta=v_2\sin\theta$。

由机械能守恒定律可得：$mgH=\frac{1}{2}mv_1^2+\frac{1}{2}mv_2^2$。

由上述二式可求得：$v_1=\sqrt{2gH}\sin\theta$，$v_2=\sqrt{2gH}\cos\theta$。

本章知识检测题

1. 诺贝尔物理学奖获得者费恩曼曾说："有一个事实，如果你愿意也可以说是一条定律，支配着至今所知的一切现象……"，这条定律就是（　　）

A. 牛顿第一定律　　B. 牛顿第二定律

C. 牛顿第三定律　　D. 能量守恒定律

2. 下列说法正确的是（　　）

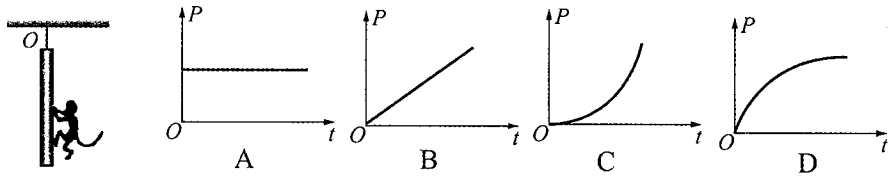
A. 物体机械能守恒时，一定只受重力和弹力的作用

B. 物体处于平衡状态时机械能一定守恒

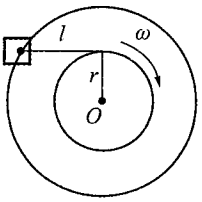
C. 在重力势能和动能的相互转化过程中，若物体除受重力外，还受到其他力作用时，物体的机械能也可能守恒

D. 物体的动能和重力势能之和增大，必定有重力以外的其他力对物体做功

3. 一根质量为 M 的直木棒，悬挂在 O 点，有一只质量为 m 的猴子抓着木棒，如图所示。剪断悬挂木棒的细绳，木棒开始下落，同时猴子开始沿木棒向上爬。设在一段时间内木棒沿竖直方向下落，猴子对地的高度保持不变，忽略空气阻力，则下列图中能正确反映在这段时间内猴子做功的功率随时间变化的关系的是（　　）



4. 如图所示，手持一根长为 l 的轻绳的一端在水平桌面上做半径为 r、角速度为 ω 的匀速圆周运动，绳始终保持与该圆周相切，绳的另一端系一质量为 m 的木块，木块也在桌面上做匀速圆周运动，不计空气阻力（　　）



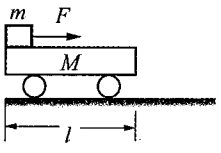
A. 手对木块不做功

B. 木块不受桌面的摩擦力

C. 绳的拉力大小等于 $m\omega^2\sqrt{l^2+r^2}$

D. 手拉木块做功的功率等于 $m\omega^3 r(l^2+r^2)/l$

5. 如图所示，质量为 M、长度为 l 的小车静止在光滑的水平面上。质量为 m 的小物块（可视为质点）放在小车的最左端。现用一水平恒力 F 作用在小物块上，使物块从静止开始做匀加速直线运动。物块和小车之间的摩擦力为 f。物块滑到小车的最右端时，小车运动的距离为 s。在这个过程中，以下结论中正确的是（　　）



A. 物块到达小车最右端时具有的动能为 $(F-f)(l+s)$

B. 物块到达小车最右端时，小车具有的动能为 fs

C. 物块克服摩擦力所做的功为 $f(l+s)$

D. 物块和小车增加的机械能为 Fs

6. 自由下落的小球，从接触竖直放置的轻弹簧开始，到把弹簧压缩到最大形变的过程中，以下说法中正确的是（　　）

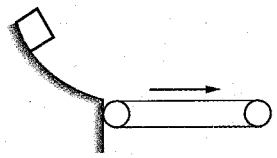
A. 小球的动能逐渐减少

B. 小球的重力势能逐渐减少

C. 小球的机械能守恒

D. 小球的加速度逐渐增大

7. 如图所示，物体沿弧形轨道滑下后进入足够长的水平传送带，传送带以图示方向匀速运转，则传送带对物体做功情况可能是（　　）



A. 始终不做功　　B. 先做负功后做正功

C. 先做正功后不做功　　D. 先做负功后不做功

8. 一粒钢珠从静止状态开始自由下落，然后陷入泥潭中，如果把在空中下落的过程称为过程Ⅰ，进入泥潭直到停住的过程称为过程Ⅱ，则（　　）

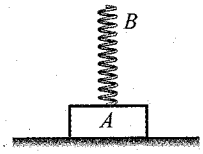
A. 过程Ⅰ中钢珠动能的增量等于过程Ⅰ中重力所做的功

B. 过程Ⅱ中钢珠克服阻力做的功等于过程Ⅰ中重力所做的功

C. 过程Ⅱ中钢珠克服阻力做的功等于过程Ⅰ和Ⅱ中钢珠所减少的重力势能之和

D. 过程Ⅱ中损失的机械能等于过程Ⅰ中钢珠所增加的动能

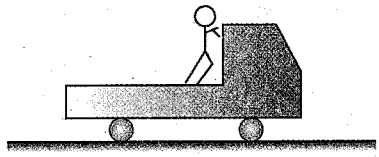
9. 物块 A 质量为 m，置于光滑水平地面上，其上表面固定一根轻弹簧，弹簧原长为 L_0，劲度系数为 k，如图所示。现将弹簧上端 B 缓慢的竖直向上提起一段距离 L，使物块 A 离开地面，若以地面为势能零点，则这时物块 A 具有的重力势能为（　　）



A. $mg\ (L-L_0)$　　B. $mg\ (L-L_0+\frac{mg}{k})$

C. $mg\ (L-L_0-\frac{mg}{k})$　　D. $mg\ (L-\frac{mg}{k})$

10. 如图所示，站在汽车上的人用手推车，人相对于车静止不动，则下列说法中正确的是（　　）



①当车匀速运动时，人对车所做的功为零

②当车加速运动时，人对车做正功

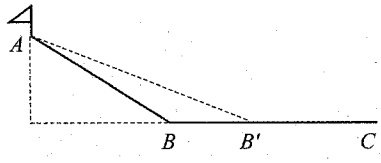
③当车减速运动时，人对车做负功

④不管车做何种运动，人对车所做的总功和总功率都为零

A. ④　　B. ①②

C. ①②③　　D. ①

11. 在北戴河旅游景点之一的南戴河滑沙场有两个坡度不同的滑道 AB 和 AB'（均可看做斜面）。甲、乙两名旅游者分别乘两个相同完全的滑沙撬从 A 点由静止开始分别沿 AB 和 AB' 滑下，最后都停在水平沙面 BC 上，如图所示。设滑沙撬和沙面间的动摩擦因数处处相同，斜面与水平面连接处均可认为是圆滑的，滑沙者保持一定姿势坐在滑沙撬上不动。则



下列说法中正确的是（　　）

A. 甲在 B 点的速率一定大于乙在 B' 点的速率

B. 甲滑行的总路程一定大于乙滑行的总路程

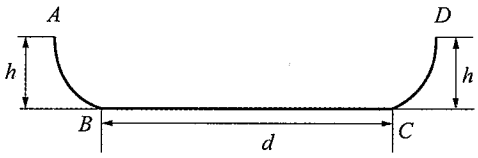
C. 甲全部滑行的水平位移一定大于乙全部滑行的水平位移

D. 甲在 B 点的动能一定大于乙在 B' 点的动能

12. 如图所示，$ABCD$ 是一个盆式容器，盆内侧壁与盆底 BC 的连接处都是一段与 BC 相切的圆弧，BC 为水平的，其距离 $d=0.50$ m，盆边缘的高度 $h=0.30$ m，在 A 处放一个质量为 m 的小物块并让其从静止出发下滑，已知盆内侧壁是光滑的，而 BC 面与小物块间的动摩擦因数为 $\mu=0.10$，小物块在盆内来回滑动，最后停下来，则停的地点到 B 的距离为（　　）

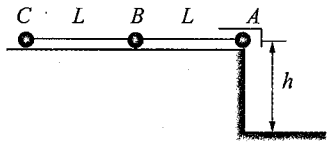
A. 0.5 m　　B. 0.25 m

C. 0.10 m　　D. 0



13. 将小球以初速度 v_0 竖直上抛，在不计空气阻力的理想状况下，小球将上升到某一最大高度。由于有空气阻力，小球实际上升的最大高度只有该理想高度的 80%。设空气阻力大小恒定，求小球落回抛出点时的速度大小 v。

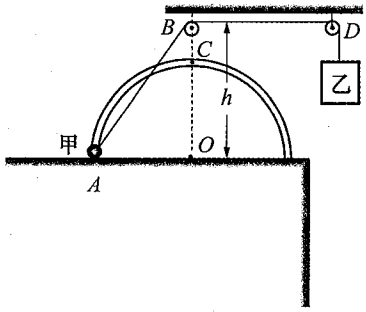
14. 如图所示，质量均为 m 的三个小球 A、B、C 用两条长为 L 的细线相连，置于高为 h 的光滑水平桌面上，$L>h$，A 球刚跨过桌边，若 A 球、B 球相继下落着地后均不再反弹，求：



（1）B 球离开桌边的速度大小 v_1。

（2）C 球离开桌边的速度大小 v_2。

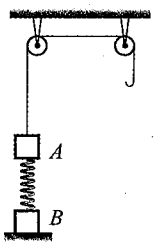
15. 一个半径 R 为 0.6 m 的光滑半圆细环竖直放置并固定在水平桌面上，O 为圆心，A 为半圆环左边最低点，C 为半圆环最高点。环上套有一个质量为 1 kg 的小球甲，甲可以沿着细环轨道在竖直平面内做圆周运动。在水平桌面上方固定了 B、D 两个定滑轮，定滑轮的大小不计，与半圆环在同一竖直平面内，它们距离桌面的高度均为 $h=0.8$ m，滑轮 B 恰好在 O 点的正上方。现通过两个定滑轮用一根不可以伸长的细线将小球甲与一个质量为 2 kg 的物体乙连在一起。一开始，用手托住物体乙，使小球甲处于 A 点，细线伸直，当乙由静止释放后，求：



（1）甲运动到 C 点时的速度大小是多少？

（2）甲、乙速度相等时，它们的速度大小是多少？

16. 如图所示，质量为 m_1 的物体 A 经一轻质弹簧与下方地面上的质量为 m_2 的物体 B 相连，弹簧的劲度系数为 k，A、B 都处于静止状态。一条不可伸长的轻绳绕过轻滑轮，一端连物体 A，另一端连一轻挂钩。开始时各段绳都处于伸直状态，A 上方的一段绳沿竖直方向。现在挂钩上挂一质量为 m_3 的物体 C 并从静止状态释放，已知它恰好能使 B 离开地面但不继续上

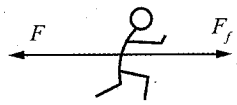


升。若将 C 换成另一个质量为（m_1+m_3）的物体 D，仍从上述初位置由静止状态释放，则这次 B 刚离开地时 D 的速度大小是多少？已知重力加速度为 g。

参考答案

1. D　2. CD　3. B　4. D　5. ABC　6. B　7. ACD　8. AC　9. D

10. D　解析：设人手对车的作用力为 F，脚对车的静摩擦力为 F_f，则由牛顿第三定律可知，人受到车对他的两个反作用力大小分别为 F 和 F_f，方向如图所示。



当车匀速运动时，人所受的合力为 0，则有 $F=F_f$。

此时，人对车所做的功为 0。

而当车加速运动时，人随车也具有向右的加速度，由牛顿第二定律得知 $F_f>F$。

由牛顿第三定律和功的公式，此时人对车所做的功为 $W=(F-F_f)s<0$，即人对车做负功。

同理可得，当车减速运动时，人对车做正功。

综上所述，本题的答案应该选 D。

11. AB

12. D　解析：分析小物体的运动过程，可知由于克服摩擦力做功，物块的机械能不断减小。设物体运动的路程为 x。

根据动能定理得：$mgh-\mu mgx=0$。

所以物块在 BC 之间滑行的总路程为：$x=\dfrac{h}{\mu}=3\ \mathrm{m}=6d$。小物块正好停在 B 点。

13. $v=\sqrt{\dfrac{3}{5}}v_0$

14. （1）$\sqrt{\dfrac{2gh}{3}}$　（2）$\sqrt{\dfrac{5gh}{3}}$

解析：（1）设 B 离开桌边的速度为 v_B，A 球下落的过程中，A、B、C 系统机械能守恒。

$\Delta E_p=-mgh$，$\Delta E_k=3\times\dfrac{1}{2}mv_B^2$，

$\Delta E_p+\Delta E_k=0$。

解得：$v_B=\sqrt{\dfrac{2gh}{3}}$。

（2）设 C 球离开桌边的速度为 v_C，B 球下落的过程中，B、C 系统机械能守恒。

$\Delta E_p=-mgh$，$\Delta E_k=2\times\dfrac{1}{2}mv_C^2-2\times\dfrac{1}{2}mv_B^2$，

$\Delta E_p+\Delta E_k=0$，

解得：$v_C=\sqrt{\dfrac{5gh}{3}}$。

15. （1）4.47 m/s　（2）1.81 m/s

解析：（1）$L_{AB}=\sqrt{h^2+R^2}=\sqrt{0.8^2+0.6^2}\,\mathrm{m}=1\ \mathrm{m}$。

甲运动到 C 点时，乙的速度为零，

$m_2 g\ [L_{AB}-\ (h-R)]\ -m_{甲}gR=\frac{1}{2}m_{甲}v_{甲}^2$，

$v_{甲}=\sqrt{\frac{2\ [2\times10\ (1-0.2)\ -1\times10\times0.6]}{1}}$ m/s=4.47 m/s。

(2) 当连接甲球的细线与圆环相切时，甲、乙速度相等，此时甲球到达 A' 点，离开桌面的距离为 d。

$L_{BA'}=\sqrt{h^2-R^2}=\sqrt{0.8^2-0.6^2}$ m=0.53 m，

$d=\frac{R^2}{h}=\frac{0.6^2}{0.8}$ m=0.45 m，

$v_{甲}=\sqrt{\frac{2\ [m_{乙}\ g\ (L_{AB}-L_{BA'})\ -m_{甲}\ gd]}{m_{甲}+m_{乙}}}$

$=\sqrt{\frac{2\ [2\times10\ (1-0.53)\ -1\times10\times0.45]}{1+2}}$ m/s=1.81 m/s。

16. $v=\sqrt{\frac{2m_1\ (m_1+m_2)\ g^2}{k\ (2m_1+m_3)}}$

解析：开始时，A、B 静止，设弹簧压缩量为 x_1，由平衡条件有 $k\,x_1=m_1 g$，　①

挂 C 并释放后，C 向下、A 向上运动，设 B 刚要离地时弹簧伸长量为 x_2，由平衡条件有 $kx_2=m_2 g$，　②

B 离开地面但不再上升，表示此时 A 和 C 的速度为零，C 已降到其最低点。由于 A、B、C 和弹簧构成的系统机械能守恒，C 向下、A 向上移动的距离均为 (x_1+x_2)，所以与初状态相比，弹簧弹性势能的增加量为 $\Delta E=m_3 g\ (x_1+x_2)\ -m_1 g\ (x_1+x_2)$，　③

同理：C 换成 D 后，当 B 刚离地时弹簧势能的增量与前一次相同，也为 ΔE。

由机械能守恒定律有 $(m_1+m_3)\ v^2/2+m_1 v^2/2=(m_1+m_3)g(x_1+x_2)-m_1 g\ (x_1+x_2)-\Delta E$，　④

由③④式得 $(2m_1+m_3)\ v^2/2=m_1 g\ (x_1+x_2)$，　⑤

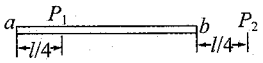
由①②⑤式得 $v=\sqrt{\frac{2m_1\ (m_1+m_2)\ g^2}{k\ (2m_1+m_3)}}$

第六章　静电场

第一节　电场的性质

解题指南

例 1　ab 是长为 l 的均匀带电细杆，P_1、P_2 是位于 ab 所在直线上的两点，位置如图所示，ab 上电荷产生的静电场在 P_1 处的场强大小为 E_1，在 P_2 处的场强大小为 E_2，则以下说法正确的是（　　）



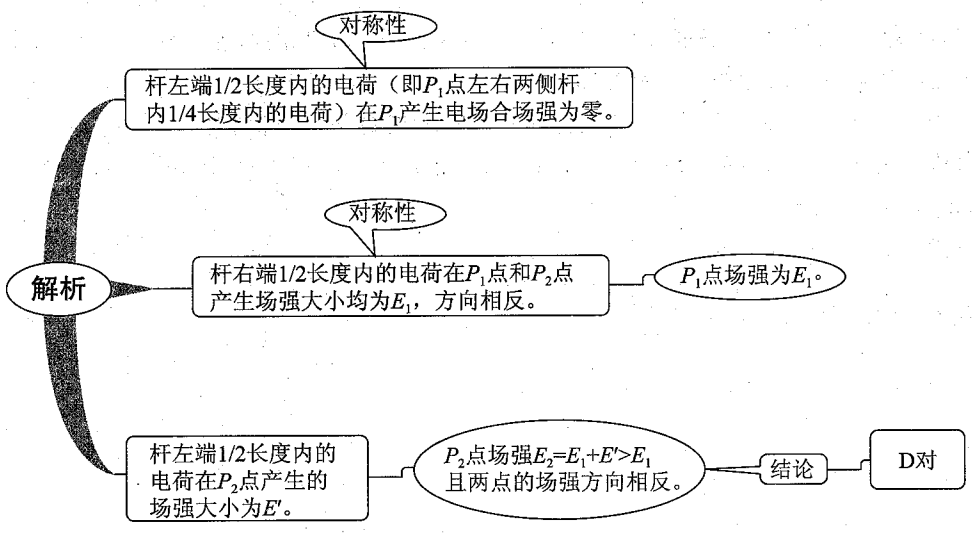
A. 两处的电场方向相同，$E_1>E_2$

B. 两处的电场方向相反，$E_1>E_2$

C. 两处的电场方向相同，$E_1<E_2$

D. 两处的电场方向相反，$E_1<E_2$

◇【解析】



◎【答案】D

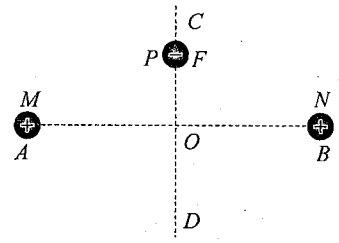
温馨提示：本题主要考查电场的叠加原理，同时把物理学里的对称思想融入其中，要善于转换物理模型，将对称思想为你所用。

例 2　如图所示，在光滑绝缘水平面上，两个带等量正电的点电荷 M、N 分别固定在 A、B 两点，O 为 AB 连线的中点，CD 为 AB 的垂直平分线。在 CO 之间的 F 点由静止释放一个带负电的小球 P（设不改变原来的电场分布），在以后的一段时间内，P 在 CD 连线上做往复运动。若（　　）

A. 小球 P 的带电荷量缓慢减小，则它在往复运动过程中振幅不断减小

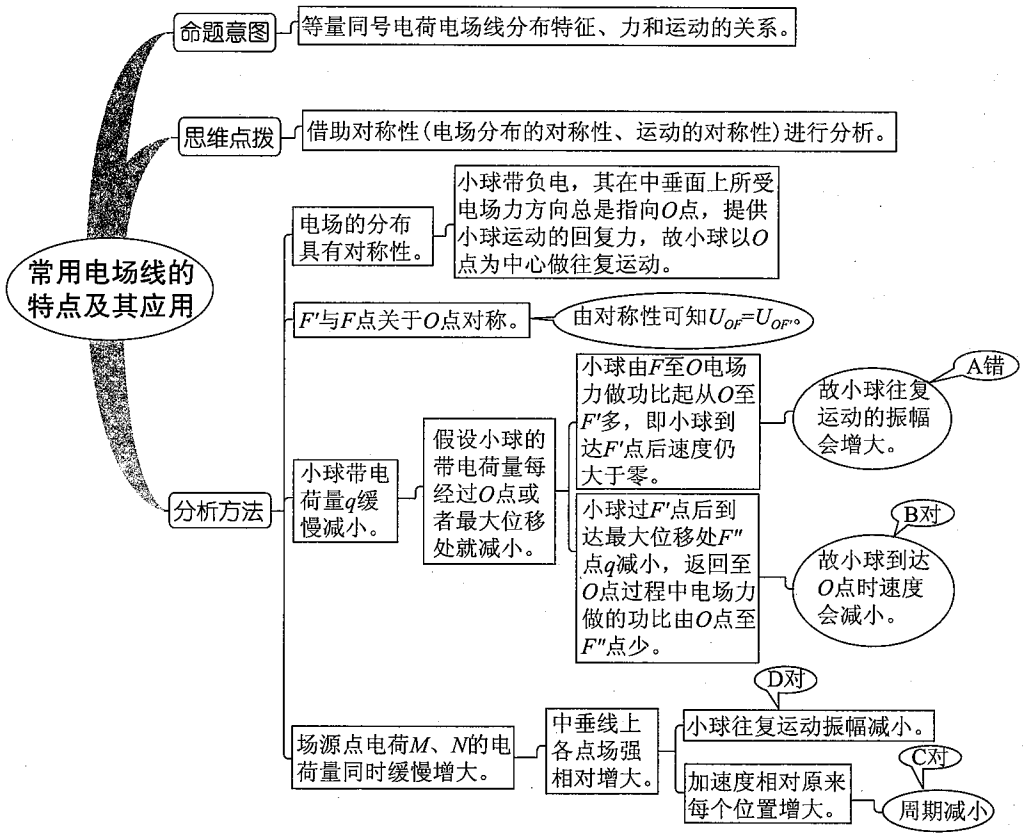
B. 小球 P 的带电荷量缓慢减小，则它在往复运动过程中每次经过 O 点时的速率不断减小

C. 点电荷 M、N 的带电荷量同时等量地缓慢增大，则小球 P 在往复运动过程中周期不断减小



D. 点电荷 M、N 的带电荷量同时等量地缓慢增大，则小球 P 在往复运动过程中振幅不断减小

【解析】



【答案】 BCD

温馨提示：要熟练掌握几种常见电场的电场线的分布情况，注意对称性的应用。

例 3　如图所示，在真空中一条竖直向下的电场线上有两点 a 和 b。一带电质点在 a 处由静止释放后沿电场线向上运动，到达 b 点时速度恰好为零。则下列说法中正确的是（　　）



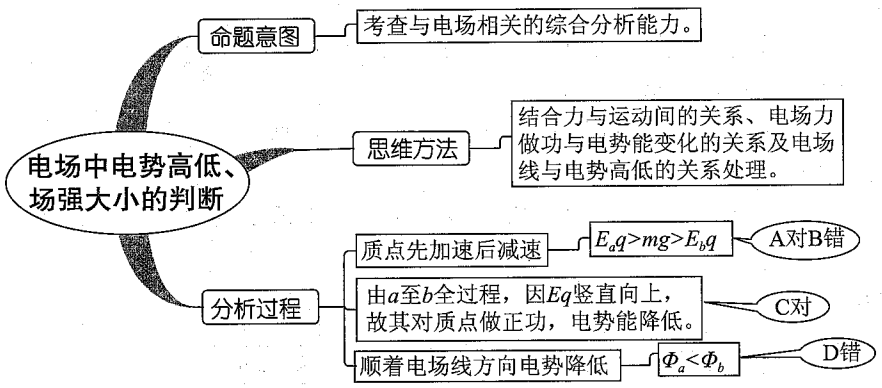
A. a 点的电场强度大于 b 点的电场强度

B. 质点在 b 点所受到的合力一定为零

C. 带电质点在 a 点的电势能大于在 b 点的电势能

D. a 点的电势高于 b 点的电势

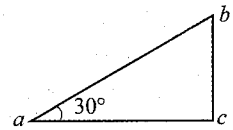
◇【解析】



◎【答案】AC

温馨提示：本题关键是要能根据粒子运动过程分析其受力的变化，即确定好力和运动的关系。

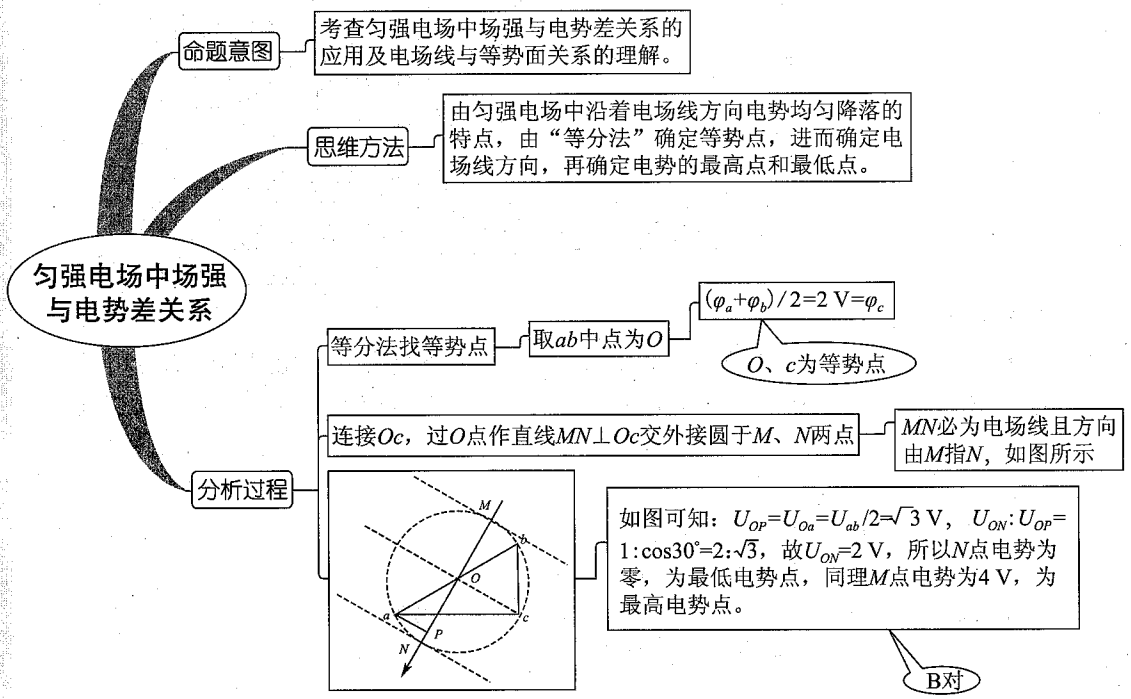
例 4 匀强电场中有 a、b、c 三点。在以它们为顶点的三角形中，$\angle a=30°$，$\angle c=90°$。电场方向与三角形所在平面平行。已知 a、b 和 c 点的电势分别为 $(2-\sqrt{3})$ V、$(2+\sqrt{3})$ V 和 2 V。该三角形的外接圆上最低、最高电势分别为（　　）



A. $(2-\sqrt{3})$ V、$(2+\sqrt{3})$ V　　B. 0 V、4 V

C. $\left(2-\frac{4\sqrt{3}}{3}\right)$V、$\left(2+\frac{4\sqrt{3}}{3}\right)$V　　D. 0 V、$2\sqrt{3}$ V

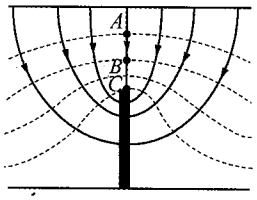
◇【解析】



◎【答案】B

温馨提示：这一类型的问题关键是要会利用等分法找出等势点，确定等势线，从而确定电场线的方向，进而结合几何关系进行相关计算。

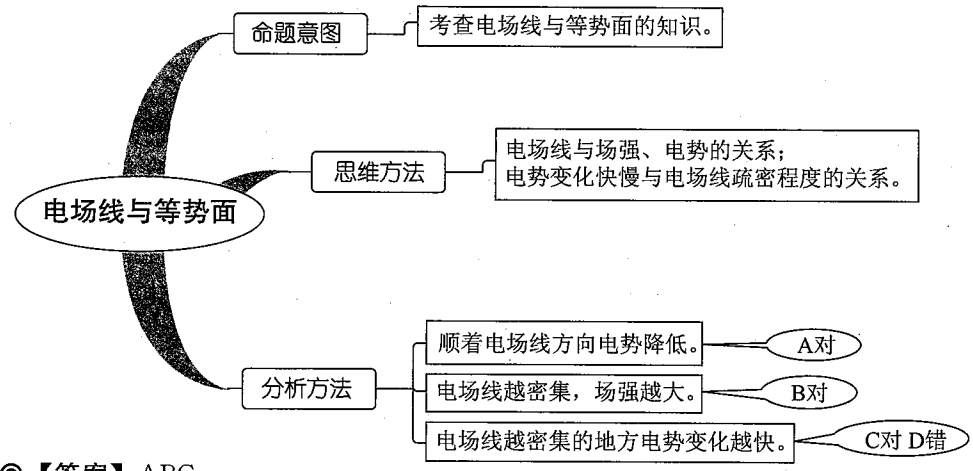
例 5　如图所示，实线为电场线，虚线为等势线，且 $AB=BC$，电场中的 A、B、C 三点的场强分别为 E_A、E_B、E_C，电势分别为 φ_A、φ_B、φ_C，AB、BC 间的电势差分别为 U_{AB}、U_{BC}，则下列关系中正确的有（　　）



A. $\varphi_A>\varphi_B>\varphi_C$　　B. $E_C>E_B>E_A$

C. $U_{AB}<U_{BC}$　　D. $U_{AB}=U_{BC}$

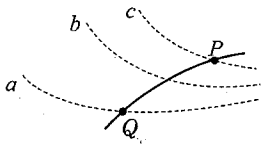
◇【解析】



◎【答案】ABC

温馨提示：熟练掌握电场线、场强与电势的关系是解决好这类题的关键。

例 6　图中虚线 a、b、c 代表电场中的三个等势面，相邻等势面间的电势差相等，即 $U_{ab}=U_{bc}$，实线为一带正电的质点仅在电场力作用下的运动轨迹，P、Q 是轨迹上的两点，据此可知（　　）



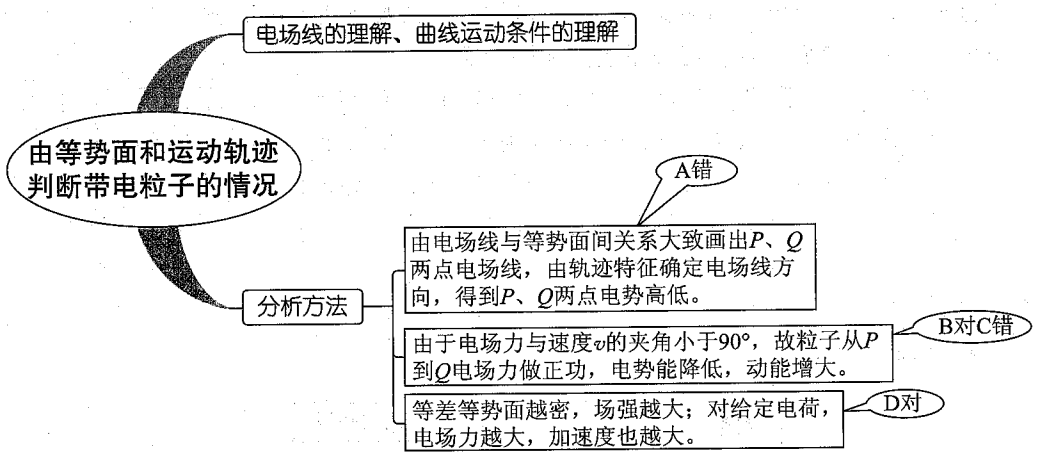
A. 三个等势面中，a 面电势较高

B. 带电质点通过 P 点时的电势能较大

C. 带电质点通过 P 点时的动能较大

D. 带电质点通过 P 点时的加速度较大

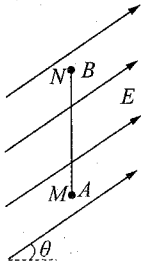
◇【解析】



◎【答案】BD

温馨提示：要看清题目中 a、b、c 三条线是等势面，不是电场线；解决这类问题首先根据等势面与电场线的关系确定电场线的方向，再结合轨迹确定电场力的方向并分析其他结论。

例 7 如图所示，一根长 $L=1.5$ m 的光滑绝缘细直杆 MN，竖直固定在场强为 $E=1.0\times10^5$ N/C、与水平方向成 $\theta=30°$ 角的倾斜向上的匀强电场中。杆的下端 M 固定一个带电小球 A，电荷量 $Q=+4.5\times10^{-6}$ C；另一带电小球 B 穿在杆上可自由滑动，电荷量 $q=+1.0\times10^{-6}$ C，质量 $m=1.0\times10^{-2}$ kg。现将小球 B 从杆的上端 N 静止释放，小球 B 开始运动。（静电力常量 $k=9.0\times10^9$ N·m²/C²。g 取 10 m/s²）

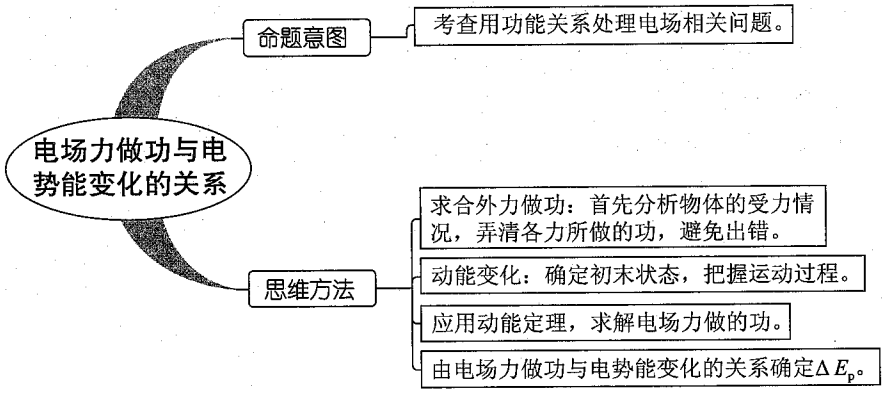


（1）小球 B 开始运动时的加速度为多大？

（2）小球 B 的速度最大时，距 M 端的高度 h_1 为多大？

（3）小球 B 从 N 端运动到距 M 端的高度 $h_2=0.61$ m 时，速度为 $v=1.0$ m/s，求此过程中小球 B 的电势能改变了多少？

◇【解析】



（1）开始运动时小球 B 受重力、库仑力、杆的弹力和电场力，沿杆方向运动，由牛顿第二定律得

$$mg-k\frac{Qq}{L^2}-qE\sin\theta=ma,$$

解得 $a=g-\frac{kQq}{L^2m}-\frac{qE\sin\theta}{m}$，

代入数据解得 $a=3.2\ \mathrm{m/s^2}$。

（2）小球 B 速度最大时合力为零，即

$$\frac{kQq}{h_1^2}+qE\sin\theta=mg,$$

解得 $h_1=\sqrt{\frac{kQq}{mg-qE\sin\theta}}$，

代入数据解得 $h_1=0.9\ \mathrm{m}$。

（3）小球 B 从开始运动到速度为 v 的过程中，设重力做功为 W_1，电场力做功为 W_2，库仑力做功为 W_3，根据动能定理有

$$W_1+W_2+W_3=\frac{1}{2}mv^2,$$

$$W_1=mg\ (L-h_2),$$

$$W_2=-qE\ (L-h_2)\ \sin\theta,$$

解得 $W_3=\frac{1}{2}mv^2-mg\ (L-h_2)\ +qE\ (L-h_2)\ \sin\theta$。

设小球的电势能改变了 ΔE_p，则

$$\Delta E_p=-\ (W_2+W_3)\ mg\ (L-h_2)\ -\frac{1}{2}mv^2=8.4\times10^{-2}\ \mathrm{J}。$$

同步检测

1. 电场强度 E 的定义式为 $E=F/q$（　　）

A. 这个定义只适用于点电荷产生的电场

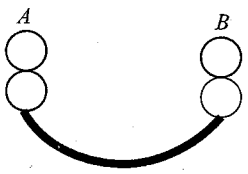
B. 上式中 F 是放入电场中的电荷所受的力，q 是放入电场中的电荷的电荷量

C. 上式中 F 是放入电场中的电荷所受的力，q 是产生电场的电荷的电荷量

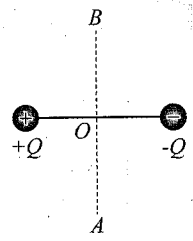
D. 在库仑定律的表达式 $F=k\frac{q_1q_2}{r^2}$ 中，$k\frac{q_2}{r^2}$ 是点电荷 q_2 产生的电场在点电荷 q_1 处的场强大小；而 $k\frac{q_1}{r^2}$ 是点电荷 q_1 产生的电场在点电荷 q_2 处的场强大小

2. 如图所示，半径相同的两个金属球 A、B 带有相等的电荷量，相隔一定距离，两球之间相互吸引力的大小是 F。今让第三个半径相同的不带电的金属小球先后与 A、B 两球接触后移开。这时，A、B 两球之间的相互作用力的大小是（　　）

A. $F/8$　　B. $F/4$　　C. $3F/8$　　D. $3F/4$



3. 如图所示，一电子沿等量异种电荷的中垂线由 $A\rightarrow O\rightarrow B$ 匀速飞过，电子重力不计，则电子所受另一个力的大小和方向变化情况是（　　）



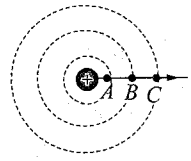
A. 先变大后变小，方向水平向左

B. 先变大后变小，方向水平向右

C. 先变小后变大，方向水平向左

D. 先变小后变大，方向水平向右

4. 如图所示，三个同心圆是同一个点电荷周围的三个等势面，已知这三个圆的半径成等差数列。A、B、C 分别是这三个等势面上的点，且这三点在同一条电场线上。A、C 两点的电势依次为 $\varphi_A=10$ V和 $\varphi_C=2$ V，则 B 点的电势是（　　）



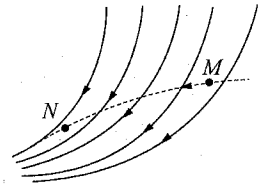
A. 一定等于 6 V

B. 一定低于 6 V

C. 一定高于 6 V

D. 无法确定

5. 如图所示，实线表示电场线，虚线表示只受电场力作用的带正电粒子的运动轨迹，粒子先经过 M 点，再经过 N 点，可以判定（　　）



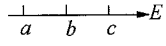
A. M 点的电势大于 N 点的电势

B. M 点的电势小于 N 点的电势

C. 粒子在 M 点受到的电场力大于在 N 点受到的电场力

D. 粒子在 M 点受到的电场力小于在 N 点受到的电场力

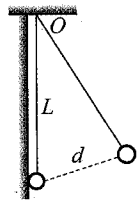
6. 如图所示，a、b、c 是一条电场线上的三个点，电场线的方向由 a 到 c，a、b 间的距离等于 b、c 间的距离，φ_a、φ_b、φ_c 和 E_a、E_b、E_c 分别表示 a、b、c 三点的电势和电场强度，可以断定（　　）



A. $\varphi_a>\varphi_b>\varphi_c$　　B. $E_a>E_b>E_c$

C. $\varphi_a-\varphi_b=\varphi_b-\varphi_c$　　D. $E_a=E_b=E_c$

7. 如图所示，带电小球 A、B 的电荷分别为 Q_A、Q_B，$OA=OB$，都用长 L 的丝线悬挂在 O 点。静止时 A、B 相距为 d。为使平衡时 AB 间距离减为 $d/2$，可采用以下哪些方法（　　）



A. 将小球 A、B 的质量都增加到原来的 2 倍

B. 将小球 B 的质量增加到原来的 8 倍

C. 将小球 A、B 的电荷量都减小到原来的一半

D. 将小球 A、B 的电荷量都减小到原来的一半，同时将小球 B 的质量增加到原来的 2 倍

8. 如图所示，光滑绝缘水平面上有两只完全相同的金属球 A、B，带电荷量分别为 $-2Q$ 与 $-Q$。现在使它们以相同的初动能 E_0（对应的动量大小为 p_0）开始相向运动且刚好能发生接触。接触后两小球又各自反向运动。当它们刚好回到各自的出发点时的动能分别为 E_1 和 E_2，动量大



小分别为 p_1 和 p_2。下列说法中正确的是（　　）

①$E_1=E_2>E_0$，$p_1=p_2>p_0$，

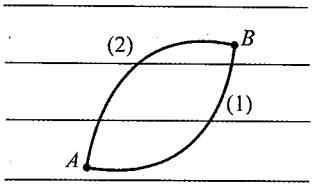
②$E_1=E_2=E_0$，$p_1=p_2=p_0$，

③接触点一定在两球初位置连线的中点右侧某点，

④两球必将同时返回各自的出发点。

A. ②④　　B. ②③　　C. ①④　　D. ③④

9. 如图所示，平行的实线代表电场线，方向未知，电荷量为 1×10^{-2} C 的正电荷在电场中只受电场力作用，该电荷由 A 点移到 B 点，动能损失了 0.1 J，若 A 点电势为 -10 V，则（　　）



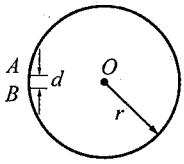
①B 点电势为零，②电场线方向向左，

③电荷运动的轨迹可能是图中曲线（1），

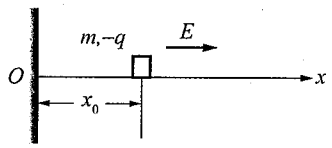
④电荷运动的轨迹可能是图中曲线（2）。

A. ①　　B. ①②　　C. ①②③　　D. ①②④

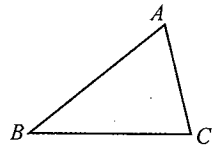
10. 如图所示，用金属丝 AB 弯成半径 $r=1$ m 的圆弧，但在 A、B 之间留出宽度为 $d=2$ cm 相对来说很小的间隙。将电量 $q=3.13\times10^{-9}$ C 的正电荷均匀分布金属丝上，求圆心 O 处的电场强度。



11. 一个质量为 m、带有电荷 $-q$ 的小物体，可在水平轨道 Ox 上运动，O 端有一与轨道垂直的固定墙。轨道处于匀强电场中，场强大小为 E，方向沿 Ox 轴正向，如图所示。小物体以初速 v_0 从 x_0 点沿 Ox 轨道运动，运动时受到大小不变的摩擦力 f 作用，且 $f<qE$；设小物体与墙碰撞时不失机械能，且电量保持不变，求它在停止运动前所通过的总路程 s。



12. 已知△ABC 处于匀强电场中。将一个带电量 $q=-2\times10^{-6}$ C 的点电荷从 A 移到 B 的过程中，电场力做功 $W_1=-1.2\times10^{-5}$ J；再将该点电荷从 B 移到 C，电场力做功 $W_2=6\times10^{-6}$ J。已知 A 点的电势 $\varphi_A=5$ V，则 B、C 两点的电势分别为_____ V 和_____ V。试在右图中画出通过 A 点的电场线。



参考答案

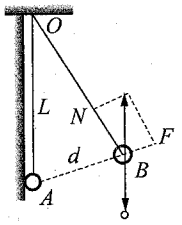
1. BD　2. A　3. B

4. B　解析：由 $U=Ed$，在 d 相同时，E 越大，电压 U 也越大，因此 $U_{AB}>U_{BC}$。

5. AD

6. A　解析：沿电场线方向电势逐渐降低，即 $\varphi_a>\varphi_b>\varphi_c$，故 A 选项正确，因只有一条电场线，故无法确定场强大小及电势差的关系。

7. BD　解析：由 B 的共点力平衡图（如图所示）知 $\frac{F}{m_Bg}=\frac{d}{L}$，而 $F=\frac{kQ_AQ_B}{d^2}$，可知 $d\propto\sqrt[3]{\frac{kQ_AQ_BL}{mg}}$。



8. C　解析：从牛顿运动定律的观点看，两球的加速度大小始终相同，相同时间内的位移大小一定相同，必然在连线中点相遇，又同时返回出发点。从动量的观点看，系统动量守恒，两球的速度始终等值反向，也可得出结论：两球必将同时返回各自的出发点，且两球末动量大小和末动能一定相等。从能量的观点看，两球接触后的电荷量都变为 $-1.5Q$，在相同距离上的库仑斥力增大，返回过程中电场力做的正功大于接近过程中克服电场力做的功，由功能关系，系统机械能必然增大，即末动能增大。

9. C　解析：正电荷从 A 点移到 B 点，动能减少，电场力做负功，电势能增加，电势升高，$U_{BA}=\frac{W}{q}=\frac{0.1}{1\times10^{-2}}\text{V}=10\text{ V}=\varphi_B-\varphi_A$。得 $\varphi_B=0$。电荷所受电场力方向向左，轨迹为曲线（1）。

10. $E_2=-9\times10^{-2}$ N/C，负号表示 E_2 方向向左，指向缺口。

11. $s=\frac{2qEx_0+mv_0^2}{2f}$

解析：小物体受到的电场力 $F=-qE$，大小不变，方向指向墙；摩擦力 f 的方向与小物体运动方向相反。不管开始时小物体是沿 x 轴正方向或负方向运动，小物体在多次与墙碰撞后，最后将停止在原点 O 处。在此过程中，

电场力所做的功为：$W_1=qEx_o$，

摩擦力做功为：　$W_2=-fs$，

全过程由动能定理：$W_1+W_2=\Delta E_k$，

即 $qEx_o-fs=0-\frac{1}{2}mv^2$，

故小物体在停止前所通过的总路程 $s=\frac{2qEx_0+mv_0^2}{2f}$。

12. -1　2

解析：先由 $W=qU$ 求出 AB、BC 间的电压分别为 6 V 和 3 V，再根据负电荷 $A\to B$ 电场力做负功，电势能增大，电势降低；$B\to C$ 电场力做正功，电势能减小，电势能升高，知 $\varphi_B=-1$ V，$\varphi_C=2$ V。沿匀强电场中任意一条直线电势能都是均匀变化的，因此，AB 中点 D 的电势能与 C 点电势能相同，CD 为等势面，过 A 做 CD 的垂线必为电场线，方向

从高电势能指向低电势能，所以斜向左下方。

第二节　电容器 带电粒子在电场中的运动

解题指南

例 1　一平行板电容器两极板间距为 d、极板面积为 S，电容为 $\frac{\varepsilon_0 S}{d}$，其中 ε_0 是常量。对此电容器充电后断开电源。当增加两板间距时，电容器极板间（　　）

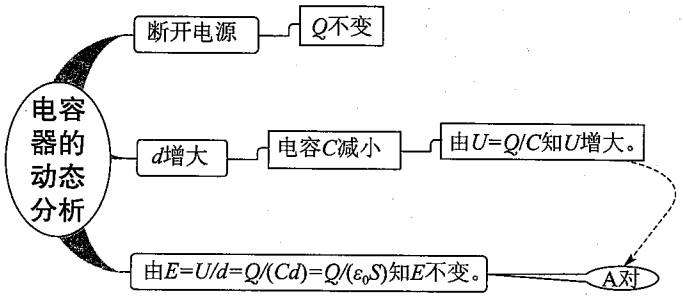
A. 电场强度不变，电势差变大

B. 电场强度不变，电势差不变

C. 电场强度减小，电势差不变

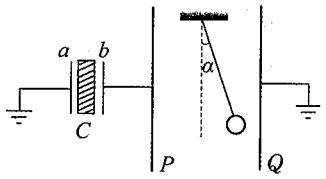
D. 电场强度减小，电势差减小

◇【解析】



◎【答案】 A

例 2　如图所示，C 为中间插有电介质的电容器，a 和 b 为其两极板；a 板接地；P 和 Q 为两竖直放置的平行金属板，在两板间用绝缘线悬挂一带电小球；P 板与 b 板用导线相连，Q 板接地。开始时悬线静止在竖直方向，在 b 板带电后，悬线偏转了角度 α。在以下方法中，能使悬线的偏角 α 变大的是（　　）



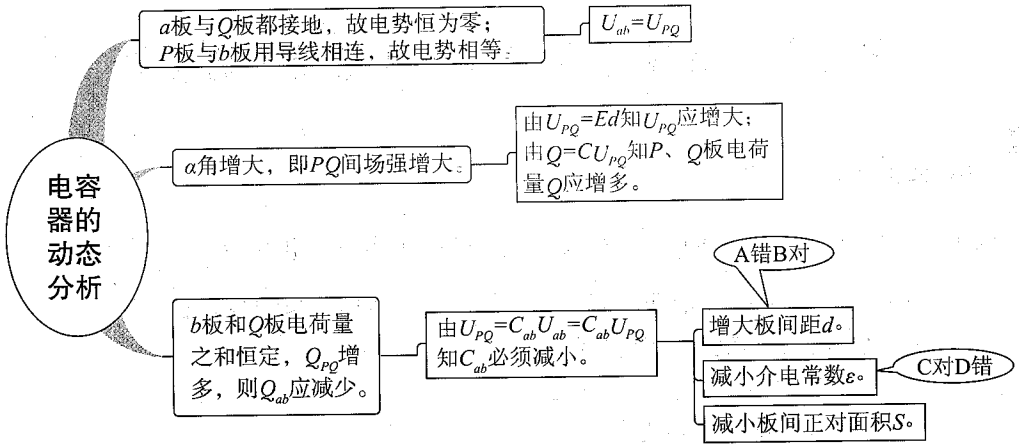
A. 缩小 a、b 间的距离

B. 加大 a、b 间的距离

C. 取出 a、b 两极板间的电介质

D. 换一块形状大小相同、介电常数更大的电介质

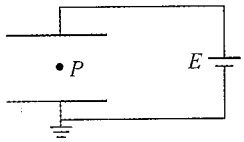
◇【解析】



◎【答案】BC

温馨提示：解决电容器的动态变化问题既要熟练$Q=CU, C=\frac{\varepsilon S}{4\pi kd}, U=Ed$三公式的应用，又要避免硬套公式出错，只有分清不变量和变量，才能进一步确定好变量之间的关系。

例 3 如图所示，平行板电容器与电动势为 E 的直流电源（内阻不计）连接，下极板接地。一带电油滴位于容器中的 P 点且恰好处于平衡状态。现将平行板电容器的上极板竖直向上移动一小段距离（　　）



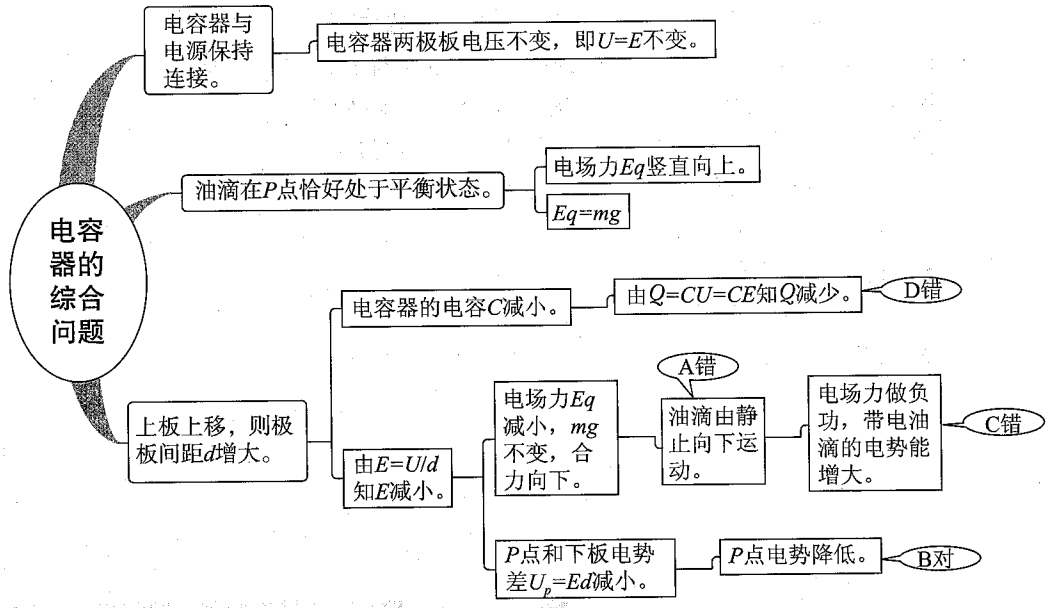
A. 带点油滴将沿竖直方向向上运动

B. P 点的电势将降低

C. 带电油滴的电势能将减少

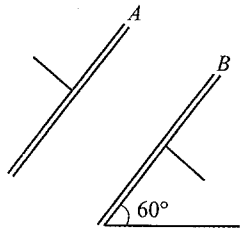
D. 若电容器的电容减小，则极板带电量将增大

◇【解析】



◎【答案】B

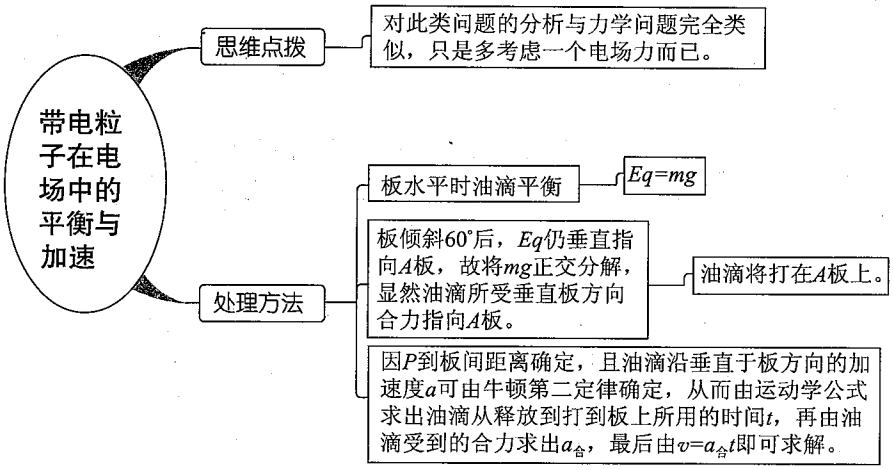
例 4　两块平行金属板 A、B 彼此平行放置，板间距离为 d，两板分别带有等量异号电荷，且 A 板带正电，B 板带负电，两板正中间有一带负电的油滴 P，当两板水平放置时，油滴恰好平衡；若把两板倾斜 60°，如图所示，把油滴从 P 点由静止释放，油滴可打在金属板上，问：



（1）油滴将打在哪一个金属板上？

（2）油滴打在金属板上的速率是多少？

◇【解析】



（1）油滴将打在 A 板上。

（2）由水平放置时油滴处于平衡状态可知 $Eq=mg$，若把两板倾斜 60°，把重力分解为垂直于电场方向和平行于电场方向的两个分量，设沿电场方向的加速度为 a。则

$qE-mg\cos 60°=ma$，即 $a=g/2$。

打到板上的时间 t 满足 $\sqrt{2gd}$，故 $t=\sqrt{\dfrac{2d}{g}}$，

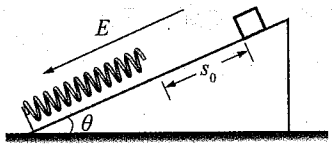
又倾斜放置时油滴受到的合力 $F_{合}=\sqrt{(mg\sin 60°)^2+\left(\dfrac{1}{2}mg\right)^2}=mg$，

故油滴运动的加速度为 $a_{合}=g$。

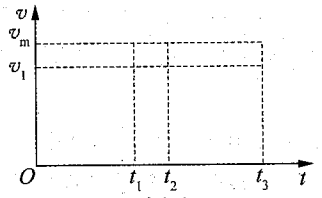
油滴打到板上的速率为 $v=a_{合}\ t=g\sqrt{\dfrac{2d}{g}}=\sqrt{2gd}$。

例 5　如图甲所示，在水平地面上固定一倾角为 θ 的光滑绝缘斜面，斜面处于电场强度大小为 E、方向沿斜面向下的匀强电场中。一劲度系数为 k 的绝缘轻质弹簧的一端固定在斜面底端，整根弹簧处于自然状态。一质量为 m、带电量为 q（$q>0$）的滑块从距离弹簧上端为 s_0 处静止释放。滑块在运动过程中电量保持不变，设滑块与弹簧接触过程没有机械能损失，弹簧始终处在弹性限度内，重力加速度大小为 g。（1）求滑块从静止释放到与弹簧上端接触瞬间所经历的时间 t_1；（2）若滑块在沿斜面向下运动的整个过程中最大速度大小为 v_m，求滑块从静止释放到速度大小为 v_m 过程中弹簧的弹力所做的功 W；（3）从滑块静止释放瞬间开始计时，请在乙图中画出滑块在沿斜面向下运动的整个过程中速度与时

间关系$v-t$图像。图中横坐标轴上的t_1、t_2及t_3分别表示滑块第一次与弹簧上端接触、第一次速度达到最大值及第一次速度减为零的时刻，纵坐标轴上的v_1为滑块在t_1时刻的速度大小，v_m是题中所指的物理量。（本小题不要求写出计算过程）

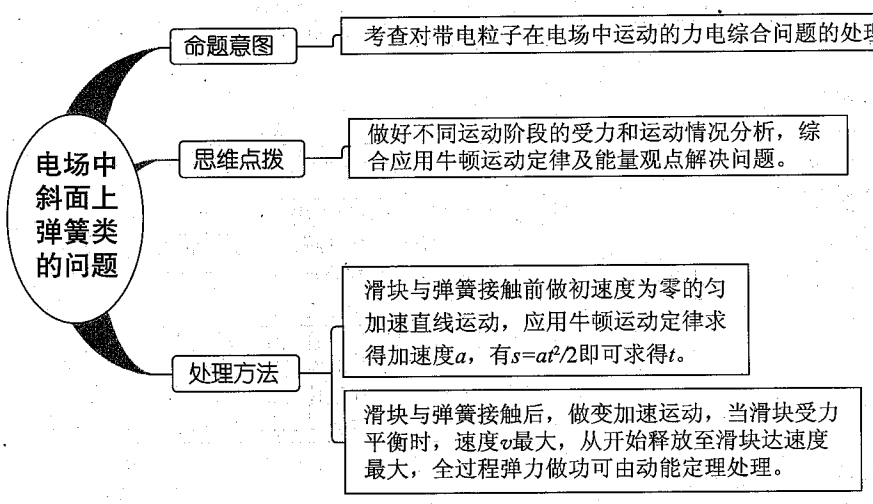


图甲



图乙

◇【解析】



（1）滑块与弹簧接触前做初速度为零的匀加速运动，

$qE+mg\sin\theta=ma$，

$s_0=\frac{1}{2}at_1^2$，

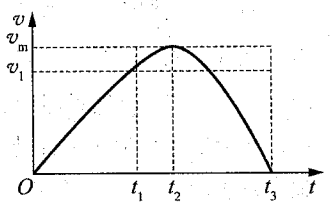
可得 $t_1=\sqrt{\frac{2ms_0}{qE+mg\sin\theta}}$。

（2）滑块速度最大时受力平衡，设此时弹簧压缩量为x_0，则$mg\sin\theta+qE=kx_0$，

从释放到速度达到最大的过程，由动能定理$(mg\sin\theta+qE)(s_0+x_0)+W=\frac{1}{2}mv_m^2-0$，

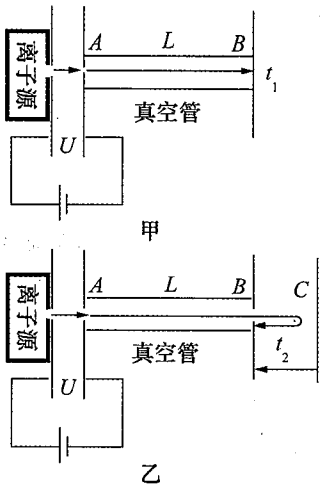
可得 $W=\frac{1}{2}mv_m^2-(mg\sin\theta+qE)\left(s_0+\frac{mg\sin\theta+qE}{k}\right)$。

（3）如图所示。



温馨提示：本题考查的问题涉及匀变速直线运动、变力做功问题及最大速度问题，运动过程的分析及综合应用牛顿运动定律和能量观点是解决问题的关键。

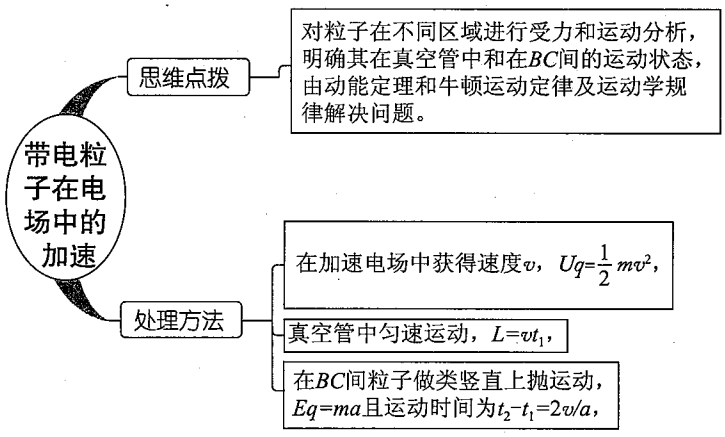
例 6　飞行时间质谱仪可通过测量离子飞行时间得到离子的荷质比 q/m。如图甲所示，带正电的离子经电压为 U 的电场加速后进入长度为 L 的真空管 AB，可测得离子飞越 AB 所用的时间 t_1。改进以上方法，如乙图所示，让离子飞越 AB 后进入场强为 E（方向如图）的匀强电场区域 BC，在电场的作用下离子返回 B 端，此时，测得离子从 A 出发后飞行的总时间 t_2。（不计离子重力）



（1）忽略离子源中离子的初速度，①用 t_1 计算荷质比；②用 t_2 计算荷质比。

（2）离子源中相同荷质比离子的初速度不尽相同，设两个荷质比都为 q/m 的离子在 A 端的速度分别为 v 和 v'（$v\neq v'$），在改进后的方法中，它们飞行的总时间通常不同，存在时间差 Δt，可通过调节电场 E 使 $\Delta t=0$，求此时 E 的大小。

【解析】



（1）设离子经电场加速后的速度为 v，由动能定理可得：$qU=\frac{1}{2}mv^2$，　　①

离子飞越真空管 AB 做匀速直线运动，则有：$L=vt_1$，　　②

由①、②两式解得离子的荷质比为：$\frac{q}{m}=\frac{L^2}{2Ut_1^2}$。　　③

离子在匀强电场区域 BC 中做往返运动，回到 B 点的速度大小仍为 v，设这一往返过程所用时间为 t'，由动量定理可得：

$$-qE\cdot t'=-mv-mv,\qquad ④$$

$$t_2=t_1+t',\qquad ⑤$$

由①、②、④、⑤解得：$\frac{q}{m}=\left(\frac{L}{\sqrt{2U}}+\frac{2\sqrt{2U}}{E}\right)^2\frac{1}{t_2^2}$。

（2）两离子的速度分别为 v、v'，则：

$$t=\frac{L}{v}+\frac{2mv}{qE}$$

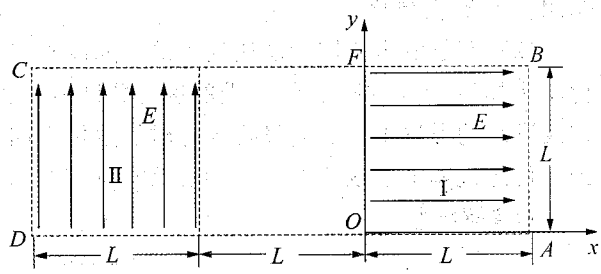
$$t'=\frac{L}{v'}+\frac{2mv'}{qE},$$

$\Delta t=t-t'=\left(\frac{L}{vv'}-\frac{2m}{qE}\right)(v-v')$。

要使 $\Delta t=0$，则须 $\frac{L}{vv'}-\frac{2m}{qE}=0$，

解得：$E=\frac{2mvv'}{qL}$。

例 7 如图所示为研究电子枪中电子在电场中运动的简化模型示意图。在 Oxy 平面的 $ABCD$ 区域内，存在两个场强大小均为 E 的匀强电场Ⅰ和Ⅱ，两电场的边界均是边长为 L 的正方形（不计电子所受重力）。

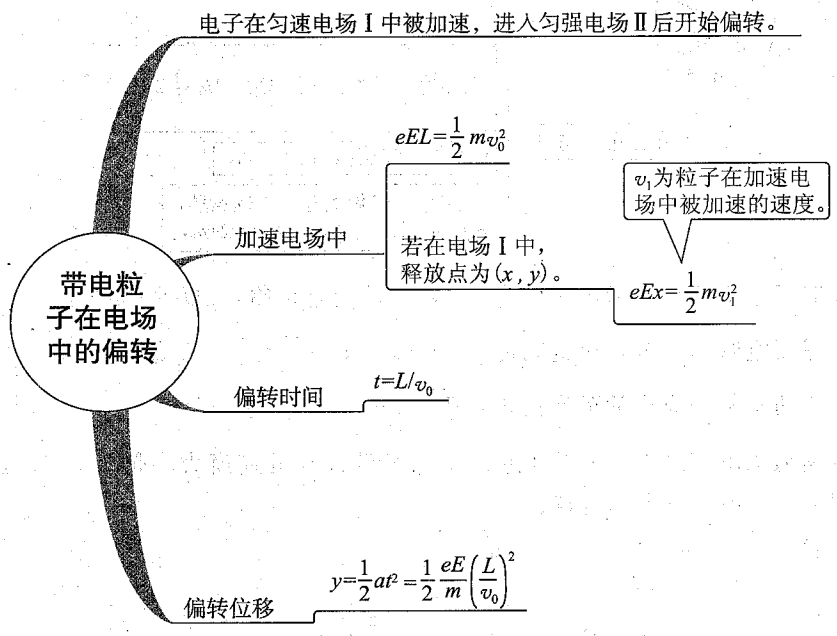


（1）在该区域 AB 边的中点处由静止释放电子，求电子离开 $ABCD$ 区域的位置。

（2）在电场Ⅰ区域内适当位置由静止释放电子，电子恰能从 $ABCD$ 区域左下角 D 处离开，求所有释放点的位置。

（3）若将左侧电场Ⅱ整体水平向右移动 L/n（$n\geqslant 1$），仍使电子从 $ABCD$ 区域左下角 D 处离开（D 不随电场移动），求在电场Ⅰ区域内由静止释放电子的所有位置。

【解析】



（1）设电子的质量为 m，电量为 e，电子在电场Ⅰ中做匀加速直线运动，出区域Ⅰ时的速度为 v_0，然后进入电场Ⅱ做类平抛运动，假设电子从 CD 边射出，出射点纵坐标为 y，有

$$eEL=\frac{1}{2}mv_0^2,$$

$$\left(\frac{L}{2}-y\right)=\frac{1}{2}\frac{eE}{m}\left(\frac{L}{v_0}\right)^2,$$

解得 $y=\frac{1}{4}L$，所以原假设成立，即电子离开 $ABCD$ 区域的位置坐标为 $\left(-2L,\ \frac{1}{4}L\right)$。

（2）设释放点在电场区域Ⅰ中，其坐标为（x，y），在电场Ⅰ中电子被加速到 v_1，然后进入电场Ⅱ做类平抛运动，并从 D 点离开，有

$$eEx=\frac{1}{2}mv_1^2,$$

$$y=\frac{1}{2}at^2=\frac{1}{2}\frac{eE}{m}\left(\frac{L}{v_1}\right)^2,$$

解得 $xy=\frac{L^2}{4}$，即在电场Ⅰ区域内满足该方程的点即为所求位置。

（3）设电子从（x，y）点释放，在电场Ⅰ中加速到 v_2，进入电场Ⅱ后做类平抛运动，在高度为 y' 处离开电场Ⅱ时的情景与（2）中类似，然后电子做匀速直线运动，经过 D 点，则有

$$eEx=\frac{1}{2}mv_2^2,$$

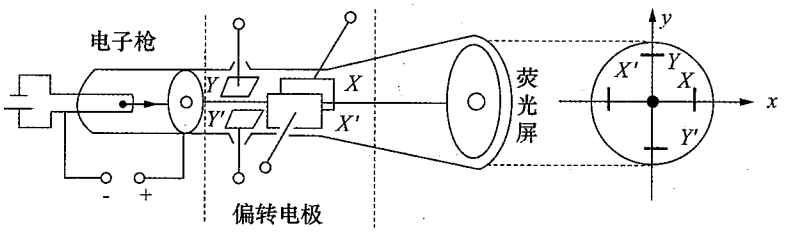
$$y-y'=\frac{1}{2}at^2=\frac{1}{2}\frac{eE}{m}\left(\frac{L}{v_2}\right)^2,$$

$$v_y=at=\frac{eEL}{mv_2},$$

$$y'=v_y\frac{L}{nv_2},$$

解得 $xy=L^2\left(\frac{1}{2n}+\frac{1}{4}\right)$，即在电场Ⅰ区域内满足该方程的点即为所求位置。

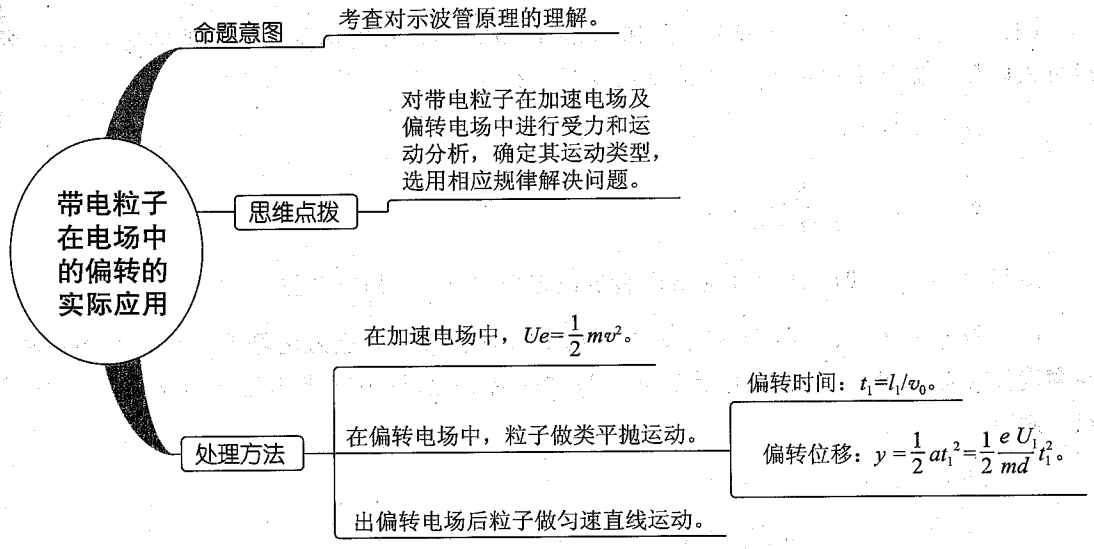
例 8　如图所示为示波管的原理图，电子枪中炽热的金属丝可以发射电子，初速度很小，可视为零。电子枪的加速电压为 U_0，紧挨着是偏转电极 YY' 和 XX'，设偏转电极的极板长均为 l_1，板间距离均为 d，偏转电极 XX' 的右端到荧光屏的距离为 l_2。电子电量为 e，质量为 m（不计偏转电极 YY' 和 XX' 二者之间的间距），在 YY'、XX' 偏转电极上不加电压时，电子恰能打在荧光屏上坐标的原点。求：



（1）若只在 YY' 偏转电极上加电压 $U_{YY'}=U_1$（$U_1>0$），则电子到达荧光屏上的速度多大？

（2）在第（1）问中，若再在 XX' 偏转电板上加上 $U_{XX'}=U_2$（$U_2>0$），试在荧光屏上标出亮点的大致位置，并求出该点在荧光屏上坐标系中的坐标值。

◇【解析】



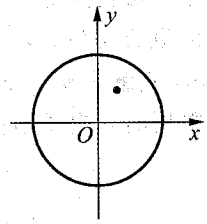
(1) 经加速电压后电子的速度为 v_0，则有 $eU_0=\frac{1}{2}mv_0^2$，

电子经过 YY' 偏转电极的时间为 t_1，侧向分速度为 v_1，则有 $t_1=\frac{L_1}{v_0}$，$v_1=\frac{eU_1}{md}t_1$，

电子打到荧光屏上的速度等于离开偏转电极时的速度，

由以上三式可得 $v=\sqrt{v_0^2+v_1^2}=\sqrt{\frac{2eU_0}{m}+\frac{eU_1^2L_1^2}{2md^2U_0}}$。

(2) 亮点的大致位置如图所示。



电子在 YY' 偏转电极中的侧向位移为 $y_1=\frac{1}{2}\frac{eU_1}{md}t_1^2$，

离开 YY' 偏转电极后的运动时间为 t_2，侧向位移为 y_2，则有 $t_2=\frac{l_1+l_2}{v_0}$，$y_2=v_1t_2$，

电子在 y 方向的位移为 $y=y_1+y_2=\frac{U_1l_1}{4dU_0}(3l_1+2l_2)$，

同理：电子在 XX' 偏转电极中的侧向位移为 $x_1=\frac{1}{2}\cdot\frac{eU_2}{md}\cdot t_1^2$，

离开 XX' 后运动时间为 t_3，侧向位移为 x_2，则有 $t_3=\frac{l_2}{v_0}$，$x_2=\frac{eU_2}{md}\cdot t_1\cdot t_3$，

电子在 x 方向的位移为 $x=x_1+x_2=\frac{U_2l_1}{4dU_0}(l_1+2l_2)$，

光点在荧光屏上的坐标为 $\left[\frac{U_2l_1}{4dU_0}(l_1+2l_2),\ \frac{U_1l_1}{4dU_0}(3l_1+2l_2)\right]$

例 9 如图 1 所示，A、B 是一对平行的金属板，在两板间加上一周期为 T 的交变电压 U，A 板电势 $U_A=0$，B 板的电势 U_B 随时间发生周期性变化，规律如图 2 所示，现有一电子从 A 板上的小孔进入两极板间的电场区内，设电子的初速度和

重力的影响均可忽略，则（　　）

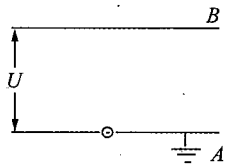


图 1

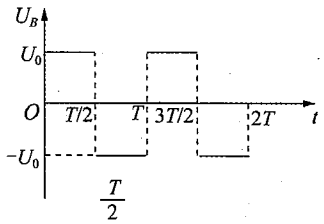


图 2

A. 若电子是在 $t=0$ 时刻进入的，它将一直向 B 板运动

B. 若电子是在 $t=T/8$ 时刻进入的，它可能时而向 B 板运动，时而向 A 板运动，最后打在 B 板上

C. 若电子是在 $t=3T/8$ 时刻进入的，它可能时而向 B 板运动，时而向 A 板运动，最后打在 B 板上

D. 若电子是在 $t=T/2$ 时刻进入的，它可能时而向 B 板运动，时而向 A 板运动

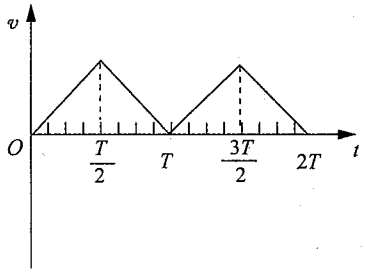


图 3

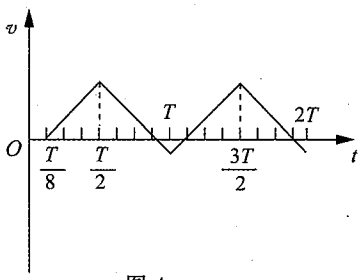


图 4

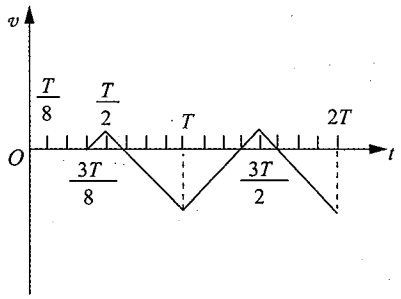
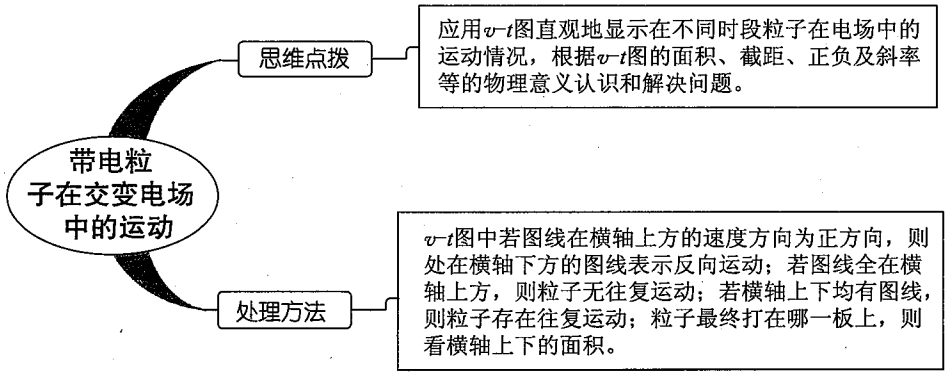


图 5

◇【解析】



由图 2 可知，平行金属板两极的电压大小不变，只是正负变化，故带电粒子进入电场中所受的电场力大小不变，只是方向变化，则其加速度也是大小不变，只是方向变化，因此，带电粒子在电场中时而做匀加速运动，时而做匀减速运动。当电子从 $t=0$ 时刻进入，在 $0\sim\frac{T}{2}$ 内做匀加加速运动；在 $\frac{T}{2}\sim T$ 内做匀减速运动，完成一个周期变化，然后循环，作出其 $v-t$ 图像，如图 3 所示，由图可知位移一直为正值，则电子是一直向 B 板运动，所以 A 项正确。当电子从 $t=\frac{T}{8}$ 时刻进入，在 $\frac{T}{8}\sim\frac{T}{2}$ 内做匀加速运动；在 $\frac{T}{2}\sim T$ 内做匀减速运动，$t=\frac{7T}{8}$ 时速度为零，然后反向做加速运动；在 $T\sim\frac{3T}{2}$ 内做加速运动，当 $t=\frac{9T}{8}$ 时速度又为零，完成一个周期变化，然后循环，其 $v-t$ 图像如图 4 所示，由图可知，在 $\frac{T}{8}\sim\frac{7T}{8}$ 内的位移大于 $\frac{7T}{8}\sim\frac{9T}{8}$ 内的位移，即电子时而向 B 板运动，时而向 A 板运动，但总体上向 B 板运动，最终打在 B 板上，所以 B 选项正确。当电子从 $t=\frac{3T}{8}$ 时刻进入，在 $\frac{3T}{8}\sim\frac{T}{2}$ 内做匀加速运动；在 $\frac{T}{2}\sim T$ 内做匀减速运动，$t=\frac{5T}{8}$ 时速度为零，然后反向做加速运动；在 $T\sim\frac{3T}{2}$ 内做加速运动，当 $t=\frac{11T}{8}$ 时速度又为零，完成一个周期，然后循环，作出其 $v-t$ 图像如图 5 所示，由图可知，在 $\frac{3T}{8}\sim\frac{8T}{8}$ 内的位移小于 $\frac{9T}{8}\sim\frac{11T}{8}$ 内的位移，即电子时而向 B 板运动，时而向 A 板运动，但总体上向 A 板运动，最终不会打 B 板上，所 C 选项错误。同理，当电子从 $T/2$ 时刻进入，一开始就反方向做加速运动，根本就不可能进入极板间，所以 D 选项错误，因此，本题正确的选项为 AB。

同步检测

1. 图 1 是某同学设计的电容式速度传感器原理图，其中上板为固定极板，下板为待测物体，在两极板间电压恒定的条件下，极板上所带电量 Q 将随待测物体的上下运动而变化，若 Q 随时间 t 的变化关系为 $Q=\frac{b}{t+a}$（a、b 为大于零的常数），其图像如图 2 所示，那么图 3、图 4 中反映极板间场强大小 E 和物体速率 v 随 t 变化的图线可能是（　　）

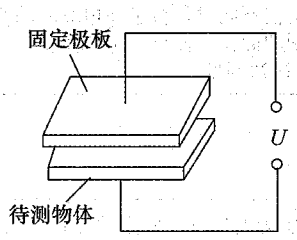


图1

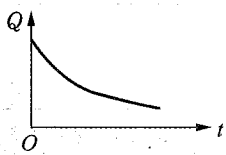


图2

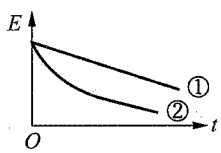


图3

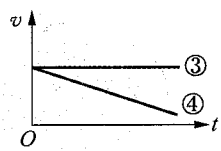
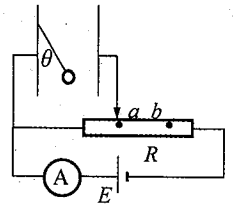


图4

A. ①和③　　B. ①和④　　C. ②和③　　D. ②和④

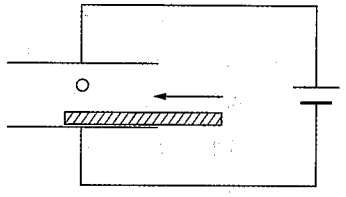
2. 竖直放置的一对平行金属板的左极板上用绝缘线悬挂了一个带正电的小球，将平行金属板按如图所示的电路图连接。绝缘线与左极板的夹角为 θ。当滑动变阻器 R 的滑片在 a 位置时，电流表的读数为 I_1，夹角为 θ_1；当滑片在 b 位置时，电流表的读数为 I_2，夹角为 θ_2。则（　　）



A. $\theta_1<\theta_2$，$I_1<I_2$　　B. $\theta_1>\theta_2$，$I_1>I_2$

C. $\theta_1=\theta_2$，$I_1=I_2$　　D. $\theta_1<\theta_2$，$I_1=I_2$

3. 如图所示，将平行板电容器两极板分别与电池正、负极相接，两板间一带电液滴恰好处于静止状态。现贴着下板插入一定厚度的金属板，则在插入过程中（　　）



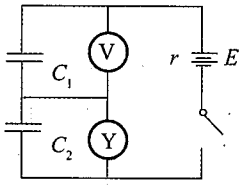
A. 电容器的带电量不变

B. 电路将有顺时针方向的短暂电流

C. 带电液滴仍将静止

D. 带电液滴将向上做加速运动

4. 如图所示，电源内阻为 r，电动势为 E，电压表内阻为 10 kΩ，Y 为静电计，两个电容器的电容分别为 C_1 和 C_2。下列说法中正确的是（　　）



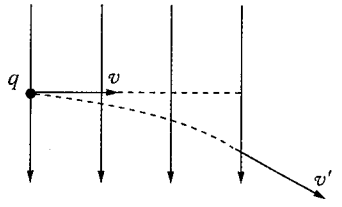
A. 若 $C_1=C_2$，电压表和静电计两端电压相等

B. 若 $C_1<C_2$，则电压表两端电压为零

C. 不论 C_1 和 C_2 是否相等，电压表两端电压均为零

D. C_2 上带电量为零

5. 一束一价正离子流垂直于电场方向进入匀强电场，若它们飞出电场的偏向角相同，如图所示，则可断定它们进入电场时（　　）



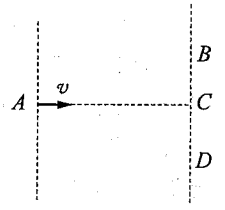
A. 一定具有相同的质量

B. 一定具有相同的速度

C. 一定具有相同的动能

D. 一定具有相同的动量

6. 如图所示空间的某一区域内存在着相互垂直的匀强电场和匀强磁场，一个带电粒子以某一初速度由 A 点进入这个区域沿直线运动，从 C 点离开区域；如果这个区域只有电场，则粒子从 B 点离开场区；如果这个区域只有磁场，则粒子从 D 点离开场区；设粒子在上述三种情况下，从 A 到 B 点、A 到 C 点和 A 到 D 点所用的时间分别是 t_1、t_2 和 t_3，比较 t_1、t_2 和 t_3 的大小，则有（粒子重力忽略不计）（　　）

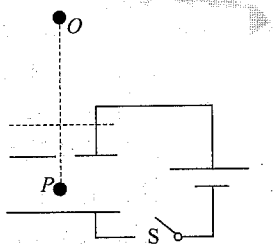


A. $t_1=t_2=t_3$　　B. $t_2<t_1<t_3$

C. $t_1=t_2<t_3$　　D. $t_1=t_3>t_2$

7. 如图所示，一对水平放置的平行金属板通过开关 S 与电源相连接，一个带电微粒从金属板正上方的 O 点释放后，自由落下，通过上金属板上的小孔，进入两个平

行金属板间，到达 P 点后返回。若将上金属板向上移到虚线处再从 O 点释放带电微粒，则有（　　）



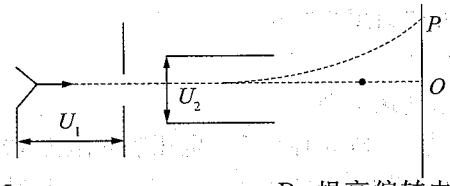
A. 若保持开关闭合状态移动上金属板，带电微粒落下后，仍能到达 P 点后返回

B. 若保持开关闭合状态移动上金属板，带电微粒落下后，尚未到达 P 点就返回

C. 若将开关断开后移动上金属板，带电微粒落下后，仍能到达 P 点后返回

D. 若将开关断开后移动上金属板，带电微粒落下后，尚未到达 P 点就返回

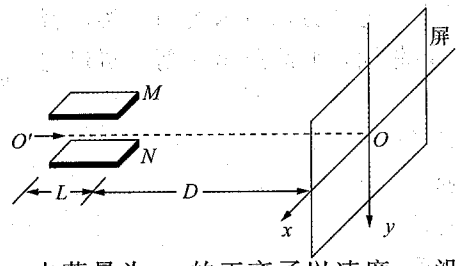
8. 如图所示是示波器的原理图，电子在电压为 U_1 的加速电场加速后射入电压为 U_2 的偏转电场，离开偏转电场后电子打在荧光屏上的 P 点，P 点与 O 点的距离叫做偏转距离，而单位偏转电压引起的偏转距离称之为示波器的灵敏度。要提高示波器的灵敏度，可以采取以下哪些方法（　　）



A. 提高加速电压 U_1　　B. 提高偏转电压 U_2

C. 增大偏转电场极板的长度　　D. 增大偏转电场极板间的距离

9. 质谱分析技术已广泛应用于各前沿科学领域。汤姆孙发现电子的质谱装置示意如图所示，M、N 为两块水平放置的平行金属极板，板长为 L，板右端到屏的距离为 D，且 D 远大于 L，$O'O$ 为垂直于屏的中心轴线，不计离子重力和离子在板间偏离 $O'O$ 的距离。以屏中心 O 为原点建立 xOy 直角坐标系，其中 x 轴沿水平方向，y 轴沿竖直方向。



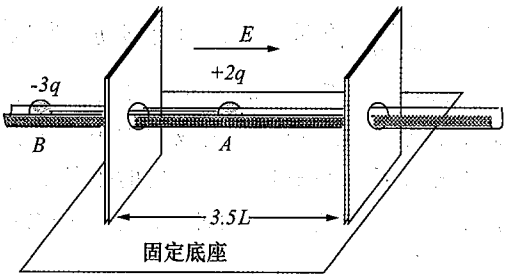
（1）设一个质量为 m_0、电荷量为 q_0 的正离子以速度 v_0 沿 $O'O$ 的方向从 O' 点射入，板间不加电场和磁场时，离子打在屏上 O 点。若在两极板间加一沿 $+y$ 方向场强为 E 的匀强电场，求离子射到屏上时偏离 O 点的距离 y_0。

（2）假设你利用该装置探究未知离子，试依照以下实验结果计算未知离子的质量数。

上述装置中，保留原电场，再在板间加沿 $-y$ 方向的匀强磁场。现有电荷量相同的两种正离子组成的离子流，仍从 O' 点沿 $O'O$ 方向射入，屏上出现两条亮线。在两线上取 y 坐标相同的两个光点，对应的 x 坐标分别为 3.24 mm 和 3.00 mm，其中 x 坐标大的光点是碳-12 离子击中屏产生的，另一光点是未知离子产生的。尽管入射离子速度不完全相同，但入射速度都很大，且在板间运动时 $O'O$ 方向的分速度总是远大于 x 方向和 y 方向的分速度。

10. 如图所示，沿水平方向放置一条平直光滑槽，它垂直穿过开有小孔的两平行薄板，板相距 $3.5L$。槽内有两个质量均为 m 的小球 A 和 B，球 A 带电量为 $+2q$，球 B 带电

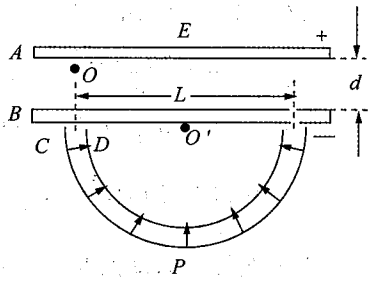
量为$-3q$，两球由长为$2L$的轻杆相连，组成一带电系统。最初A和B分别静止于左板的两侧，离板的距离均为L。若视小球为质点，不计轻杆的质量，在两板间加上与槽平行向右的匀强电场E后（设槽和轻杆由特殊绝缘材料制成，不影响电场的分布），求：



（1）球B刚进入电场时，带电系统的速度大小。

（2）带电系统从开始运动到速度第一次为零所需的时间及球A相对右板的位置。

11. 如图所示，A、B为两块平行金属板，A板带正电、B板带负电。两板之间存在着匀强电场，两板间距为d、电势差为U，在B板上开有两个间距为L的小孔。C、D为两块同心半圆形金属板，圆心都在贴近B板的O'处，C带正电、D带负电。两板间的距离很近，两板末端的中心线正对着B板上的小孔，两板间的电场强度可认为大小处处相等，方向都指向O'。半圆形金属板两端与B板的间隙可忽略不计。现从正对B板小孔紧靠A板的O处由静止释放一个质量为m、电量为q的带正电微粒（微粒的重力不计），问：



（1）微粒穿过B板小孔时的速度多大；

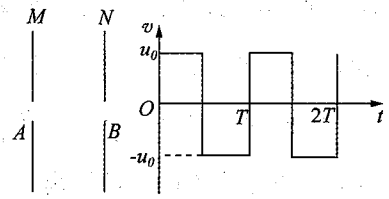
（2）为了使微粒能在CD板间运动而不碰板，CD板间的电场强度大小应满足什么条件。

（3）从释放微粒开始，经过多长时间微粒会通过半圆形金属板间的最低点P点？

12. 平行的两个金属板M、N相距d，两板上有两个正对的小孔A和B，A、B连线与板面垂直，在两个金属板上加有如图所示的交流电压u，交流电的周期为T，在$t=0$时，N板的电势比M板高u_0，一个带正电的微粒质量为m，带电量为q，经电压为u（$u<u_0$）的电场加速后，从A孔垂直于M板射入两板间。

（1）对于加速电压u，存在着一个u_c，当$u>u_c$时，带电微粒能够沿一个方向运动，一直到从B孔射出，求u_c的大小？

（2）加速电压u多大时？带电微粒不会从B孔射出？



参考答案

1. C　解析：由题意可知：$E=\frac{U}{d}=\frac{Q}{cd}=\frac{Q}{\frac{\varepsilon S}{4k\pi d}d}=\frac{Q}{\frac{\varepsilon S}{4k\pi}}$，所以$E$的变化规律与$Q$的变化规律相似，所以$E$的图像为②，由$Q=CU=\frac{\varepsilon S}{4k\pi d}U=\frac{b}{t+a}$，所以$d=\frac{\varepsilon SU}{4k\pi b}t+\frac{\varepsilon SU}{4k\pi b}a$，可

见 $v=\frac{\varepsilon SU}{4k\pi b}$=常量，故是匀速移动，所以速度图像为③，综上所述 C 正确。

2. D　解析：先根据电容器在电路稳定的情况下相当于断路，比较两种情况下两极板的电势差、电场强度、电场力大小进而确定角度关系；再根据两种情况下的总电阻大小确定电流关系。当滑片在 a 位置时平行板电容器两极板间电势差比当滑片在 b 位置时小，场强也就小，故 $\theta_1<\theta_2$，两种情况下的闭合电路总电阻不变，故 $I_1=I_2$，所以正确选项为 D。

3. D

4. C　解析：由于电容 C_1、C_2 和静电计 Y 在电路中都起断路作用，故没有电流通过电压表，故正确答案为选项 C。

5. C　6. C　7. BD　8. C

9. （1）$y_0=\frac{q_0ELD}{m_0v_0^2}$　（2）未知离子的质量数为 14

解析：（1）离子在电场中受到的电场力 $F_y=q_0E$，

离子获得的加速度 $a_y=\frac{F_y}{m_0}$，

离子在板间运动的时间 $t_0=\frac{L}{v_0}$，

到达极板右边缘时，离子在 $+y$ 方向的分速度 $v_y=a_yt_0$，

离子从板右端到达屏上所需时间 $t_0'=\frac{D}{v_0}$，

离子射到屏上时偏离 O 点的距离 $y_0=v_yt_0'$，

由上述各式，得

$$y_0=\frac{q_0ELD}{m_0v_0^2}, \qquad ①$$

（2）设离子电荷量为 q，质量为 m，入射时速度为 v，磁场的磁感应强度为 B，磁场对离子的洛伦兹力 $F_x=qvB$，

已知离子的入射速度都很大，因而离子在磁场中运动时间甚短，所经过的圆弧与圆周相比甚小，且在板间运动时，$O'O$ 方向的分速度总是远大于在 x 方向和 y 方向的分速度，洛伦兹力变化甚微，故可作恒力处理，洛伦兹力产生的加速度 $a_x=\frac{qvB}{m}$，

a_x 是离子在 x 方向的加速度，离子在 x 方向的运动可视为初速度为零的匀加速直线运动，到达极板右端时，离子在 x 方向的分速度 $v_x=a_xt=\frac{qvB}{m}\left(\frac{L}{v}\right)=\frac{qBL}{m}$，

离子飞出极板到达屏时，在 x 方向上偏离 O 点的距离

$$x=v_xt'=\frac{qBL}{m}\left(\frac{D}{v}\right)=\frac{qBLD}{mv}, \qquad ②$$

当离子的初速度为任意值时，离子到达屏上时的位置在 y 方向上偏离 O 点的距离为 y，考虑到①式，得

$$y=\frac{qELD}{mv^2}, \qquad ③$$

由②、③两式得

$$x^2=\frac{k}{m}y, \qquad ④$$

其中 $k=\frac{qB^2LD}{E}$。

上式表明，k 是与离子进入板间初速度无关的定值，对两种离子均相同，由题设条件知，x 坐标 3.24 mm 的光点对应的是碳-12 离子，其质量为 $m_1=12\ u$，x 坐标 3.00 mm 的光点对应的是未知离子，设其质量为 m_2，由④式代入数据可得 $m_2\approx14\ u$，

故该未知离子的质量数为 14。

10. (1) $v_1=\sqrt{\frac{2qEL}{m}}$　(2) $t=\frac{7}{3}\sqrt{\frac{2mL}{qE}}$，　$x=\frac{L}{6}$

解析：对带电系统进行分析，假设球 A 能达到右极板，电场力对系统做功为 W_1，有

$$W_1=2qE\times2.5L+(-3qE\times1.5L)>0,$$

可见小球 A 能穿过小孔，离开右极板。

假设球 B 能达到右极板，电场力对系统做功为 W_2，有

$$W_2=2qE\times2.5L+(-3qE\times3.5L)<0,$$

可见小球 B 不能达到右极板。

综上所述，带电系统速度第一次为零时，小球 A、B 应分别在右极板两侧。

(1) 带电系统开始运动时，设加速度为 a_1，由牛顿第二定律得

$$a_1=\frac{2qE}{2m}=\frac{qE}{m}, \qquad ①$$

球 B 刚进入电场时，带电系统的速度为 v_1，有

$$v_1^2=2a_1L, \qquad ②$$

由①、②式求得：$v_1=\sqrt{\frac{2qEL}{m}}$。　③

(2) 设球 B 从静止到刚进入电场的时间为 t_1，则

$$t_1=\frac{v_1}{a_1}, \qquad ④$$

将①、③式代入⑥式得

$$t_1=\sqrt{\frac{2ml}{qE}}, \qquad ⑤$$

球 B 进入电场后，带电系统的加速度为 a_2，由牛顿第二定律得

$$a_2=\frac{-3qE+2qE}{2m}=-\frac{qE}{2m},$$

显然，带电系统做匀减速运动。设球 A 刚达到右极板时的速度为 v_2，减速所需时间为 t_2，则有

$$v_2^2-v_1^2=2a_2\times1.5L,$$

$$t_2=\frac{v_2-v_1}{a_2},$$

求得：

$$v_2=\frac{1}{2}\sqrt{\frac{2qEL}{m}},\ t_2=\sqrt{\frac{2mL}{qE}}, \qquad ⑥$$

球 A 离电场后，带电系统继续做减速运动，设加速度为 a_3，再由牛顿第二定律：

$$a_3=\frac{-3qE}{2m},$$

设球 A 从离开电场到静止所需的时间为 t_3，运动的位移为 x，则有

$$t_3=\frac{0-v_2}{a_3},$$

$$-v_2^2=2a_3x,$$

求得：

$$t_3=\frac{1}{3}\sqrt{\frac{2mL}{qE}},\ x=\frac{L}{6}。\qquad ⑦$$

由⑤、⑥、⑦可知，带电系统从静止到速度第一次为零所需的时间

$$t=t_1+t_2+t_3=\frac{7}{3}\sqrt{\frac{2mL}{qE}}。$$

球 A 相对右板的位置 $x=\frac{L}{6}$。

11. （1）$v=\sqrt{\frac{2qU}{m}}$　（2）$E=\frac{4U}{L}$　（3）$t=(2k+1)\left(2d+\frac{\pi L}{4}\right)\sqrt{\frac{m}{2qU}}$

解析：（1）设微粒穿过 B 板小孔时的速度为 v，根据动能定理，有 $qU=\frac{1}{2}mv^2$，

解得

$$v=\sqrt{\frac{2qU}{m}}。\qquad ①$$

（2）微粒进入半圆形金属板后，电场力提供向心力，有

$$qE=m\frac{v^2}{R}=m\frac{2v^2}{L},\qquad ②$$

联立①②式，得 $E=\frac{4U}{L}$。

（3）微粒从释放开始经 t_1 射出 B 板的小孔，则 $t_1=\frac{d}{\frac{v}{2}}=\frac{2d}{v}=2d\sqrt{\frac{m}{2qU}}$。

设微粒在半圆形金属板间运动经过 t_2 第一次到达最低点 P 点，则 $t_2=\frac{\pi L}{4v}=\frac{\pi L}{4}\sqrt{\frac{m}{2qU}}$。

所以从释放微粒开始，经过 $(t_1+t_2)=\left(2d+\frac{\pi L}{4}\right)\sqrt{\frac{m}{2qU}}$微粒第一次到达 P 点。

根据运动的对称性，易知再经过 $2(t_1+t_2)$微粒再一次经过 P 点，

所以经过时间 $t=(2k+1)\left(2d+\frac{\pi L}{4}\right)\sqrt{\frac{m}{2qU}}$，$k=0$，1，2，…微粒经过 P 点。

12. （1）$u_c=\frac{qu_0^2T^2}{8md^2}$　（2）$u=\frac{3-2\sqrt{2}}{4}\frac{qu_0^2T^2}{md^2}$

解析：（1）“在 $u<u_0$ 的情况下，微粒在第一个半周期内通过 B 孔”这种可能性可以排除。可见，临界情况是微粒经半周期时，速度为零。微粒经过 A 时的速度 v_0 满足：qu

$= mv_0^2/2$，减速运动加速度的大小 a 满足：$a = qu_0/(md)$，又 $0 - v_0 = -aT/2$。

从上述三式可得到 $u = qu_0^2T^2/(8md^2)$，所以 $u_c = qu_0^2T^2/(8md^2)$。

因为题目里规定 $u_c < u_0$，则 $qu_0^2T^2/(8md^2) < u_0$。

（2）临界情况是：经小于半周期的时间 t（待求）时速度减小到零，然后向左加速运动，经半周期后，向左减速运动，在时刻（$T - t$）时，速度减小到零，且位于 A 点，有

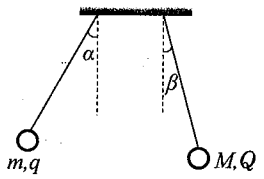
$$at^2/2 = 2\times(1/2)\,a\,(T/2-t)^2,$$

$$0-v_0 = -at,$$

再结合第（1）问中的前两个等式解得 $u = \dfrac{3-2\sqrt{2}}{4}\dfrac{qu_0^2T^2}{md^2}$。

本章知识检测题

1. 两个小球带电后相互排斥，如图所示。两悬线跟竖直方向各有一个夹角 α、β，且两球在同一水平面上。两球质量用 m 和 M 表示，所带电量用 q 和 Q 表示。若已知 $\alpha > \beta$，则一定有关系（　　）



A. 两球一定带同种电荷

B. m 一定小于 M

C. q 一定大于 Q

D. m 受到的电场力一定大于 M 所受电场力

2. 在电场中 P 点放一个检验电荷 $-q$，它所受的电场力为 F，则关于 P 点电场强度 E_P 正确的说法是（　　）

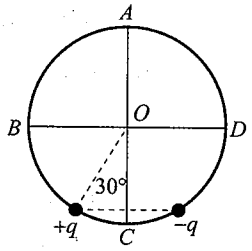
A. $E_P = F/q$，方向与 F 相同

B. 若取走 $-q$，P 点的电场强度 $E_P = 0$

C. 若检验电荷为 $-2q$，则 $E_P = F/2q$

D. E_P 与检验电荷无关

3. 如图所示，AC、BD 为圆的两条互相垂直的直径，圆心为 O，半径为 R，将等电量的正、负点电荷放在圆周上，它们的位置关于 AC 对称，$+q$ 与 O 点的连线和 OC 间夹角为 30°，下列说法中正确的是（　　）



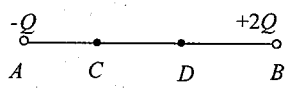
A. A、C 两点的电势关系是 $\Phi_A = \Phi_C$

B. B、D 两点的电势关系是 $\Phi_B = \Phi_D$

C. O 点的场强大小为 Kq/r^2

D. O 点的场强大小为 $\dfrac{\sqrt{3}kq}{r^2}$

4. 如图所示，A、B 两点各放有电量为 $-Q$ 和 $+2Q$ 的点电荷，A、B、C、D 四点在同一直线上，且 $AC = CD = DB$。将一正电荷从 C 点沿直线移到 D 点，则（　　）



A. 电场力一直做正功

B. 电场力先做正功再做负功

C. 电场力一直做负功

D. 电场力先做负功再做正功

5. 带负电的粒子在某电场中仅受电场力的作用，能分别做以下两种运动：(1) 在电场线上运动，(2) 在等势面上做匀速圆周运动。该电场可能由（　　）

A. 一个带正电的点电荷形成

B. 一个带负电的点电荷形成

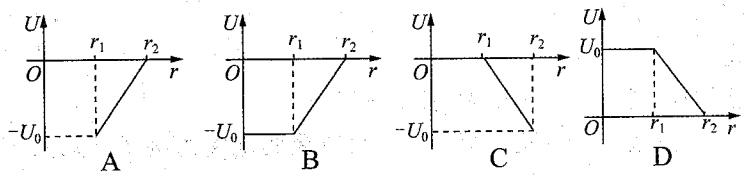
C. 两个分立的带等量负电的点电荷形成

D. 一带负电的点电荷与带正电的无限大平板形成

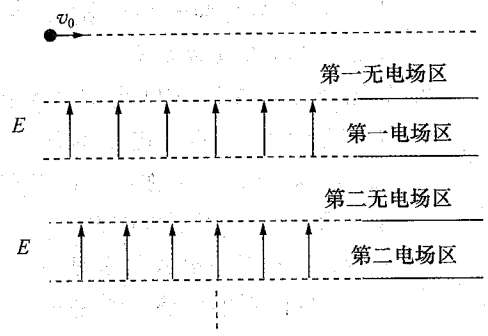
6. 质子和中子是由更基本的粒子即所谓“夸克”组成的。两个强作用电荷相反（类似于正负电荷）的夸克在距离很近时几乎没有相互作用（称为“渐近自由”）；在距离较远时，它们之间就会出现很强的引力（导致所谓“夸克禁闭”）。作为一个简单的模型，设这样的两夸克之间的相互作用力 F 与它们之间的距离 r 的关系为：

$$F=\begin{cases}0, & 0<r<r_1,\\ -F_0, & r_1\leqslant r\leqslant r_2,\\ 0, & r>r_2,\end{cases}$$

式中，F_0 为大于零的常量，负号表示引力。用 U 表示夸克间的势能，令 $U_0=F_0(r_2-r_1)$，取无穷远为势能零点。如图所示的 $U-r$ 图中正确的是（　　）



7. 一个质量为 m、电荷量为 $+q$ 的小球以初速度 v_0 水平抛出，在小球经过的竖直平面内，存在着若干个如图所示的无电场区和有理想上下边界的匀强电场区，两区域相互间隔、竖直高度相等，电场区水平方向无限长，已知每一电场区的场强大小相等、方向均竖直向上，不计空气阻力，下列说法中正确的是（　　）



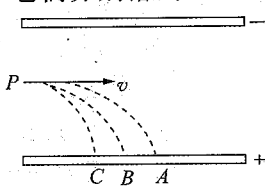
A. 小球在水平方向一直做匀速直线运动

B. 若场强大小等于 $\frac{mg}{q}$，则小球经过每一电场区的时间均相同

C. 若场强大小等于 $\frac{2mg}{q}$，则小球经过每一无电场区的时间均相同

D. 无论场强大小如何，小球通过所有无电场区的时间均相同

8. 如图所示，有三个质量相等，分别带正电、负电和不带电的小球，从上、下带电平行金属板间的 P 点。以相同速率垂直电场方向射入电场，它们分别落到 A、B、C 三点，则（　　）



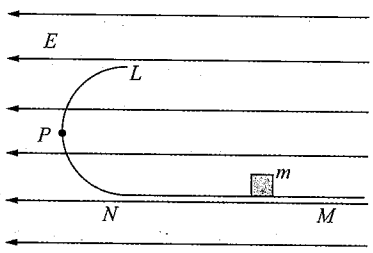
A. A 带正电、B 不带电、C 带负电

B. 三小球在电场中运动时间相等

C. 在电场中加速度的关系是 $a_C>a_B>a_A$

D. 到达正极板时动能关系 $E_A>E_B>E_C$

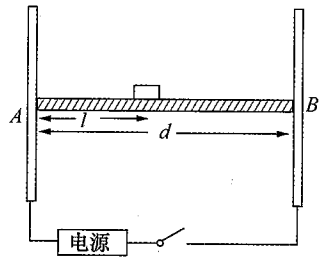
9. 如图所示，在 $E=10^3$ V/m 的水平向左匀强电场中，有一光滑半圆形绝缘轨道竖直放置，轨道与一水平绝缘轨道 MN 连接，半圆轨道所在竖直平面与电场线平行，其半径 $R=40$ cm，一带正电荷 $q=10^{-4}$ C 的小滑块质量为 $m=40$ g，与水平轨道间的动摩因数 $\mu=0.2$，g 取 10m/s^2，求：



(1) 要小滑块能运动到圆轨道的最高点 L，滑块应在水平轨道上离 N 点多远处释放？

(2) 这样释放的滑块通过 P 点时对轨道压力是多大？（P 为半圆轨道中点）

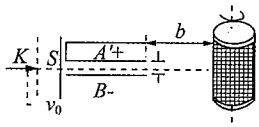
10. 如图所示，相距为 d 的平行金属板 A、B 竖直放置，在两板之间水平放置一绝缘平板。有一质量 m、电荷量 q（$q>0$）的小物块在与金属板 A 相距 l 处静止。若某一时刻在金属板 A、B 间加一电压 $U=\dfrac{3\mu mgd}{2q}$，小物块与金属板只发生了一次碰撞，碰撞后电荷量变为 $-\dfrac{q}{2}$，并以与碰前大小相等的速度反方向弹回。已知小物块与绝缘平板间的动摩擦因素为 μ，若不计小物块电荷量对电场的影响和碰撞时间。则



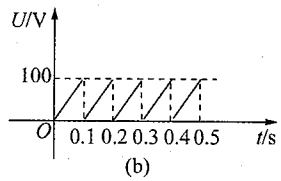
(1) 小物块与金属板 A 碰撞前瞬间的速度大小是多少？

(2) 小物块碰撞后经过多长时间停止运动？停在何位置？

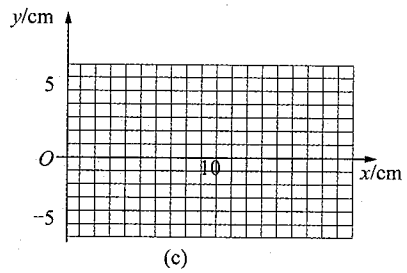
11. 如图 (a) 所示，真空室中电极 K 发出的电子（初速为零）。经 $U=1\,000$ V 的加速电场后，由小孔 S 沿两水平金属板 A、B 两板间的中心线射入，A、B 板长 $L=0.20$ m，相距 $d=0.020$ m，加在 A、B 两板间的电压 U 随时间 t 变化 $U-t$ 图线如图 (b) 所示。设 A、B 两板间的电场可以看做是均匀的，且两板外无电场。在每个电子通过电场区域的极短时间内，电场可视做恒定的。两板右侧放一记录圆筒，筒的左侧边缘与极板右端距离 $b=0.15$ m，筒绕其竖直轴匀速转动，转动周期 $T=0.20$ s，筒的周长 $S=0.20$ m，筒能接收到通过 A、B 板的全部电子。



(a)



(b)



(c)

(1) 以 $t=0$ 时［见图 (b)，此时 $U=0$］电子打到圆筒记录纸上的点作为 xOy 坐标系的原点，并取 y 轴竖直向上，试计算电子打到记录纸上的最高点的 y 坐标和 x 坐标（不计重力）。

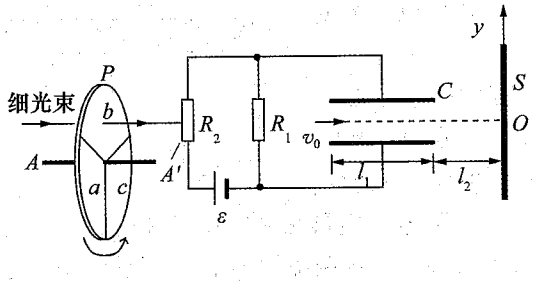
(2) 在给出的坐标纸［如图 (c) 所示］上定量地画出电子打到记录纸上的点形成的图线。

12. 图 (a) 中 B 为电源，电动势 $\varepsilon=27$ V，内阻不计。固定电阻 $R_1=500\ \Omega$，R_2 为光

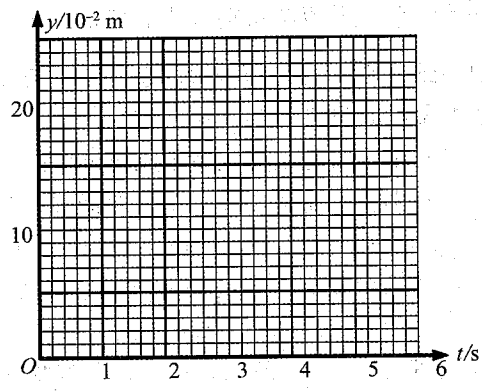
敏电阻。C 为平行板电容器，虚线到两极板距离相等，极板长 $l_1=8.0\times10^{-2}$ m，两极板的间距 $d=1.0\times10^{-2}$ m。S 为屏，与极板垂直，到极板的距离 $l_2=0.16$ m。P 为一圆盘，由形状相同、透光率不同的三个扇形 a、b 和 c 构成，它可绕 AA' 轴转动。当细光束通过扇形 a、b、c 照射光敏电阻 R_2 时，R_2 的阻值分别为 1 000 Ω、2 000 Ω、4 500 Ω。有一细电子束沿图中虚线以速度 $v_0=8.0\times10^6$ m/s 连续不断地射入 C。已知电子电量 $e=1.6\times10^{-19}$ C，电子质量 $m=9\times10^{-31}$ kg。忽略细光束的宽度、电容器的充电放电时间及电子所受的重力。假设照在 R_2 上的光强发生变化时 R_2 阻值立即有相应的改变。

(1) 设圆盘不转动，细光束通过 b 照射到 R_2 上，求电子到达屏 S 上时，它离 O 点的距离 y。(计算结果保留两位有效数字)。

(2) 设转盘按图 (a) 中箭头方向匀速转动，每 3 s 转一圈。取光束照在 a、b 分界处时 $t=0$，试在图 (b) 给出的坐标纸上，画出电子到达屏 S 上时，它离 O 点的距离 y 随时间 t 的变化图线 (0～6s 间)。要求在 y 轴上标出图线最高点与最低点的值。(不要求写出计算过程，只按画出的图线评分。)



(a)



(b)

参考答案

1. AB　2. D　3. AC　4. C

5. A　解析：带电粒子在电场力作用下做匀速圆周运动的常见情况：点电荷形成的电场，异种电荷可绕其做匀速圆周运动；等量同种电荷形成的电场，在两个电荷连线的垂直平分面上异种电荷可以做匀速圆周运动。

6. B　解析：从无穷远处电势为零开始到 $r=r_2$ 位置，势能恒定为零，在 $r=r_2$ 到 $r=r_1$ 过程中，恒定引力做正功，势能逐渐均匀减小，即势能为负值且越来越小，此部分图像为 A、B 选项中所示；$r<r_1$ 之后势能不变，恒定为 $-U_0$，由引力做功等于势能将少量，故 $U_0=F_0(r_2-r_1)$。

7. AC

8. AC　解析：三个粒子做的都是类平抛运动，但是运动时间不一样，而竖直位移则是一样的，由此可得到三个粒子的加速度的关系 $a_C>a_B>a_A$，力是产生加速度的原因，而三个粒子的受力基本都是重力和电场力，所以就可以根据这个判断出 A 带正电、B 不带电、C 带负电。因此，本题的正确选项为 A、C。

9. (1) $s=20$ m　(2) $N=1.5$ N

解析：(1) 滑块刚能通过轨道最高点条件：$mg=m\frac{v^2}{R}$，$v=\sqrt{Rg}=2$ m/s，

滑块由释放点到最高点过程，由动能定理：$Eqs-\mu mgs-mg\cdot 2R=\frac{1}{2}mv^2$，

所以 $s=m\frac{(\frac{1}{2}v^2+2gR)}{Eq-\mu mg}$。

代入数据得：$s=20$ m。

(2) 滑块过 P 点时，由动能定理：$-mgR-EqR=\frac{1}{2}mv^2-\frac{1}{2}mv_p^2$，

所以 $v_p^2=v^2+2\left(g+\frac{Eq}{m}\right)R$。

在 P 点由牛顿第二定律：$N-Eq=\frac{mv_p^2}{R}$，

所以 $N=3(mg+Eq)$。

代入数据得：$N=1.5$ N。

10. (1) $\sqrt{\mu gl}$　(2) 时间为 $4\sqrt{\frac{1}{\mu g}}$，停在 $2l$ 处或距离 B 板为 $2l$

解析：本题考查电场中的动力学问题。

(1) 加电压后，B 极板电势高于 A 板，小物块在电场力作用与摩擦力共同作用下向 A 板做匀加速直线运动。电场强度为 $E=\frac{U_{BA}}{d}$。

小物块所受的电场力与摩擦力方向相反，则合外力为 $F_{合}=qE-\mu mg$，

故小物块运动的加速度为 $a_1=\frac{F_{合}}{m}=\frac{qU-\mu mgd}{md}=\frac{1}{2}\mu g$。

设小物块与 A 板相碰时的速度为 v_1，由 $v_1^2=2a_1l$，

解得 $v_1=\sqrt{\mu gl}$。

(2) 小物块与 A 板相碰后以 v_1 大小相等的速度反弹，因为电荷量及电性改变，电场力大小与方向发生变化，摩擦力的方向发生改变。小物块所受的合外力大小为 $F_{合}=\mu mg-\frac{qE}{2}$。

加速度大小为 $a_2=\frac{F_{合}}{m}=\frac{1}{4}\mu g$。

设小物块碰后到停止的时间为 t，注意到末速度为零，有 $0-v_1=-a_2t$，

解得 $t=\frac{v_1}{a_2}=4\sqrt{\frac{1}{\mu g}}$。

设小物块碰后停止时距离为 x，注意到末速度为零，有 $0-v_1^2=-2a_2x$，

则 $x=\frac{v^2}{2a_2}=2l$，

或距离 B 板为 $d=2l$。

11. (1) 打在记录纸上最高点有两个坐标分别是 (2 cm，2.5 cm) 和 (12 cm，2.5 cm)

(2) 图线见解析

解析：(1) 设 v_0 为电子沿 AB 板中心线射入电场时的初速度，则

$$mv_0^2/2 = eU_0, \qquad ①$$

电子穿过 A、B 板的时间为 t_0，则

$$t_0 = L/v_0。 \qquad ②$$

电子在垂直于 A、B 板方向的运动为匀加速直线运动，对于能穿过 A、B 板的电子，在它通过时加在两板间的 u_0 应满足：

$$\frac{1}{2}d = \frac{1}{2}\frac{eu_0}{md}t_0^2。 \qquad ③$$

由①、②、③式解得 $u_0 = 2d^2U_0/L^2 = 20\text{V}$。

此电子从 A、B 板射出的沿 y 方向分速度为 $v_y = \frac{eu_0}{md}t_0$。

以后此电子做匀速直线运动，它打在记录纸上的点最高，设纵坐标为 y，由图 (c) 可得 $\frac{y-d/2}{b} = \frac{v_y}{v_0}$。

由以上各式解得：$y = Lb/100d + d/2 = 2.5\text{cm}$。

由 $U-t$ 图线可知，加在两板电压 U 的周期 $T_0 = 0.10\ \text{s}$，U 的最大值 $U_m = 100\ \text{V}$，因为 $U_0 < U_m$，在一个周期 T_0 内只有开始的一段时间间隔 Δt 内有电子通过 A、B 板，则 $\Delta t = \frac{U_0}{U_m}T_0$。

因为电子打在记录纸上的最高点不止一个，根据题中关于坐标原点与起始记录时刻的规定，第一个最高点的 x 坐标为

$$x_1 = \Delta ts/t = 2\text{cm}, \qquad ④$$

第二个最高点的 x 坐标为

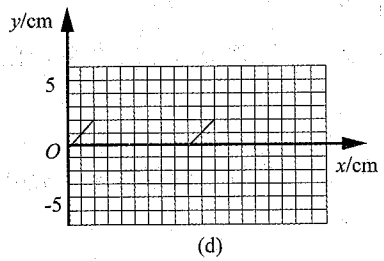
$$x_2 = \frac{\Delta t + T_0}{T}s = 12\ \text{cm}, \qquad ⑤$$

第三个最高点的 x 坐标为

$$x_3 = \frac{\Delta t + 2T_0}{T}s = 22\ \text{cm}。$$

由于记录筒的周长为 20 cm，所以第三个最高点已与第一个最高点重合，即电子打到记录纸上的最高点只有两个，它们的坐标分别由④、⑤式表示。

(2) 电子打到记录纸上所形成的图线如图 (d) 所示。



(d)

12. (1) $y = 2.4\times10^{-2}\ \text{m}$ (2) 图线见解析

解析：(1) 设电容器 C 两极间的电压为 U，电场强度大小为 E，电子在极板间穿行时 y

方向上的加速度大小为 a，穿过 C 的时间为 t_1，穿出时电子偏转的距离为 y_1，则

$$U=\frac{\varepsilon R_1}{R_1+R_2},$$

$$E=\frac{U}{d},$$

$$eE=ma,$$

$$t_1=\frac{l_1}{v_0},$$

$$y_1=\frac{1}{2}at_1^3,$$

由以上各式得 $y_1=\frac{e\varepsilon}{2mv_0^2}\left(\frac{R_1}{R_1+R_2}\right)\frac{l_1}{d}$，

代入数据得 $y_1=4.8\times10^{-3}$ m 。

由此可见 $y_1<\frac{1}{2}d$，电子可通过 C。

设电子从 C 穿出时，沿 y 方向的速度为 v，穿出后到达屏 S 所经历的时间为 t_2，在此时间内电子在 y 方向移动的距离为 y_2，则

$$v_1=at_1,$$

$$t_2=\frac{l_2}{v_0},$$

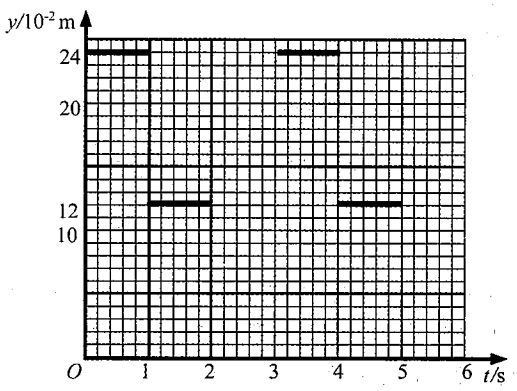
$$y_2=v_1t_2,$$

由以上有关各式得 $y_2=\frac{e\varepsilon}{mv_0^2}\left(\frac{R_1}{R_1+R_2}\right)\frac{l_1l_2}{d}$，

代入数据得 $y_2=1.92\times10^{-2}$ m。

由题意得 $y=y_1+y_2=2.4\times10^{-2}$ m。

(2) 如图所示。



第七章　恒定电流

第一节　欧姆定律与电阻定律

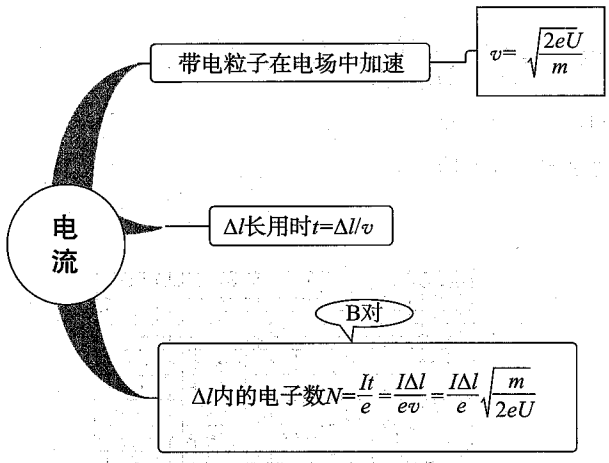
解题指南

例 1　在显像管的电子枪中，从炽热的金属丝不断放出的电子进入电压为 U 的加速电场，设其初速度为零，经加速后形成横截面积为 S、电流为 I 的电子束。已知电子的电荷量为 e、质量为 m，则在刚射出加速电场时，一小段长为 Δl 的电子束内电子个数是(　　)

A. $\dfrac{I\Delta l}{eS}\sqrt{\dfrac{m}{2eU}}$　　B. $\dfrac{I\Delta l}{e}\sqrt{\dfrac{m}{2eU}}$

C. $\dfrac{I}{eS}\sqrt{\dfrac{m}{2eU}}$　　D. $\dfrac{IS\Delta l}{eS}\sqrt{\dfrac{m}{2eU}}$

◇【解析】



◎【答案】B

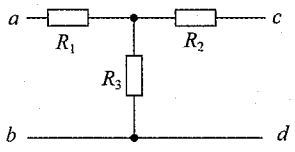
例 2　一个 T 形电路如图所示，电路中的电阻 $R_1=10\ \Omega$，$R_2=120\ \Omega$，$R_3=40\ \Omega$。另有一测试电源，电动势为 100 V，内阻忽略不计。则(　　)

A. 当 cd 端短路时，ab 之间的等效电阻是 40 Ω

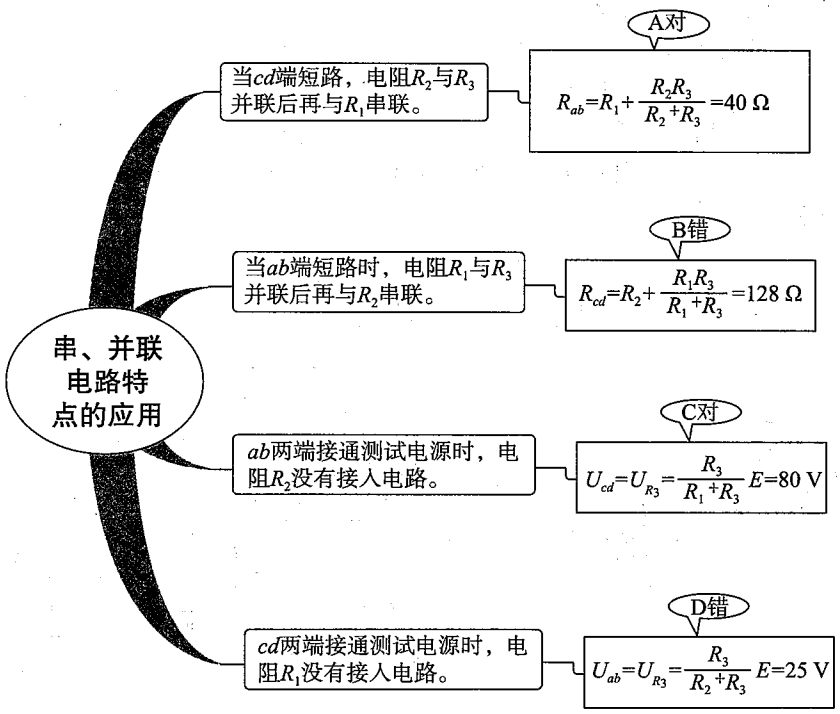
B. 当 ab 端短路时，cd 之间的等效电阻是 40 Ω

C. 当 ab 两端接通测试电源时，cd 两端的电压为 80 V

D. 当 cd 两端接通测试电源时，ab 两端的电压为 80 V



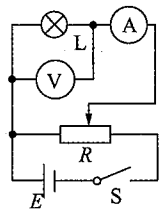
◇【解析】

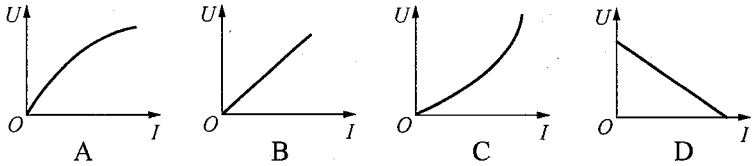


◎【答案】AC

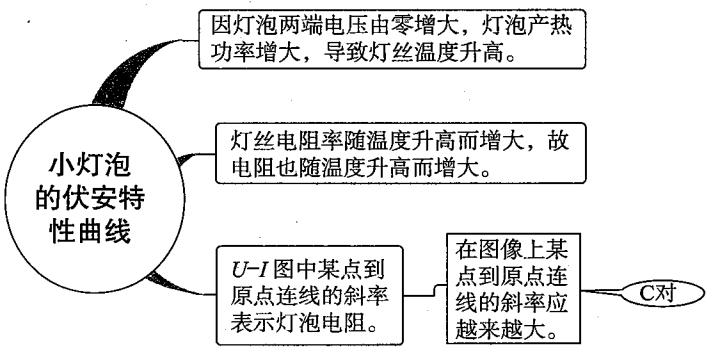
温馨提示：对电路结构的认识和理解是解决这类题的关键。

例 3　为探究小灯泡 L 的伏安特性，连好图示的电路后闭合开关，通过移动变阻器的滑片，使小灯泡中的电流由零开始逐渐增大，直到小灯泡正常发光。由电流表和电压表得到的多组读数描绘出的 $U-I$ 图像应是(　　)





◇【解析】



◎【答案】C

例 4　某实物投影机有 10 个相同的强光灯 $L_1\sim L_{10}$（24 V/200 W）和 10 个相同的指示灯

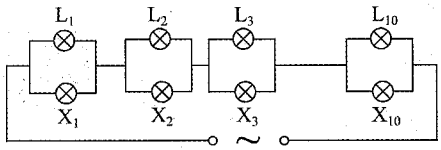
$X_1 \sim X_{10}$（220 V/2 W），将其连接在220 V交流电源上，电路如图所示，若工作一段时间后，L_2灯丝烧断，则（　　）

A. X_1 的功率减小，L_1 的功率增大

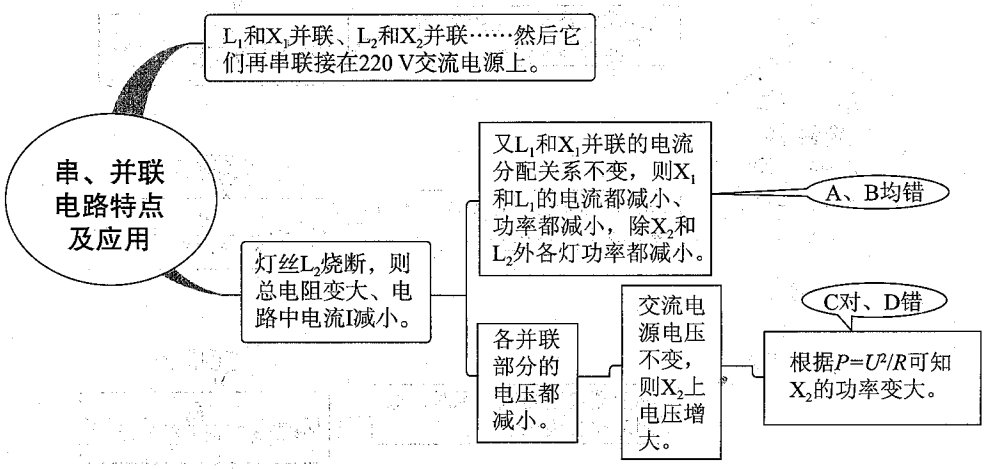
B. X_1 的功率增大，L_1 的功率增大

C. X_2 功率增大，其他指示灯的功率减小

D. X_2 功率减小，其他指示灯的功率增大

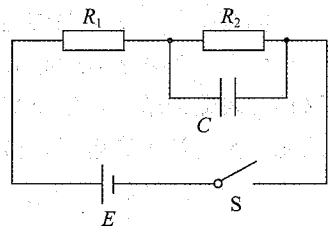


◇【解析】



◎【答案】C

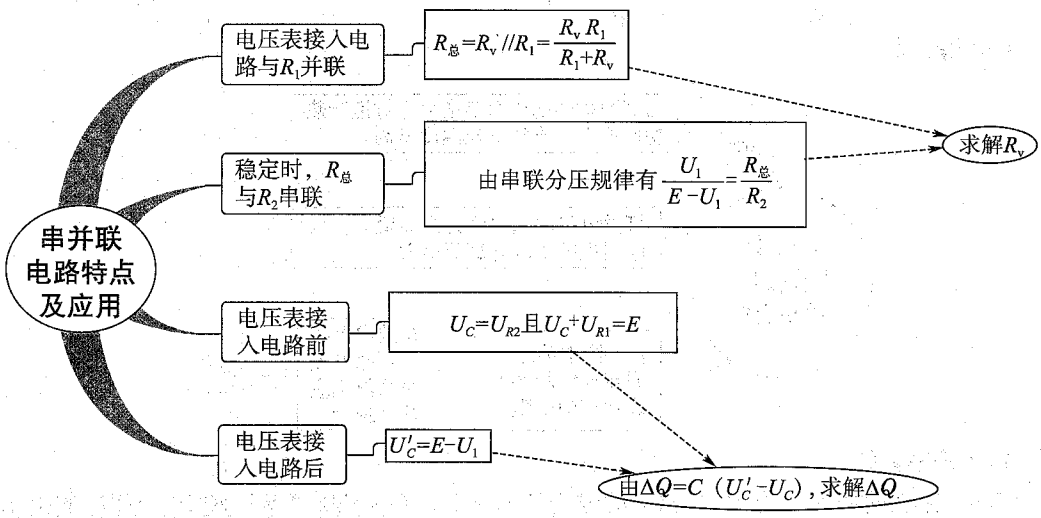
例 5　如图所示的电路中，电源电动势 $E=6.00$ V，其内阻可忽略不计。电阻的阻值分别为 $R_1=2.4$ kΩ、$R_2=4.8$ kΩ，电容器的电容 $C=4.7$ μF。闭合开关 S，待电流稳定后，用电压表测 R_1 两端的电压，其稳定值为 1.50 V。



（1）该电压表的内阻为多大？

（2）由于电压表的接入，电容器的带电荷量变化了多少？

◇【解析】



（1）设电压表的内阻为 R_V，测得 R_1 两端的电压为 U_1，R_1 与 R_V 并联后的总电阻为 R，则有

$$\frac{1}{R}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_V}, \qquad ①$$

由串联电路的规律

$$\frac{R}{R_2}=\frac{U_1}{E-U_1}, \qquad ②$$

联立①②式，得 $R_V=\dfrac{R_1R_2U_1}{R_1E-(R_1+R_2)U_1}$，

代入数据，得 $R_V=4.8\ \text{k}\Omega$。

（2）电压表接入前，电容器上的电压 U_C 等于电阻 R_2 上的电压，R_1 两端的电压为 U_{R1}，则 $\dfrac{U_C}{U_{R1}}=\dfrac{R_2}{R_1}$，

又 $E=U_C+U_{R1}$，

接入电压表后，电容器上的电压为 $U'_C=E-U_1$，

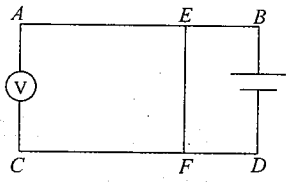
由于电压表的接入，电容器带电荷量增加了 $\Delta Q=C(U'_C-U_C)$，

由以上各式解得 $\Delta Q=C\left(\dfrac{R_1E}{R_1+R_2}-U_1\right)$，

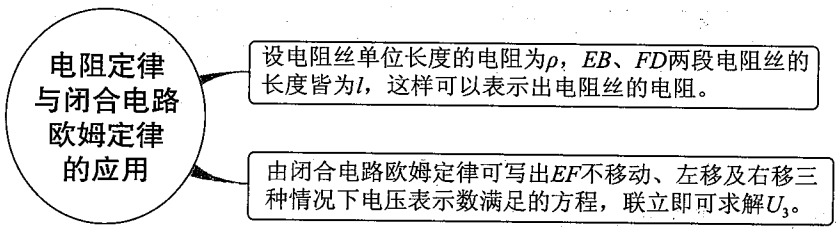
带入数据，可得 $\Delta Q=2.35\times10^{-6}\text{C}$。

温馨提示：电路计算中实际电压表相当于一个阻值很大的电阻，另外，应明确电容器两端电压的计算方法。

例 6　如图所示，AB、CD 为两根平行的相同的均匀电阻丝，EF 为另一根电阻丝，其电阻为 R，它可以在 AB、CD 上滑动并保持与 AB 垂直，EF 与 AB、CD 接触良好。图中电压表为理想电压表。电池的电动势和内阻都不变。B、D 与电池两极连接的导线的电阻可忽略。当 EF 处于图中位置时，电压表的读数为 $U_1=4.0$ V。已知将 EF 由图中位置向左移动一段距离 ΔL 后，电压表的读数变为 $U_2=3.0$ V。若将 EF 由图中位置向右移动一段距离 ΔL，电压表的读数 U_3 是多少？



◇【解析】



令 ρ 表示 AB、CD 上单位长度电阻丝的电阻，当 EF 处于图中位置时，设 EB、FD 两段电阻丝的长度皆为 l。由于电压表是理想电压表，故电压表的读数就是 EF 两端的电压。由分压关系得

$$\frac{R_E}{r+R+2\rho l}=U_1, \qquad ①$$

当 EF 由图示位置向左移动一段距离 ΔL，EB、FD 两段电阻丝的总电阻为 $2\rho(l+\Delta L)$。由分压关系得

$$\frac{R_E}{r+R+2\rho(l+\Delta L)}=U_2, \qquad ②$$

当 EF 由图示位置向右移动一段距离 ΔL，EB、FD 两段电阻丝的总电阻为 $2\rho(l-\Delta L)$。由分压关系得

$$\frac{R_E}{r+R+2\rho(l-\Delta L)}=U_3, \qquad ③$$

由以上①、②、③式，代入数值解得 $U_3=6\text{V}$。

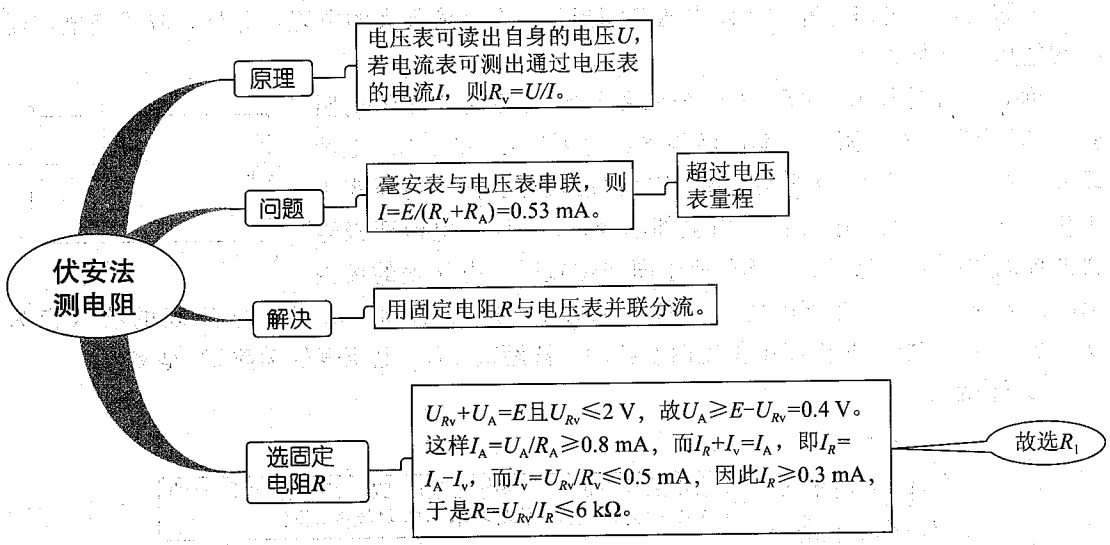
例 7 现要测量某一电压表 V 的内阻。给定的器材有：待测电压表 V（量程 2 V，内阻约 4 kΩ）；电流表 mA（量程 1.2 mA，内阻约 500 Ω）；直流电源 E（电动势约 2.4 V，内阻不计）；固定电阻 3 个：$R_1=4\,000\ \Omega$，$R_2=10\,000\ \Omega$，$R_3=15\,000\ \Omega$；开关 S 及导线若干。

要求测量时两电表指针偏转均超过其量程的一半。

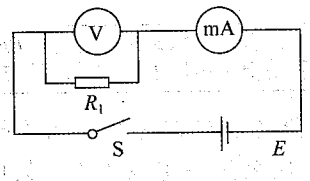
(1) 试从 3 个固定电阻中选用 1 个，与其他器材一起组成测量电路，并在虚线框内画出测量电路的原理图。(要求电路中各器材用题中给定的符号标出。)

(2) 电路接通后，若电压表读数为 U，电流表读数为 I，则电压表内阻 $R_v=$ _____。

◇【解析】



◎【答案】(1) 如图所示。

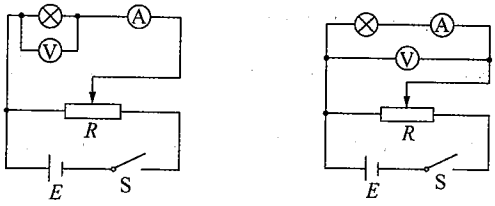


(2) $\dfrac{R_1U}{R_1I-U}$

例 8 (1) 现要测定一个额定电压 4 V、额定功率 1.6 W 的小灯泡的伏安特性曲线。要求所测电压范围为 0.1～4 V。

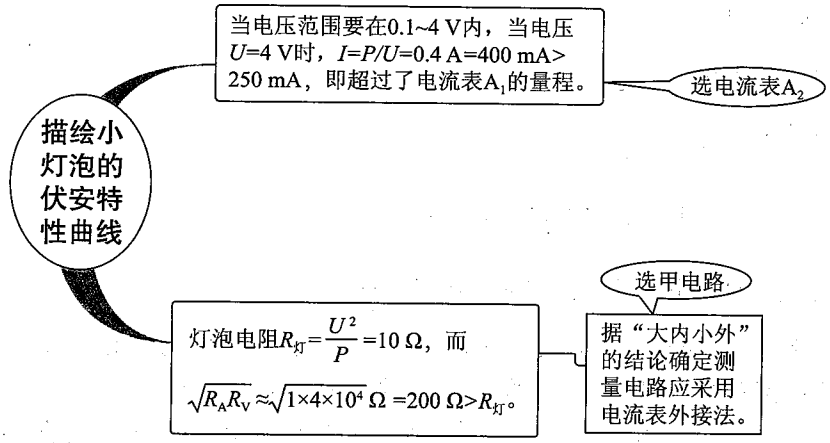
现有器材：直流电源 E（电动势 4.5 V，内阻不计），电压表 V（量程 4.5 V，内阻约为 $4\times10^4\ \Omega$），电流表 A_1（量程 250 mA，内阻约为 2 Ω），电流表 A_2（量程 500 mA，内阻约为 1 Ω），滑动变阻器 R（最大阻值约为 30 Ω），开关 S，导线若干。

如果既要满足测量要求，又要测量误差较小，应该选用的电流表是_____，下面两个电路应该选用的是_____。



甲　　乙

◇【解析】



◎【答案】A_2　图甲

同步检测

1. 横截面直径为 d，长为 L 的导线，两端电压为 U。当这三个量中一个改变时，对自由电子定向运动的平均速率的影响是（　　）

   A. 电压 U 加倍时，自由电子定向运动的平均速率不变

   B. 导线长度 L 加倍时，自由电子定向运动的平均速率不变

   C. 导线横截面的直径 D 加倍时，自由电子定向运动的平均速率不变

   D. 导线横截面的直径 D 加倍时，自由电子定向运动的平均速率加倍

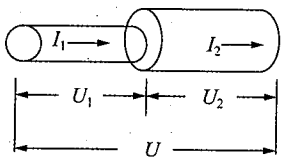
2. 如图所示，两个截面不同，长度相同的均匀铜棒，接在电路中，两端的电压为 U，则（　　）

   A. 通过两铜棒的电流相等

   B. 两铜棒的自由电子定向移动的平均速率相同

   C. 细棒内的场强 E_1 大于粗棒内的场强 E_2

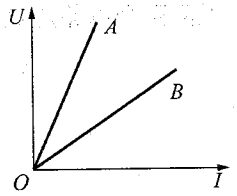
   D. 细棒的电压 U_1 大于粗棒的电压 U_2



3. 北京正负电子对撞机的储存环是长为 240 m 的近似圆形轨道，当环中的电子的速率为十分之一光速时，电流为 10 mA，则整个环中运行的电子的数目为（　　）

A. 5×10^{11}　　B. 5×10^{19}　　C. 1×10^{-3}　　D. 1×10^{3}

4. 如图所示为导体 A、B 的 $U-I$ 图线，由此判断（　　）



A. 导体 A 的电阻大于导体 B 的电阻

B. 导体 A 的电阻小于导体 B 的电阻

C. 若将两导体串联，导体 A 的发热功率大于导体 B 的发热功率

D. 若将两导体并联，导体 A 的发热功率大于导体 B 的发热功率

5. 一根粗细均匀的导线，两端加上电压 U 时，通过导线的电流为 I，导线中自由电子的定向移动的平均速率为 r，将导线均匀拉长，使它的横截面积变为原来的 $\frac{1}{2}$，再给它加上电压 U，则（　　）

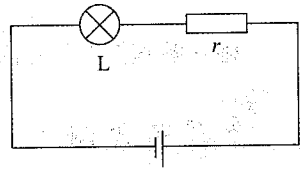
A. 导线中的电流为 $\frac{1}{4}I$

B. 导线中的电流为 $\frac{1}{8}I$

C. 导线中自由电子的定向移动的速率为 $\frac{1}{4}v$

D. 导线中自由电子的定向移动的速率为 $\frac{1}{2}v$

6. 如图所示，如果用超导体做灯丝制作电灯泡，把这样的电灯泡 L 和一个小阻值的电阻 r 串联接到电压恒为 U 的电路中，则下列说法中正确的有（　　）



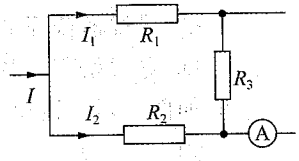
A. 通过灯泡的电流 $I=U/r$，因为 r 很小，所以 I 很大，所以灯泡就很亮

B. 灯泡两端的电压大于零

C. 因超导转变温度很低，当有电流通过灯丝时，灯丝会发热，使超导体变成普通导体

D. 超导灯丝不会发热，灯泡也不会亮

7. 如图所示是一个部分电路，其中，$R_1=5\ \Omega$，$R_2=1\ \Omega$，$R_3=3\ \Omega$，$I_1=0.20$ A，$I_2=0.10$ A，则电流表上的电流为（　　）



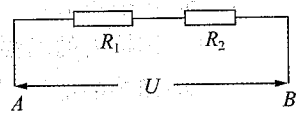
A. 0.20 A，方向向右

B. 0.15 A，方向向左

C. 0.20 A，方向向左

D. 0.30 A，方向向右

8. 如图所示，AB 两端加一恒定不变的电压 U，电阻 R_1 为 60 Ω，若将 R_1 短路，R_2 中的电流增大到原来的 4 倍，则 R_2 为（　　）



A. 40 Ω　　B. 20 Ω

C. 120 Ω　　D. 6 Ω

9. AB 两地间铺有通信电缆，长为 L，它是由两条并在一起彼此绝缘的均匀导线组成的，通常称为双线电缆。在一次事故中经检查断定是电缆上某处的绝缘保护层损坏，导致两导线之间漏电，相当于该处电缆的两导线之间接了一个电阻。检查人员经过下面的测量可以确定损坏处的位置：

（1）令 B 端的双线断开，在 A 处测出双线两端间的电阻 R_A；

（2）令 A 端的双线断开，在 B 处测出双线两端间的电阻 R_B；

（3）在 A 端的双线间加以已知电压 U_A，在 B 端用内阻很大的电压表测出两线间的电压 U_B。

试由以上测量结果确定损坏处的位置。

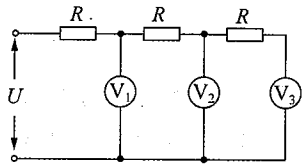
10. 用以下器材测量一待测电阻的阻值。器材（代号）与规格如下：

电流表 A_1（量程 250 mA，内阻 r_1 为 5 Ω），电流表 A_2（量程 300 mA，内阻 r_2 约为 5 Ω），待测电阻 R_1（阻值约为 100 Ω），滑动变阻器 R_2（最大阻值 10 Ω），电源 E（电动势约为 10 V，内阻 r 约为 1 Ω），单刀单掷开关 S，导线若干。

（1）要求方法简捷，并能测多组数据，画出实验电路原理图，并标明每个器材的代号。

（2）实验中，需要直接测量的物理量是_____，用测的量表示待测电阻 R_1 的阻值的计算公式是 $R_1=$_____。

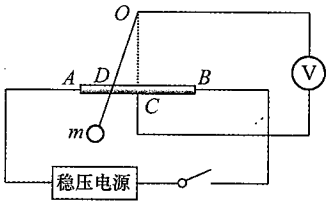
11. 由相同的电阻和相同的电压表组成一个如图所示的电路，第一个和第三个电压表的读数分别为 $U_1=10$ V、$U_3=8$ V。试求第二个电压表的读数。



12. 如图所示是一种悬球式加速度仪，它可以用来测定沿水平轨道运动的列车的加速度，m 是一个金属球，它系在金属丝的下端，金属丝的上端悬挂在 O 点，AB 是一根长为 l 的电阻丝，其阻值为 R。金属丝与电阻丝接触良好，摩擦不计，电阻丝的中点 C 焊接一根导线。从 O 点引出一根导线，两线之间接入一个电压表 V（金属丝和导线电阻不计），图中虚线 OC 与 AB 相垂直，且 $OC=h$，电阻丝 AB 接在电压为 U 的直流稳压电源上，整个装置固定在列车中使 AB 沿着车前进的方向，列车静止时金属丝呈竖直方向，从电压表的读数变化可以测出加速度的大小。

（1）当列车向右做匀加速运动时，试写出加速度 a 与电压表读数 U' 的对应关系，以便重新刻制电压表表盘使它成为直读加速度数值的加速度计。

（2）为什么 C 点设置在电阻丝 AB 的中间？对电压表的选择应有什么特殊要求？



参考答案

1. C　解析：由欧姆定律 $I=\frac{U}{R}$，电阻定律 $R=\rho\frac{L}{S}$ 和 $I=nqSv$ 可得自由电子定向运动的平均速率大小为 $v=\frac{U}{n\rho eL}$，故 C 正确，其他选项错。

2. ACD　解析：两棒为串联则有 A 对；由公式 $I=nqSv$ 有，当 I、n、q 相同时，S 与 v 成反比，B 错；由公式 $R=\rho\frac{L}{S}$，有两棒电阻 $R_1>R_2$，由 $U=IR$ 有 $U_1>U_2$，D 对；由公式 $E=\frac{U}{d}$，有 $E_1>E_2$，C 对。

3. A　解析：环中电子运动的周期 $T=L/v=10L/c$，则环中的电荷的电荷量为 $Q=IT$，故环中运行的电子数为 $N=Q/e$，由以上三式解得 $N=\frac{10IL}{ec}=\frac{10\times10\times10^{-3}\times240}{1.6\times10^{-19}\times3\times10^{8}}=5\times10^{11}$。

4. AC

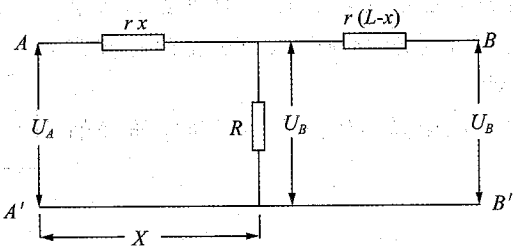
5. AD

6. D　解析：超导体的电阻为零，故 A、B、C 错，D 对。

7. C　解析：经过电阻 R_1 两端的电势降落 $U_1=I_1R_1=0.20\times5\ \text{V}=1\ \text{V}$，经过电阻 R_2 两端的电势降落 $U_2=I_2R_2=0.10\times1\ \text{V}=0.1\ \text{V}$，则有电阻 R_3 两端的电压 $U_3=1\ \text{V}-0.1\ \text{V}=0.9\ \text{V}$，则 R_3 中的电流 $I_3=\frac{U_3}{R_3}=\frac{0.9}{3}\text{A}=0.3\ \text{A}$，电流的方向为通过 R_3 向上，故通过电流表的电流 $I=I_3-I_2=0.3\ \text{A}-0.10\ \text{A}=0.20\ \text{A}$，方向向左。

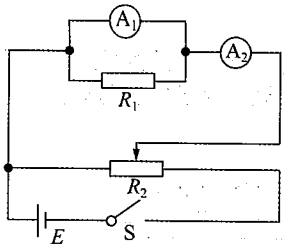
8. B　解析：设开始电路电流为 I，则有 $U=I(R_1+R_2)$，将 R_1 短路后电路电流为 $4I$，则有 $U=4IR_2$，联立解得 $R_2=R_1/3=20\ \Omega$，B 正确。

9. 漏电处距 A 端为 $\frac{R_AL(U_A-U_B)}{(R_A+R_B)U_A-2R_AU_B}$　解析：设双线电缆每单位长度的电阻为 r，漏电处电阻为 R，漏电处距 A 为 x，题设测量过程可用如图电路表示，则 AA' 间电阻 $R_A=rx+R$；BB' 间电阻 $R_B=r(L-x)+R$。当 AA' 间加电压 U_A 时；BB' 间用内阻很大的电压表测出的电压 U_B 等于 R 两端电压（电缆上近似看做无电流无电势降落），根据欧姆定律 $\frac{U_A}{rx+R}=\frac{U_B}{R}$。联立解得 $x=\frac{R_AL(U_A-U_B)}{(R_A+R_B)U_A-2R_AU_B}$。



10. 解析：绝大多数考生解答此题，首选的就是伏安法，由于本题没有电压表，因此本题需要运用“电流表算电压”这一创新思维。

（1）实验电路如图所示。



（2）A_1、A_2 两电流表的读数 I_1、I_2，所以 R_1 两端的电压为 I_1r_1，电流为 I_2-I_1，由部分电路欧姆定律得：待测电阻 R_1 的阻值计算公式是 $R_1=\dfrac{I_1}{I_2-I_1}r_1$。

11. 8.65 V　解析：由电路结构可知：$U_1=U_R+U_2$，$U_2=U_R'+U_3$，而 $U_R=\left(\dfrac{U_3}{R_V}+\dfrac{U_2}{R_V}\right)R$，$U_R'=\dfrac{U_3}{R_V}R$，联立求解得 $U_2\approx 8.65$ V。

12.（1）　$a=gU'l/Uh$　　（2）可以测定列车做匀减速运动时的加速度

解析：（1）设列车加速度为 a 时小球偏离竖直方向的夹角为 θ，这时小球受到的合外力为 $F=mg\tan\theta$，由牛顿第二定律可得列车的加速度为 $a=g\tan\theta=g\cdot DC/h$。　①

上式即触点 D 的位移跟加速度的关系式。

从电路部分来看，设此时电压表的读数为 U'，根据串联电路的特点，对均匀电阻丝来说有电压与电阻丝长度成正比，即 $U'/U=R_{DC}/R_{AB}=DC/l$，$DC=l\,U'/U$。　②

由①②两式联立得 $a=gU'l/Uh$。

上式中 g、U、l、h 都是常数，表明 U' 与 a 正比，可将电压表上的电压读数一一对应成加速度的数值，电压表便改制成了加速度计。

（2）这个装置测得最大加速度的情况是触点由 D 移到 A，这时电压表读数 $U'=U/2$，所以 $a_{max}=gl/2h$。

C 点设置在 AB 中间的好处是：利用这个装置还可以测定列车做匀减速运动时的加速度，这时小球偏向 OC 线的右方。电压表要零点在中间，且量程大于 $U/2$。

第二节　焦耳定律与闭合电路的欧姆定律

解题指南

例 1　一白炽灯泡的额定功率与额定电压分别为 36 W 与 36 V。若把此灯泡接到输出电压为 18 V 的电源两端，则灯泡消耗的电功率（　　）

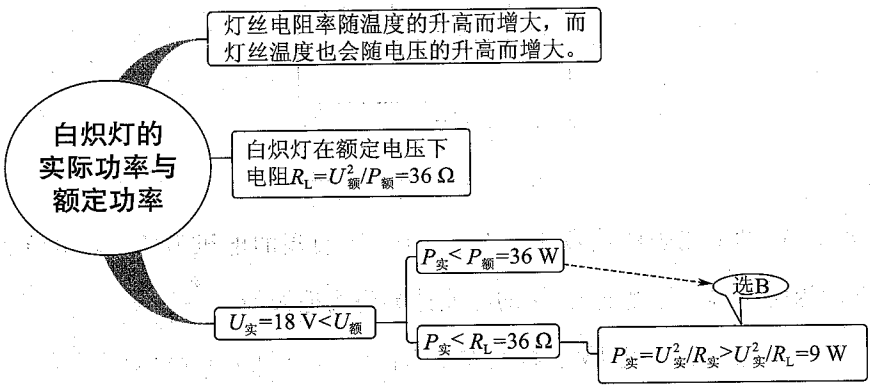
A. 等于 36 W

B. 小于 36 W，大于 9 W

C. 等于 9 W

D. 小于 9 W

◇【解析】



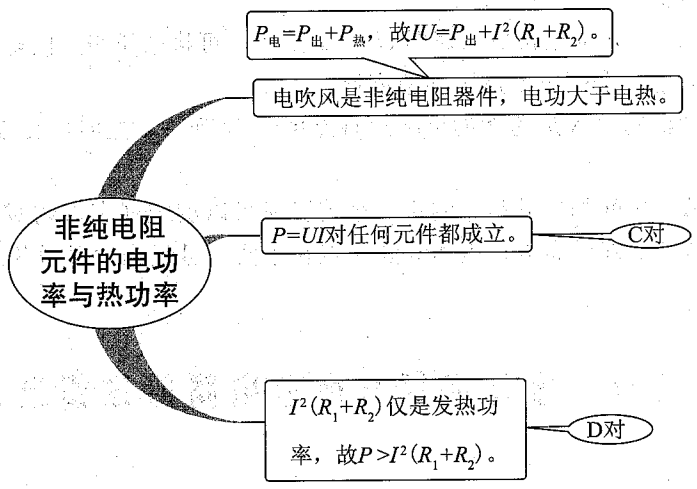
◎【答案】B

例 2 理发用的电吹风机中有电动机和电热丝，电动机带动风叶转动，电热丝给空气加热，得到热风将头发吹干。设电动机线圈的电阻为 R_1，它与电热丝的电阻 R_2 相串联，接到直流电源上，电吹风机两端电压为 U，电流为 I，消耗的电功率为 P，则有（　　）

A. $IU>P$　　B. $P=I^2(R_1+R_2)$

C. $IU=P$　　D. $P>I^2(R_1+R_2)$

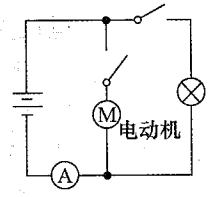
◇【解析】



◎【答案】CD

温馨提示：弄清非电阻器件的电功与电热的区别是解决此类问题的关键。

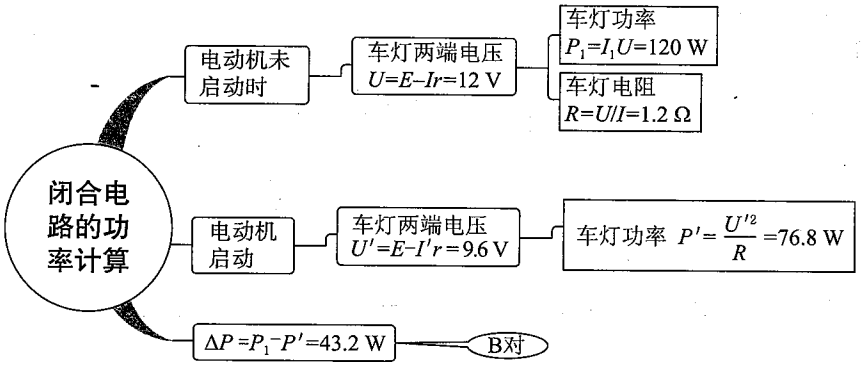
例 3 汽车电动机启动时车灯会瞬时变暗，如图所示，在打开车灯的情况下，电动机未启动时电流表读数为 10 A，电动机启动时电流表读数为 58 A，若电源电动势为 12.5 V，内阻为 0.05 Ω，电流表内阻不计，则因电动机启动，车灯的电功率降低了（　　）



A. 35.8 W　　B. 43.2 W

C. 48.2 W　　D. 76.8 W

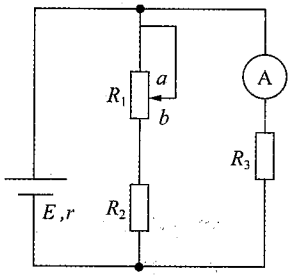
◇【解析】



◎【答案】B

温馨提示：本题中虽然涉及电动机，但在这里并不需要考虑其非纯电阻特性，首先其刚启动时，还没有输出机械功率，表现为纯电阻特性；其次本题电动机的启动只是因影响电源内阻上压降而导致车灯两端电压减小，从而使车灯功率减小了。

例 4　如图所示是一实验电路图。在滑动触头由 a 端滑向 b 端的过程中，下列表述中正确的是（　　）



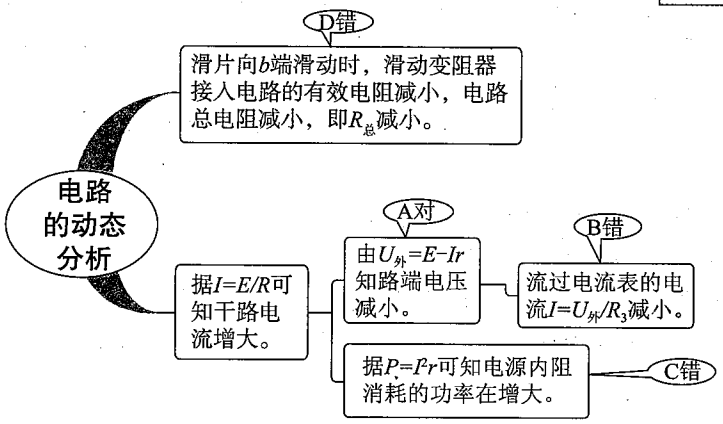
A. 路端电压变小

B. 电流表的示数变大

C. 电源内阻消耗的功率变小

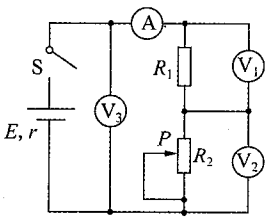
D. 电路的总电阻变大

◇【解析】



◎【答案】A

例 5　在如图所示电路中，闭合开关 S，当滑动变阻器的滑动触头 P 向下滑动时，四个理想电表的示数都发生变化，电表的示数分别用 I、U_1、U_2 和 U_3 表示，电表示数变化量的大小分别用 ΔI、ΔU_1、ΔU_2 和 ΔU_3 表示。下列比值正确的是（　　）



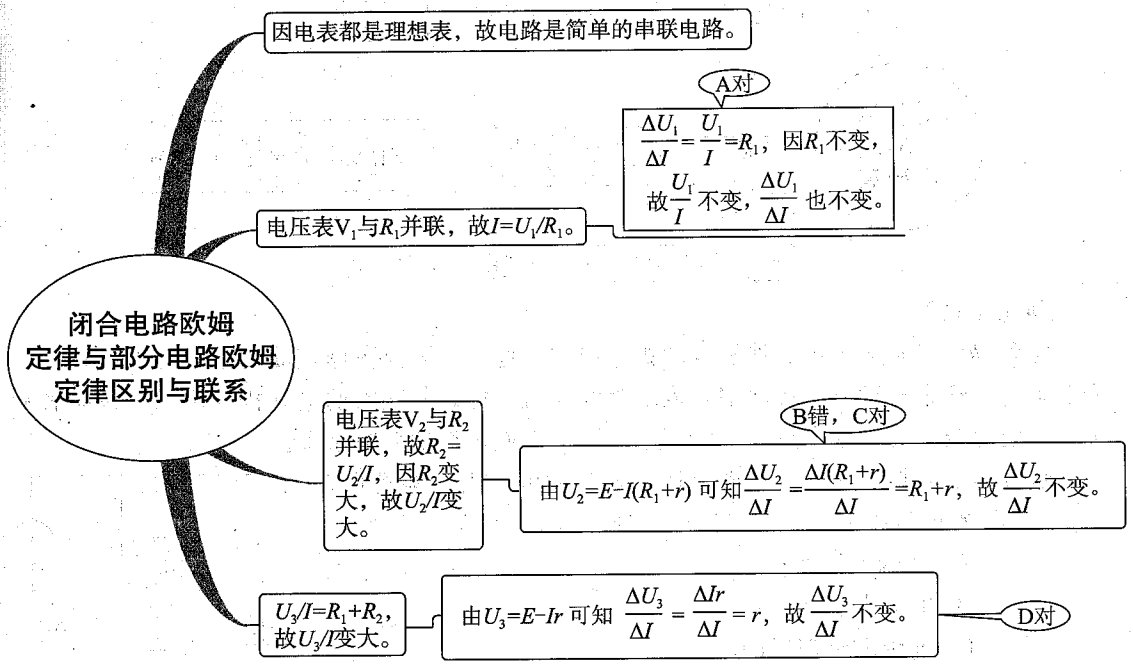
A. U_1/I 不变，$\Delta U_1/\Delta I$ 不变

B. U_2/I 变大，$\Delta U_2/\Delta I$ 变大

C. U_2/I 变大，$\Delta U_2/\Delta I$ 不变

D. U_3/I 变大，$\Delta U_3/\Delta I$ 不变

◇【解析】



◎【答案】ACD

温馨提示：在确定变量间的关系是应保证其他变量一定，即利用控制变量法处理。如 U_2 与 R_2 之间关系若用 $U_2=I_2R_2$ 来确定，则会因 I_2 的变化导致不便于确定或出错。

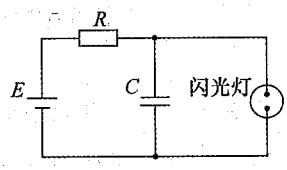
例 6 在如图所示的闪光灯电路中，电源的电动势为 E，电容器的电容为 C。当闪光灯两端电压达到击穿电压时，闪光灯才有电流通过并发光，正常工作时，闪光灯周期性短暂闪光，则可以判定（　　）

A. 电源的电动势一定小于击穿电压 U

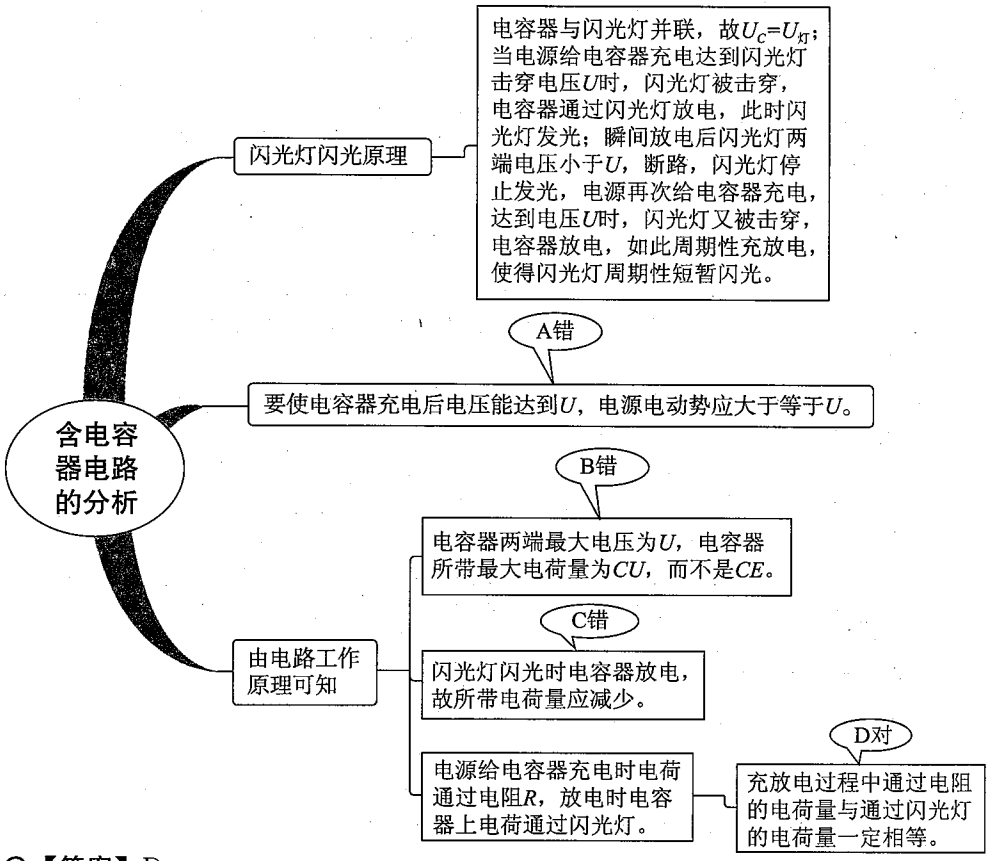
B. 电容器所带的最大电荷量一定为 CE

C. 闪光灯闪光时，电容器所带的电荷量一定增大

D. 在一个闪光周期内，通过电阻的电荷量与通过闪光灯的电荷量一定相等



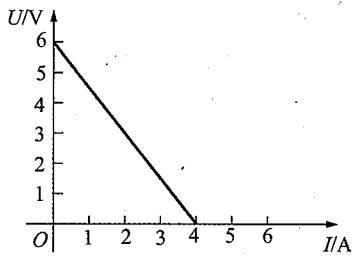
◇【解析】

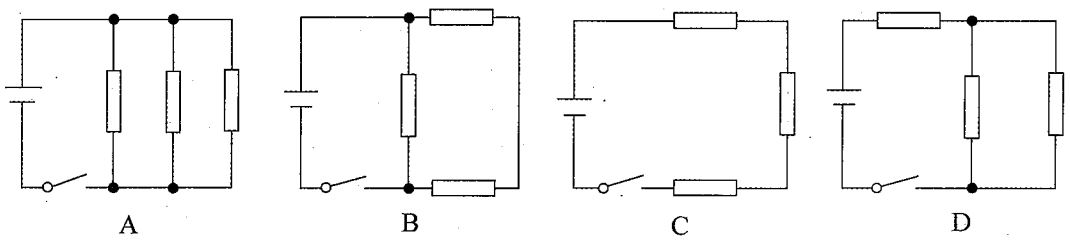


◎【答案】D

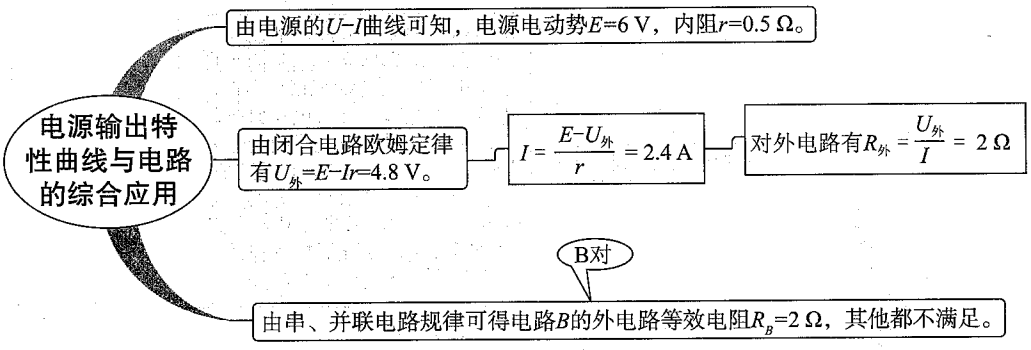
温馨提示：解决本题的关键是理解电路的工作原理。另外若把闪光灯看做电容器，那么其电容 $C=0$，因其正对面积趋于零。

例 7　图为测量某电源电动势和内阻时得到的 U-I 图线。用此电源与三个阻值均为 3 Ω的电阻连接成电路，测得路端电压为 4.8 V。则该电路可能为（　　）





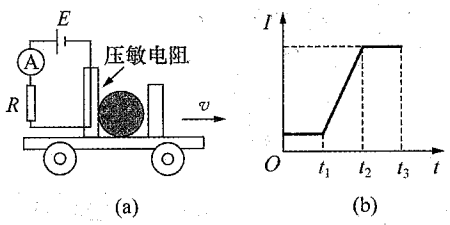
◇【解析】



◎【答案】B

温馨提示：正确理解电源的输出特性曲线及闭合电路欧姆定律，灵活应用串、并联电路规律是解决本题的关键。

例 8 压敏电阻的阻值随所受压力的增大而减小，有位同学利用压敏电阻设计了判断小车运动状态的装置，其工作原理如图（a）所示，将压敏电阻和一块挡板固定在绝缘小车上，中间放置一个绝缘重球。小车向右做直线运动过程中，电流表示数如图（b）所示，下列判断正确的是（　　）



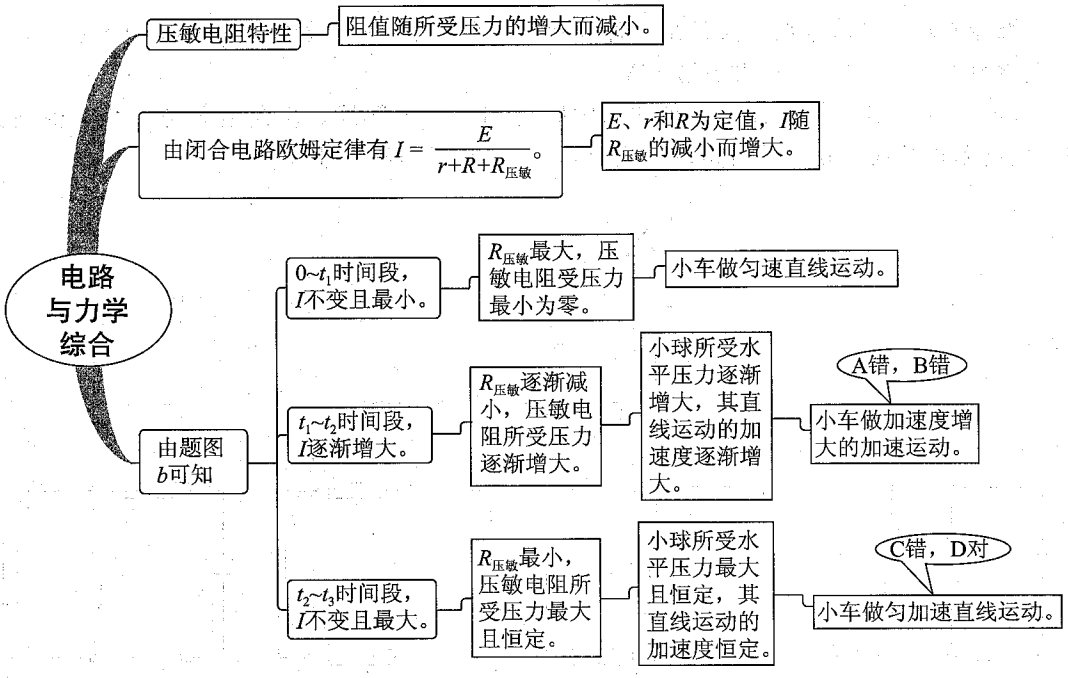
A. 从 t_1 到 t_2 时间内，小车做匀速直线运动

B. 从 t_1 到 t_2 时间内，小车做匀加速直线运动

C. 从 t_2 到 t_3 时间内，小车做匀速直线运动

D. 从 t_2 到 t_3 时间内，小车做匀加速直线运动

◇【解析】



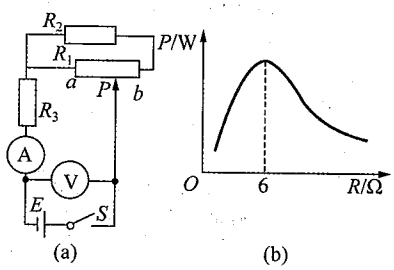
◎【答案】D

温馨提示：利用闭合电路欧姆定律及压敏电阻特性将压力变化与电流变化联系起来是解决本题的关键。

例 9　某同学设计了如图（a）所示电路研究电源输出功率变化情况。电源电动势 E、内电阻恒定，R_1 为滑动变阻器，R_2、R_3 为定值电阻，A、V 为理想电表。

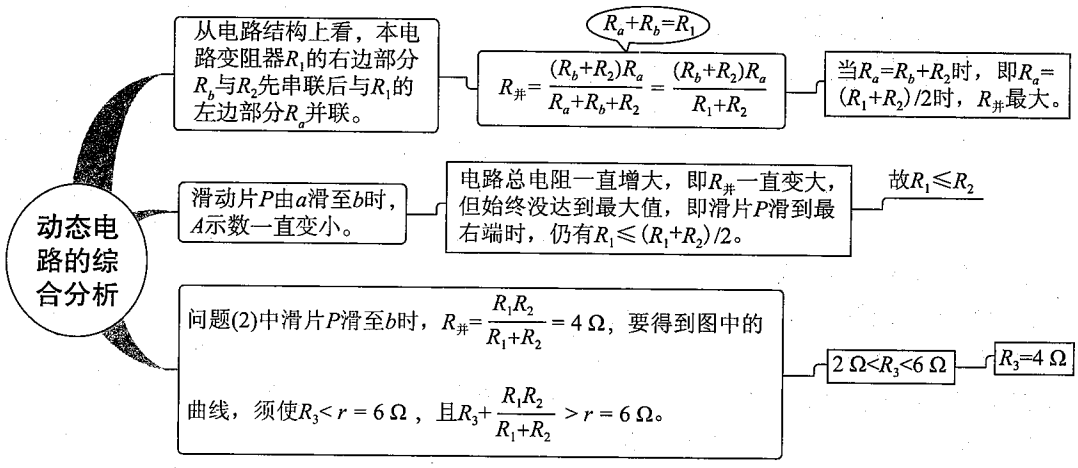
（1）若滑动片 P 由 a 滑至 b 时 A 示数一直变小，则 R_1 和 R_2 必须满足的关系是_____。

（2）若 $R_1=6\ \Omega$，$R_2=12\ \Omega$，电源内电阻 $r=6\ \Omega$，当滑动片 P 由 a 滑至 b 时，电源 E 的输出功率 P 随外电路总电阻 R 的变化关系如图（b）所示，则 R_3 的阻值应该选择（　　）



A. 2 Ω　　B. 4 Ω　　C. 6 Ω　　D. 8 Ω

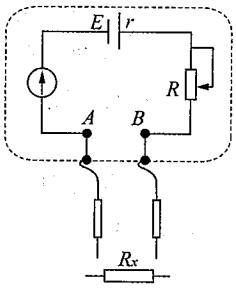
◇【解析】



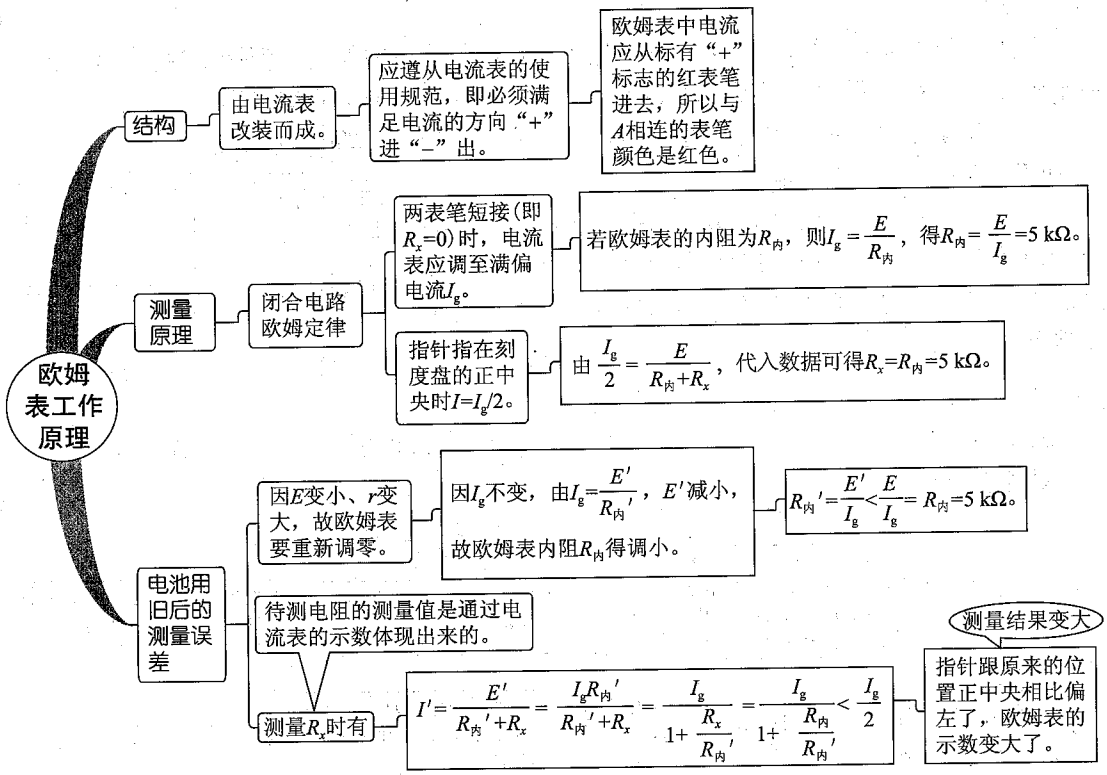
◎【答案】（1）$R_1 \leqslant R_2$　（2）B

温馨提示：本题的电路结构决定了其动态过程的复杂性，注意数学方法求极值的应用，同时要正确理解电源输出功率与外电阻大小的关系。

例 10　图示为简单欧姆表原理示意图，其中电流表的满偏电流 $I_R=300\ \mu A$，内阻 $R_g=100\ \Omega$，可变电阻 R 的最大阻值为 10 kΩ，电池的电动势 $E=1.5$ V，内阻 $r=0.5\ \Omega$，图中与接线柱 A 相连的表笔颜色应是_____色，按正确使用方法测量电阻 R_x 的阻值时，指针指在刻度盘的正中央，则 $R_x=$_____kΩ。若该欧姆表使用一段时间后，电池电动势变小，内阻变大，但此表仍能调零，按正确使用方法再测上述 R_x，其测量结果与原结果相比较_____（选填“变大”、“变小”或“不变”）。



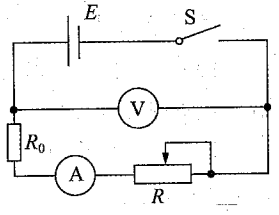
◇【解析】



◎【答案】红　5　变大

温馨提示：理解欧姆表的工作原理是关键。

例 11　用如图所示的电路，测定一节干电池的电动势和内阻。电池的内阻较小，为了防止在调节滑动变阻器时造成短路，电路中用一个定值电阻 R_0 起保护作用。除电池、开关和导线外，可供使用的实验器材还有：



(a) 电流表（量程 0.6 A、3 A）

(b) 电压表（量程 3 V、15 V）

(c) 定值电阻（阻值 1 Ω、额定功率 5 W）

(d) 定值电阻（阻值 10 Ω，额定功率 10 W）

(e) 滑动变阻器（阻值范围 0～10 Ω、额定电流 2 A）

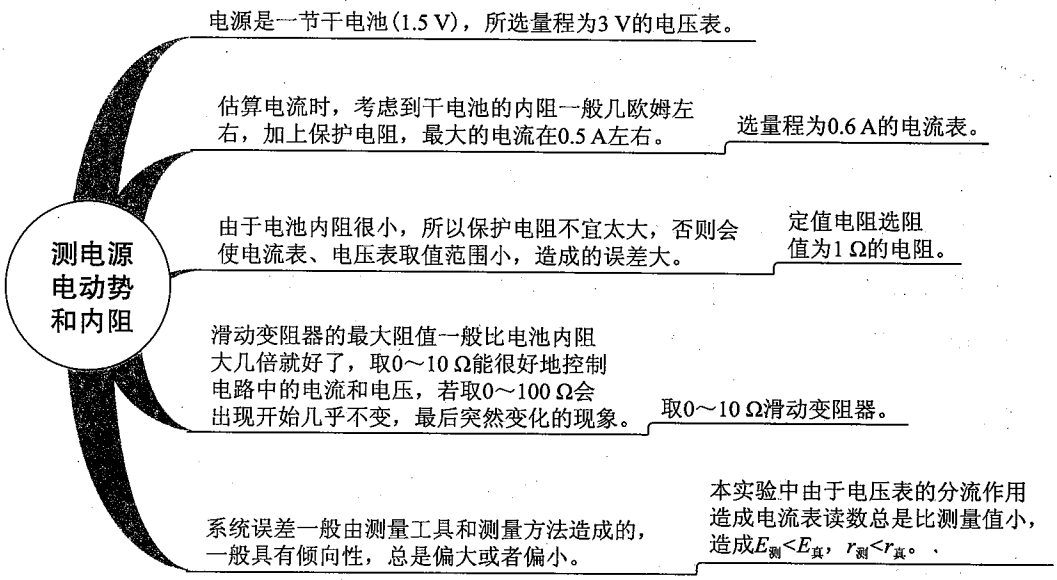
(f) 滑动变阻器（阻值范围 0～100 Ω、额定电流 1 A）

那么

(1) 要正确完成实验，电压表的量程应选择_____V，电流表的量程应选择_____A；R_0 应选择_____的定值电阻，R 应选择阻值范围是_____的滑动变阻器。

(2) 引起该实验系统误差的主要原因是_____。

◇【解析】

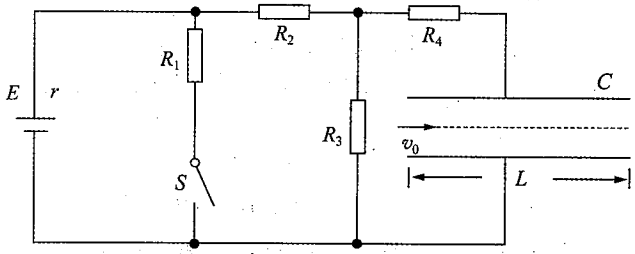


◎【答案】(1) 3　0.6　1　0～10　(2) 由于电压表的分流作用造成电流表读数总是比电池实际输出电流小。

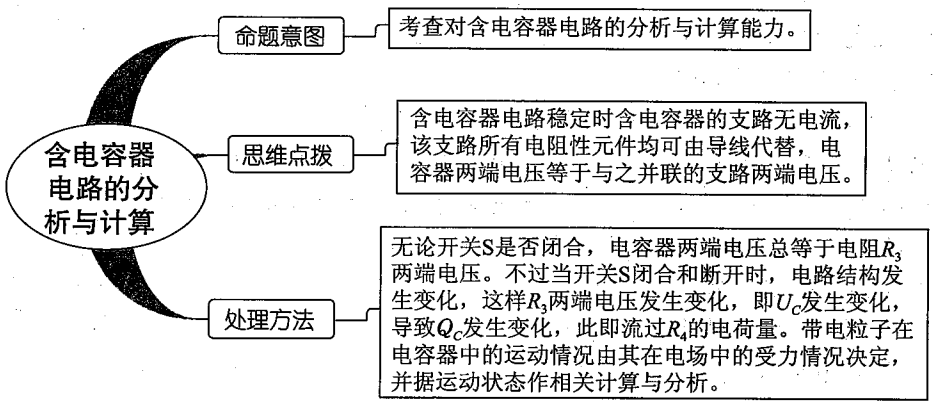
例 12　一电路如图所示，电源电动势 $E=28$ V，内阻 $r=2$ Ω，电阻 $R_1=12$ Ω，$R_2=R_4=4$ Ω，$R_3=8$ Ω，C 为平行板电容器，其电容 $C=3.0$ pF，虚线到两极板距离相等，极板长 $L=0.20$ m，两极板的间距 $d=1.0\times10^{-2}$ m。

(1) 若开关 S 处于断开状态，则当其闭合后，求流过 R_4 的总电荷量为多少？

(2) 若开关 S 断开时，有一带电微粒沿虚线方向以初速度 $v_0=2.0$ m/s射入 C 的电场中，刚好沿虚线匀速运动，问：当开关 S 闭合后，此带电微粒以相同初速度沿虚线方向射入 C 的电场中，能否从 C 的电场中射出？(要求写出计算和分析过程，g 取 10 m/s²)



◇【解析】



(1) S断开时，电阻 R_3 两端电压为 $U_3=\frac{R_3}{R_2+R_3+r}E=16\ \text{V}$，

S闭合后，外阻为 $R=\frac{R_1(R_2+R_3)}{R_1+(R_2+R_3)}=6\ \Omega$，

端电压为 $U=\frac{R}{R+r}E=21\ \text{V}$，

电阻 R_3 两端电压 $U'_3=\frac{R_3}{R_2+R_3}U=14\ \text{V}$，

则所求流过 R_4 的总电荷量为 $\Delta Q=CU_3-CU'_3=6.0\times10^{-12}\ \text{C}$。

(2) 设微粒质量为 m，电荷量为 q，当开关S断开时有 $\frac{qU_3}{d}=mg$，

当开关S闭合后，设微粒加速度为 a，则 $mg-\frac{qU'_3}{d}=ma$，

设微粒能从 C 的电场中射出，则水平方向：$t=\frac{L}{v_0}$，竖直方向：$y=\frac{1}{2}at^2$，

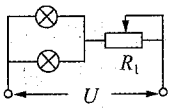
由以上各式求得：$y=6.25\times10^{-3}\ \text{m}>\frac{d}{2}$，

故微粒不能从C的电场中射出。

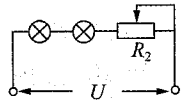
温馨提示：含电容器电路的计算与分析的关键是确定电容器两端的电压。注意电路稳定时电容器所在支路无电流，电容器两端电压总等于与其并联的支路两端的电压。

同步检测

1. 把两个相同的电灯分别接成图中 (a)、(b) 两种电路，调节变阻器，使电灯都正常发光，若两电路消耗的总功率分别为 P_a，P_b。两个变阻器 R_1、R_2 消耗的电功率分别为 P_1、P_2，则（　　）



(a)

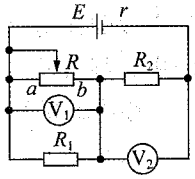


(b)

A. $P_a=2P_b$　　B. $P_a=P_b$

C. $P_1=2P_2$　　D. $P_1>2P_2$

2. 如图所示电路，滑片在变阻器的中点，当变阻器的滑动片移动时，电压表 V_1 读数变化量为 ΔU_1，电压表 V_2 读数变化量为 ΔU_2，则下列说法中正确的是（　　）



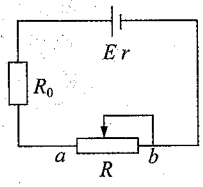
A. 当滑片向 b 移动时，$\Delta U_1<\Delta U_2$

B. 无论滑片向 a 还是向 b 移动时，$\Delta U_1>\Delta U_2$

C. 当滑片向 a 移动时，$\Delta U_1<\Delta U_2$

D. 无论滑片向 a 还是向 b 移动时，$\Delta U_1=\Delta U_2$

3. 电动势为 E，内阻为 r 的电池与固定电阻 R_0，可变电阻 R 串联，如图所示，设 $R_0=r$，$R_{ab}=2r$，当变阻器的滑动片自 a 端向 b 端滑动时，下列物理量中随之减小的是（　　）



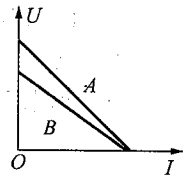
A. 电池的输出功率

B. 变阻器消耗的功率

C. 固定电阻 R_0 上的消耗功率

D. 电池内电阻上的消耗功率

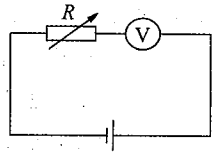
4. 如图所示，直线 A、B 分别为电源 a、b 的路端电压与电流的关系图像，设两个电源的内阻分别为 r_a 和 r_b，若将一定值电阻 R_0 分别接到 a、b 两电源上，通过 R_0 的电流分别为 I_a 和 I_b，则（　　）



A. $r_a>r_b$　　B. $r_a<r_b$

C. $I_a>I_b$　　D. $I_a<I_b$

5. 如图所示，电池组的内阻可以忽略不计，电压表和可变电阻器 R 串联成电路，如果可变电阻器 R 的值减为原来的 1/3，电压表的示数由 U_0 增大到 $2U_0$，则下列说法中正确的是（　　）



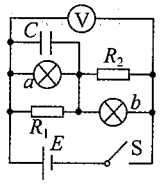
A. 流过可变电阻器 R 的电流增大到原来的 2 倍

B. 可变电阻器 R 消耗的功率增大到原来的 4 倍

C. 可变电阻器 R 两端的电压减小到原来的 2/3

D. 若可变电阻器 R 的阻值减小到零，那么电压表的示数变为 $4U_0$

6. 如图所示的电路中，闭合开关 S 后，灯 a 和灯 b 都正常发光，后来由于某种故障使灯 b 突然变亮，电压表读数增加，由此推断，这故障可能是（　　）



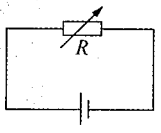
A. a 灯灯丝烧断

B. 电阻 R_2 断路

C. 电阻 R_2 短路

D. 电容被击穿短路

7. 如图所示，电源电动势为 E，内电阻为 r，外电路接一个电阻箱，当电阻箱的阻值为 R_1 时，电路中的电流为 I_1，电源效率为 η_1；当电阻箱的阻值为 R_2 时，电路中的电流为 I_2，电源效率为 η_2。并且在这两种情况下电源的输出功率相等，则（　　）



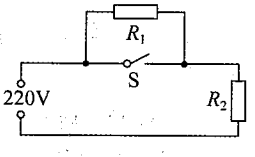
A. $R_1R_2=r^2$

B. $I_1+I_2=\dfrac{E}{r}$

C. $I_1R_1+I_2R_2=E$

D. $\eta_1+\eta_2=1$

8. 电饭锅工作时有两种状态：一种是锅内水烧干前的加热状态，另一种是锅内水烧干后的保温状态。如图所示是电饭锅的电路原理示意图，S 是用感温材料制成的开关，下列说法中正确的是（　　）



A. 其中 R_1 是供加热用的电阻丝

B. 当开关 S 接通时电饭锅为加热状态，S 断开时为保温状态

C. 要使 R_2 在保温状态时的功率为加热状态时的功率的一半，R_1/R_2 应为 2∶1

D. 要使 R_2 在保温状态时的功率为加热状态时的一半，R_1/R_2 应为 $(\sqrt{2}-1)$∶1

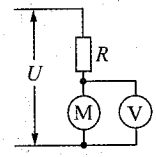
9. 需要测一个内阻较大的电源的电动势和内阻，现只有两只电压表 V_1、V_2，以及电键和一些导线，已知电压表 V_1 的内阻为 R_0，两电压表的量程均略大于估计出的电源电

动势。

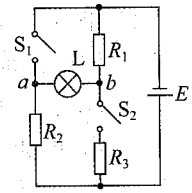
（1）画出测量电路；

（2）列出求解方程。（对使用的符号要有必要的文字说明）

10. 如图所示是一提升重物用的直流电动机的示意图，电动机的内阻为0.6 Ω，$R=10\ \Omega$，直流电压$U=160$ V，电压表示数为110 V，则通过电动机的电流强度为多少？输入电动机电功率为多少？电动机工作1 h所产生的热量为多少？（不考虑电压表电阻的影响）



11. 如图所示的电路，$R_1=3\ \Omega$，$R_2=9\ \Omega$，$R_3=6\ \Omega$，电源电动势$E=24$ V，电源内阻不计。当开关S_1、S_2均开启和均闭合时，灯泡L都同样正常发光。则：



（1）写出两种情况下流经灯泡的电流方向；

（2）求灯泡正常发光时的电阻R和电压U。

12. 抽油烟机是现代厨卫不可缺少的用具，下表是“惠康牌”家用抽油烟机说明书中的主要技术参数表。用多用表测得其中一只电动机的线圈电阻$R=90\ \Omega$。若保险丝的熔断电流是保险丝允许通过的电流的1.5倍，启动时电动机当做纯电阻处理，则：

额定电压（两电机、照明灯）	AC220V　50 Hz
额定输入功率	2×185 W
抽排风量（两电机同时工作）	≥15 m^3/min
风压（两电机同时工作）	≥300 Pa
照明灯	40 W
排烟管内径	Φ150 mm

（1）这种抽油烟机保险丝的熔断电流不得低于多少？

（2）两电动机每分钟消耗的电能为多少？

（3）两电动机每分钟所做的有用功是多少？

（4）这种油烟机的机械效率是多少？

参考答案

1. AD　解析：$P_a=2UI$，$P_b=UI$；$P_1=P_a-2P_{灯}=2P_b-2P_{灯}=2(P_b-P_{灯})>2(P_b-2P_{灯})=2P_2$。

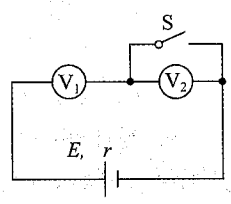
2. B　3. ACD

4. AC　解析：作定值电阻R_0的$U-I$曲线，由其与曲线A、B的交点的意义即可确定结果。

5. ACD　解析：电压表在电路中相当于一个阻值很大的电阻。

6. B　7. ABCD　8. BD

9. （1）如图所示。



（2）闭合S，V_1的示数为U_1，S断开时，V_1的示数为U_2，V_2的示数为U_3，设V_2的内阻为R'，电源电动势和内阻分别为E、r，可列

方程：$U_1=\frac{E}{R_0+r}R_0$；$U_2=\frac{E}{R_0+R'+r}R_0$；$U_3=\frac{E}{R_0+R'+r}R'$；$\frac{U_2}{U_3}=\frac{R_0}{R'}$。

或者列方程 $E=U_1+\frac{U_1}{R_0}r$；$E=U_2+U_3+\frac{U_2}{R_0}r$。

10.5 A，550 W，5.4×10^4 J

11.（1）S_1、S_2 均开启时，电流方向 $a\to b$；S_1、S_2 均闭合时，电流方向 $b\to a$。

（2）$R=3\ \Omega$，$U=4.8$ V。

12.（1）7.7 A　（2）22 200 J　（3）4 500 J　（4）20.3%　解析：（1）电动机启动时通过的电流大于正常工作时的电流，所以保险丝的熔断电流应以启动时通过的电流来确定。

$I=\frac{U}{R}\times2+\frac{P_{灯}}{U}=5.1$ A。

所以保险丝的熔断电流至少为 $I'=1.5I=7.7$ A。

（2）两电动机每分钟消耗的电能 $E=2Pt=22\ 200$ J。

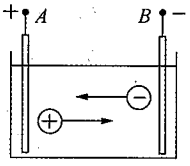
（3）电动机所做的有用功是用于排风的，故两电动机每分钟所做的有用功

$W=p\Delta V=300\times15$ J$=4\ 500$ J。

（4）该抽油烟机的效率 $\eta=\frac{W}{E}\times100\%=20.3\%$。

本章知识检测题

1. 如图所示，在 1 价离子的电解质溶液内插有两根碳棒 A 和 B 作为电极，将它们接在直流电源上，于是溶液里就有电流通过。若在 t 秒内，通过溶液内截面 S 的正离子数为 n_1，通过的负离子数为 n_2，设基本电荷为 e，则以下说法中正确的是（　　）



A. 正离子定向移动形成的电流方向从 $A\to B$，负离子定向移动形成的电流方向从 $B\to A$

B. 溶液内由于正负离子移动方向相反，溶液中的电流抵消，电流等于零

C. 溶液内的电流方向从 $A\to B$，电流 $I=\frac{n_1e}{t}$

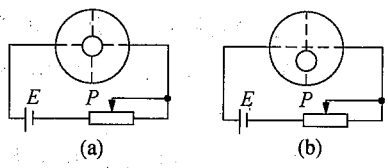
D. 溶液内的电流方向从 $A\to B$，电流 $I=\frac{(n_1+n_2)\ e}{t}$

2. 如图所示，将两只完全相同的金属圆盘接入电路，其中（a）图中的圆盘中心挖了一个洞，（b）图中圆盘中心下方挖了同样大小的一个洞，在两金属圆盘两端加上相同的恒定电压，在相同的时间内，两金属圆盘产生的热量分别为 Q_a 和 Q_b，则（　　）

A. $Q_a=Q_b$

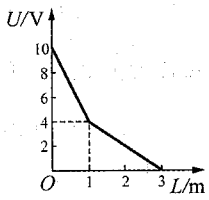
B. $Q_a>Q_b$

C. $Q_a<Q_b$



D. 条件不足，无法比较 Q_a 与 Q_b 的大小

3. 有两根材料相同的均匀导线 x、y，x 的长度为 L，y 的长度为 $2L$，串联在电路中时，沿长度方向电势的变化如图所示，则 x、y 导线的横截面积之比为（　　）



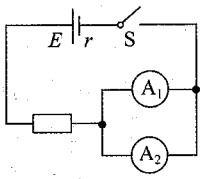
A. 2∶3

B. 1∶3

C. 1∶2

D. 3∶1

4. 如图所示的电路，将两个相同的电流表分别改装成 A_1（0～3 A）和 A_2（0～0.6 A）的电流表，把两个电流表并联接入电路中测量电流强度，则下列说法中正确的是（　　）



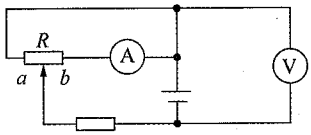
A. A_1 的指针半偏时，A_2 的指针也半偏

B. A_1 的指针还没半偏时，A_2 的指针已经半偏

C. A_1 的读数为 1 A 时，A_2 的读数为 0.6 A

D. A_1 的读数为 1 A 时，干路的电流 I 为 1.2 A

5. 如图所示，电源内阻不能忽略，电流表、电压表都是理想电表，当滑动变阻器 R 的滑动头从 a 端滑到 b 端过程中（　　）



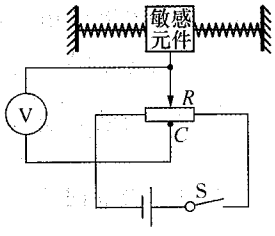
A. V 的示数先增大后减小，A 示数减小

B. V 的示数先增大后减小，A 示数增大

C. V 的示数先减小后增大，A 示数增大

D. V 的示数先减小后增大，A 示数减小

6. 加速度计是测定物体加速度的仪器，如图所示为应变式加速度计的结构示意图。敏感元件（相当于振子）由弹簧连接并架在光滑支架上，支架与待测系统固定在一起，敏感元件下端滑动臂可在滑动变阻器上 R 自由滑动。当系统加速运动时，敏感元件发生位移，带动滑动臂移动，引起电压表示数变化。调整接触点 C 的位置，使系统处于平衡状态时电压表示数为 0，并将此时指针所指位置标定为 0 m/s^2，则（　　）



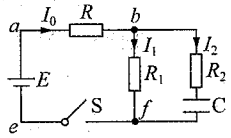
A. 从实用的角度出发，用来改制的电压表零刻度应在刻度盘的中央，接触点 C 的位置相应地调在滑动变阻器的中央

B. 电压表表盘改制成加速度计表盘后，其表面刻度一定还是均匀的

C. 增大所用电压表的量程就能增大这种加速度计的量程

D. 这种加速度计只能用来测量系统沿支架方向的加速度

7. 如图所示的电路中，电池的电动势为 E，内阻可忽略不计，从刚闭合开关 S 接通电路起，到电池最后达到稳定值的时间内，关于电流 I 和电压 U 的变化情况，正确的叙述是（　　）



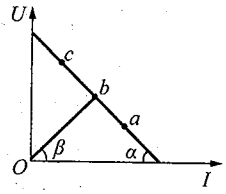
A. I_0 由大变小，I_1 由小变大，I_2 由大变小，最后 $I_0 = I_1$，$I_2 = 0$

B. I_0、I_1 和 I_2 都由大变小，最后 $I_0 = I_1$，$I_2 = 0$

C. U_{ab} 由大变小，U_{bf} 由小变大，U_{bf} 最后达到的值取决于 R 和 R_1

D. U_{ae} 不随时间变化，U_{bf} 由小变大，U_{bf} 最后达到的值取决于 C

8. 如图所示，$U-I$ 图线上，a、b、c 各点均表示该电路中有一个确定的工作状态，b 点 $\alpha=\beta$，则下列说法中正确的是（　　）



A. 在 b 点时，电源有最大输出功率

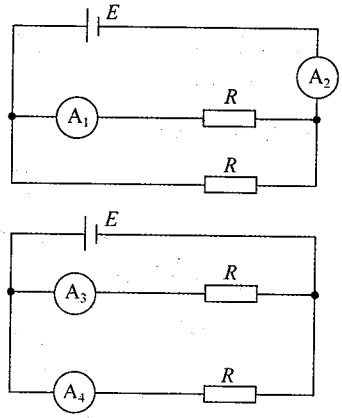
B. 在 b 点时，电源的总功率最大

C. 从 $a\rightarrow b$ 时，β 角越大，电源的总功率和输出功率都将增大

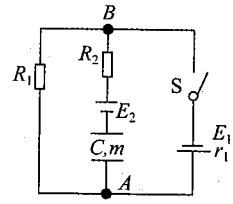
D. 从 $b\rightarrow c$ 时，β 角越大，电源的总功率和输出功率都将减小

9. 如图所示的两种电路中，电源相同，各电阻器阻值相等，各电流表的内阻相等且不可忽略不计。电流表 A_1、A_2、A_3 和 A_4 读出的电流值分别为 I_1、I_2、I_3 和 I_4。下列关系式中正确的是（　　）

A. $I_1=I_3$　　B. $I_1<I_4$　　C. $I_2=2I_1$　　D. $I_2<I_3+I_4$



10. 如图所示，$E_1=3$ V，$r_1=0.5\ \Omega$，$R_1=R_2=5.5\ \Omega$，平行板电容器的两板距离 $d=1$ cm，当开关 S 接通时极板中的一个质量 $m=4\times10^{-3}$ g，电荷量为 $q=1.0\times10^{-7}$ C 的带电微粒恰好处于静止状态。求：（1）S 断开后，微粒向什么方向运动，加速度多大？（2）若电容为 1 000 pF，S 断开后，有多少电量的电荷流过 R_2？



11. 材料的电阻率 ρ 随温度变化的规律为 $\rho=\rho_0(1+\alpha t)$，其 α 称为电阻恒温系数，ρ_0 是材料在 $t=0$℃时的电阻率。在一定温度范围内 α 是与温度无关的常量，金属的电阻一般随温度的增加而增加，具有正温度系数；而某些非金属（如碳等）则相反，具有负温度系数，利用具有正负温度系数的两种材料的互补特性，可制成阻值在一定温度范围内不随温度变化的电阻。已知，在 0℃时，铜的电阻率为 $1.7\times10^{-8}\ \Omega\cdot$m，碳的电阻率为 $3.5\times10^{-8}\ \Omega\cdot$m；在 0 ℃附近，铜的电阻温度系数为 3.9×10^{-3}℃$^{-1}$，碳的电阻温度系数为 -5×10^{-4}℃$^{-1}$。将横截面积相同的碳棒与铜棒串接成长 1.0 m 导体，要求其电阻在 0 ℃附近

不随温度变化，求所需碳棒的长度。（忽略碳棒和铜棒的尺寸随温度的变化）

12. 用多用表的欧姆挡测量阻值约为几十千欧的电阻 R_x，以下给出的是可能的操作步骤，其中 S 为选择开关，P 为欧姆挡调零旋钮，把你认为正确的步骤前的字母按合理的顺序填写在下面的横线上_____。

a. 将两表笔短接，调节 P 使指针对准刻度盘上欧姆挡的零刻度，断开两表笔。

b. 将两表笔分别连接到被测电阻的两端，读出 R_x 的阻值后，断开两表笔。

c. 旋转 S 使其尖端对准欧姆挡×1k。

d. 旋转 S 使其尖端对准欧姆挡×100。

e. 旋转 S 使其尖端对准交流 500V 挡，并拔出两表笔。

根据如图所示指针位置，此被测电阻的阻值约为_____。

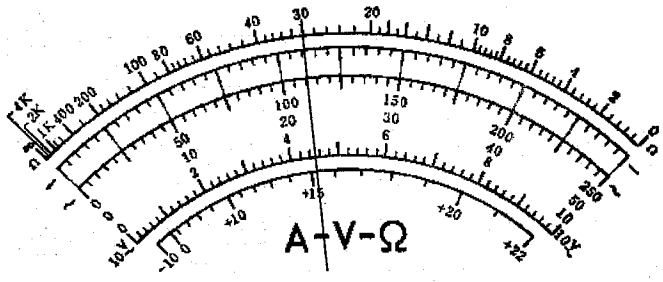
（2）（多选题）下述关于用多用表欧姆挡测电阻的说法中正确的是（　　）

A. 测量电阻时如果指针偏转过大，应将选择开关 S 拨至倍率较小的挡位，重新调零后测量

B. 测量电阻时，如果红、黑表笔分别插在负、正插孔，则会影响测量结果

C. 测量电路中的某个电阻，应该把该电阻与电路断开

D. 测量阻值不同的电阻时都必须重新调零



参考答案

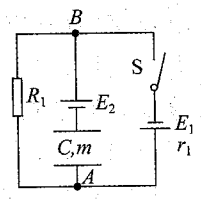
1. D　2. C　3. B

4. AD　解析：因为 A_1（0～3 A）和 A_2（0～0.6 A）是由两个相同电流表改装而来的，只不过是它们并联的电阻不同，电压相等，所以通过它们的电流也相同，所以选项 A 正确；A_1 的读数为 1 A 时，A_2 的读数为 0.2 A，所以通过干路的电流 I 为 1.2 A，故选项 D 正确。

5. B　6. ABD　7. AC　　8. AD　9. BD

10. 带电粒子将以 6.875 m/s^2 的加速度向下做匀加速运动；有电荷量为 2.75×10^{-9}C 的电子从 R_2 由下至上流过。

解析：（1）当 S 接通电路稳定时，等效电路图如图所示。



E_1、r_1 和 R_1 形成闭合回路，A，B 两点间的电压为：

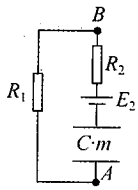
$$U_{AB}=E_1-Ir=E_1-\frac{E_1}{R_1+r_1}=3\text{ V}-\frac{3}{5.5+0.5}\times0.5\text{ V}=2.75\text{ V}。$$

电容器中带电粒子处于平衡状态，则所受合力为零，

$\frac{Uq}{d}-mg=0 \Rightarrow U=\frac{mgd}{q}=\frac{4\times10^{-3}\times10^{-3}\times10\times1\times10^{-2}}{1.\ 0\times10^{-7}}$ V=4 V。

在 BR_2E_2CA 支路中没有电流，R_2 两端等势将其简化为导线，$U-E_2=U_{AB}$，$E_2=U-U_{AB}=1.25$ V。

当S断开电路再次达到稳定后，回路中无电流电路结构如图所示。电容器两端电压 $U'=E_2=1.25$ V。



$$a=\frac{F'-mg}{m}=\frac{\frac{qU}{d}-mg}{m}$$

$$=\frac{\frac{1\times0^{-7}\times1.25}{1\times10^{-2}}-4\times10^{-6}\times10}{4\times10^{-6}}\ \text{m/s}^2=-6.875\ \text{m/s}^2。$$

即带电粒子将以 6.875 m/s² 的加速度向下做匀加速运动。

(2) S接通时，电容器带电荷量为 $Q=CU=4\times10^{-9}$ C。

S断开时，电容器带电荷量为 $Q'=CU'=1.25\times10^{-9}$ C。

$\Delta Q=Q-Q'=2.75\times10^{-9}$ C。

有总量为 2.75×10^{-9}C 的电子从 R_2 由下至上流过。

11. 0.79 m

解析：设所需碳棒的长度为 L_1，电阻率为 ρ_1，电阻恒温系数为 α_1；铜棒的长度为 L_2，电阻率为 ρ_2，电阻恒温系数为 α_2。根据题意有

$$\rho_1=\rho_{10}\ (1+\alpha_1 t),$$

$$\rho_2=\rho_{20}\ (1+\alpha_2 t),$$

式中，ρ_{10}、ρ_{20}分别为碳和铜在 0 ℃时的电阻率。

设碳棒的电阻为 R_1，铜棒的电阻为 R_2，有

$$R_1=\rho_1\frac{L_1}{S},$$

$$R_2=\rho_2\frac{L_2}{S},$$

式中，S 为碳棒与铜棒的横截面积。

碳棒和铜棒连接成的导体的总电阻和总长度分别为

$$R=R_1+R_2,$$

$$L_0=L_1+L_2, \qquad ①$$

式中，$L_0=1.0$ m

联立以上各式得

$$R=\rho_{10}\frac{L_1}{S}+\rho_{20}\frac{L_2}{S}+\frac{\rho_{10}\alpha_1L_1+\rho_{20}\alpha_2L_2}{S}t。 \qquad ②$$

要使电阻 R 不随温度 t 变化，②式中 t 的系数必须为零。即

$$\rho_{10}\alpha_1L_1+\rho_{20}\alpha_2L_2=0, \qquad ③$$

联立①、③式得 $L_1=\frac{\rho_{20}\alpha_2}{\rho_{20}\alpha_2-\rho_{10}\alpha_1}L_0$。

代入数据解得：$L_1=0.79$ m。

12. 答案：(1) c、a、b、e，30 kΩ　(2) A、C

解析：(1) 测量几十千欧的电阻 R_x 我们一般选择较大的挡位先粗测，使用前应先进行调零，然后依据欧姆表的示数，再更换挡位，重新调零，再进行测量；使用完毕应将选择开关置于 OFF 位置或者交流电压最大挡，拔出表笔。欧姆表的示数乘以相应挡位的倍率即为待测电阻的阻值 30 kΩ。

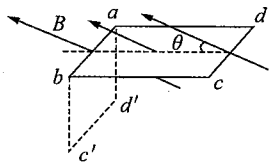
(2) 欧姆挡更换规律“大小，小大”，即当指针偏角较大时，表明待测电阻较小，应换较小的挡位；反之应换较大的挡位。电流总是从红表笔流入、从黑表笔流出多用电表，每次换挡一定要进行欧姆调零，测量电阻一定要断电作业。

第八章 磁 场

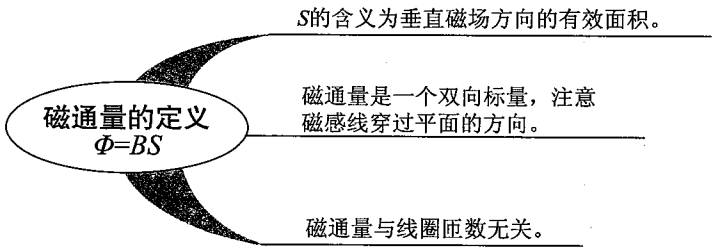
第一节 磁场 磁场对电流的作用

解题指南

例 1 面积为 S 的矩形线框 $abcd$，处在磁感应强度为 B 的匀强磁场中，磁场方向与线框平面成 θ 角，当线框以 ab 为轴顺时针转 90°时，穿过 $abcd$ 面的磁通量变化量 $\Delta\Phi$ =_____



◇【解析】



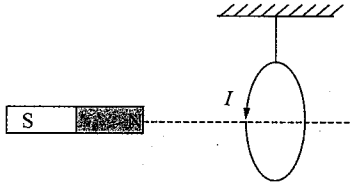
开始时，B 与线框面成 θ 角，磁通量为 $\Phi_1 = BS\sin\theta$。

线框面按题意方向转动时，磁通量减少，当转动 90°时，磁通量变为“负”值，$\Phi_2 = -BS\cos\theta$。

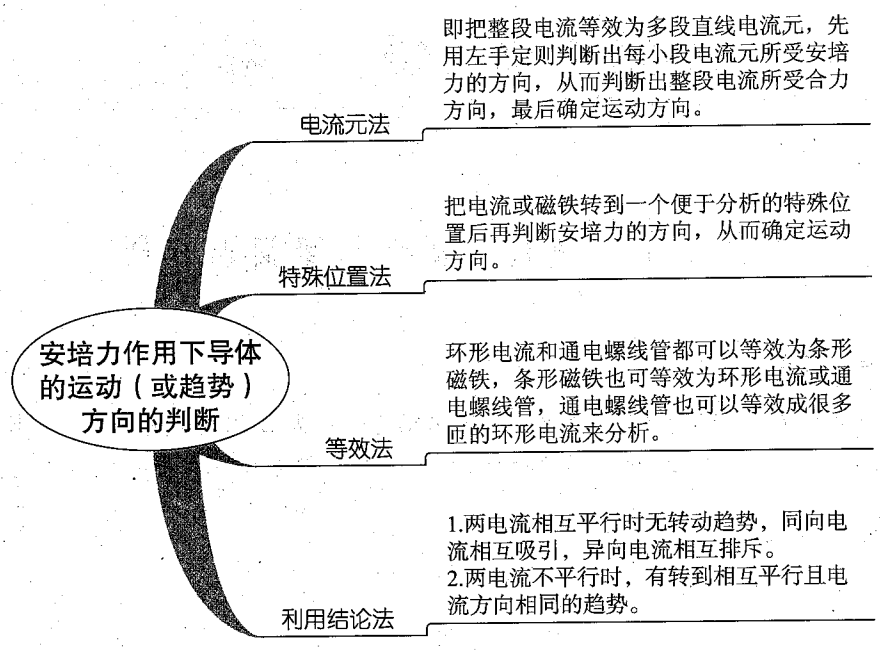
可见，磁通量的变化量为 $\Delta\Phi = \Phi_2 - \Phi_1 = -BS\cos\theta - BS\sin\theta = -BS(\cos\theta + \sin\theta)$。

◎【答案】$-BS(\cos\theta + \sin\theta)$

例 2 如图所示，把轻质导线圈用绝缘细线悬挂在一磁铁的 N 极附近，磁铁的轴线穿过线圈的圆心，且垂直于线圈平面，当线圈中通入图示方向的电流后，线圈将如何运动？



◇【解析】

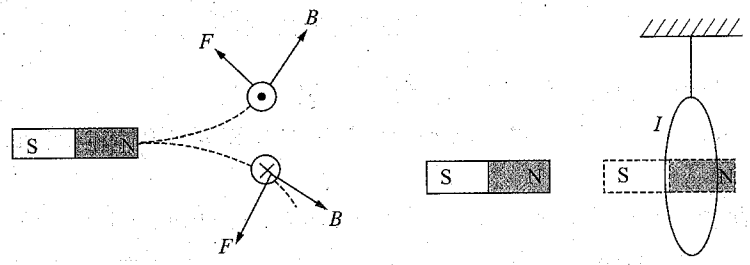


方法一：电流元法

首先将圆形线圈分成很多小段，每小段可看做一直导线，取其中上下两小段分析，其受安培力情况如图所示。根据对称性可知，线圈所受到的安培力的合力水平向左，故线圈向左运动。

方法二：等效法

将环形电流等效成一条形磁铁，如图所示，据“异名磁极相吸引”知，线圈将向左运动。同时，也可将左侧条形磁铁等效成一环形电流，根据“同向电流相吸，异向电流相斥”，也可得到相同的结论。



◎【答案】线圈向左运动

例 3 如图所示，把一通电直导线放在蹄形磁铁磁极的正上方，导线可以自由转动，当导线中通过如图所示方向的电流 I 时，试判断导线的运动情况。

◇【解析】

根据图 1 所示的导线所在处的特殊位置判断其转动情况。将导线 AB 从 N、S 极的中点 O 分成两段，画出 AO、BO 段所在处的磁场方向，由左手定则可得 AO 受安培力的方向垂直纸面向外，BO 段受安培力的方向垂直纸面向里，可见，从上向下看，导线 AB 将绕 O 点逆时针转动。

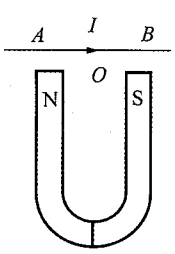
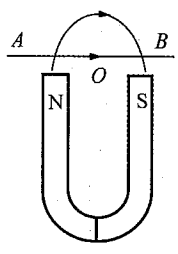


图1



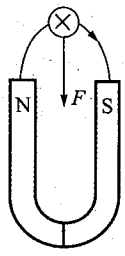


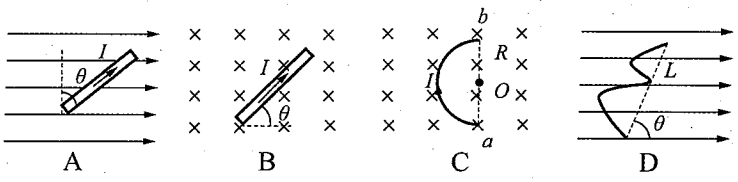
图2

再根据导线转过90°时的特殊位置判断其上下运动情况。如图2所示，导线此时受安培力方向竖直向下，导线将向下运动。

由上述两个特殊位置的判断可知，导线逆时针转动的同时还要向下运动。

◎【答案】导线将逆时针转动的同时还要向下运动。

例4　如图所示，在匀强磁场中放有下列各种形状的通电导线，电流均为I，磁感应强度均为B，求各导线所受到的安培力。（C图为$a\to b$的半圆形电流）



图A中$F_A=BIL\cos\theta$，这时不能死记公式，而写成$\sin\theta$，要理解公式本质是有效长度或有效磁场，正确分解。

$F_A=BIL\cos\theta$

图B中$B\perp I$，导线再怎么放，也在纸面内，所以$F_B=BIL$。

$F_B=BIL$

解析

图C中，从a→b的半圆形电流，分析圆弧上对称的每一小段电流，受力抵消合并后，其有效长度为$ac=2R$，$F_C=2BIR$。

$F_C=2BIR$

图D中，弯曲导线，有效长度为$L\sin\theta$，所以$F_D=BIL\sin\theta$。

$F_D=BIL\sin\theta$

◎【答案】A，$F_A=BIL\cos\theta$；B，$F_B=BIL$；C，$F_C=2BIR$；D，$F_D=BIL\sin\theta$

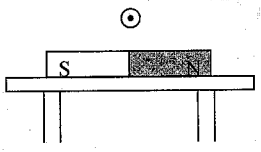
例5　如图所示，条形磁铁平放于水平桌面上，在它的正中央上方固定一根直导线，导线与磁场垂直，现给导线中通以垂直于纸面向外的电流，则下列说法中正确的是（　　）

A. 磁铁对桌面的压力减小

B. 磁铁对桌面的压力增大

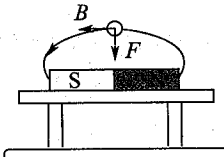
C. 磁铁对桌面的压力不变

D. 以上说法都不可能



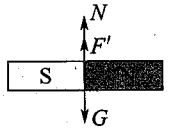
解析

电流对磁铁的作用力不好分析，转为分析磁铁对电流的作用力。



作出导线所处的磁场方向，由左手定则判断通电导线受到向下的安培力作用。

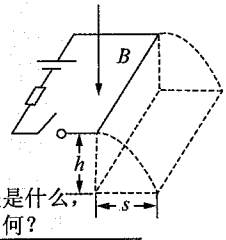
由牛顿第三定律可知，力的作用是相互的，磁铁对通电导线有向下作用的同时，通电导线对磁铁有反作用力，作用在磁铁上，方向向上。



对磁铁做受力分析，由于磁铁始终静止，无通电导线时，$N=mg$，有通电导线后$N+F=mg$，$N=mg-F'$，磁铁对桌面压力较小。

◎【答案】A

例 6 如图所示，质量为 m 的铜棒搭在 U 形导线框右端，棒长和框宽均为 L，磁感应强度为 B 的匀强磁场的方向竖直向下。开关闭合后，在磁场力作用下铜棒被平抛出去，下落 h 后的水平位移为 s。求闭合开关后通过铜棒的电荷量 Q。



解析

此类过程短暂，电流变化，解决的办法一般是

先进行受力分析，看所对应的暂态过程是什么，对应的速度变化是怎样的，受力情况如何？

然后应用动量定理（安培力的冲量）求电荷量。

也可由功能关系求安培力对棒所做的功。

设铜棒做平抛运动的初速度为 v_0，有 $v_0=\frac{s}{t}=s\sqrt{\frac{g}{2h}}$。

对于铜棒受安培力的过程，设通过它的平均电流为 I，由动量定理可得：$BIL\Delta t=mv_0-0$。

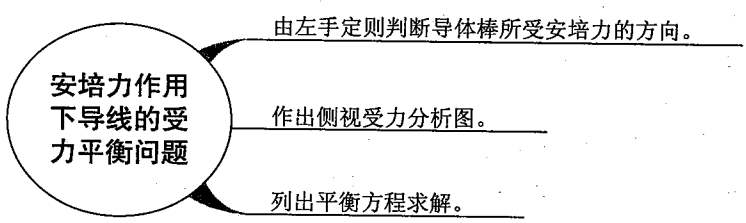
所以通过铜棒的电荷量为 $Q=I\Delta t=\frac{ms}{BL}\sqrt{\frac{g}{2h}}$。

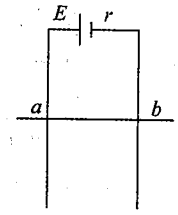
◎【答案】$\frac{ms}{BL}\sqrt{\frac{g}{2h}}$

例 7 如图所示，电动势 $E=2$ V，$r=0.5\ \Omega$，竖直导轨宽 $L=0.2$ m，导轨电阻不计，另有一金属棒，$m=0.1$ kg，电阻 $R=0.5\ \Omega$，它与导轨间的动摩擦因数 $\mu=0.4$，靠在导轨的外面，为使金属棒静止不下滑，加一与纸面夹角为 30°，且与导体棒垂直并指向纸面

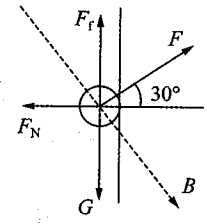
的匀强磁场，g 取 10 m/s²。求磁感应强度的方向及取值范围。

◇【解析】





如图所示，为从 b 向 a 观察的侧视图，由题意，磁场有两个可能方向，即斜向右上方和右下方，由左手定则及平衡条件可判定 B 应斜向右下方。当 B 取最小值时，安培力 F 最小，棒有下滑趋势，摩擦力向上，根据平衡条件可得：



$$G=F\sin30^\circ+F_f,$$

$$F_N=F\cos30^\circ,$$

$$F_f=\mu F_N,$$

联立以上三式可得 $B_{min}=2.95$ T。

当 B 取最大值时，安培力最大，棒有上滑趋势，摩擦力向下，和图中相反，同样根据平衡条件可以求出其值为 $B_{max}=16.28$ T。

◎【答案】斜向下，2.95 T≤B≤16.28 T

同步检测

1. 下列说法中正确的是（　　）

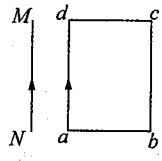
A. 磁场中某一点的磁感应强度可以这样测定：把一小段通电导线放在该点时受到的磁场力 F 与该导线的长度 L、通过的电流 I 乘积的比值，即 $B=\dfrac{F}{IL}$

B. 通电导线在某点不受磁场力的作用，则该点的磁感应强度一定为 0

C. 通电导线所受磁场力的方向就是磁场的方向

D. 自由转动的小磁针放在通电螺线管内部，其 N 极指向通电螺线管的 N 极

2. 通电矩形导线框 $abcd$ 与无限长通电直导线 MN 在同一平面内，电流方向如图所示，ad 边与 MN 平行，关于 MN 中电流的磁场对线框的作用，下列叙述中正确的是（　　）



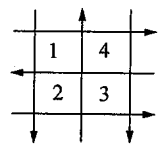
A. 线框有两条边所受到的安培力方向相同

B. 线框有两条边所受到的安培力大小相同

C. 整个线框有向左移动的趋势

D. 若导线 MN 向左微移，各边受力将变小，但合力不变

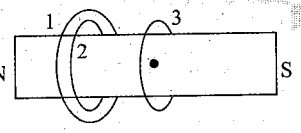
3. 如图所示，在一个平面内有 6 根绝缘的通电导线，电流大小相同，1、2、3、4 为面积相等的正方形区域，其中指向纸面内的磁场最强的区域是（　　）



A. 1 区　　B. 2 区

C. 3 区　　D. 4 区

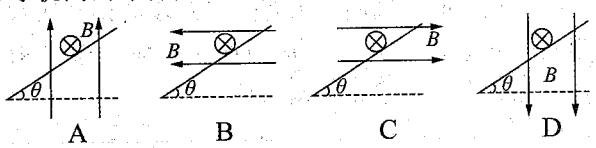
4. 如图所示，套在条形磁铁外的三个线圈，其面积 $S_1>S_2=S_3$，且“3”线圈在磁铁的正中间。设各线圈中的磁通量依次为 Φ_1、Φ_2、Φ_3，则它们的大小关系是（　　）



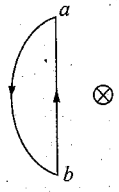
A. $\Phi_1>\Phi_2>\Phi_3$　　B. $\Phi_1>\Phi_2=\Phi_3$

C. $\Phi_1<\Phi_2<\Phi_3$　　D. $\Phi_1<\Phi_2=\Phi_3$

5. 质量为 m 的通电细杆放在倾角为 θ 的导轨上，导轨的宽度为 d，杆与导轨间的动摩擦因数为 μ，有电流通过杆，杆恰好静止于导轨上，在如图所示的 A、B、C、D 四个图中，杆与导轨间的摩擦力一定不为零的是（　　）



6. 如图所示，一弓形线圈通以逆时针电流，在其圆弧的圆心处，垂直于纸面放一直导线，当直导线通有指向纸内的电流时，线圈将（　　）



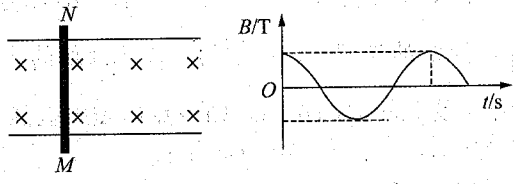
A. a 端向纸内、b 端向纸外转动，且靠近导线

B. a 端向纸内、b 端向纸外转动，且远离导线

C. b 端向纸内、a 端向纸外转动，且靠近导线

D. b 端向纸内、a 端向纸外转动，且远离导线

7. 如图甲所示，电流恒定的通电直导线 MN 垂直平放在两条相互平行的水平光滑长导轨上，电流方向由 M 指向 N，在两导轨间存在着竖直磁场，取垂直于纸面向里的方向为磁感应强度的正方向，当 $t=0$ 时导线恰好静止，若 B 按如图乙所示的余弦规律变化，下列说法中正确的是（　　）



甲　　乙

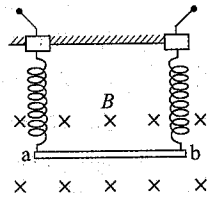
A. 在最初的一个周期内，导线在导轨上做往复运动

B. 在最初的一个周期内，导线一直向左运动

C. 在最初的半个周期内，导线的加速度先增大后减小

D. 在最初的半个周期内，导线的速度先增大后减小

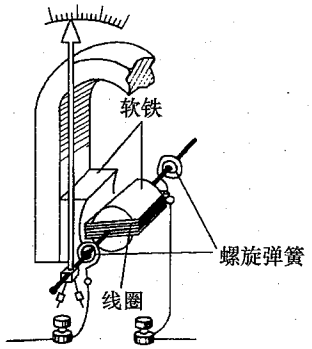
8. 如图所示，一根长为 L 的细铝棒用两个劲度系数均为 k 的轻弹簧水平悬挂在匀强磁场中。当铝棒中通有向右的电流 I 时，两根弹簧缩短；当仅把电流的方向改为向左时，两根弹簧伸长，并且相对于平衡位置缩短和伸长的长度均为 Δs，则磁感应强度为（　　）



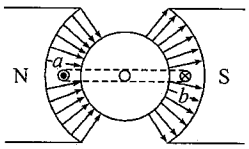
A. $\dfrac{2k\Delta s}{IL}$　　B. $\dfrac{2IL}{k\Delta s}$

C. $\dfrac{k\Delta s}{IL}$　　D. $\dfrac{kIL}{\Delta s}$

9. 实验室经常使用的电流表是磁电式仪表。这种电流表的构造如图甲所示。蹄形磁铁和铁芯间的磁场是均匀辐向分布的。当线圈通以如图乙所示的电流，下列说法中正确的是（　　）



甲



乙

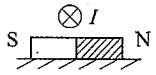
A. 线圈转到什么角度，它的平面都跟磁感线平行

B. 线圈转动时，螺旋弹簧被扭动，阻碍线圈转动

C. 当线圈转到图乙所示的位置时，b 端受到的安培力方向向上

D. 当线圈转到图乙所示的位置时，安培力的作用使线圈沿顺时针方向转动

10. 如图所示，一条形磁铁放在水平桌面上，在它的左上方固定一直导线，导线与磁铁垂直，若给导线通以垂直于纸面向里的电流，则（　　）



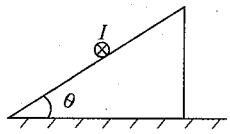
A. 磁铁对桌面压力增大

B. 磁场对桌面压力减小

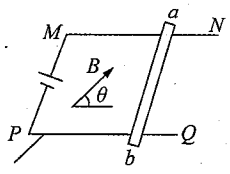
C. 桌面对磁铁没有摩擦力

D. 桌面对磁铁摩擦力向右

11. 如图所示，在倾角为 θ 的光滑斜面上有一根水平方向的通电直导线恰好静止不动。已知直导线长为 l，质量为 m，通过的电流为 I，方向如图所示，整个装置处在匀强磁场中，则匀强磁场的磁感强度的最小值 B_1 是多少？它的方向是什么？如果还要使静止在斜面上的通电直导线对斜面无压力，则匀强磁场的磁感强度的最小值 B_2 是多少？它的方向是什么？



12. 水平面上有电阻不计的 U 形导轨 $NMPQ$，它们之间的宽度为 L，M 和 P 之间接入电动势为 E 的电源（不计内阻）。现垂直于导轨搁一根质量为 m、电阻为 R 的金属棒 ab，并加一个范围较大的匀强磁场，磁感应强度大小为 B，方向与水平面夹角为 θ 且指向右斜上方，如图所示。问：



（1）当 ab 棒静止时，ab 棒受到的支持力和摩擦力各为多少？

（2）若 B 的大小和方向均能改变，则要使 ab 棒所受支持力为零，B 的大小至少为多少？此时 B 的方向如何？

参考答案

1. D　2. BC　3. D　4. C

5. CD　解析：选项 A 中通电细杆所受的安培力水平向右，选项 B 中通电细杆所受安培力竖直向上，这两种情况下，如果没有摩擦力，通电细杆都可以静止在导轨上，选项 C 中通电细杆所受安培力方向竖直向下，选项 D 中通电细杆所受安培力方向水平向左，这两种情况下，如果没有摩擦力，通电细杆均不能静止，故选项 C、D 正确。

6. A　解析：弓形通电线圈圆弧部分不受磁场力，直线部分上半部受磁场力指向纸内，下半部分受磁场力指向纸外，导致线圈转动。当转到弓形线圈平面与直导线趋于平行时，由于直线电流的磁场随着离开导线距离的增加而减弱，线圈直线部分所受安培力大于圆弧部分，因此线圈受直导线的吸引而靠近导线，故 A 项正确。

7. AD　解析：由安培力的表达式 $F=BIL$ 结合图乙可知，安培力 F 在一个周期内随磁感应强度 B 的变化而变化，在前 1/4 周期内，安培力 F 方向不变、大小变小，加速度方向不变、大小变小，由于初速度为零，所以在水平方向上做变加速直线运动；在 1/4 周期到 1/2 周期内，磁场方向改变，安培力方向改变、大小由小变大，加速度方向改变、大小由小变大，速度减小，至 1/2 周期时速度减小到零，所以 D 正确，C 错；而后在 1/2 周期到 3/4 周期内，MN 反向加速，在一个周期结束时又回到原来的位置，故 A 正确，B 错。

8. A

9. ABD　解析：由于磁场是均匀辐向分布的，因此线圈平面始终与磁感线平行，故 A 正确；线圈转动时，会使螺旋弹簧扭动，产生一个阻碍线圈转动的力，故 B 正确；当线圈转到图乙所示位置时，a 端所受安培力向上，b 端所受安培力向下，使线圈沿顺时针方向转动，故选项 D 正确，C 错误。

10. A

11. $mg\sin\theta/IL$，垂直于斜面向上；mg/IL，磁场方向水平向左。

12. (1) $mg-\dfrac{BEL\cos\theta}{R}$，$\dfrac{BLE}{R}\sin\theta$；(2) $\dfrac{mgR}{EL}$，方向水平向右。

解析：

(1) $F_{x合}=F_{摩}-F\sin\theta=0$，　①

$F_{y合}=F_N+F\cos\theta-mg=0$，　②

$F=BIL=B\dfrac{E}{R}L$，　③

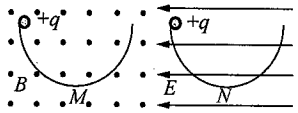
联立①②③式得 $F_N=mg-\dfrac{BLE\cos\theta}{R}$；$F_{摩}=\dfrac{BLE}{R}\sin\theta$。

(2) 要使 ab 棒受的支持力为零，其静摩擦力必然为零，满足上述条件的最小安培力应与 ab 棒的重力大小相等、方向相反，所以有 $F=mg$，即 $B_{min}\dfrac{E}{R}L=mg$。解得最小磁感应强度 $B_{min}=\dfrac{mgR}{EL}$，由左手定则判断出这种情况 B 的方向应水平向右。

第二节 磁场对运动电荷的作用

解题指南

例 1 如图所示，两个半径相同的半圆形光滑轨道置于竖直平面内，左右两端点等高，分别处于沿水平方向的匀强电场和匀强磁场中。两个相同的带正电小球同时从两轨道左端最高点由静止释放，M、N 为轨道的最低点。则下列说法中正确的是（ ）



A. 两个小球到达轨道最低点的速度 $v_M < v_N$

B. 两个小球第一次经过轨道最低点时对轨道的压力 $F_M > F_N$

C. 小球第一次到达 M 点的时间大于小球第一次到达 N 点的时间

D. 在磁场中小球能到达轨道的另一端最高处，在电场中小球不能到达轨道另一端最高处

解析

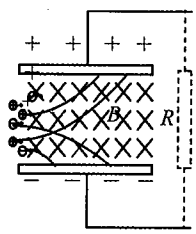
两种情况下，小球下降到最低点过程中重力做正功相同，在磁场中洛伦兹力不做功，在电场中电场力做负功，所以在磁场中合力做功大于在电场中合力做功，由动能定理可知，$v_M > v_N$；在磁场中机械能守恒，所以能上升到轨道另一端的最高处，而在电场中动能、重力势能和电势能之和守恒，当小球速度变为0时，电势能增加，则重力势能减少，高度低于初始位置。 A错，D对

$F_M - mg - qv_MB = m\frac{v_M^2}{r}$，$F_N - mg = m\frac{v_N^2}{r}$ 显然$F_M > F_N$，B对

两小球在圆轨道的同一位置上总是磁场中速度大于电场中的速度，所以小球第一次到达M的时间比第一次到达N的时间短。 C错

◎【答案】BD

例 2 磁流体发电机原理如图所示。等离子体高速从左向右喷射，两极板间有如图所示方向的匀强磁场。该发电机哪个极板为正极？两板间最大电压为多少？



解析

1. 由左手定则，正、负离子受的洛伦兹力分别向上、向下，所以正离子向上偏转，负离子向下偏转，上板聚集正电荷，下板聚集负电荷。 → 上板是正极

2. 正、负极板间会产生电场，此后进入的离子还受到电场力，只要洛伦兹力大于电场力，正离子继续向上偏转，负离子继续向下偏转，电场变强，直到当刚进入的正负离子受的洛伦兹力与电场力等值反向时，达到最大电压。 → $qvB=Eq$，则$U=Ed=Bvd$

3. 当外电路断开时，这也就是电动势E'。当外电路接通时，电路中有电流，极板上的电荷量减小，板间场强减小，洛伦兹力将大于电场力，进入的正负离子又将发生偏转。这时电动势仍是$E'=Bdv$，但路端电压将小于Bdv。（和所有电源一样电动势是电源本身的性质）

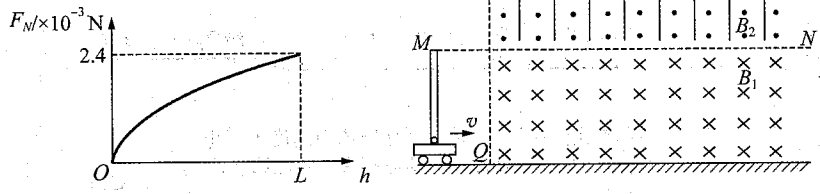
◎【答案】上板为正极，$U=Bvd$

例 3 如图所示，水平地面上有一辆固定有竖直光滑绝缘管的小车，管的底部有一质量 $m=0.2$ g、电荷量 $q=8\times10^{-5}$ C 的小球，小球的直径比管的内径略小。在管口所在水平面 MN 的下方存在着垂直纸面向里、磁感应强度 $B_1=15$ T 的匀强磁场，MN 面的上方还存在着竖直向上、场强 $E=25$ V/m 的匀强电场和垂直纸面向外、磁感应强度 $B_2=5$ T 的匀强磁场。现让小车始终保持 $v=2$ m/s 的速度匀速向右运动，以带电小球刚经过场的边界 PQ 为计时的起点，测得小球对管侧壁的弹力 F_N 随高度 h 变化的关系如图所示。g 取 10 m/s^2，不计空气阻力。求：

（1）小球刚进入磁场 B_1 时的加速度大小 a。

（2）绝缘管的长度 L。

（3）小球离开管后再次经过水平面 MN 时距管口的距离 Δx。



解析

1. 以小球为研究对象，在B_1中它受到的洛伦兹力可分解为竖直方向的f_1和水平方向的f_2。 → v为水平分速度，则$f_1=qvB_1$（恒定）。设v_1为竖直分速度，则$f_2=qv_1B_1$。

2. 竖直方向小球受重力和恒定的洛伦兹力f_1，故小球在管中竖直方向做匀加速直线运动。而水平方向受力平衡。

小球在B_2磁场中的电场力与重力平衡，小球在复合场中做匀速圆周运动。 → 画出轨迹求解。

（1）竖直方向小球受重力和恒定的洛伦兹力 $f_1=qvB_1$，故小球在管中竖直方向做匀

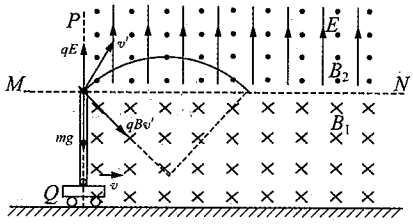
加速直线运动，加速度设为 a，则 $a=\dfrac{f_1-mg}{m}=\dfrac{qvB_1-mg}{m}=2\ \mathrm{m/s^2}$。

（2）设 v_1 为小球竖直分速度，小球在水平方向受到弹力 F_N 和洛伦兹力 $f_2=qv_1B_1$，二力平衡。

在小球运动到管口时，$F_N=2.4\times10^{-3}\ \mathrm{N}$，由 $F_N=qv_1B_1$，则 $v_1=2\ \mathrm{m/s}$。

由 $v_1^2=2aL$，得 $L=\dfrac{v_1^2}{2a}=1\ \mathrm{m}$。

（3）小球离开管口进入复合场，其中 $qE=2\times10^{-3}\ \mathrm{N}$，$mg=2\times10^{-3}\ \mathrm{N}$。



故电场力与重力平衡，小球在复合场中做匀速圆周运动，合速度 v' 与 MN 成 45°角，轨道半径为 R，$v'=\sqrt{2}v$，$R=\dfrac{mv'}{qB_2}=\sqrt{2}\ \mathrm{m}$。

小球离开管口开始计时，到再次经过 MN 所通过的水平距离 $x_1=\sqrt{2}R=2\mathrm{m}$。

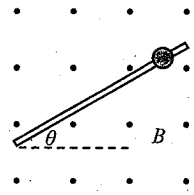
对应时间 $t=\dfrac{1}{4}T=\dfrac{\pi m}{2qB_2}=\dfrac{\pi}{4}\ \mathrm{s}$。

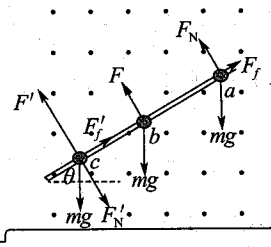
小车运动距离为 x_2，则 $x_2=vt=\dfrac{\pi}{2}\ \mathrm{m}$。

$\Delta x=x_1-x_2=\left(2-\dfrac{\pi}{2}\right)\ \mathrm{m}$。

◎【答案】（1）$2\ \mathrm{m/s^2}$　（2）$1\ \mathrm{m}$　（3）$\Delta x=x_1-x_2=\left(2-\dfrac{\pi}{2}\right)\ \mathrm{m}$

例 4　如图所示，质量 m 的小球带有正电荷，电荷量为 q，小球中间有一孔套在足够长的绝缘细杆上。杆与水平方向成 θ 角，与球的动摩擦因数为 μ，此装置放在沿水平方向、磁感应强度为 B 的匀强磁场中。若从高处将小球无初速释放，求小球下滑过程中加速度的最大值和运动速度的最大值。





分析带电小球的受力如图所示。

解析

1.在释放处a，由于初速度为零，无洛伦兹力，随着小球的加速运动，产生逐渐增大，方向垂直细杆斜向上的洛伦兹力。

2.在b处，洛伦兹力平衡重力垂直细杆方向的分力，此时无弹力，从而无摩擦力，则加速度最大。

$qv_bB = mg\cos\theta, a_m = g\sin\theta$

3.随着小球的继续加速，洛伦兹力继续增大，小球将受到垂直细杆斜下的弹力，从而恢复了摩擦力，且逐渐增大，使其加速度逐渐减小，当摩擦力与重力沿斜面方向的分力平衡时,小球的加速度运动结束，将做匀速直线运动，速度也达到最大值，在如图中c位置。

$F_N' + mg\cos\theta = Bqv_m$

$F_f' = mg\sin\theta$

解得：$v_m = \dfrac{mg}{qB}\left(\dfrac{\sin\theta}{\mu} + \cos\theta\right)$

◎【答案】$a_m = g\sin\theta$，$v_m = \dfrac{mg}{qB}\left(\dfrac{\sin\theta}{\mu} + \cos\theta\right)$

例 5 在直径为 d 的圆形区域内存在着匀强磁场，磁感应强度为 B，磁场方向垂直于圆面指向纸外。一电荷量为 q、质量为 m 的带正电粒子，从磁场区域的一条直径 AC 上的 A 点沿纸面射入磁场，其速度方向与 AC 成 $\alpha = 15°$ 角，如图所示。若此粒子在磁场区域运动过程，速度的方向一共改变了 90°。重力可忽略不计，求：

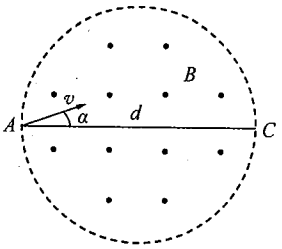
（1）该粒子在磁场区域内运动所用的时间 t。

（2）该粒子射入时的速度大小 v。

粒子在匀强磁场中运动，有$qvB=m\frac{v^2}{r}$，

运动周期$T=\frac{2\pi r}{v}$，

得轨道半径$r=\frac{mv}{qB}$，周期$T=\frac{2\pi m}{qB}$



粒子的速度方向改变了90°，所用的时间$t=\frac{T}{4}=\frac{\pi m}{2qB}$。

解析

（1）

粒子的运动情况如图所示，△AOD是等腰直角三角形，有

$AD=\sqrt{2}r$

在△CAD中，

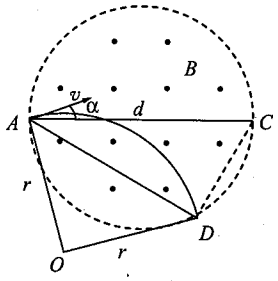
$\angle CAD=90°-\alpha-\angle OAD=30°$，

$AD=d\cos\angle CAD=d\cos 30°$，

解得半径$r=\frac{\sqrt{6}}{4}d$。

因此粒子射入时的速度大小

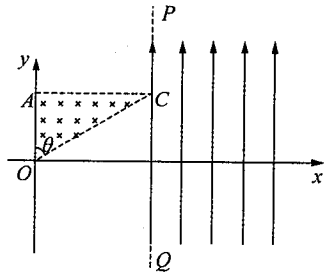
$v=\frac{\sqrt{6}qBd}{4m}$。



（2）

◎【答案】（1）$t=\frac{T}{4}=\frac{\pi m}{2qB}$　（2）$v=\frac{\sqrt{6}qBd}{4m}$

例 6　如图所示，平行于直角坐标系 y 轴的 PQ 是用特殊材料制成的，只能让垂直打到 PQ 界面上的电子通过。其左侧有一直角三角形区域，分布着方向垂直纸面向里、磁感应强度为 B 的匀强磁场，其右侧有竖直向上场强为 E 的匀强电场。现有速率不同的电子在纸面上从坐标原点 O 沿不同方向射到三角形区域，不考虑电子间的相互作用。已知电子的电荷量为 e，质量为 m，在△OAC 中，$OA=a$，$\theta=60°$。求：



（1）能通过 PQ 界面的电子所具有的最大速度是多少？

（2）在 PQ 右侧 x 轴上什么范围内能接收到电子。

要使电子能通过PQ界面，电子飞出磁场的速度方向必须水平向右，由$Bev=m\frac{v^2}{r}$可知，r越大v越大，从C点水平飞出的电子，运动半径最大，对应的速度最大，即$r=2a$时，电子的速度最大。由$Bev_m=m\frac{v_m^2}{2a}$，得$v_m=\frac{2Bea}{m}$。

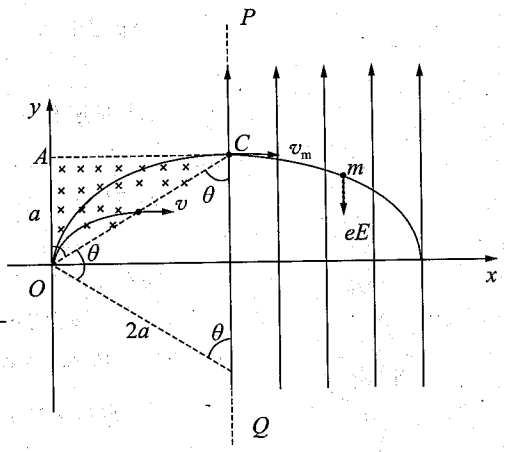
解析

(1) 粒子在电场中做类平抛运动，

据$a=\frac{1}{2}\frac{eE}{m}t^2$，$x=vt$，得$x_m=2Ba\sqrt{\frac{2ae}{mE}}$

由此可知：PQ界面的右侧x轴上能接收电子的范围是$(\sqrt{3}a,\ \sqrt{3}a+2Ba\sqrt{\frac{2ae}{mE}}]$。

(2)



◎【答案】(1) $v_m=\frac{2Bea}{m}$　(2) $(\sqrt{3}a,\ \sqrt{3}a+2Ba\sqrt{\frac{2ae}{mE}}]$

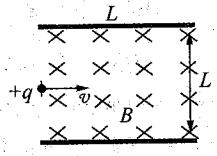
例 7 长为 L 的水平极板间，有垂直纸面向内的匀强磁场，如图所示，磁感强度为 B，板间距离也为 L，板不带电，现有质量为 m，电量为 q 的带正电粒子（不计重力），从左边极板间中点处垂直磁感线以速度 v 水平射入磁场，欲使粒子不打在极板上，可采用的办法是（　　）

A. 使粒子的速度 $v<BqL/4m$

B. 使粒子的速度 $v>5BqL/4m$

C. 使粒子的速度 $v>BqL/m$

D. 使粒子速度 $BqL/4m<v<5BqL/4m$

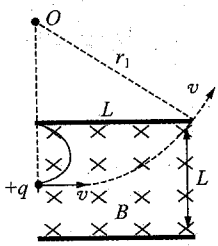


解析

由左手定则判断粒子在磁场中向上偏，而做匀速圆周运动，很明显，圆周运动的半径大于某值r_1时粒子可以从极板右边穿出，而半径小于某值r_2时粒子可以从极板左边穿出，现在问题归结为求粒子能在右边穿出时r的最小值r_1以及粒子在左边穿出时r的最大值r_2。

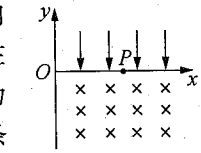
由几何知识得：粒子擦着板从右边穿出时，圆心在 O 点，有 $r_1^2=L^2+(r_1-L/2)^2$，得 $r_1=5L/4$。又由于 $r_1=mv_1/Bq$，得 $v_1=5BqL/4m$。所以 $v>5BqL/4m$ 时粒子能从右边穿出。

粒子擦着上板从左边穿出时，有 $r_2=L/4$。又由 $r_2=mv_2/Bq=L/4$，得 $v_2=BqL/4m$。所以 $v_2<BqL/4m$ 时粒子能从左边穿出。



◎【答案】AB

例 8 如图所示，在 x 轴上方有一匀强电场，场强为 E，方向竖直向下。在 x 轴下方有一匀强磁场，磁感应强度为 B，方向垂直纸面向里。在 x 轴上有一点 P，离原点的距离为 a。现有一带电荷量 $+q$ 的粒子，质量为 m，从静止开始释放，要使粒子能经过 P 点，其初始坐标应满足什么条件？（重力作用忽略不计）



要使粒子能经过P点，其初始位置必须在匀强电场区域里。
由于没有明确粒子所在位置，讨论如下：

解析

(1)若粒子从y轴上由静止释放，在电场加速下进入磁场做半径为R的匀速圆周运动。由于粒子可能偏转一个、二个、……半圆到达P点，故$a=2nR(n=1, 2, \cdots)$，①

设释放处距O的距离为y_1，则有 $qEy_1=\frac{1}{2}mv^2$，②　$Bqv=m\frac{v^2}{R}$，③

由①、②、③式得$y_1=\frac{B^2qa^2}{8n^2mE}(n=1, 2, \cdots)$。

(2)若粒子在电场中的起点坐标为(x, y_2)，依题意，有：当$x>a$，粒子不可能经过P点；当$x=a$，不论y_2取值如何，粒子均能经过P点；当$x<a$，则

$a-x=2nR(n=1, 2, \cdots)$，同理可得$y_2=\frac{B^2q(a-x)^2}{8n^2mE}(n=1, 2, \cdots)$。

◎【答案】若粒子从 y 轴上由静止释放 $y_1=\frac{B^2qa^2}{8n^2mE}$（$n=1, 2, \cdots$）。

当 $x>a$，粒子不可能经过 P 点；

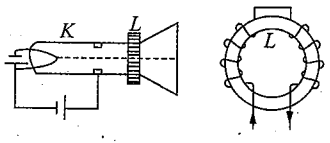
当 $x=a$，不论 y_2 取值如何，粒子均能经过 P 点；

当 $x<a$，$y_2=\frac{B^2q(a-x)^2}{8n^2mE}$（$n=1, 2, \cdots$）。

同步检测

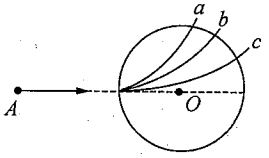
1. 如图所示的是电视机显像管及其偏转线圈 L，如果发现电视画面幅度比正常时偏大，可能是因为（　　）

A. 电子枪发射能力减弱，电子数减少
B. 加速电场电压过低，电子速率偏小
C. 偏转线圈匝间短路，线圈匝数减小
D. 偏转线圈电流过小，偏转磁场减弱

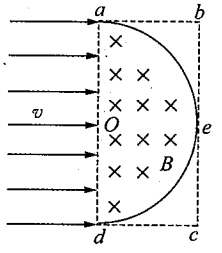


2. 圆形区域内有垂直于纸面的匀强磁场，三个质量和电荷量都相同的带电粒子 a、b、c，以不同的速率沿着 AO 方向对准圆心 O 射入磁场，其运动轨迹如图所示。若带电粒子只受磁场力的作用，则下列说法中正确的是（　　）

A. a 粒子速率最大
B. c 粒子速率最大
C. a 粒子在磁场中运动的时间最长
D. 它们做圆周运动的周期 $T_a<T_b<T_c$



3. 如图所示，长方形 $abcd$ 长 $ad=0.6$ m，宽 $ab=0.3$ m，O、e 分别是 ad、bc 的中点，以 ad 为直径的半圆内有垂直于纸面向里的匀强磁场（边界上无磁场），磁感应强度 $B=0.25$ T。一群不计重力、质量 $m=3\times10^{-7}$ kg、电荷量 $q=+2\times10^{-3}$ C 的带电粒子以速度 $v=5\times10^2$ m/s沿垂直 ad 方向且垂直于磁场射入磁场区域，则下列说法中正确的是（　　）



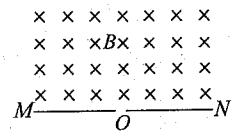
A. 从 Od 边射入的粒子，出射点全部分布在 Oa 边

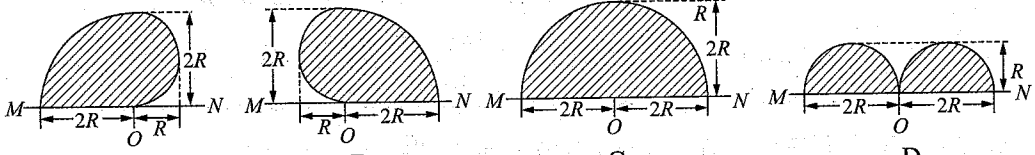
B. 从 aO 边射入的粒子，出射点全部分布在 ab 边

C. 从 Od 边射入的粒子，出射点分布在 Oa 边和 ab 边

D. 从 aO 边射入的粒子，出射点分布在 ab 边和 be 边

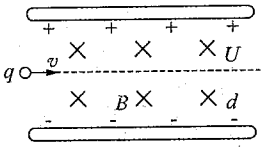
4. 如图所示，在一水平放置的平板 MN 的上方有匀强磁场，磁感应强度的大小为 B，磁场方向垂直于纸面向里。许多质量为 m、带电荷量为 $+q$ 的粒子，以相同的速率 v 沿位于纸面内的各个方向由小孔 O 射入磁场区域。不计重力，不计粒子间的相互影响。下图中阴影部分表示带电粒子可能经过的区域，$R=\frac{mv}{Bq}$。其中正确的是（　　）





A　　B　　C　　D

5. 不计重力的带负电的粒子能够在如图所示的正交匀强电场和匀强磁场中匀速直线穿过。设产生匀强电场的两极板间电压为 U，距离为 d，匀强磁场的磁感应强度为 B，粒子带电荷量为 q，进入速度为 v，以下说法中正确的是（　　）



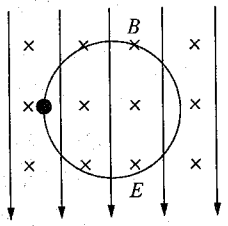
A. 若同时增大 U 和 B，其他条件不变，则粒子一定能够直线穿过

B. 若同时减小 d 和增大 v，其他条件不变，则粒子可能直线穿过

C. 若粒子向下偏，能够飞出极板间，则粒子动能一定减小

D. 若粒子向下偏，能够飞出极板间，则粒子的动能有可能不变

6. 如图所示，在匀强电场和匀强磁场共存的区域内，电场的场强为 E，方向竖直向下，磁场的磁感应强度为 B，方向垂直于纸面向里，一质量为 m 的带电粒子，在场区内的一竖直平面内做匀速圆周运动，则可判断该带电质点（　　）



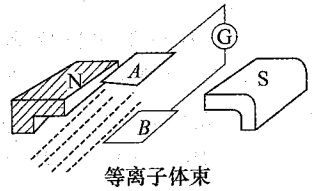
A. 带有电荷量为 $\frac{mg}{E}$ 的正电荷

B. 沿圆周逆时针运动

C. 运动的角速度为 $\frac{Bg}{E}$

D. 运动的速率为 $\frac{E}{B}$

7. 目前，世界上正在研究一种叫磁流体发电机的新型发电机。如图所示表示了它的发电原理：将一束等离子体喷射入磁场，磁场中有两块金属板 A、B，这时金属板上就会聚集电荷，产生电压。如果射入的等离子体的初速度为 v，两金属板的板长（沿初速度方向）为 L，板间距离为 d，金属板的正对面积为 S，匀强磁场的磁感应强度为 B，方向垂直于离子初速度方向，负载电阻为 R，电离气体充满两板间的空间。当发电机稳定发电时，



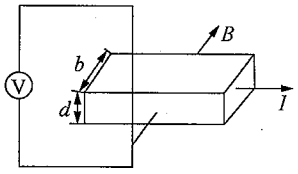
等离子体束

电流表的示数为 I。那么板间电离气体的电阻率（　　）

A. $\frac{S}{d}\left(\frac{Bdv}{I}-R\right)$　　B. $\frac{S}{d}\left(\frac{BLv}{I}-R\right)$

C. $\frac{S}{L}\left(\frac{Bdv}{I}-R\right)$　　D. $\frac{S}{L}\left(\frac{BLv}{I}-R\right)$

8. 利用如图所示的方法可以测得金属导体中单位体积内的自由电子数 n，现测得一块横截面为矩形的金属导体的宽为 b，厚为 d，并加有与侧面垂直的磁感应线强度为 B 的匀强磁场，当通以图示方向电流 I 时，在导体上、下表面间用电压表可测得电压为 U。已知自由电子的电荷量为 e，则下列判断中正确的是（　　）



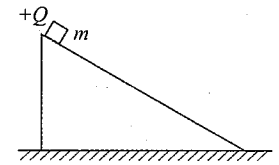
A. 上表面电势高

B. 下表面电势高

C. 该导体单位体积内的自由电子数为 $\frac{I}{edb}$

D. 该导体单位体积内的自由电子数为 $\frac{BI}{eUb}$

9. 如图所示，表面粗糙的斜面固定于地面上，并处于方向垂直纸面向外、磁感应强度为 B 的匀强磁场中。质量为 m、带电量为 $+Q$ 的小滑块从斜面顶端由静止下滑。在滑块下滑的过程中，下列判断中正确的是（　　）



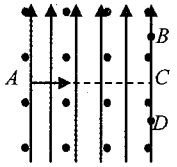
A. 滑块受到的摩擦力不变

B. 滑块到达地面时的动能与 B 的大小无关

C. 滑块受到的洛伦兹力方向垂直斜面向下

D. B 很大时，滑块可能静止于斜面上

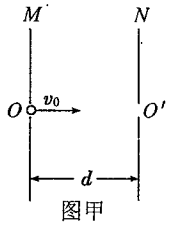
10. 如图所示，空间某一区域内存在着相互垂直的匀强电场和匀强磁场，一个带电粒子以某一初速度由 A 点进入这个区域沿直线运动，从 C 点离开区域；如果这个区域只有电场，则粒子从 B 点离开场区；如果这个区域只有磁场，则粒子从 D 点离开场区；设粒子在上述三种情况下，从 A 到 B 点、A 到 C 点和 A 到 D 点所用的时间分别是 t_1、t_2 和 t_3，比较 t_1、t_2 和 t_3 的大小，则有（粒子重力忽略不计）（　　）



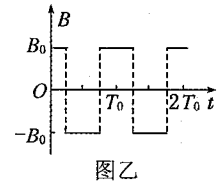
A. $t_1=t_2=t_3$　　B. $t_2<t_1<t_3$

C. $t_1=t_2<t_3$　　D. $t_1=t_3>t_2$

11. 如图甲所示，M、N 为竖直放置彼此平行的两块平板，板间距离为 d，两板中央各有一个小孔 OO' 正对，在两板间有垂直于纸面方向的磁场，磁感应强度随时间的变化如图乙所示。有一群正离子在 $t=0$ 时垂直于 M 板从小孔 O 射入磁场。已知正离子质量为 m，带电荷量为 q，正离子在磁场中做匀速圆周运动的周期与磁感应强度变化的周期都为 T_0，不考虑由于磁场变化而产生的电场的影响，不计离子所受重力。求：



图甲

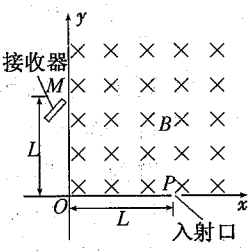


图乙

(1) 磁感应强度 B_0 的大小；

(2) 要使正离子从 O' 孔垂直于 N 板射出磁场，正离子射入磁场时的速度 v_0 的可能值。

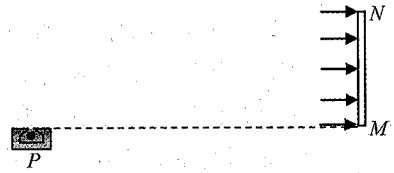
12. 如图所示为可测定比荷的某装置的简化示意图，在第一象限区域内有垂直于纸面向里的匀强磁场，磁感应强度大小 $B=2.0\times10^{-3}$ T，在 x 轴上距坐标原点 $L=0.50$ m 的 P 处为粒子的入射口，在 y 轴上安放接收器。现将一带正电荷的粒子以 $v=3.5\times10^4$ m/s 的速率从 P 处射入磁场，若粒子在 y 轴上距坐标原点 $L=0.50$ m 的 M 处被观测到，且运动轨迹半径恰好最小，设带电粒子的质量为 m、电荷量为 q，不计其重力。



(1) 求上述粒子的比荷 $\frac{q}{m}$。

(2) 为了在 M 处观测到按题设条件运动的上述粒子，第一象限内的磁场可以局限在一个矩形区域内，求此矩形磁场区域的最小面积，并在图中画出该矩形。

13. 人们到医院检查身体时，其中有一项就是做胸透，做胸透所用的是 X 射线。我们可以把做胸透的原理等效如下：如图所示，P 是一个放射源，从开口处在纸面内向各个方向放出某种粒子（不计重力），而这些粒子最终必须全部垂直射到底片 MN 这一有效区域，并要求底片 MN 上每一地方都有粒子到达。假若放射源所放出的是质量为 m、电荷量为 q 的带正电的粒子，且所有的粒子速率都是 v，M 与放射源的出口在同一水平面，底片 MN 竖直放置，底片 MN 长为 L。为了实现上述目的，我们必须在 P 的出口处放置一有界匀强磁场。求：



(1) 匀强磁场的方向。

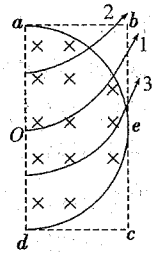
(2) 画出所需最小有界匀强磁场的区域，并用阴影表示。

(3) 匀强磁场的磁感应强度 B 的大小以及最小有界匀强磁场的面积 S。

参考答案

1. B　解析：电子偏转的半径与电子数无关，A 错误；根据 $qvB=\frac{mv^2}{r}$ 知 $r=\frac{mv}{qB}$，故 v 越小，电子在磁场中偏转半径越小，而通过磁场区域时，偏转角越大，B 正确；B 越小，r 越大，偏转角度越小，故 C、D 错误。

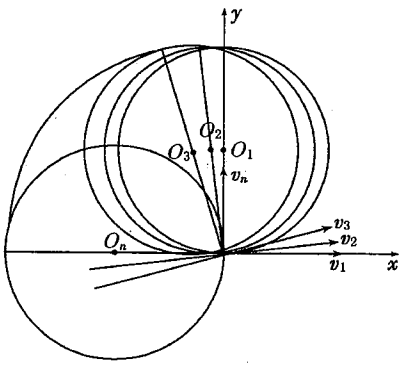
2. BC　解析：由于三个带电粒子的质量、电荷量均相同，在同一个磁场中，根据 $qvB=m\frac{v^2}{r}$ 得 $r=\frac{mv}{qB}$，当速度越大时，轨道半径越大，选项 A 错误、B 正确；由 $T=\frac{2\pi m}{qB}$ 及 $t=\frac{\theta}{2\pi}\times T$ 可知，三个粒子运动周期相同，a 在磁场中运动的偏转角最大，对应时间最长，选项 C 正确、D 错误。



3. D　解析：由左手定则可知粒子射入后向上偏转，轨道半径 $R=\frac{mv}{qB}=$

0.3 m。从 O 点射入的粒子运动轨迹如图中的 1 所示，从 aO 边上某点射入的粒子运动轨迹如图中的 2 所示，从 Od 边上某点射入的粒子运动轨迹如图中的 3 所示，出射点应分布在 be 边上。综上所述，只有 D 正确。

4. A　解析：如图所示，当粒子沿 v_1，v_2，v_3，…，v_n 进入磁场时所对应的圆周运动的轨迹分别为圆 O_1，O_2，O_3，…，O_n，可以看出带电粒子所经过的区域，故 A 正确。

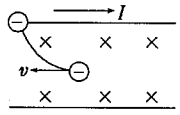


5. BC　解析：粒子能够直线穿过，则有 $q\dfrac{U}{d}=qvB$，即 $v=\dfrac{U}{Bd}$，若 U、B 增大的倍数不同，粒子不能沿直线穿过，A 项错误，同理 B 项正确；粒子向下偏，电场力做负功，又 $W_{洛}=0$，所以 $\Delta E_k<0$，故 C 项正确，D 项错误。

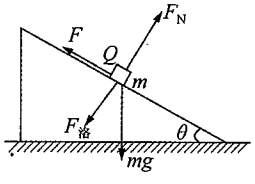
6. C　解析：带电粒子在竖直平面内做匀速圆周运动，有 $mg=qE$，求得电荷量 $q=\dfrac{mg}{E}$，根据电场强度方向和电场力方向判断出粒子带负电，A 错误。由左手定则可判断粒子沿顺时针方向运动，B 错误。由 $qvB=mv\omega$ 得 $\omega=\dfrac{qB}{m}=\dfrac{mgB}{Em}=\dfrac{gB}{E}$，C 正确。在速度选择器装置中才有 $v=\dfrac{E}{B}$，故 D 错误。

7. A　解析：当发电机稳定时，等离子体做匀速直线运动，所以 $qvB=qE=q\dfrac{U}{d}$，即 $U=Bdv$，由 $I=\dfrac{U}{R+r}$ 和 $r=\rho\dfrac{d}{S}$ 得 $\rho=\dfrac{S}{d}\left(\dfrac{Bdv}{I}-R\right)$，故 A 正确。

8. BD　解析：画出平面图如图所示，由左手定则可知，自由电子向上表面偏转，故下表面电势高，故 B 正确，A 错误。再根据 $e\dfrac{U}{d}=evB$，$I=neSv=nebdv$ 得 $n=\dfrac{BI}{eUb}$，故 D 正确，C 错误。



9. C　解析：如图所示，由左手定则知 C 正确。而 $F=\mu F_N=\mu(mg\cos\theta+BQv)$ 要随速度增加而变大，A 错误。若滑块滑到底端已达到匀速运动状态，应有 $F=mg\sin\theta$，可得 $v=\dfrac{mg}{BQ}\left(\dfrac{\sin\theta}{\mu}-\cos\theta\right)$，可看到 v 随 B 的增大而减小。若在滑块滑到底端时还处于加速运动状态，则在 B 越强时，F 越大，滑块克服阻力做功越多，到达斜面底端的速度越小，B 错误。当滑块能静止于斜面上时应有 $mg\sin\theta\leqslant\mu mg\cos\theta$，即 $\mu\geqslant\tan\theta$，与 B 的大小无关，D 错误。



10. C

11. (1) $\dfrac{2\pi m}{qT_0}$　(2) $\dfrac{\pi d}{2nT_0}$ $(n=1,\ 2,\ 3,\ \cdots)$

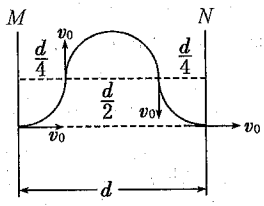
解析：设垂直于纸面向里的磁场方向为正方向。

(1) 正离子射入磁场，洛伦兹力提供向心力 $B_0qv_0=\frac{mv_0^2}{R}$，　①

做匀速圆周运动的周期 $T_0=\frac{2\pi R}{v_0}$，　②

联立①②两式得磁感应强度 $B_0=\frac{2\pi m}{qT_0}$。

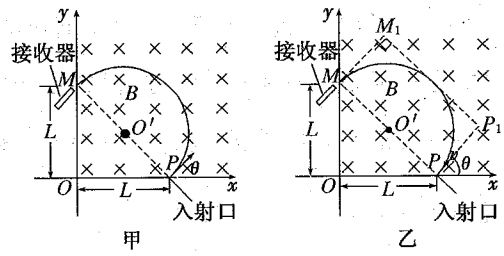
(2) 要使正离子从 O' 孔垂直于 N 板射出磁场，v_0 的方向应如图所示，两板之间正离子只运动一个周期即 T_0 时，有 $R=\frac{d}{4}$，当两板之间正离子运动 n 个周期，即 nT_0 时，有 $R=\frac{d}{4n}$（$n=1$，2，3，…）。



联立求解，得正离子的速度的可能值为 $v_0=\frac{B_0qR}{m}=\frac{\pi d}{2nT_0}$（$n=1$，2，3，…）。

12. (1) 4.9×10^7 C/kg（或 5.0×10^7 C/kg）　(2) 0.25 m^2，图见解析

解析：(1) 设粒子在磁场中的运动半径最小为 r。如图甲所示，依题意 M、P 连线即为该粒子在磁场中做匀速圆周运动的直径，由几何关系得 $r=\frac{\sqrt{2}L}{2}$，　①



由洛伦兹力提供粒子在磁场中做匀速圆周运动的向心力，

可得 $qvB=m\frac{v^2}{r}$，　②

联立①②式并代入数据解得：$\frac{q}{m}=4.9\times10^7$ C/kg（或 5.0×10^7 C/kg）。　③

(2) 如图乙所示，所求的最小矩形是 MM_1P_1P，

该区域面积 $S=2r^2$，　④

联立①②③④式，并代入数据得 $S=0.25$ m^2，矩形如图乙中 MM_1P_1P（虚线）所示。

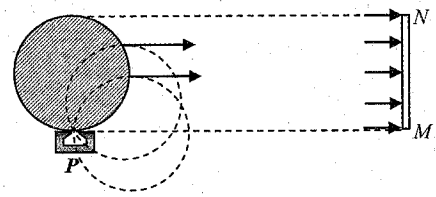
13. 见解析

(1) 匀强磁场的方向为垂直纸面向外。

(2) 最小有界磁场如图所示。

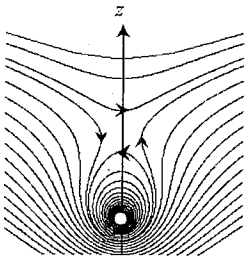
(3) 要想使所有的粒子都最终水平向右运动，带电粒子在磁场中做匀速圆周运动的轨道半径必须与最小圆形有界匀强磁场的半径大小一致，所以有 $R=\frac{L}{2}$。

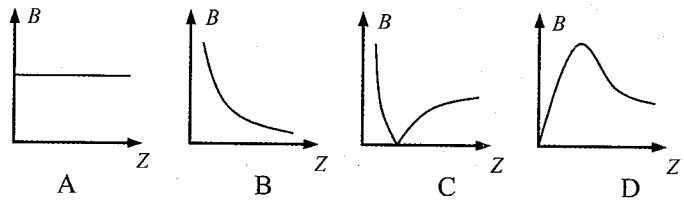
根据牛顿第二定律：$Bvq=\frac{mv^2}{R}$，得 $R=\frac{mv}{Bq}$。联立解得：$B=\frac{2mv}{qL}$。如图所示，有界磁场的最小面积为：$S=\frac{\pi L^2}{4}$。



本章知识检测题

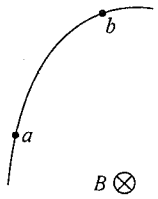
1. 如图所示为某种用来束缚原子的磁场的磁感线分布情况，以 O 点（图中白点）为坐标原点，沿 z 轴正方向磁感应强度 B 大小的变化最有可能是（　　）



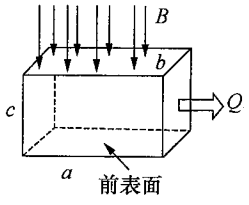


2. 关于磁场和磁感线的描述，正确的说法是（　　）
   A. 磁感线从磁体的 N 极出发，终止于 S 极
   B. 磁场的方向就是通电导体在磁场中某点所受磁场作用力的方向
   C. 沿磁感线方向，磁场逐渐减弱
   D. 同一通电导线在磁场强的地方受的安培力可能比在磁场弱的地方受的安培力小

3. 带电粒子进入云室会使云室中的气体电离，从而显示其运动轨迹。如图所示是在有匀强磁场的云室中观察到的粒子的轨迹，a 和 b 是轨迹上的两点，匀强磁场 B 垂直于纸面向里。该粒子在运动时，其质量和电荷量不变，而动能逐渐减少，下列说法中正确的是（　　）
   A. 粒子先经过 a 点，再经过 b 点
   B. 粒子先经过 b 点，再经过 a 点
   C. 粒子带负电
   D. 粒子带正电



4. 为了测量某化肥厂的污水排放量，技术人员在该厂的排污管末端安装了如图所示的流量计，该装置由绝缘材料制成，长、宽、高分别为 a、b、c，左右两端开口，在垂直于上下表面方向加磁感应强度为 B 的匀强磁场，在前后两个内侧面固定有金属板作为电极，污水充满管口从左向右流经该装置时，电压表将显示两个电极间的电压 U。若用 Q 表示污水流量（单位时间内排出的污水体积），下列说法中正确的是（　　）
   A. 若污水中正离子较多，则前表面比后表面电势高
   B. 前表面的电势一定低于后表面的电势，与哪种离子多无关
   C. 污水中离子浓度越高，电压表的示数将越大
   D. 污水流量 Q 与 U 成正比，与 a、b 无关



5. 如图所示，带等量异种电荷的平行金属板 a、b 处于匀强磁场中，磁感应强度 B 垂直纸面向里，不计重力的带电粒子沿 OO' 方向从左侧垂直于电磁场入射，从右侧射出 a、b 板间区域时动能比入射时小。要使粒子射出 a、b 板间区域时的动能比入射

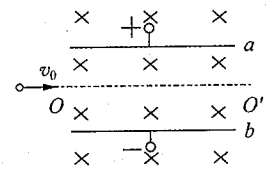
时大，可以（　　）

A. 适当增大金属板间的电压

B. 适当增大金属板间的距离

C. 适当减小金属板间的磁感应强度

D. 使带电粒子的电性相反



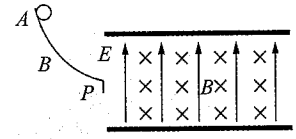
6. 如图所示，带电平行板中匀强电场 E 的方向竖直向上，匀强磁场 B 的方向垂直纸面向里。某带电小球从光滑绝缘轨道上的 A 点自由滑下，经过轨道端点 P 进入板间后恰好沿水平方向做直线运动。现使球从较低的 B 点开始滑下，经 P 点进入板间，则球在板间运动的过程中（　　）

A. 电场力不做功

B. 机械能保持不变

C. 所受的电场力将会增大

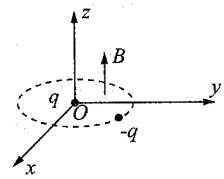
D. 所受的磁场力将会增大



7. 如图所示，一个带正电的粒子固定在坐标原点 O，另一个带负电的粒子在 xOy 平面内绕 O 点做匀速圆周运动，其方向从上向下看为顺时针，若在 xOy 平面上加与 z 轴同方向的匀强磁场，负电粒子仍做匀速圆周运动，则（　　）

A. 线速度增大　　B. 角速度增大

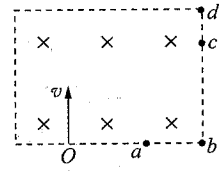
C. 运动半径增大　　D. 频率增大



8. 如图所示的虚线框为一长方形区域，该区域内有一垂直于纸面向里的匀强磁场，一束电子以不同的速率从 O 点垂直于磁场方向、沿图中方向射入磁场后，分别从 a、b、c、d 四点射出磁场，比较它们在磁场中的运动时间 t_a、t_b、t_c、t_d，其大小关系是（　　）

A. $t_a<t_b<t_c<t_d$　　B. $t_a=t_b=t_c=t_d$

C. $t_a=t_b<t_c<t_d$　　D. $t_a=t_b>t_c>t_d$



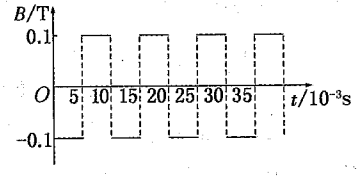
9. 空间存在垂直于纸面方向的匀强磁场，其方向随时间做周期性变化，磁感应强度 B 随时间 t 变化的图像如图所示。规定 $B>0$ 时，磁场的方向穿出纸面。一电荷量 $q=5\pi\times10^{-7}$ C、质量 $m=5\times10^{-10}$ kg 的带电粒子，位于某点 O 处，在 $t=0$ 时刻以初速度 $v_0=\pi$ m/s 沿某方向开始运动。不计重力的作用，不计磁场的变化可能产生的一切其他影响。则在磁场变化 N 个（N 为整数）周期的时间内带电粒子的平均速度的大小等于（　　）

A. π m/s

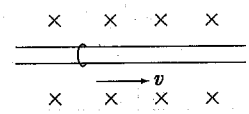
B. $\frac{\pi}{2}$ m/s

C. $2\sqrt{2}$ m/s

D. $\sqrt{2}$ m/s



10. 如图所示，一个带正电的滑环套在水平且足够长的粗糙的绝缘杆上，整个装置处于方向如图所示的匀强磁场中，现给滑环一个水平向右的瞬时作用力，使其开始运动，则滑



环在杆上的运动情况不可能的是（ ）

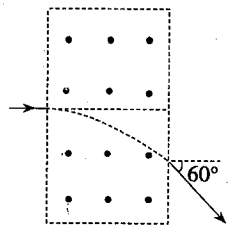
A. 始终做匀速运动

B. 始终做减速运动，最后静止于杆上

C. 先做加速运动，最后做匀速运动

D. 先做减速运动，最后做匀速运动

11. 如图所示，在一矩形区域内，不加磁场时，不计重力的带电粒子以某一初速度垂直左边界射入，穿过此区域的时间为 t。若加上磁感应强度为 B、水平向外的匀强磁场，带电粒子仍以原来的初速度入射，粒子飞出时偏离原方向 60°，利用以上数据可求出下列物理量中的（ ）



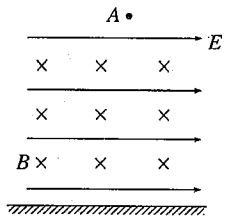
A. 带电粒子的比荷

B. 带电粒子在磁场中运动的周期

C. 带电粒子的初速度

D. 带电粒子在磁场中运动的半径

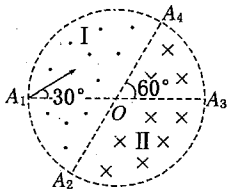
12. 从地面上方 A 点处自由落下一带电荷量为 $+q$、质量为 m 的粒子，地面附近有如图所示的匀强电场和匀强磁场，电场方向水平向右，磁场方向垂直纸面向里，这时粒子的落地速度大小为 v_1，若电场不变，只将磁场的方向改为垂直纸面向外，粒子落地的速度大小为 v_2，则（ ）



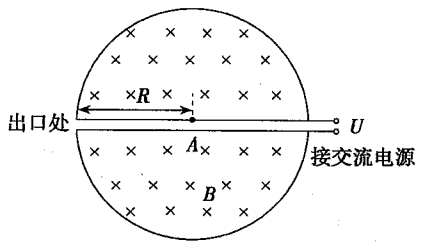
A. $v_1 > v_2$　　B. $v_1 < v_2$

C. $v_1 = v_2$　　D. 无法判定

13. 如图所示，在一个圆形区域内，两个方向相反且都垂直于纸面的匀强磁场分布在以直径 A_2A_4 为边界的两个半圆形区域Ⅰ、Ⅱ中，直径 A_2A_4 与 A_1A_3 的夹角为 60°。一质量为 m、带电荷量为 $+q$ 的粒子以某一速度从Ⅰ区的边缘点 A_1 处沿与 A_1A_3 成 30°角的方向射入磁场，随后该粒子以垂直于 A_2A_4 的方向经过圆心 O 进入Ⅱ区，最后再从 A_4 处射出磁场。已知该粒子从射入到射出磁场所用的时间为 t，求Ⅰ区和Ⅱ区中磁感应强度的大小 B_1 和 B_2（忽略粒子重力）。



14. 1932 年，劳伦斯和利文斯顿设计出了回旋加速器。回旋加速器的工作原理如图所示，置于高真空中的 D 形金属盒半径为 R，两盒间的狭缝很小，带电粒子穿过的时间可以忽略不计。磁感应强度为 B 的匀强磁场与盒面垂直。A 处粒子源产生的粒子，质量为 m、电荷量为 $+q$，在加速器中被加速，加速电压为 U。加速过程中不考虑相对论效应和重力作用。



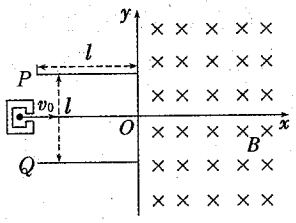
（1）求粒子第 2 次和第 1 次经过两 D 形盒间狭缝后轨道半径之比。

（2）求粒子从静止开始加速到出口处所需的时间 t。

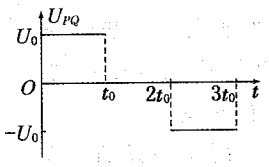
（3）实际使用中，磁感应强度和加速电场频率都有最大值的限制。若某一加速器磁感

应强度和加速电场频率的最大值分别为 B_m、f_m，试讨论粒子能获得的最大动能 E_m。

15. 如图甲所示，建立 xOy 坐标系。两平行极板 P、Q 垂直于 y 轴且关于 x 轴对称，极板长度和板间距均为 l。在第一、四象限有磁感应强度为 B 的匀强磁场，方向垂直于 xOy 平面向里。位于极板左侧的粒子源沿 x 轴向右连续发射质量为 m、电荷量为 $+q$、速度相同、重力不计的带电粒子。在 $0\sim3t_0$ 时间内两板间加上如图乙所示的电压（不考虑极板边缘的影响）。已知 $t=0$ 时刻进入两板间的带电粒子恰好在 t_0 时刻经极板边缘射入磁场。上述 m、q、l、t_0、B 为已知量。（不考虑粒子间相互影响及返回极板间的情况）



甲



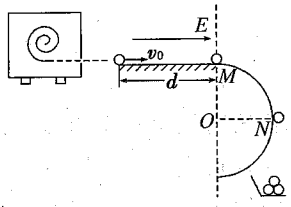
乙

（1）求电压 U_0 的大小。

（2）求 $\frac{1}{2}t_0$ 时刻进入两板间的带电粒子在磁场中做圆周运动的半径。

（3）何时进入两板间的带电粒子在磁场中的运动时间最短？求此最短时间。

16. 某塑料球成型机工作时，可以喷出速度 $v_0=10$ m/s 的塑料小球，已知喷出小球的质量 $m=1.0\times10^{-4}$ kg，并且在喷出时已带了 $q=1.0\times10^{-4}$ C 的负电荷，如图所示，小球从喷口飞出后，先滑过长 $d=1.5$ m 的水平光滑的绝缘轨道，而后又过半径 $R=0.4$ m 的圆弧形竖立的光滑绝缘轨道。今在水平轨道上加上水平向右的电场强度为 E 的匀强电场，小球将恰好从圆弧轨道的最高点 M 处水平飞出；若再在圆形轨道区域加上垂直于纸面向里的匀强磁场后，小球将恰好从圆形轨道上与圆心等高的 N 点脱离轨道落入放在地面上接地良好的金属容器内，g 取 10 m/s^2，求：



（1）所加电场的电场强度 E。

（2）所加磁场的磁感应强度 B。

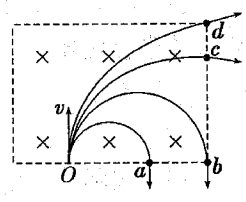
参考答案

1. C　2. D

3. AC　解析：从粒子运动的轨迹可以判断，粒子在 a 点的曲率半径大于在 b 点的曲率半径。由 $R=\frac{mv}{qB}$ 可知，半径越小速度越小，所以粒子在 b 点的速度小于在 a 点的速度，故粒子先经过 a 点，再经过 b 点，即在运动中，使气体电离、损失动能、速度变小，A 正确，B 错误；根据左手定则可以判断粒子带负电，C 正确，D 错误。

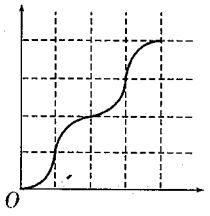
4. BD　5. AC　6. D　7. C

8. D　解析：带电粒子的运动轨迹如图所示，由图可知，从 a、b、c、d 四点飞出的电子对应的圆心角 $\theta_a=\theta_b>\theta_c>\theta_d$，而带电粒子的周期 $T=\frac{2\pi m}{qB}$ 相同，其在磁场中运动时间 $t=\frac{\theta}{2\pi}T$，故 $t_a=t_b>t_c>t_d$。D 项



正确。

9. C　解析：带电粒子在磁场中的运动半径为 $r=\frac{mv_0}{Bq}=0.01$ m，周期为 $T=\frac{2\pi m}{Bq}=0.02$ s，作出粒子的轨迹示意图如图所示，所以在磁场变化 N 个（N 为整数）周期的时间内，带电粒子的平均速度的大小等于 $2\sqrt{2}$ m/s，即 C 选项正确。

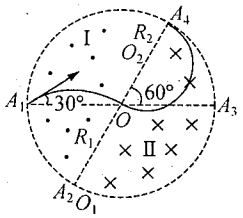


10. C　解析：给滑环一个瞬时作用力，滑环获得一定的速度 v，当 $qvB=mg$ 时，滑环将以 v 做匀速直线运动，故不选 A。当 $qvB<mg$ 时，滑环受摩擦阻力做减速运动，直到停下来，故不选 B。当 $qvB>mg$ 时，滑环先做减速运动，当减速到 $qvB=mg$ 后，以速度 $v=\frac{mg}{qB}$ 做匀速直线运动，故不选 D。由于摩擦阻力作用，环不可能做加速运动，故 C 对，应选 C。

11. AB　解析：由带电粒子在磁场中运动的偏向角，可知带电粒子运动轨迹所对的圆心角为 60°，因此，由几何关系得磁场宽度 $l=r\sin 60°=\frac{mv_0}{qB}\sin 60°$，又未加磁场时有 $l=v_0t$，所以可求得比荷 $\frac{q}{m}=\frac{\sin 60°}{Bt}$，A 项对；周期 $T=\frac{2\pi m}{qB}$ 可求出，B 项对；但初速度未知，所以 C、D 项错。

12. A　解析：带电粒子落下后，受重力、电场力、洛伦兹力的作用，洛伦兹力的方向跟运动方向垂直，不做功。重力做功都一样，但电场力做功有区别。若磁场方向向里，粒子落下后沿电场力方向移动的距离大，电场力做功多，故 $v_1>v_2$。

13. $\frac{5\pi m}{6qt}$　$\frac{5\pi m}{3qt}$



解析：设粒子的速度为 v，在Ⅰ区中运动半径为 R_1，周期为 T_1，运动时间为 t_1；在Ⅱ区中运动半径为 R_2，周期为 T_2，运动时间为 t_2；磁场的半径为 R。

（1）粒子在Ⅰ区运动时：轨迹的圆心必在过 A_1 点垂直速度的直线上，也必在过 O 点垂直速度的直线上，故圆心在 A_2 点，由几何知识和题意可知，轨道半径 $R_1=R$，

又 $R_1=\frac{mv}{qB_1}$，则 $R=\frac{mv}{qB_1}$，　①

轨迹所对应的圆心角 $\theta_1=\frac{\pi}{3}$，则运动时间 $t_1=\frac{T_1}{6}=\frac{2\pi m}{6qB_1}=\frac{\pi m}{3qB_1}$，　②

（2）粒子在Ⅱ区运动时：由题意及几何关系可知 $R_2=\frac{R}{2}$，

又 $R_2=\frac{mv}{qB_2}$，则 $R=\frac{2mv}{qB_2}$，　③

轨迹对应的圆心角 $\theta_2=\pi$，则运动时间 $t_2=\frac{T_2}{2}=\frac{\pi m}{qB_2}$，　④

又 $t_1+t_2=t$，将②④式代入得：$\frac{\pi m}{3qB_1}+\frac{\pi m}{qB_2}=t$，　⑤

由①③式联立解得 $B_2=2B_1$，

代入⑤式解得：$B_1=\frac{5\pi m}{6qt}$，$B_2=\frac{5\pi m}{3qt}$。

14. (1) $\sqrt{2}:1$　(2) $\frac{\pi BR^2}{2U}$　(3) $2\pi^2 mf_m^2R^2$ 或 $\frac{q^2B_m^2R^2}{2m}$

解析：(1) 设粒子第 1 次经过狭缝后的半径为 r_1，速度为 v_1，则 $qU=\frac{1}{2}mv_1^2$，$qv_1B=m\frac{v_1^2}{r_1}$，

解得 $r_1=\frac{1}{B}\sqrt{\frac{2mU}{q}}$。

同理，粒子第 2 次经过狭缝后的半径 $r_2=\frac{1}{B}\sqrt{\frac{4mU}{q}}$，

则 $r_2:r_1=\sqrt{2}:1$。

(2) 设粒子到出口处被加速了 n 圈，则 $2nqU=\frac{1}{2}mv^2$，$qvB=m\frac{v^2}{R}$，$T=\frac{2\pi m}{qB}$，$t=nT$，

解得 $t=\frac{\pi BR^2}{2U}$。

(3) 加速电场的频率应等于粒子在磁场中做圆周运动的频率，即 $f=\frac{qB}{2\pi m}$，

当磁感应强度为 B_m 时，加速电场的频率应为 $f_{Bm}=\frac{qB_m}{2\pi m}$，

粒子的动能 $E_k=\frac{1}{2}mv^2$，

当 $f_{Bm}\leqslant f_m$ 时，粒子的最大动能由 B_m 决定：$qv_mB_m=m\frac{v_m^2}{R}$，

解得 $E_m=\frac{q^2B_m^2R^2}{2m}$。

当 $f_{Bm}>f_m$ 时，粒子的最大动能由 f_m 决定：$v_m=2\pi f_mR$，

解得 $E_m=2\pi^2mf_m^2R^2$。

15. (1) $\frac{ml^2}{qt_0^2}$　(2) $\frac{\sqrt{5}ml}{2qBt_0}$　(3) $2t_0$　$\frac{\pi m}{2qB}$

解析：(1) $t=0$ 时刻进入两板间的带电粒子在电场中做匀变速曲线运动，t_0 时刻刚好从极板边缘射出，在 y 轴负方向偏移的距离为 $\frac{1}{2}l$，则有

$$E=\frac{U_0}{l},\qquad ①$$

$$qE=ma,\qquad ②$$

$$\frac{1}{2}l=\frac{1}{2}at_0^2,\qquad ③$$

联立①②③式，解得两板间电压为 $U_0=\frac{ml^2}{qt_0^2}$。

(2) $\frac{1}{2}t_0$ 时刻进入两板间的带电粒子，前 $\frac{1}{2}t_0$ 时间在电场中偏转，后 $\frac{1}{2}t_0$ 时间两板间没有电场，带电粒子做匀速直线运动。

带电粒子沿 x 轴方向的分速度大小为 $v_0=\frac{l}{t_0}$，　④

带电粒子离开电场时沿 y 轴负方向的分速度大小为 $v_y=a\cdot\frac{1}{2}t_0$，　⑤

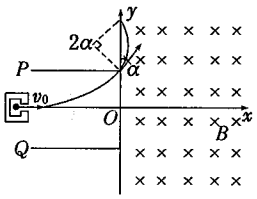
带电粒子离开电场时的速度大小为 $v=\sqrt{v_0^2+v_y^2}$，　⑥

设带电粒子离开电场进入磁场做匀速圆周运动的半径为 R，则有 $qvB=m\frac{v^2}{R}$，　⑦

联立③④⑤⑥⑦式解得 $R=\frac{\sqrt{5}ml}{2qBt_0}$。

(3) $2t_0$ 时刻进入两板间的带电粒子在磁场中运动时间最短，带电粒子离开电场时沿 y 轴正方向的分速度为 $v_y'=at_0$，

设带电粒子离开电场时速度方向与 y 轴正方向的夹角为 α，则 $\tan\alpha=\frac{v_0}{v_y'}$，　⑧



联立③④⑧式解得 $\alpha=\frac{\pi}{4}$。

带电粒子在磁场中的运动轨迹如图所示，圆弧所对的圆心角为 $2\alpha=\frac{\pi}{2}$，所求最短时间为 $t_{min}=\frac{1}{4}T$，　⑨

带电粒子在磁场中运动的周期为 $T=\frac{2\pi m}{qB}$，　⑩

联立⑨⑩式得 $t_{min}=\frac{\pi m}{2qB}$。

16. (1) 32 V/m　(2) $5\sqrt{3}$ T

解析：(1) 设小球在 M 点的速率为 v_1，只加电场时对小球在 M 点由牛顿第二定律得：$mg=m\frac{v_1^2}{R}$，在水平轨道上，对小球由动能定理得：$-qEd=\frac{1}{2}mv_1^2-\frac{1}{2}mv_0^2$，

由以上两式解得：$E=32$ V/m。

(2) 设小球在 N 点速率为 v_2，在 N 点由牛顿第二定律得：$qv_2B=m\frac{v_2^2}{R}$，

从 M 到 N 点，由机械能守恒定律得：$mgR+\frac{1}{2}mv_1^2=\frac{1}{2}mv_2^2$，

由以上两式解得 $B=5\sqrt{3}$ T。

第九章　电磁感应

第一节　电磁感应　楞次定律

解题指南

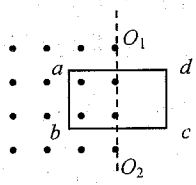
例 1　如图所示，O_1O_2 是矩形导线框 $abcd$ 的对称轴，其左方有垂直于纸面向外的匀强磁场。以下哪些情况 $abcd$ 中有感应电流产生？方向如何？（　　）

A. 将 $abcd$ 向纸外平移

B. 将 $abcd$ 向右平移

C. 将 $abcd$ 以 ab 为轴转动 60°

D. 将 $abcd$ 以 cd 为轴转动 60°



首先分析回路所处的磁场：只有一半面积处在磁场中，磁场方向垂直纸面向外。

解析

逐个选项分析

A中回路的磁通量不变，所以无感应电流。

B中回路的磁通量减少，所以“增反减同”，回路的感应电流方向垂直纸面向外，与原磁场相同，由安培定则，感应电流方向为$abcd$。

C中线圈进入磁场的面积变大，以ab为轴转动60°时，线圈恰好全部进入磁场，但垂直磁场方向的有效面积不变，磁通量不变，所以无感应电流。

D中线圈慢慢出磁场，磁通量变小，与B一样，感应电流方向为$abcd$。

◎【答案】A、C 两种情况下无感应电流产生；B、D 两种情况下感应电流方向为 $abcd$。

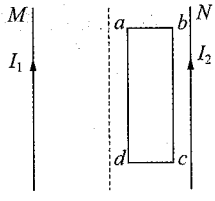
例 2　如图所示，两根平行长直导线 M、N 中通以大小、方向都相同的电流。导线框 $abcd$ 和两导线在同一平面内，线框沿着与导线垂直的方向自右向左在两导线间匀速移动时，线框中的感应电流的方向是（　　）

A. 沿 $adcba$ 方向不变

B. 沿 $abcda$ 方向不变

C. 由 $adcba$ 变成 $abcda$

D. 由 $abcda$ 变成 $adcba$



根据磁通量的物理意义，通过分析穿过闭合回路磁感线的条数的变化来定性地进行分析。

解析

M、N之间是一个叠加磁场，以两者中线为界，右侧磁场方向垂直纸面向外，越靠近N越强；左侧磁场方向垂直纸面向里，越靠近M越强。本题属于线框在非匀强磁场中运动的问题。

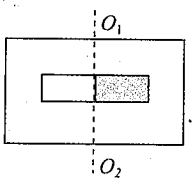
分为两个过程

线圈在从右向左运动到正中间过程中，向外的磁感线条数慢慢减少到0，磁通量减少，所以感应电流的磁场向外，由安培定则，感应电流的方向为$adcba$。

线圈在从正中间向左运动过程中，磁感线条数从0增加（向里），磁通量增加，所以感应电流的磁场向外，由安培定则，感应电流的方向为$adcba$。

◎【答案】A

例 3　如图所示，当磁铁绕 O_1O_2 轴匀速转动时，矩形导线框（不考虑重力）将如何运动？



要灵活运用楞次定律的各种表达方式！

解析

从楞次定律的“阻碍相对运动”来分析。

导线框将会跟随条形磁铁同方向转动起来。

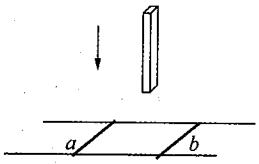
如果不计一切摩擦阻力，最终导线将和磁铁转动速度无限接近到可以认为相同；如果考虑摩擦阻力，则导线框的转速总比条形磁铁转速小些（线框始终受到安培力矩的作用，大小和摩擦力的阻力矩相等）。

◎【答案】导线框将会跟随条形磁铁同方向转动起来。如果不计一切摩擦阻力，最终导线框将和磁铁转动速度无限接近到可以认为相同；如果考虑摩擦阻力，则导线框的转速总比条形磁铁转速小些（线框始终受到安培力矩的作用，大小和摩擦力的阻力矩相等）。

例 4　如图所示，光滑固定导轨水平放置，两根导体棒 a、b 平行放于导轨上，形成一个闭合回路，当一条形磁铁从高处下落接近回路时（　　）

A. a、b 将互相靠拢　　B. a、b 将互相远离

C. 磁铁的加速度仍为 g　　D. 磁铁的加速度小于 g



本题中“原因”是回路中磁通量增加（但不知原磁场方向），归根结底是磁铁靠近回路，“效果”便是阻碍磁通量的增加和阻碍磁铁的靠近。

解析

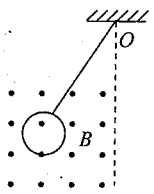
根据楞次定律的“阻碍”含义进行判断。

所以面积减小以阻碍磁通量的增加，a、b将互相靠近；磁铁向下运动受到阻力，加速度小于g。

A、D对

◎【答案】AD

例 5　如图所示，用丝线将一个闭合金属环悬于 O 点，虚线左边有垂直于纸面向外的匀强磁场，而右边没有磁场。金属环的摆动会很快停下来。试解释这一现象。若整个空间都有垂直于纸面向外的匀强磁场，会有这种现象吗？



只是左边有匀强磁场，金属环在穿越磁场边界时（无论是进入还是穿出）；由于磁通量发生变化，环内一定有感应电流产生，根据楞次定律，感应电流将会阻碍相对运动，所以摆动会很快停下来，这就是电磁阻尼现象。

解析

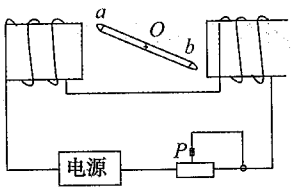
还可以用能量守恒来解释：有电流产生，就一定有机械能向电能转化，摆的机械能将不断减小。

若空间都有匀强磁场，穿过金属环的磁通量不变化，无感应电流，不会阻碍相对运动，摆动就不会很快停下来。

◎【答案】见解析

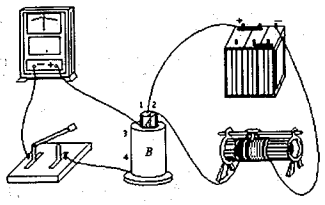
同步检测

1. 如图所示，ab 是一个可绕垂直于纸面的轴 O 转动的闭合矩形导线框，当滑线变阻器 R 的滑片 P 自左向右滑行时，线框 ab 将（　　）



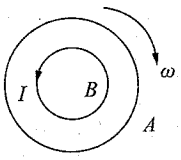
A. 保持静止不动
B. 沿逆时针方向转动
C. 沿顺时针方向转动
D. 发生转动，但因电源极性不明，无法确定转动方向

2. 在研究电磁感应现象的实验中，某学生做观察电磁感应现象的实验，将电流表、线圈 A 和 B、滑动变阻器、蓄电池、开关用导线连接成如图的实验电路，则下列说法中正确的是（　　）



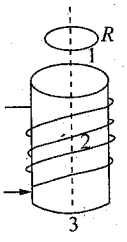
A. 接通和断开开关时，电流表的指针都不发生偏转
B. 接通和断开开关时，电流表指针偏转方向一正一反
C. 闭合开关，分别向左和向右移动滑线变阻器滑片时，电流表指针偏转方向一正一反
D. 闭合开关，分别向左和向右移动滑线变阻器滑片时，电流表指针都不发生偏转

3. 两圆环 A、B 置于同一水平面上，其中 A 为均匀带电绝缘环，B 为导体环，当 A 以如图所示的方向绕中心转动的角速度发生变化时，B 中产生如图所示方向的感应电流。则（　　）



A. A 可能带正电且转速减小
B. A 可能带正电且转速增大
C. A 可能带负电且转速减小
D. A 可能带负电且转速增大

4. 如图所示，通有恒定电流的螺线管竖直放置，电流方向如图所示。铜环 R 沿螺线管轴线下落，下落过程中环面始终保持水平，铜环先后经过轴线上 1、2、3 三个位置，位置 2 处于螺线管的中心，位置 1、3 与位置 2 等距。则（　　）



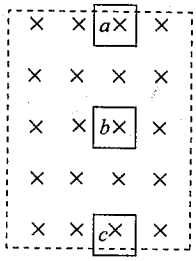
A. 从上向下看，环经过位置 1 时，感应电流是顺时针的

B. 从上向下看，环经过位置 3 时，感应电流是顺时针的

C. 环在位置 1 时的加速度小于重力加速度

D. 环在位置 3 的加速度小于环在位置 1 的加速度

5. 一个矩形导体线圈从高处自由下落，经过一个具有理想边界的匀强磁场区，线圈平面和磁场方向垂直，当线圈的中心经过磁场中 a、b、c 三点时，如图所示，则线圈受到的磁场力应是（　　）



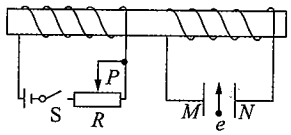
A. 线圈经过这三个位置时，都受磁场力作用

B. 线圈经过 b 位置时不受磁场力作用

C. 线圈经过 a、c 两个位置时，受到磁场力的方向相同

D. 线圈经过 a、c 两个位置时，受到磁场力的方向相反

6. 如图所示，一电子以初速度 v 沿金属板平行方向飞入 MN 板间，若突然发现电子向 M 板偏转，则可能是（　　）



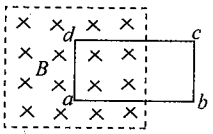
A. 开关 S 闭合瞬间

B. 开关 S 由闭合到断开瞬间

C. 开关 S 是闭合的，变阻器滑片 P 向左迅速滑动

D. 开关 S 是闭合的，变阻器滑片 P 向右迅速滑动

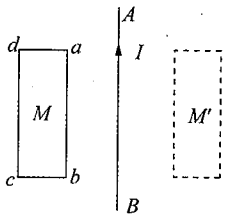
7. 如图所示，矩形闭合金属框 $abcd$ 的平面与匀强磁场垂直，若 ab 边受竖直向上的磁场力的作用，则可知线框的运动情况是（　　）



A. 向左平动进入磁场　　B. 向右平动退出磁场

C. 沿竖直方向向上平动　　D. 沿竖直方向向下平动

8. 如图所示，导线框 $abcd$ 与导线在同一平面内，直导线通有恒定电流 I，当线框由左向右匀速通过直导线 AB 时，线框中感应电流的方向是（　　）



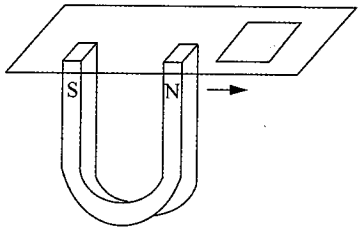
A. 先 $abcd$，后 $dcba$，再 $abcd$

B. 先 $abcd$，后 $dcba$

C. 始终 $abcd$

D. 先 $dcba$，后 $abcd$，再 $dcba$

9. 如图所示，矩形闭合线圈放置在水平薄板上，有一块蹄形磁铁如图所示置于平板的正下方（磁极间距略大于矩形线圈的宽度）。当磁铁匀速向右通过线圈时，线圈仍静止不动，那么线圈受到薄板的摩擦力方向和线圈中产生感应电流的方向（从上向下看）是（　　）



A. 摩擦力方向一直向左

B. 摩擦力方向先向左、后向或右

C. 感应电流的方向顺时针→逆时针→逆时针→顺时针

D. 感应电流的方向顺时针→逆时针

10. 如图所示，a、b 是平行金属导轨，匀强磁场垂直导轨平面，c、d 是分别串有电压表和电流表的金属棒，它们与导轨接触良好，当 c、d 以相同速度向右运动时，下

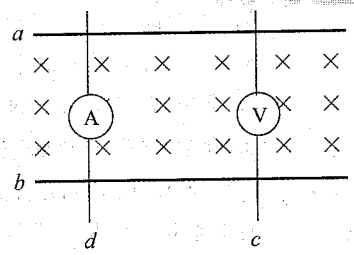
列说法中正确的是（　　）

A. 两表均无读数

B. 两表均有读数

C. 电流表有读数，电压表无读数

D. 电压表有读数，电流表无读数



参考答案

1. C　2. AC　3. BC　4. ACD　5. BC　6. AC　7. A　8. A　9. AC

10. A　提示：闭合回路中磁通量不变，所以无感应电流，两块电表都不偏转。

第二节　法拉第电磁感应定律

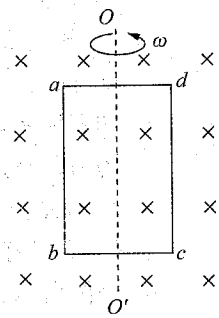
解题指南

例 1　如图所示，在磁感应强度为 B 的匀强磁场中有一个面积为 S 的矩形线圈绕垂直于磁感线的对称轴 OO' 以角速度 ω 匀速转动。

（1）穿过线框平面磁通量的变化率何时最大？最大值为多少？

（2）当线框由图示位置转过 60°的过程中，平均感应电动势为多大？

（3）线框由图示位置转到 60°时瞬时感应电动势为多大？



解析

题中产生感应电动势的原因是 ab 和 cd 边切割磁感线，所以可以应用 $E=BLv$ 求瞬时电动势，但要注意此时 v 是垂直磁场方向的瞬时速度。

第一问求的是瞬时电动势，当 ab 和 cd 垂直切割磁感线时，电动势最大。

ab 与 cd 两边垂直切割磁感线时，ab 的速度为 $v=\frac{1}{2}L_{ad}\omega$，产生的感应电动势为 E_1，$E_1=BL_{ab}v=\frac{1}{2}BL_{ab}L_{cd}\omega=\frac{1}{2}BS\omega$，$cd$ 产生的电动势跟 ab 相同，且串联。所以 $E_m=2E_1=BS\omega$。

第二问求的平是均电动势，用 $E=n\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$。

从图示位置转 60°，经历时间 $\Delta t=\frac{\pi}{3\omega}$，磁通量由 BS 变为 $BS\cos60°$，则 $\Delta\Phi=BS-BS\cos60°=\frac{1}{2}BS$，所以 $E=\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}=\frac{3}{2\pi}BS\omega$。

第三问也求瞬时电动势，方法同第一问。

线框由图示位置转60°时，ab 边垂直磁场方向的分速度为 $v=\frac{L_{ad}}{2}\omega\sin60°$，产生的感应电动势为 $E_{ab}=BL_{ab}v=\frac{\sqrt{3}}{4}BL_{ab}L_{ad}\omega=\frac{\sqrt{3}}{4}BS\omega$，所以 $E=2E_{ab}=\frac{\sqrt{3}}{2}BS\omega$。

◎【答案】(1) ab 与 cd 两边垂直切割磁感线时，$E_m=BS\omega$

(2) $E=\frac{3}{2\pi}BS\omega$

(3) $\frac{\sqrt{3}}{2}BS\omega$

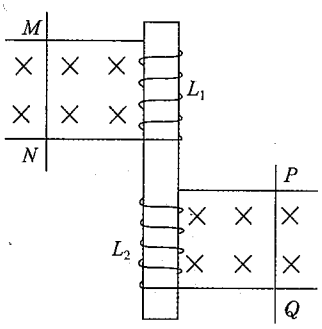
例 2　如图所示，水平放置的两条光滑轨道上有可自由移动的金属棒 PQ、MN，当 PQ 在外力作用下运动时，MN 在磁场力作用下向右运动。则 PQ 所做的运动可能是（　　）

A. 向右匀速运动

B. 向右加速运动

C. 向左加速运动

D. 向左减速运动



解析

PQ在外力作用下运动，那么将切割磁感线产生感应电动势，相当于电源，在PQ和L_2构成的回路中产生电流；L_2中的电流产生的磁感线也穿过L_1，若穿过L_1的磁通量变化，就会产生感应电动势，L_1相当于电源，在L_1和MN构成的回路中产生电流，那么MN在磁场中就受到安培力运动起来。

MN受到安培力向右运动，由左手定则，可判定MN上电流方向为由M到N，那么由右手螺旋定则，可知穿过L_1内部的磁感线方向向上，L_1上感应电动势产生原因可能是：

穿过L_1的磁感线向上且减少，则L_2内部磁场方向向上(则PQ上电流由Q到P)，且电流减小，由右手定则可得PQ向右减速。

穿过L_1的磁感线向下且增多，则L_2内部磁场方向向下(则PQ上电流由P到Q)，且电流增大，由右手定则可得PQ向左加速。

C对。注意：在此题中PQ相当于电源，L_2是外电路；而L_1相当于电源，MN是外电路。

◎【答案】C

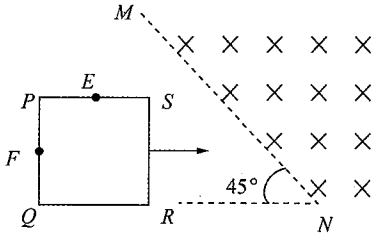
例 3　如图所示，$PQRS$ 为一正方形导线框，它以恒定速度向右进入以 MN 为边界的匀强磁场，磁场方向垂直线框平面，MN 边界线与线框的 QR 边成 45°角。E、F 分别为 PS 和 PQ 的中点。下列关于线框中的感应电流中，正确的说法是（　　）

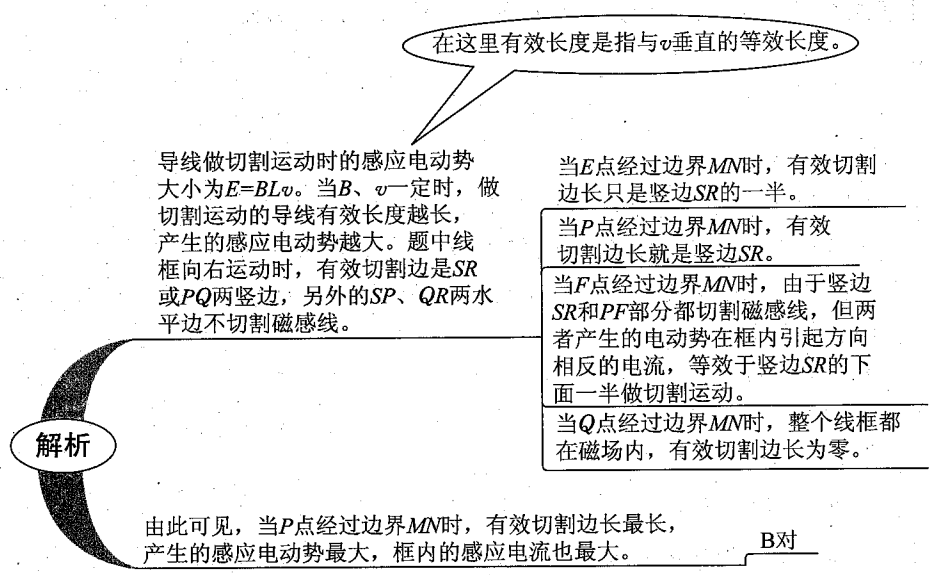
A. 当 E 点经过边界 MN 时，线框中感应电流最大

B. 当 P 点经过边界 MN 时，线框中感应电流最大

C. 当 F 点经过边界 MN 时，线框中感应电流最大

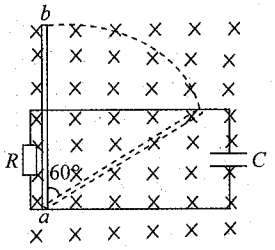
D. 当 Q 点经过边界 MN 时，线框中感应电流最大



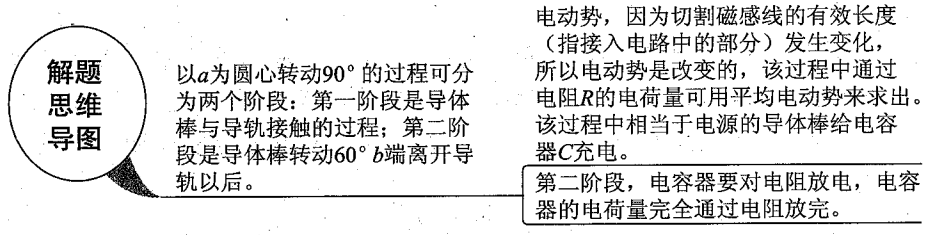


◎【答案】B

例 4 如图所示，两根平行且足够长的金属导轨置于磁感应强度为 B 的匀强磁场中，磁场的方向垂直于导轨平面，两导轨间距为 L，左端连一电阻 R，右端连一电容器 C，其余电阻不计。长为 $2L$ 的导体棒 ab 与从图中实线位置开始，以 a 为圆心沿顺时针方向的角速度 ω 匀速转动，转 90°的过程中，通过电阻 R 的电荷量为多少？



◇【解析】



以 a 为圆心转动 90°的过程可分为两个阶段：

第一阶段是导体棒与导轨接触的过程，这一阶段导体棒切割磁感线产生感应电动势，因为切割磁感线的有效长度（指接入电路中的部分）发生变化，所以电动势是改变的。

平均电动势 $E_1=\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}$，其中 $\Delta\Phi=B\Delta S=\dfrac{\sqrt{3}}{2}BL^2$，

通过 R 的平均电流 $I=\dfrac{E_1}{R}$，

通过 R 的电荷量 $q_1=I\Delta t=\dfrac{E_1}{R}\Delta t=\dfrac{\Delta\Phi}{R}$，

所以 $q_1=\dfrac{\sqrt{3}BL^2}{2R}$。

该过程中相当于电源的导体棒给电容器 C 充电，电容器充电的最大电压 $E_2=\frac{1}{2}B(2L)^2\omega$。

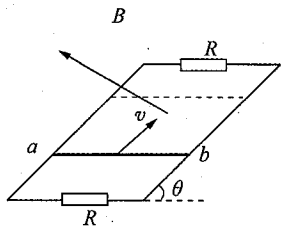
此时电容器的充电电荷量 $q_2=CE_2=2BL^2C\omega$。

第二阶段是导体棒转动 60°b 端离开导轨以后，电容器要对电阻放电，电容器的电荷量完全通过电阻放完。

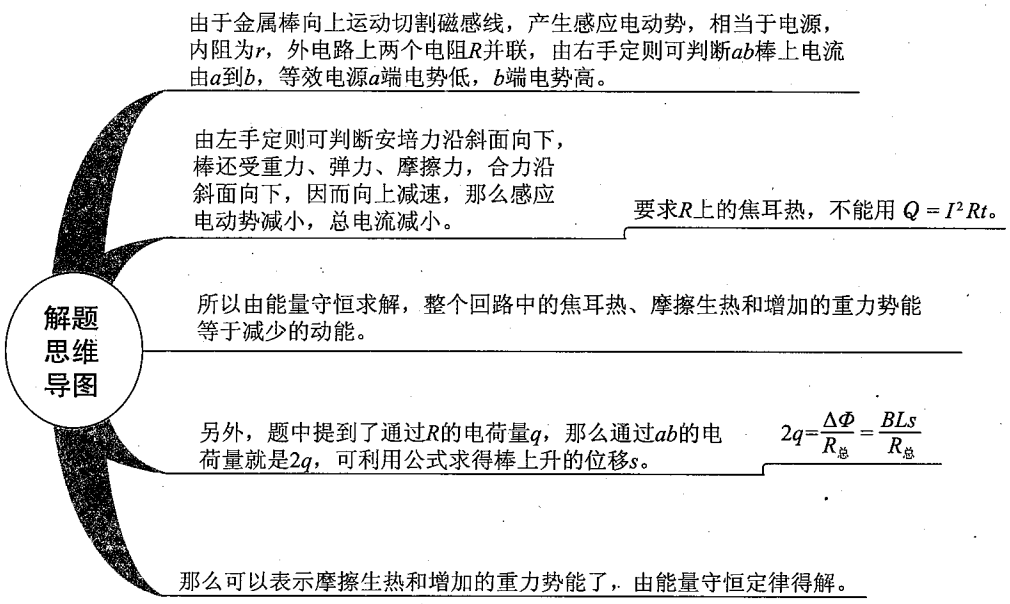
整个过程通过电阻的总的电荷量 $q=q_1+q_2=\frac{\sqrt{3}BL^2}{2R}+2BL^2C\omega$。

◎【答案】$q=\frac{\sqrt{3}BL^2}{2R}+2BL^2C\ \omega$

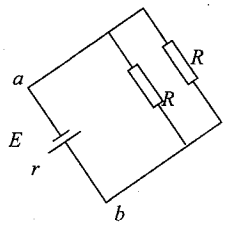
例 5　如图所示，两根足够长的固定的平行金属导轨位于倾角 $\theta=37°$的斜面上，导轨上、下端各接有阻值 $R=2\ \Omega$ 的电阻，导轨自身电阻忽略不计，导轨宽度 $L=0.3$ m，在整个导轨平面内都有垂直于导轨平面向上的匀强磁场，磁感应强度 $B=1$ T。质量为 $m=1$ kg，电阻 $r=2\ \Omega$ 的金属棒 ab 横跨在平行导轨间，棒与导轨间动摩擦因素 $\mu=0.5$。当金属棒以平行导轨向上的初速度 $v=10$ m/s 上滑，直至上升到最高点的过程中通过上端电阻的电荷量 $q=0.1$ C。求上端电阻 R 中产生的焦耳热。(g 取 10 m/s^2)



◇【解析】



题中感应电路等效图如图所示，设 ab 上滑位移为 s，此过程中上端电阻 R 产生焦耳热为 Q，则整个回路中产生的焦耳热为 $6Q$，由能的转化和守恒定律有



$$\frac{1}{2}mv^2=mgs\sin 37°+\mu mgs\cos 37°+6Q。\qquad ①$$

金属棒上滑过程中时间设为 t，通过棒的电荷量为 $2q$，根据法拉

第电磁感应定律，产生的平均电动势为

$$E=\frac{BLs}{t}, \qquad ②$$

通过棒的平均电流

$$\overline{I}=\frac{E}{R_{总}}=\frac{E}{r+\frac{R}{2}}, \qquad ③$$

通过棒的电荷量

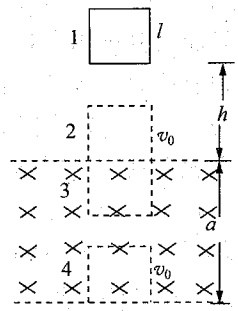
$$2q=\overline{I}t。 \qquad ④$$

由②③④式联立解得：$s=2$ m。

代入①式解得：$Q=5$ J。

◎【答案】5 J

例 6 如图所示，水平的平行虚线间距为 $d=50$ cm，其间有 $B=1.0$ T 的匀强磁场。一个正方形线圈边长为 $l=10$ cm，线圈质量 $m=100$ g，电阻为 $R=0.020\ \Omega$。开始时，线圈的下边缘到磁场上边缘的距离为 $h=80$ cm。将线圈由静止释放，其下边缘刚进入磁场和刚穿出磁场时的速度相等。g 取 10 m/s^2，求：



（1）线圈进入磁场过程中产生的电热 Q。

（2）线圈下边缘穿越磁场过程中的最小速度 v。

（3）线圈下边缘穿越磁场过程中加速度的最小值 a。

◇【解析】

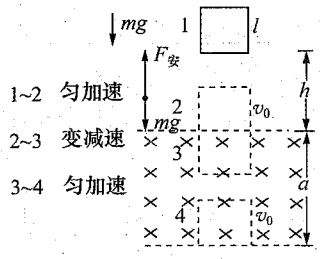
把线圈运动的全过程加以分解：先做自由落体运动，直到下边沿到达磁场边界（位置1到位置2），速度为v_0；线圈进入磁场过程（位置2到位置3），线圈可能匀速，可能加速(加速度减小)，也可能减速(加速度减小)，暂时不能判断，在位置3速度为v；但线圈整个在磁场中的过程只受重力，做匀加速直线运动，所以$v<v_0$，线圈进入磁场过程减速。

解题思维导图

线圈进入磁场过程速度变化，则下边切割磁感线的电动势变化，线圈中电流变化，也要应用能量守恒定律或功能关系(线圈克服安培力做功等于产生的电热)。

根据每个过程的运动特点列式求解。

（1）线圈从位置 2 运动到位置 3，与线圈从位置 2 运动到位置 4 产生 Q 一样，所以 $W_G=W_{F_{安}}=Q=mgd=0.5$ J。



(2) 线圈从位置 1 至位置 2：$mgh=\frac{1}{2}mv_0^2$，$v_0=4$ m/s。

线圈下边沿穿越磁场过程中运动至位置 3 速度最小，设为 v，从位置 3 到位置 4，线圈只受重力，$\frac{1}{2}mv_0^2-\frac{1}{2}mv^2=mg(d-l)$。

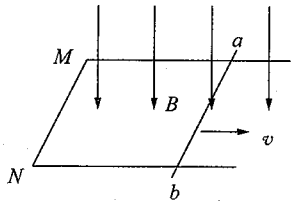
解得 $v=2\sqrt{2}$ m/s=2.83 m/s。

(3) 线圈运动到位置 3 速度最小，安培力最小，所以加速度最小，

$$a=\frac{F_{安}-mg}{m}=\frac{\frac{B^2L^2v}{R}-mg}{m}=10(\sqrt{2}-1)\approx 4.1\ \text{m/s}^2。$$

◎【答案】(1) 0.5 J　(2) 2.83 m/s　(3) 4.1 m/s²

例 7 如图所示，足够长的两光滑导轨水平放置，两条导轨相距为 d，左端 M、N 用阻值不计的导线相连，金属棒 ab 可在导轨上滑动，导轨单位长度的电阻为 r_0，金属棒 ab 的电阻不计。整个装置处于竖直向下的匀强磁场中，磁场的磁感应强度随时间均匀增加，$B=kt$，其中 k 为常数。金属棒 ab 在水平外力的作用下，以速度 v 沿导轨向右做匀速运动，$t=0$ 时，金属棒 ab 与 MN 相距非常近。求：



(1) 当 $t=t_0$ 时，水平外力的大小 F。

(2) 求 $t=t_0$ 时刻闭合回路的电功率。

◇【解析】

解题思维导图

题中产生感应电动势的原因有两个：由于导体棒切割磁感线产生动生电动势；还有磁场变化产生的感生电动势。导体棒切割的效果是面积增大，磁通量增大；而磁场增强也使磁通量增大，故两个电动势方向相同，总电动势等于两者之和。

求出电动势来，再由闭合电路欧姆定律求得电流，求出安培力，由于棒匀速运动，外力等于安培力。

回路中的电功率也包含两部分：克服安培力做功的功率和磁场变化转化的电功率。

既然已经求出电流，就不再由能量守恒求解电路的电功率，而直接利用公式：$P=I^2R$。

(1) $t=t_0$ 时回路中电磁感应产生的电动势 $E=\frac{\Delta B}{\Delta t}S+Bdv$，

其中 $\frac{\Delta B}{\Delta t}S=kdvt_0$，$Bdv=kdvt_0$。

此时回路的总电阻 $R=2r_0vt_0$，

所以 $I=\frac{E}{R}=\frac{kd}{r_0}$，

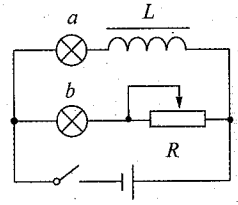
所以 $F=BId=\frac{k^2d^2t_0}{r_0}$。

(2) 当 ab 做匀速运动时，有 $F_{安}=BId=F$，

解得：$I=\frac{F}{Bd}$。

所以回路的电功率 $P=I^2R=\frac{F^2R}{B^2d^2}=\frac{2k^2d^2vt_0}{r_0}$。

◎【答案】(1) $\frac{k^2d^2t_0}{r_0}$　(2) $\frac{2k^2d^2vt_0}{r_0}$



例 8　如图所示，a、b 灯分别标有“36 V 40 W”和“36 V 25 W”，闭合开关，调节 R，使 a、b 都正常发光。这时断开开关后重做实验：开关闭合后看到的现象是什么？稳定后哪只灯较亮？再断开开关，又将看到什么现象？

解析

开始闭合开关后，调R，使a、b都正常发光，即此时它们的电压都是36 V，那么电路稳定时通过a、b灯泡的电流不相等，$I_a>I_b$，此时线圈相当于一个普通的电阻（就是线圈内阻）。

重新闭合稳定后两灯都正常发光，但a灯额定功率大，所以较亮。

重新闭合瞬间，由于电感线圈对电流增大的阻碍作用，使a上电流从0开始慢慢增大到I_a，所以a将慢慢亮起来，而b和电阻R直接接到电源两端，开关闭合，马上灯亮。

断开瞬间，电源不再给外电路供电，由于电感线圈对电流减小的阻碍作用，通过a的电流将由I_a逐渐减小，a渐渐变暗到熄灭，而a、b、R、L三组成同一个闭合回路，所以b灯的电流由原来向左的I_b突变成向右的I_a，再跟a灯一样慢慢减小到0。

若a灯的额定功率小于b灯，则断开开关后b灯不会出现“闪亮”现象

由于$I_a>I_b$，所以b灯先闪亮一下，再逐渐熄灭。

◎【答案】开关闭合后，a 灯逐渐变亮，而 b 灯立刻变亮；稳定后 a 灯较亮；再断开开关后，a 灯慢慢熄灭，b 灯先闪亮一下再慢慢熄灭。

同步检测

1. 关于闭合线圈中感应电流大小与穿过线圈的磁通量之间的关系，可能出现的是(　　)

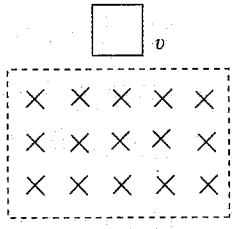
   A. 穿过线圈的磁通量很大而感应电流为零

   B. 穿过线圈的磁通量很小而感应电流很大

   C. 穿过线圈的磁通量变化而感应电流不变

   D. 穿过线圈的磁通量变化而感应电流为零

2. 如图所示，空间有一个方向水平的有界磁场区域，一个矩形线框，自磁场上方某一高度下落，然后进入磁场，进入磁场时，导线框平面与磁场方向垂直，则在进入时导线框不可能(　　)



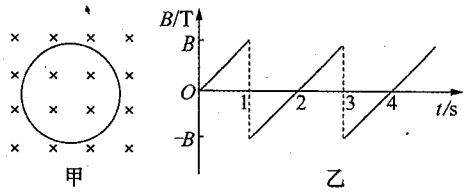
   A. 变加速下落

   B. 变减速下落

   C. 匀速下落

   D. 匀加速下落

3. 一环形线圈放在匀强磁场中，设第 1 s 内磁感线垂直线圈平面（即垂直于纸面）向里，如图甲所示。若磁感应强度 B 随时间 t 变化的关系如图乙所示，那么第3 s内线圈中各处所受安培力的大小和方向是（　　）



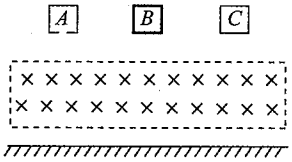
A. 大小恒定，沿顺时针方向与圆相切

B. 大小恒定，沿着圆半径指向圆心

C. 逐渐增加，沿着圆半径指向圆心

D. 逐渐增加，沿逆时针方向与圆相切

4. 在平行于水平地面的有界匀强磁场上方，有三个单匝线框 A、B、C，从静止开始同时释放，磁感线始终与线框平面垂直。三个线框都是由相同的金属材料做成的相同正方形，其中 A 不闭合，有个小缺口；B、C 都是闭合的，但 B 导线的横截面积比 C 的大，如图所示。下列关于它们的落地时间的判断正确的是（　　）



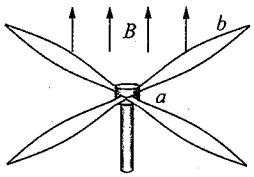
A. A、B、C 同时落地

B. A 最迟落地

C. B 在 C 之后落地

D. B 和 C 在 A 之后落地

5. 一直升机停在南半球的地磁极上空，该处地磁场的方向竖直向上，磁感应强度为 B，直升机螺旋桨叶片的长度为 L，螺旋桨转动的频率为 f，顺着地磁场的方向看螺旋桨，螺旋桨按顺时针方向转动，螺旋桨叶片的近轴端为 a，远轴端为 b，如图所示，如果忽略 a 到转轴中心线的距离，用 E 表示每个叶片中的感应电动势，则（　　）



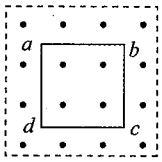
A. $E=\pi fL^2B$，且 a 点电势低于 b 点电势

B. $E=2\pi fL^2B$，且 a 点电势低于 b 点电势

C. $E=\pi fL^2B$，且 a 点电势高于 b 点电势

D. $E=2\pi fL^2B$，且 a 点电势高于 b 点电势

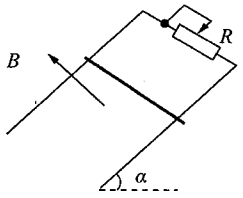
6. 用均匀电阻丝做成的正方形导线框 $abcd$ 放在如图所示有理想边界的正方形匀强磁场中。导线框的各边和磁场的边界保持互相平行。现沿四种不同的方向把导线框以某一相同的速度从磁场中完全拉出来，在导线框穿出磁场过程中，a、b 两点间的电压最大的是（　　）



A. 向上拉出　　B. 向下拉出

C. 向左拉出　　D. 向右拉出

7. 如图所示，有两根和水平方向成 α 角的光滑平行的金属轨道，上端接有可变电阻 R，下端足够长，空间有垂直于轨道平面的匀强磁场，磁感应强度为 B，一根质量为 m 的金属杆从轨道上由静止滑下，经过足够长的时间，金属杆的速度趋近于一个最大速度 v_m，则（　　）



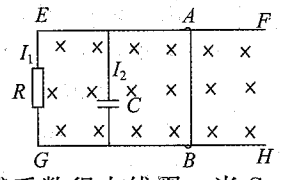
A. 如果 B 增大，v_m 将变大

B. 如果 α 变大，v_m 将变大

C. 如果 R 变大，v_m 将变大

D. 如果 m 变小，v_m 将变大

8. 在图中，EF、GH 为平行的金属导轨，其电阻可不计，R 为电阻器，C 为电容器，AB 为可在 EF 和 GH 上滑动的导体横杆。有均匀磁场垂直于导轨平面。若用 I_1 和 I_2 分别表示图中该处导线中的电流，则（　　）



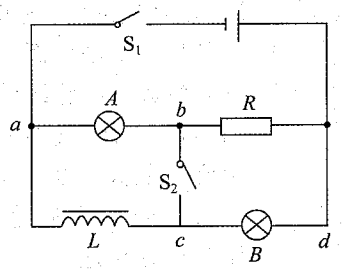
A. 当横杆 AB 匀速滑动时，$I_1=0$，$I_2=0$

B. 当横杆 AB 匀速滑动时，$I_1\neq0$，$I_2\neq0$

C. 当横杆 AB 加速滑动时，$I_1=0$，$I_2=0$

D. 当横杆 AB 加速滑动时，$I_1\neq0$，$I_2\neq0$

9. 如图所示，电灯 A 和 B 与固定电阻的阻值均为 R，L 是自感系数很大线圈。当 S_1 闭合、S_2 断开且电路稳定时，A、B 亮度相同，再闭合 S_2，待电路稳定后将 S_1 断开，下列说法中正确的是（　　）



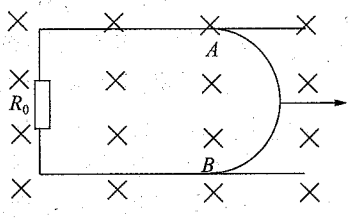
A. B 立即熄灭

B. A 灯将比原来更亮一些后再熄灭

C. 有电流通过 B 灯，方向为 $c\rightarrow d$

D. 有电流通过 A 灯，方向为 $a\rightarrow b$

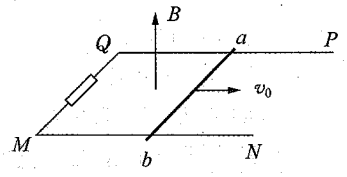
10. 一个半径为 L 的半圆形硬导体 AB 以速度 v 在水平 U 形框架上匀速滑动，匀强磁场的磁感应强度为 B，回路电阻为 R_0，半圆形硬导体 AB 的电阻为 r，其余电阻不计，则半圆形导体 AB 切割磁感线产生感应电动势的大小及 A、B 之间的电势差分别为（　　）



A. πBLv，$\dfrac{\pi BLvR_0}{R_0+r}$　　B. $2BLv$，$2BLv$

C. πBLv，πBLv　　D. $2BLv$，$\dfrac{2BLvR_0}{R_0+r}$

11. 如图所示，光滑 U 形金属导轨 $PQMN$ 水平固定在竖直向上的匀强磁场中。磁感应强度为 B，导轨宽度为 L。Q、M 之间接有阻值为 R 的电阻，其余部分电阻不计。一质量为 M，电阻为 R 的金属棒 ab 放在导轨上，给棒一个水平向右的初速度 v_0 使之开始滑行，最后停在导轨上。由以上条件，在此过程中不可求出的物理量有（　　）



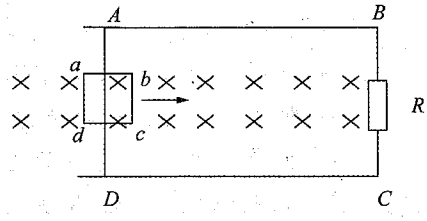
A. 电阻 R 上产生的焦耳热

B. 通过电阻 R 的总电荷量

C. ab 棒运动的位移

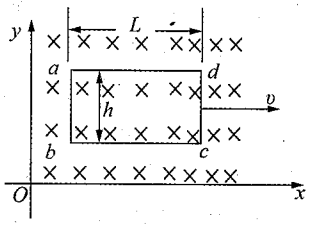
D. ab 棒的运动时间

12. 如图所示，在连有电阻 $R=3r$ 的裸铜线框 $ABCD$ 上，以 AD 为对称轴放置另一个正方形的小裸铜线框 $abcd$，整个小线框处于垂直框面向里、磁感强度为 B 的匀强磁场中。已知小线框每边长 L，每边电阻为 r，其他电阻不计。现使小线框以速度 v 向右平



移，求通过电阻 R 的电流及 R 两端的电压。

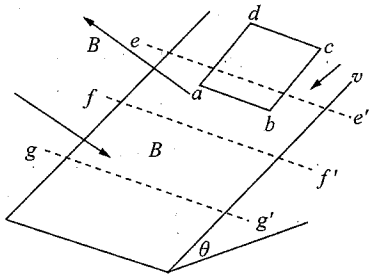
13. 如图所示，磁场的方向垂直于 xOy 平面向里，磁感应强度 B 沿 y 方向没有变化，沿 x 方向均匀增加，每经过 1 cm 增加量为 1.0×10^{-4} T，即 $\frac{\Delta B}{\Delta x}=1.0\times10^{-4}$ T/cm，有一个长 $L=20$ cm，宽 $h=10$ cm 的不变形的矩形金属线圈，以 $v=20$ cm/s 的速度沿 x 方向运动。求：



（1）如果线圈电阻 $R=0.02\ \Omega$，线圈消耗的电功率是多少？

（2）为保持线圈匀速运动，需要多大外力？机械功率是多少？

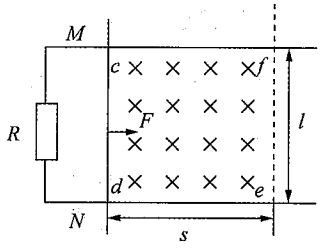
14. 如图所示，在倾角为 θ 的光滑斜面上，存在着两个磁感应强度相等的匀强磁场，方向一个垂直斜面向上，另一个垂直斜面向下，宽度均为 L，一个质量为 m，边长为 L 的正方形线框以速度 v 刚进入上边磁场时，即恰好做匀速直线运动，求：



（1）当 ab 边刚越过 ff' 时，线框的加速度多大？方向如何？

（2）当 ab 到达 gg' 与 ff' 中间位置时，线框又恰好做匀速运动，求线框从开始进入到 ab 边到达 gg' 与 ff' 中间位置时，产生的热量是多少？

15. 如图所示，光滑的平行金属导轨水平放置，电阻不计，导轨间距为 l，左侧接一阻值为 R 的电阻。区域 $cdef$ 内存在垂直轨道平面向下的有界匀强磁场，磁场宽度为 s。一质量为 m、电阻为 r 的金属棒 MN 置于导轨上，与导轨垂直且接触良好，受到 $F=0.5v+0.4$ N（v 为金属棒速度）的水平外力作用，从磁场的左边界由静止开始运动，测得电阻两端电压随时间均匀增大。（已知：$l=1$ m，$m=1$ kg，$R=0.3\ \Omega$，$r=0.2\ \Omega$，$s=1$ m）



（1）分析并说明该金属棒在磁场中做何种运动。

（2）求磁感应强度 B 的大小。

（3）若撤去外力后棒的速度 v 随位移 x 的变化规律满足 $v=v_0-\frac{B^2l^2}{m(R+r)}x$，且棒在运动到 ef 处时恰好静止，则外力 F 作用的时间为多少？

（4）若在棒未出磁场区域时撤出外力，画出棒在整个运动过程中速度随位移变化所对应的各种可能的图线。

参考答案

1. ABC　2. D　3. C

4. D　解析：A 中无感应电流，在进入和穿出磁场的过程中只受重力作用；B、C 在进入和穿出磁场的过程中都有感应电流产生，都受向上的安培力作用，下落的加速度小于重力加速度，所以比 A 要晚落地；设线圈的边长为 l，导线的横截面积为 S，材料的密度

为 δ，电阻率为 ρ，进入或穿出时的速度为 v，磁感应强度为 B，则线圈中产生的感应电动势为 $E=BLv$，感应电流为 $I=\frac{E}{R}$，电阻为 $R=\rho\frac{4l}{S}$，安培力为 $F=BIl$，由牛顿第二定律加速度为 $a=\frac{mg-F}{m}$，线圈的质量为 $m=4\delta Sl$。将上述方程整理后得：$a=g-\frac{B^2v}{16\delta\rho}$。加速度与导线的粗细无关，故 B、C 同时落地。

5. A　6. B　7. BC　8. D

9. AD　解析：断开 S_2 而只闭合 S_1 时，A、B 两灯一样亮，可知线圈 L 的电阻也是 R，在 S_1、S_2 闭合时，$I_A=I_L$，故当 S_2 闭合、S_1 突然断开时，流过 A 灯的电流只是方向变为 $a\rightarrow b$，但其大小不突然增大，A 灯不出现更亮一下再熄灭的现象，故 D 项正确，B 项错误。由于固定电阻 R 几乎没有自感作用，故断开 S_1 时，B 灯电流迅速变为零，而立即熄灭，故 A 项正确，C 项错误。综上所述分析可知，本题正确选项为 A 和 D。

10. D　11. D

12. $\frac{BLv}{4r}$，$\frac{3}{4}BLv$　解析：$abcd$ 向右切割时相当于两个电源并联。每个电源的电动势为 BLv，内阻为 $2r$，外电阻为 R；R 两端的电压为路端电压。

13. （1）8×10^{-8} W　（2）4×10^{-7}N

解析：（1）设线圈向右移动一距离 Δx，则通过线圈的磁通量变化 $\Delta\Phi=h\Delta x\frac{\Delta B}{\Delta x}L$，

而所需时间 $\Delta t=\frac{\Delta x}{v}$，

根据法拉第电磁感应定律可知感应电动势 $E=\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}=hvL\frac{\Delta B}{\Delta x}=4\times10^{-5}$ V，

根据欧姆定律可知感应电流 $I=E/R=2\times10^{-3}$ A，

电功率 $P=IE=8\times10^{-8}$ W。

（2）电流方向是沿逆时针方向的，导线 dc 受到向左的力，导线 ab 受到向右的力，两力大小不等，当线圈做匀速运动时，所受合力为零，因此需施加外力 $F_{外}$，根据能量守恒定律得机械功率为 $P_{机}=P=8\times10^{-8}$ W。

根据 $P_{机}=F_{外}v$，则 $F_{外}=\frac{P_{机}}{v}=4\times10^{-7}$ N。

14. （1）$a=3g\sin\theta$，方向平行于斜面向上　（2）$Q=(3mgl\sin\theta)/2+15mv^2/32$

15. （1）匀加速直线运动　（2）0.5 T　（3）1 s　（4）见解析

解析：（1）金属棒做匀加速直线运动。R 两端电压 $U\propto I\propto E\propto v$，$U$ 随时间均匀增大，即 v 随时间均匀增大。所以加速度为恒量。

（2）$F-\frac{B^2l^2}{R+r}v=ma$，将 $F=0.5v+0.4$ 代入得：$(0.5-\frac{B^2l^2}{R+r})v+0.4=a$。

因为加速度为恒量，与 v 无关，所以 $a=0.4$ m/s^2，$0.5-\frac{B^2l^2}{R+r}=0$，代入数据得：$B=0.5$ T。

（3）设外力 F 作用时间为 t。

$x_1=\frac{1}{2}at^2$，

$v_0=\dfrac{B^2l^2}{m\ (R+r)}x_2=at$，

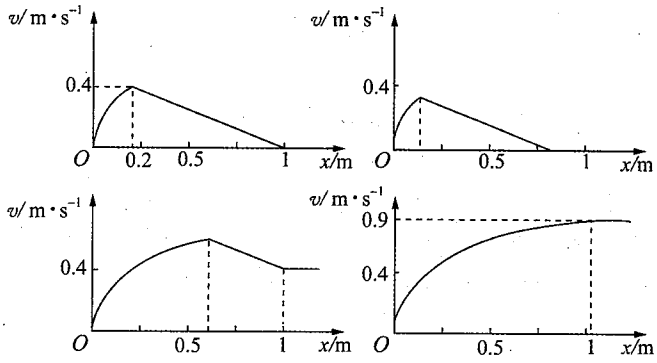
$x_1+x_2=s$，

所以$\dfrac{1}{2}at^2+\dfrac{m\ (R+r)}{B^2l^2}at=s$，

代入数据得 $0.2t^2+0.8t-1=0$，

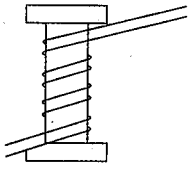
解方程得 $t=1$ s 或 $t=-5$ s（舍去）。

（4）可能图线如图所示。



本章知识检测题

1. 制作精密电阻时，为了消除使用过程中由于电流变化而引起的自感现象，采用双线并绕的方法，如图所示。其道理是（　　）



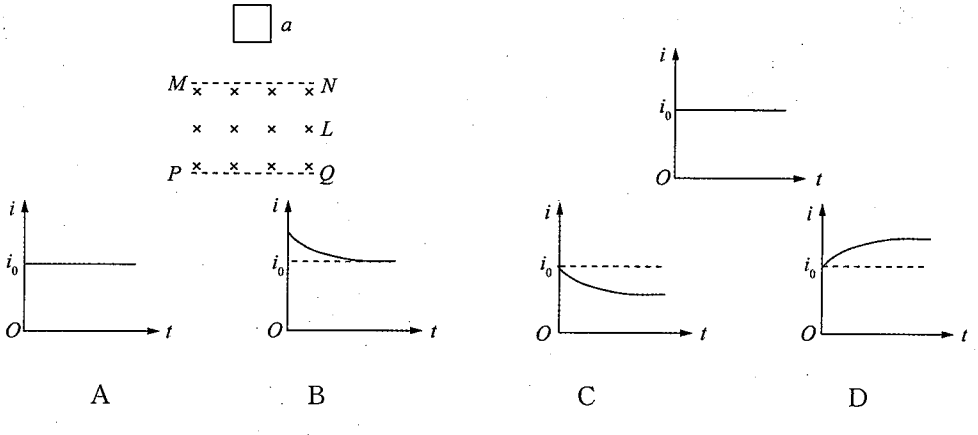
A. 当电路中的电流变化时，两股导线产生的自感电动势相互抵消

B. 当电路中的电流变化时，两股导线产生的感应电流相互抵消

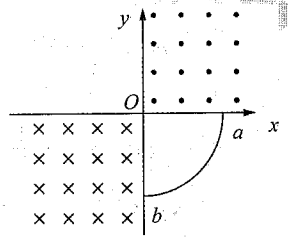
C. 当电路中的电流变化时，两股导线中原电流的磁通量相互抵消

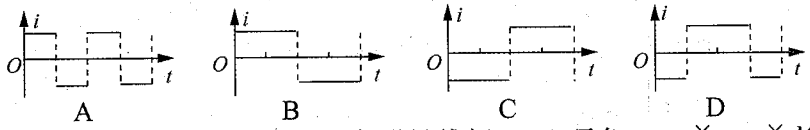
D. 以上说法都不正确

2. MN、PQ 是水平方向的匀强磁场的上下边界，磁场宽度为 L。一个边长为 a 的正方形导线框（$L>2a$）从磁场上方下落，运动过程中上下两边始终与磁场边界平行。线框进入磁场过程中感应电流 i 随时间 t 变化的图像如图所示，则线框从磁场中穿出过程中线框中感应电流 i 随时间 t 变化的图像可能是以下图中的（　　）



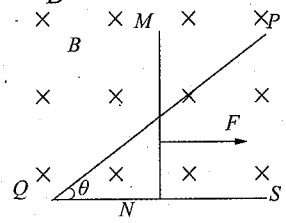
3. 如图所示，xOy 坐标系第一象限有垂直纸面向外的匀强磁场，第三象限有垂直纸面向里的匀强磁场，磁感应强度大小均为 B，第二、四象限内没有磁场。一个围成四分之一圆弧形的导体环 Oab，其圆心在原点 O，开始时导体环在第四象限，从 $t=0$ 时刻起绕 O 点在 xOy 坐标平面内逆时针匀速转动。若以逆时针方向的电流为正，下列表示环内感应电流 i 随时间 t 变化的图像中，正确的是（　　）





A　　B　　C　　D

4. 如图所示，固定在水平面上的三角形导线框 PQS 顶角为 θ，处于垂直于纸面向里的匀强磁场中。一根用与导线框同样材料制作的导线棒 MN 放在导线框上，保持 $MN \perp QS$。用水平力 F 拉 MN 向右匀速运动，MN 与导轨间的接触电阻和摩擦都忽略不计。则下列说法中正确的是（　　）



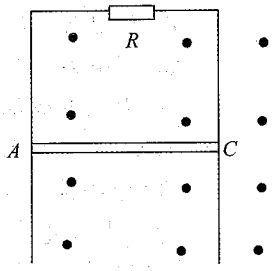
A. 回路中的感应电流方向不变，大小逐渐增大

B. 回路中的感应电流方向不变，大小逐渐减小

C. 回路中的感应电流方向和大小都保持不变

D. 水平力 F 的大小保持不变

5. 图中回路竖直放在匀强磁场中，磁场的方向垂直于回路平面向外，导体 AC 可以贴着光滑竖直长导轨下滑。设回路的总电阻恒为 R，当导体 AC 从静止开始下落后，下面叙述中正确的说法有（　　）



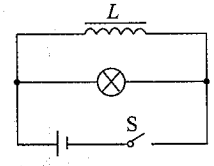
A. 导体下落过程中，机械能守恒

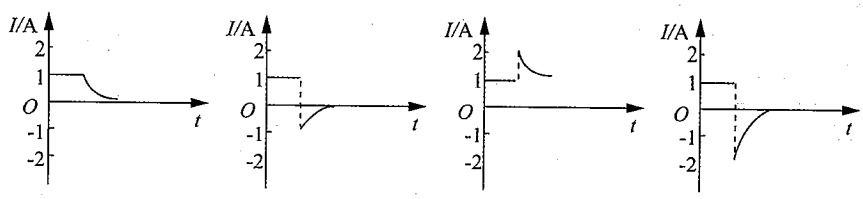
B. 导体加速下落过程中，导体减少的重力势能全部转化为在电阻上产生的热量

C. 导体加速下落过程中，导体减少的重力势能转化为导体增加的动能和回路中增加的内能

D. 导体达到稳定速度后的下落过程中，导体减少的重力势能全部转化为回路中增加的内能

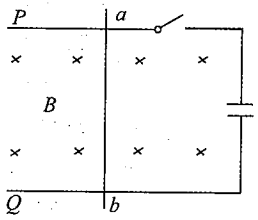
6. 如图所示的电路中，S 闭合时流过电感线圈的电流为 2 A，流过灯泡的电流是 1 A，将 S 突然断开，则 S 断开前后，能正确反映流过灯泡的电流 I 随时间 t 变化关系的图像是图中的（　　）





A　　B　　C　　D

7. 如图所示，在U形金属架上串入一电容器，金属棒 ab 在金属架上无摩擦地以速度 v 向右运动一段距离后突然断开开关，并使 ab 停在金属架上，停止后，ab 不再受外力作用。现合上开关，则金属棒的运动情况是(　　)



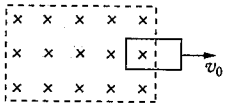
A. 向右做初速度为零的匀加速运动

B. 在某位置附近来回振动

C. 向右做初速度为零的加速运动，后又改做减速运动

D. 向右做变加速运动，后改做匀速运动

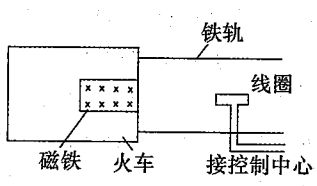
8. 如图所示，闭合导线框的质量可以忽略不计，将它从图示位置匀速拉出匀强磁场．若第一次用0.3 s时间拉出，外力做的功为 W_1，通过导线截面的电荷量为 q_1；第二次用0.9 s时间拉出，外力所做的功为 W_2，通过导线截面的电荷量为 q_2，则



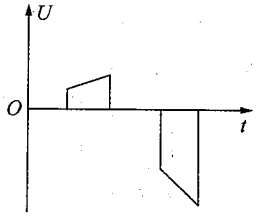
A. $W_1<W_2$，$q_1<q_2$　　B. $W_1<W_2$，$q_1=q_2$

C. $W_1>W_2$，$q_1=q_2$　　D. $W_1>W_2$，$q_1>q_2$

9. 铁路上使用一种电磁装置向控制中心传输信号以确定火车的位置。能产生匀强磁场的磁铁，被安装在火车首节车厢下面，如图甲所示（俯视图）。当它经过安放在两铁轨间的线圈时，便会产生一电信号，被控制中心接收。当火车通过线圈时，若控制中心接收到的线圈两端的电压信号为图乙所示，则说明火车在做（　　）



甲

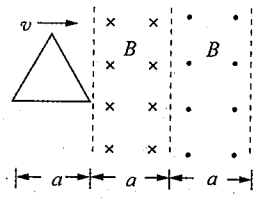


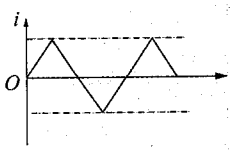
乙

A. 匀速直线运动　　B. 匀加速直线运动

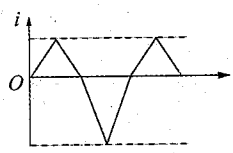
C. 匀减速直线运动　　D. 加速度逐渐增大的变加速直线运动

10. 如图所示，一个边长为 a、电阻为 R 的等边三角形线框，在外力作用下，以速度 v 匀速穿过宽均为 a 的两个匀强磁场。这两个磁场的磁感应强度大小均为 B 方向相反。线框运动方向与底边平行且与磁场边缘垂直。取逆时针方向的电流为正。若从图示位置开始，线框中产生的感应电流 I 与沿运动方向的位移 x 之间的函数图像可能是以下图中的（　　）

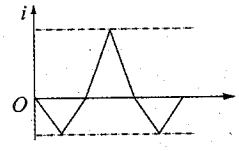




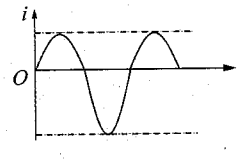
A



B

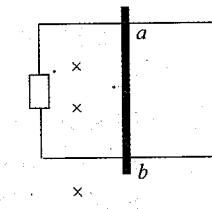


C



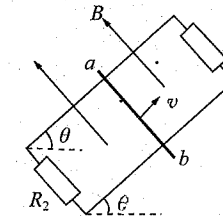
D

11. 如图所示，足够长的两条光滑水平导轨平行放置在匀强磁场中，磁场垂直于导轨所在平面，金属棒 ab 可沿导轨自由滑动，导轨一端跨接一定值电阻，其他电阻不计。现将金属棒沿导轨由静止向右拉，第一次保持拉力恒定，经时间 t_1 后金属棒速度为 v，加速度为 a_1，最终金属棒以速度 $2v$ 做匀速运动，第二次保持拉力的功率恒定，经时间 t_2 后金属棒速度也为 v，加速度为 a_2，最终也以 $2v$ 做匀速运动，则（　　）



A. $t_2=t_1$　　B. $t_2<t_1$　　C. $a_2=2a_1$　　D. $a_2=3a_1$

12. 如图所示，平行金属导轨与水平面成 θ 角，导轨与两相同的固定电阻 R_1 和 R_2 相连，匀强磁场垂直穿过导轨平面。有一导体棒 ab，质量为 m，导体棒的电阻 $R=2R_1$，与导轨之间的动摩擦因数为 μ，导体棒 ab 沿导轨向上滑动，当上滑的速度为 v 时，固定电阻 R_1 消耗的热功率为 P，此时（　　）



A. 整个装置因摩擦而产生的热功率为 $\mu mgv\cos\theta$

B. 整个装置消耗的机械功率为 $\mu mgv\cos\theta$

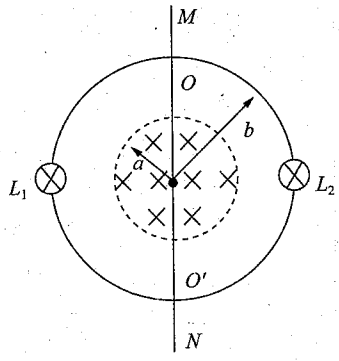
C. 导体棒受到的安培力的大小为 $\dfrac{8P}{v}$

D. 导体棒受到的安培力的大小为 $\dfrac{10P}{v}$

13. 半径为 a 的圆形区域内有均匀磁场，磁感应强度为 $B=0.2$ T，磁场方向垂直纸面向里，半径为 b 的金属圆环与磁场同心放置，磁场与环面垂直，其中 $a=0.4$ m，$b=0.6$ m，金属环接触良好，棒与环的电阻均忽略不计。L_1L_2 的电阻均为 2.0 Ω

（1）若棒以 $v_0=5$ m/s 的速率在环上向右匀速滑动，求棒滑过圆环直径 OO' 的瞬间（如图所示），MN 中的电动势和流过灯 L_1 的电流。

（2）撤去中间的金属棒 MN，将右面的半环 OL_2O' 以 OO' 为轴向上翻转 90°，若此时磁场随时间均匀变化，其变化率为 $\dfrac{\Delta\varphi}{\Delta t}=\dfrac{4}{\pi}$ T/s，求 L_1 的功率。

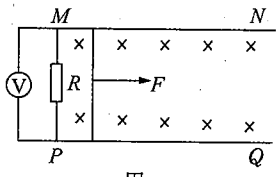


14. 如图甲所示，光滑且足够长的平行金属导轨 MN、PQ 固定在同一水平面上，两导轨间距 $L=0.2$ m，电阻 $R=0.4$ Ω，导轨上停放一质量 $m=0.1$ kg、电阻 $r=0.1$ Ω 的金属杆，导轨电阻可忽略不计，整个装置处于磁感应强度 $B=0.5$ T 的匀强磁场中，磁场方向竖直向下，现用一外力 F 沿水平方向拉杆，使其由静止开始运动，若理想电压表的示数 U 随

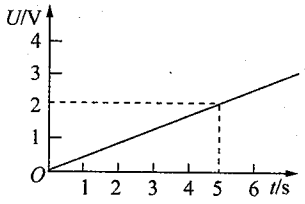
时间 t 变化的关系如图乙所示。

（1）试分析说明金属杆的运动情况。

（2）求第 2s 末外力 F 的瞬时功率。



甲



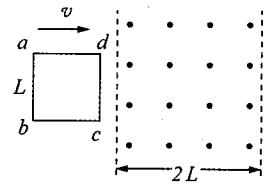
乙

15. 如图甲所示，空间有一宽为 $2L$ 的匀强磁场区域，磁感应强度为 B，方向垂直纸面向外。$abcd$ 是由均匀电阻丝做成的边长为 L 的正方形线框，总电阻为 R。线框以垂直磁场边界的速度 v 匀速通过磁场区域。在运动过程中，线框 ab、cd 两边始终与磁场边界平行。线框刚进入磁场的位置 $x=0$，x 轴沿水平方向向右。求：

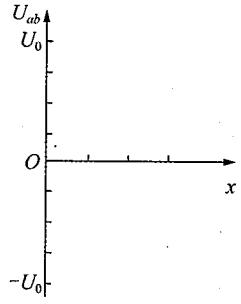
（1）cd 边刚进入磁场时，ab 两端的电势差，并指明哪端电势高。

（2）线框穿过磁场的过程中，线框中产生的焦耳热。

（3）在下面的图乙中，画出 ab 两端电势差 U_{ab} 随距离变化的图像，其中 $U_0=BLv_0$。



甲



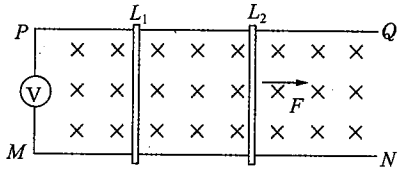
乙

16. 如图所示，固定于水平桌面上足够长的两平行导轨 PO、MN，PQ、MN 的电阻不计，间距为 $d=0.5$ m。P、M 两端接有一只理想电压表，整个装置处于竖直向下的磁感应强度 $B=0.2$ T 的匀强磁场中。电阻均为 $r=0.1\ \Omega$，质量分别为 $m_1=300$ g 和 $m_2=500$ g 的两金属棒 L_1、L_2 平行的搁在光滑导轨上，现固定棒 L_1，L_2 在水平恒力 $F=0.8$ N 的作用下，由静止开始做加速运动，试求：

（1）当电压表的读数为 $U=0.2$ V 时，棒 L_2 的加速度多大？

（2）棒 L_2 能达到的最大速度 v_m。

（3）若在棒 L_2 达到最大速度 v_m 时撤去外力 F，并同时释放棒 L_1，求棒 L_2 达到稳定时的速度值。



（4）若固定棒 L_1，当棒 L_2 的速度为 v，且离开棒 L_1 距离为 s 的同时，撤去恒力 F，为保持棒 L_2 做匀速运动，可以采用将 B 从原值（$B_0=0.2$ T）逐渐减小的方法，则磁感应强度 B 应怎样随时间变化（写出 B 与时间 t 的关系式）？

参考答案

1. C　解析：从由于采用双线并绕的方法，当电流通过时，两股导线中的电流方向是相反的，不管电流怎样变化，任何时刻两股电流总是等大反向的，所产生的磁通量也是等大反向的，故总磁通量等于零，在该线圈中不会产生电磁感应现象，因此消除了自感，选项 AB 错误，只有 C 正确。

2. B　3. D　4. C　5. CD　6. D　7. D　8. C　9. B　10. B　11. BD　12. AD

13. (1) 0.8 V，0.4 A　(2) 1.28×10^{-2} W

解析：(1) 棒滑过圆环直径时切割磁感线的有效长度 $L=2a$，棒中产生的感应电动势 $E=BLv=0.2\times2\times0.4\times5$ V$=0.8$ V。

当不计棒与环的电阻时，直径 OO' 两端的电压 $U=E=0.8$ V，所以通过灯 L_1 的电流 $I_1=\dfrac{U}{R_0}=\dfrac{0.8}{2}$ A$=0.4$ A。

(2) 右半圆环向上翻转 90°后，穿过回路的磁场有效面积变为原来的一半，即 $S'=\dfrac{1}{2}\pi a^2$。

磁场变化时在回路中产生的感应电动势 $E'=\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}=\dfrac{S'\cdot\Delta B}{\Delta t}=\dfrac{1}{2}\pi a^2\times\dfrac{4}{\pi}=2\times(0.4)^2$ V$=0.32$ V。

由于 L_1、L_2 两灯电阻相同，圆环电阻不计，所以每灯的电压均为 $U'=\dfrac{1}{2}E'$，L_1 的功率 $P_1=\dfrac{U'^2}{R_0}=\dfrac{\left(\frac{1}{2}E'\right)^2}{R_0}=1.28\times10^{-2}$ W。

14. (1) 匀加速直线运动　(2) 7 W

解析：(1) 金属杆速度为 v 时，电压表的示数应为 $U=\dfrac{R}{R+r}BLv$，

则 $\dfrac{\Delta U}{\Delta t}=\dfrac{R}{R+r}BL\cdot\dfrac{\Delta v}{\Delta t}=\dfrac{R}{R+r}BLa$，

由题图可知：$\dfrac{\Delta U}{\Delta t}=0.4$ V/s，

故金属杆的加速度应恒定，即金属杆应水平向右做匀加速直线运动。

(2) 由 (1) 可得：$a=\dfrac{R+r}{RBL}\cdot\dfrac{\Delta U}{\Delta t}=\dfrac{0.4+0.1}{0.4\times0.5\times0.2}\times0.4$ m/s$^2=5$ m/s^2，

则第 2 s 末杆的速度 $v=at=10$ m/s，

此时杆受到的安培力 $F'=\dfrac{B^2L^2v}{R+r}=0.2$ N。

由牛顿第二定律得：$F-F'=ma$，则 $F=ma+F=0.7$ N，

故外力 F 的功率 $P=Fv=0.7\times10$ W$=7$ W。

15. (1) $\dfrac{1}{4}BLv$　(2) $\dfrac{2B^2L^3v}{R}$　(3) 见解析

解析：(1) dc 切割磁感线产生的感应电动势 $E=BLv$，

回路中的感应电流 $I=\dfrac{BLv}{R}$，

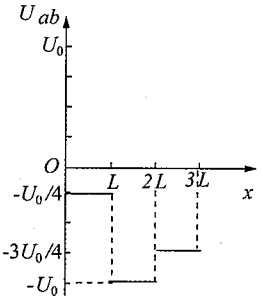
ab 两端的电势差 $U=I\cdot\dfrac{1}{4}R=\dfrac{1}{4}BLv$，$b$ 端电势高。

（2）设线框从 dc 边刚进磁场到 ab 边刚进磁场所用时间为 t。

由焦耳定律有 $Q=2I^2Rt$，$L=vt$，

求出 $Q=\dfrac{2B^2L^3v}{R}$。

（3）如图所示。



16.（1）1.2 m/s²　（2）16 m/s　（3）10 m/s　（4）$B_t=\dfrac{B_0s}{s+vt}$

解析：（1）因为 L_1 与 L_2 串联，

所以流过 L_2 的电流 $I=\dfrac{U}{r}=\dfrac{0.2}{0.1}$ A=2 A，

L_2 所受安培力 $F'=BdI=0.2$ N，

所以 $a=\dfrac{F-F'}{m_2}=\dfrac{0.8-0.2}{0.5}$ m/s²=1.2 m/s²。

（2）当 L_2 所受安培力 $F_{安}=F$ 时，棒有最大速度 v_m，此时电路中电流为 I_m。

则

$$F_{安}=BdI_m,\qquad ①$$

$$I_m=\frac{Bdv_m}{2r},\qquad ②$$

$$F_{安}=F,\qquad ③$$

由①、②、③得：$v_m=\dfrac{2Fr}{B^2d^2}=16$ m/s。

（3）撤去 F 后，棒 L_2 做减速运动，L_1 做加速运动，当两棒达到共同速度 $v_{共}$ 时，L_2 有稳定速度，对此过程有 $m_2v_m=(m_1+m_2)v_{共}$，

所以 $v_{共}=\dfrac{m_2v_m}{m_1+m_2}=10$ m/s。

（4）要使 L_2 保持匀速运动，回路中磁通量必须保持不变，设撤去恒力 F 时磁感应强度为 B_0，t 时刻磁感应强度为 B_t，则 $B_0dS=B_td(s+vt)$。

所以 $B_t=\dfrac{B_0S}{S+vt}$。

第十章　交变电流 电磁波 传感器

第一节　交变电流

解题指南

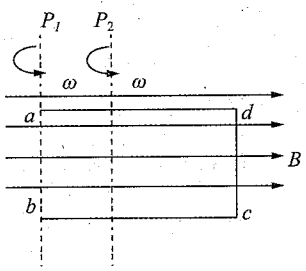
例 1　如图所示，矩形线圈 $abcd$ 在匀强磁场中可以分别绕垂直于磁场方向的轴 P_1 和 P_2 以相同的角速度匀速转动，当线圈平面转到与磁场方向平行时，下列说法中正确的是（　　）

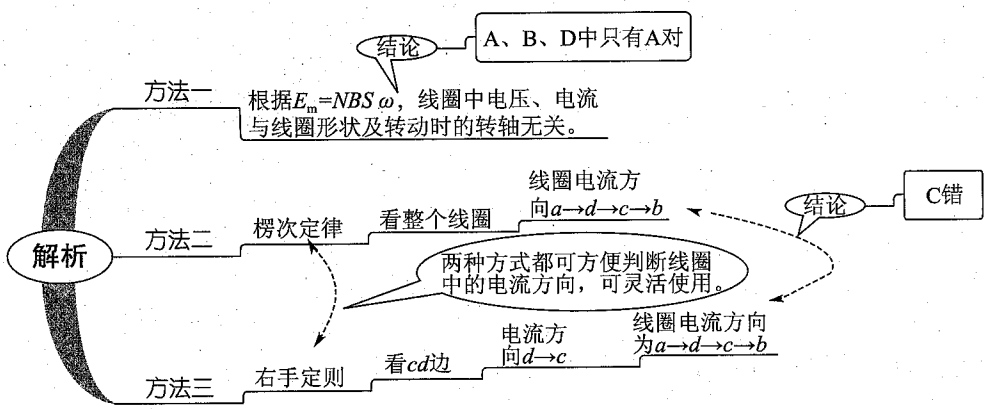
A. 线圈绕 P_1 转动时的电流等于绕 P_2 转动时的电流

B. 线圈绕 P_1 转动时的电动势小于绕 P_2 转动时的电动势

C. 线圈绕 P_1 和 P_2 转动时的电流方向相同，都是 $a\to b\to c\to d$

D. 线圈绕 P_1 转动时 dc 边受到的安培力大于绕 P_2 转动时 dc 边受到的安培力

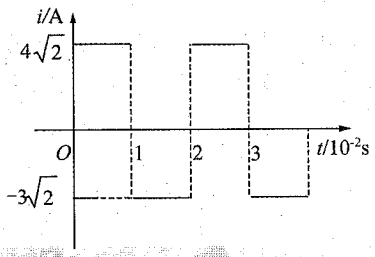




◎【答案】A

例 2　如图所示是表示交流电随时间变化的图像，此交流电的有效值是（　　）

A. $5\sqrt{2}$ A　　B. 5 A　　C. $3.5\sqrt{2}$ A　　D. 3.5 A



看图像，该交流电不是正弦交流电，不能按正弦交流电的结论求解。

结论：C错

解析

交流电的有效值不是平均值，这一点一定要区分清楚。

选取一个周期T的时间，运用焦耳定律求出此交流电的有效值。

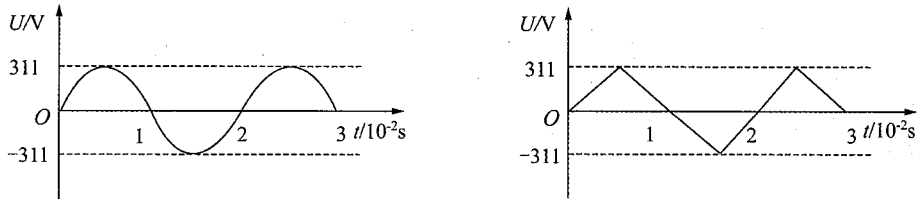
解得：$I=5\ \mathrm{A}$，B对。

交流电的有效值要按电流的热效应来求解。

即 $I^2RT=(4\sqrt{2})^2R\frac{T}{2}+(3\sqrt{2})^2R\frac{T}{2}$。

◎【答案】B

例 3　图（a）、图（b）分别表示两种电压的波形，其中图（a）所示的电压按正弦规律变化。下列说法中正确的是（　　）



(a)　　(b)

A. 图（a）表示交流电，图（b）表示直流电

B. 两种电压的有效值相等

C. 图（a）所示电压的瞬时值表达式为 $u=311\sin 100\pi t\ \mathrm{V}$

D. 图（a）所示的电压经匝数比为 10∶1 的变压器变压后，频率变为原来的$\frac{1}{10}$

交流电的大小和方向都随时间变化，在t轴的上方为正，下方为负。

结论：A错

只有正弦交流电才能用公式 $U=\frac{U_m}{\sqrt{2}}=0.707U_m$。

结论：B错

解析

由图像可知，C对。

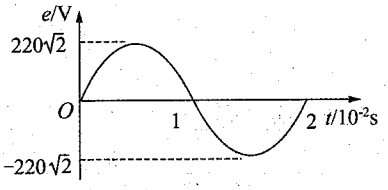
结论：D错

变压器只改变电压、电流的值，不改变频率。

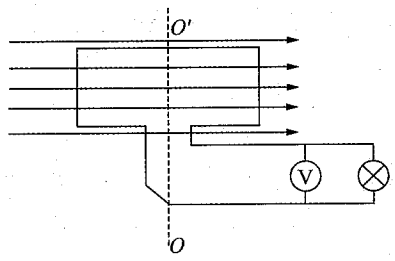
◎【答案】C

例 4　一台小型发电机的电动势随时间变化的正弦规律图像如图（a）所示。已知发电机

线圈内阻为 5.0 Ω，外接一只电阻为 95.0 Ω 的灯泡，如图（b）所示，则（　　）



(a)



(b)

A. 电压表 V 的示数为 220 V

B. 电路中电流方向每秒改变 50 次

C. 灯泡实际消耗功率为 484 W

D. 发电机线圈内阻每秒产生的热量为 24.2 J

解析

电压表的示数为灯泡两端电压的有效值，由图可知发电机电动势的有效值为220 V，灯泡分得的电压有效值$U=RE/(R+r)=209$ V。

结论：A错

由图像可知，$T=0.02$ s，$f=50$ Hz，一个周期内电流、电压方向改变2次，1 s内改变100次。

结论：B错

灯泡的实际功率 $P=\frac{U^2}{R}=\frac{209^2}{95}$ W $=459.8$ W。

结论：C错

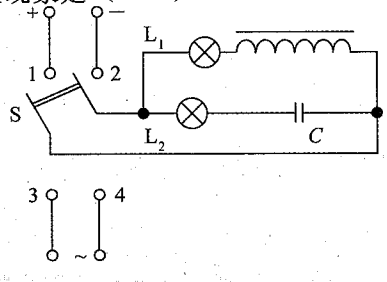
结论：D对

电流的有效值$I=E/(R+r)=2.2$ A，发电机线圈内阻每秒产生的热量$Q=I^2rt=2.2^2\times5\times1$ J$=24.2$ J。

◎【答案】D

此类题的难点在于发电机有内阻，从而在相关计算中一定要使用闭合电路欧姆定律求解。另外，交流电压表、交流电流表上的示数都为所测交流电的有效值，这一点也是要记清楚的。

例 5　某同学在研究电容、电感对恒定电流与交变电流的影响时，采用了如图所示的电路，其中 L_1 和 L_2 是两个完全相同的灯泡，已知把开关置于 3、4 时，电路与交流电源连通，稳定后的两个灯泡的发光亮度相同，则该同学在如下操作过程中能观察到的实验现象是（　　）

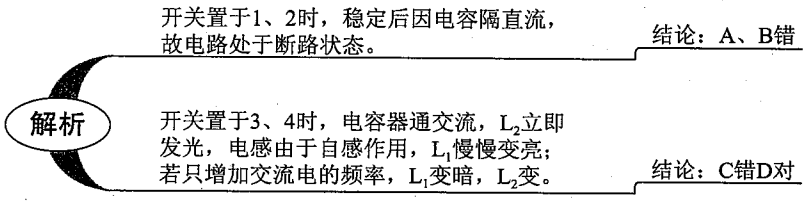


A. 当开关置于 1、2 时，稳定后 L_1、L_2 两个灯泡均发光，且亮度也相同

B. 当开关置于 1、2 时，稳定后 L_1、L_2 两个灯泡均发光，且 L_1 比 L_2 亮

C. 当开关置于 3、4 时，若只增加交流电的频率，则两个灯泡将同时变暗

D. 当开关置于 3、4 的瞬间，L_2 立即发光，而 L_1 亮度慢慢增大

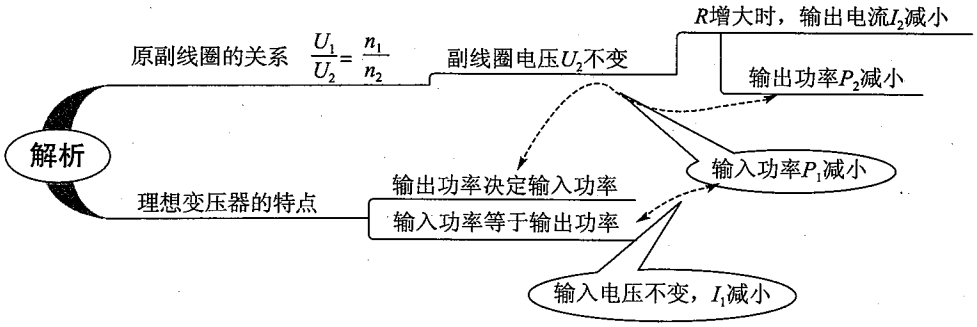


◎【答案】D

例 6　一理想变压器的原线圈上接有正弦交变电压，其最大值保持不变，副线圈接有可调电阻 R。设原线圈的电流为 I_1，输入功率为 P_1，副线圈的电流为 I_2，输出功率为 P_2，当 R 增大时（　　）

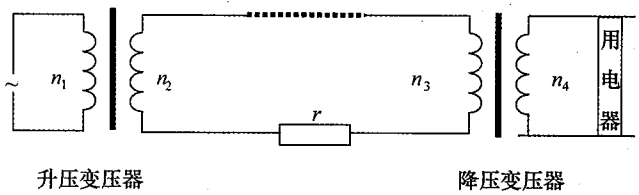
A. I_1 减小，P_1 增大　　B. I_1 减小，P_1 减小

C. I_1 增大，P_1 减小　　D. I_1 增大，P_1 增大



◎【答案】B

例 7　某小型水电站的电能输送示意图如图所示，发电机的输出电压为 220 V，输电线总电阻为 r，升压变压器原、副线圈匝数分别为 n_1、n_2。降压变压器原、副线圈匝数分别为 n_3、n_4（变压器均为理想变压器）。要使额定电压为 220 V 的用电器正常工作，则（　　）

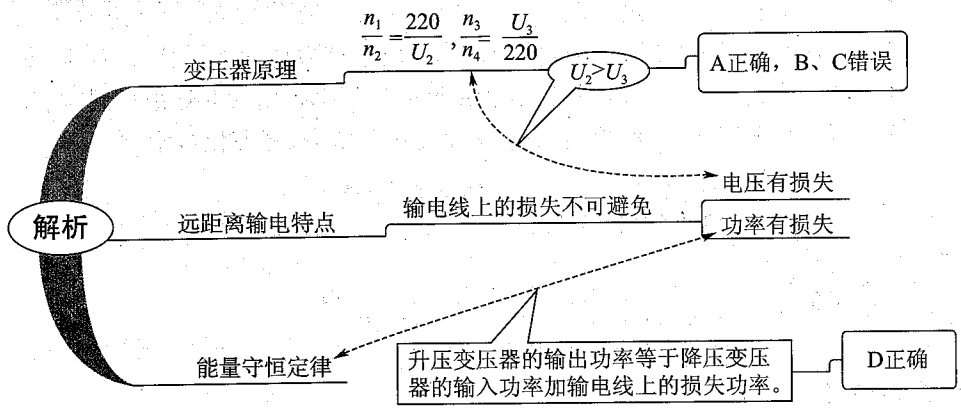


A. $\frac{n_2}{n_1} > \frac{n_3}{n_4}$

B. $\frac{n_2}{n_1} < \frac{n_3}{n_4}$

C. 升压变压器的输出电压等于降压变压器的输入电压

D. 升压变压器的输出电压大于降压变压器的输入电压



◎【答案】AD

例 8 某小型实验水电站输出功率是 20 kW，输电线路总电阻是 6 Ω。

(1) 若采用 380 V 输电，求输电线路损耗的功率。

(2) 若改用 5 000 V 高压输电，用户端利用 $n_1:n_2=22:1$ 的变压器降压，求用户得到的电压。

◆【解析】(1) 输电线上的电流 $I=\frac{P}{U}=\frac{20\times10^3}{380}\text{A}=52.63\text{ A}$。

输电线路损耗的功率 $P_{损}=I^2R=52.63^2\times6\text{ W}\approx16\,620\text{ W}=16.62\text{ kW}$。

(2) 改用高压输电后，输电线上的电流变为 $I'=\frac{P}{U'}=\frac{20\times10^3}{5\,000}\text{A}=4\text{ A}$。

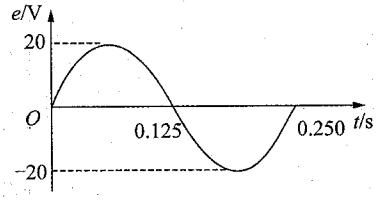
用户端在变压器降压前获得的电压 $U_1=U-I'R=(5\,000-4\times6)\text{ V}=4\,796\text{ V}$。

根据 $\frac{U_1}{U_2}=\frac{n_1}{n_2}$，

用户得到的电压为 $U_2=\frac{n_2}{n_1}U_1=\frac{1}{22}\times4\,796\text{ V}=226.18\text{ V}$。

同步检测

1. 小型发电机中，矩形金属线圈在匀强磁场中匀速转动，产生的感应电动势与时间成正弦函数关系，如图所示，此线圈与一个 $R=10\ \Omega$ 的电阻构成闭合电路，不计电路的其他电阻。下列说法中正确的是（　　）



A. 交变电流的周期为 0.125 s

B. 交变电流的频率为 8 Hz

C. 交变电流的有效值为 $\sqrt{2}$ A

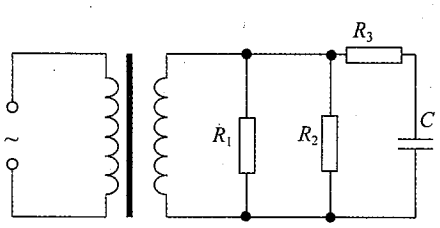
D. 交变电流的最大值为 4 A

2. 如图 (a) 所示，理想变压器原、副线圈的匝数比为 10∶1，$R_1=20\ \Omega$，$R_2=30\ \Omega$，C 为电容器。已知通过 R_1 的正弦交流电如图 (b) 所示，则（　　）

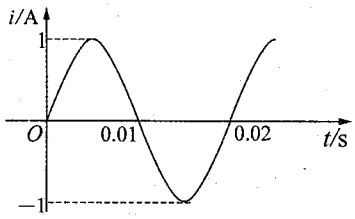
A. 交流电的频率为 0.02 Hz

B. 原线圈输入电压的最大值为 $200\sqrt{2}$ V

C. 电阻 R_2 的电功率约为 6.67 W



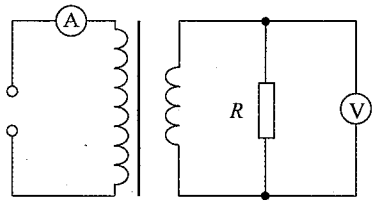
(a)



(b)

D. 通过 R_3 的电流始终为零

3. 如图所示，理想变压器原、副线圈的匝数比为 4∶1，原线圈接入一电压为 $u=U_0\sin\omega t$ 的交流电源，副线圈接一个 $R=27.5\ \Omega$ 的负载电阻。若 $U_0=220\sqrt{2}$ V，$\omega=100\pi$ rad/s，则下列结论中正确的是（　　）



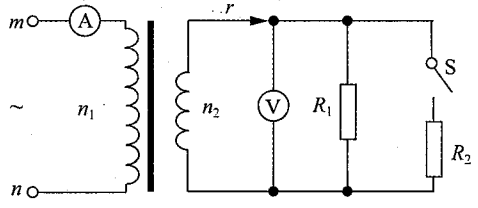
A. 副线圈中电压表的读数为 55 V

B. 副线圈中输出交流电的周期为 $\frac{1}{100}$ s

C. 原线圈中电流表的读数为 0.5 A

D. 原线圈中的输入功率为 110 W

4. 如图所示，理想变压器的原线圈两端 m、n 接入高压交流电源，降压后通过有一定的电阻的输电导线接用电器。A、V 是交流电表，开始时 S 闭合，现将 S 断开，那么 A、V 的示数及 R_1 消耗的功率分别（　　）



A. 增大、增大、增大

B. 减小、增大、增大

C. 增大、减小、增大

D. 减小、增大、减小

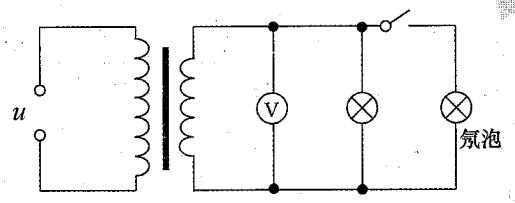
5. 如图所示，理想变压器的原、副线圈匝数比为 1∶5，原线圈两端的交变电压为 $u=20\sqrt{2}\sin100\omega t$ V，氖泡在两端电压达到 100 V 时开始发光，下列说法中正确的是（　　）

A. 开关接通后，氖泡的发光频率为 100 Hz

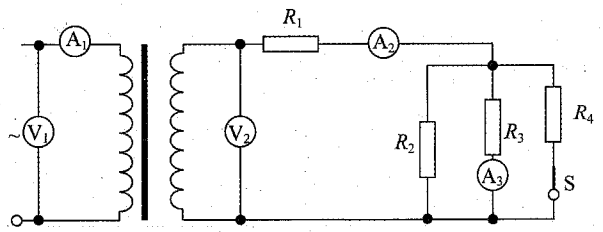
B. 开关接通后，电压表的示数为 100 V

C. 开关断开后，电压表的示数变大

D. 开关断开后，变压器的输出功率不变



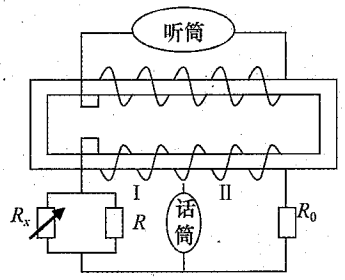
6. 如图所示，一理想变压器原线圈接入一交流电源，副线圈电路中 R_1、R_2、R_3 和 R_4 均为固定电阻，开关 S 是闭合的。V_1 和 V_2 为理想电压表，读数分别为 U_1 和 U_2；A_1、A_2 和 A_3 为理想电流表，读数分别为 I_1、I_2 和 I_3。现断开 S，U_1 数值不变，下列推断中正确的是（　　）



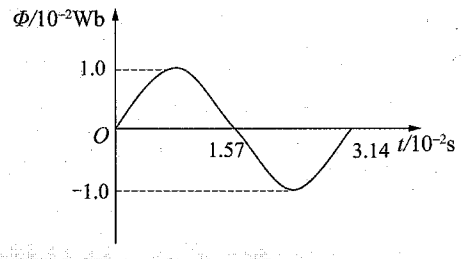
A. U_2 变小、I_3 变小　　B. U_2 不变、I_3 变大

C. I_1 变小、I_2 不变　　D. I_1 变大、I_2 变大

7. 原始的电话机将听筒和话筒串联成一个电路，当自己对着话筒讲话时，会从听筒中听到自己的声音，导致听觉疲劳而影响通话。现代的电话将听筒与话筒电路分开，改进电路原理示意图如图所示，图中线圈Ⅰ与线圈Ⅱ匝数相等，$R_0=1.2\ \Omega$，$R=3.6\ \Omega$，R_x 为可变电阻，当 R_x 调到某一值时，从听筒中就听不到话筒传出的声音了，这时 $R_x=$_____Ω。



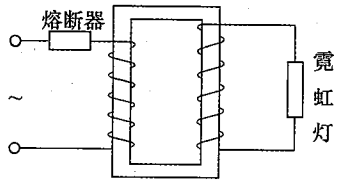
8. 一小型发电机内的矩形线圈在匀强磁场中以恒定的角速度 ω 绕垂直于磁场方向的固定转动轴转动，线圈匝数 $n=100$。穿过每匝线圈的磁通量随时间按正弦规律变化，如图所示，发电机内阻 $r=5.0\ \Omega$，外电路电阻 $R=95\ \Omega$。已知感应电动势的最大值 $E_{max}=n\omega\Phi_{max}$，其中 Φ_{max} 为穿过每匝线圈磁通量的最大值。求串联在外电路中的交流电流表（内阻不计）的读数。



9. 如图所示，一个变压器（可视为理想变压器）的原线圈接在 220 V 的交流电源上，给额定电压为 1.80×10^4 V 的霓虹灯供电，使它正常发光。为安全起见，副线圈电路中电流超过 12 mA 时，熔丝就熔断。

（1）熔丝的熔断电流是多大？

（2）当副线圈电路中电流为 10 mA 时，变压器的输入功率是多大？

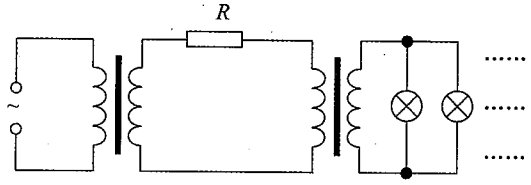


10. 学校有一台应急备用发电机，内阻为 $r=1\ \Omega$，升压变压器的匝数比为 1∶4，降压变压器的匝数比为 4∶1，输电线的总电阻为 $R=4\ \Omega$，全校 22 个教室，每个教室用“220 V　40 W”的灯 6 盏，要求所有灯都正常发光，如图所示，求：

（1）发电机的输出功率多大？

（2）发电机的电动势多大？

（3）输电线上损耗的电功率多大？



参考答案

1. C　2. C　3. ACD　4. B　5. AB　6. B

7. 1.8 Ω

8. 1.4 A

9. （1）0.98 A　（2）180 W

10. （1）5 424 W（2）250 V（3）144 W

第二节　电磁波与传感器

解题指南

例 1　根据麦克斯韦电磁理论，下列叙述中正确的是（　　）

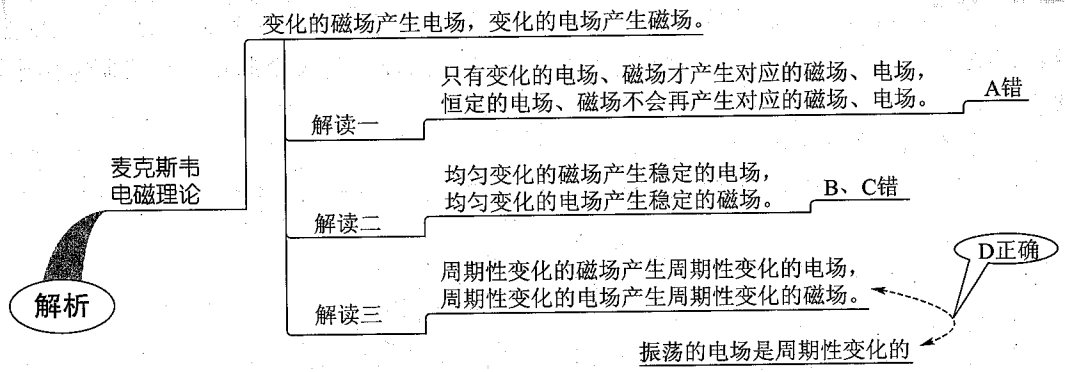
A. 在电场周围一定产生磁场，磁场周围一定产生电场

B. 在变化的电场周围一定产生变化的磁场，变化的磁场周围一定产生变化的电场

C. 均匀变化的电场周围一定产生均匀变化的磁场

D. 振荡的电场一定产生同频率振荡的磁场

此题主要考查对麦克斯韦电磁理论的深刻解读，具体分析如下：



◎【答案】D

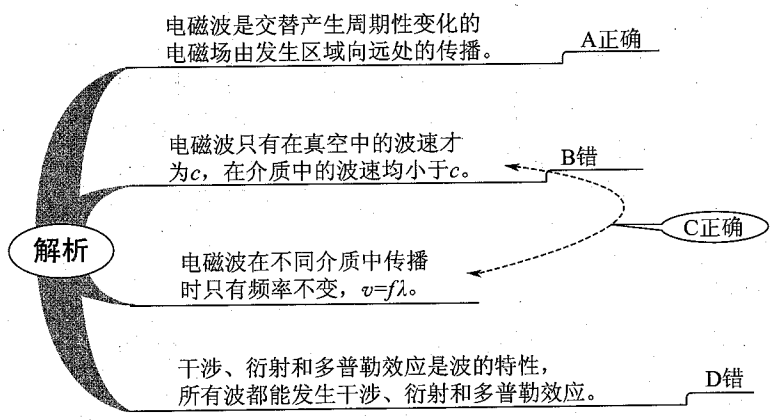
例 2 下列关于电磁波的叙述中，正确的是（　　）

A. 电磁波是电磁场由发生区域向远处的传播

B. 电磁波在任何介质中的传播速度均为 3×10^8 m/s

C. 电磁波由真空进入介质传播时，波长变短

D. 电磁波不能产生干涉、衍射现象



◎【答案】C

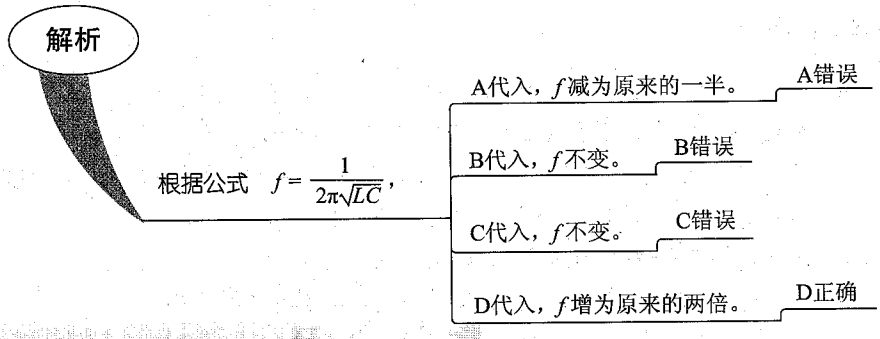
例 3 在 LC 振荡电路中，用以下哪种方法可以使振荡频率增大一倍（　　）

A. 自感 L 和电容 C 都增大一倍

B. 自感 L 增大一倍，电容 C 减小一半

C. 自感 L 减小一半，电容 C 增大一倍

D. 自感 L 和电容 C 都减小一半



◎【答案】D

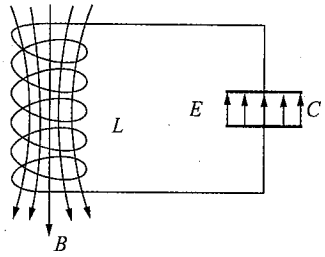
例 4　在 LC 振荡电路的电磁振荡过程中，某一时刻电场和磁场的方向如图所示，下列说法中正确的是（　　）

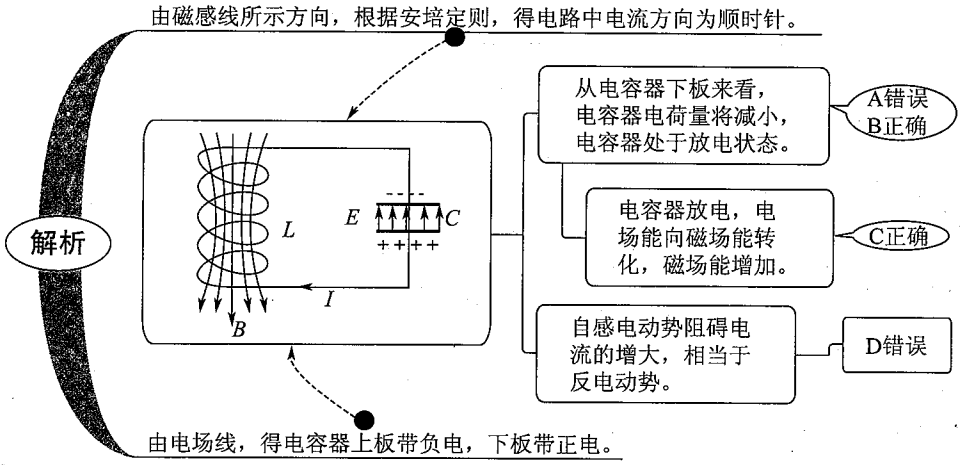
A. 电容器正在充电

B. 电容器正在放电

C. 自感线圈中磁场能正在增加

D. 自感线圈中自感电动势相当于电源





◎【答案】BC

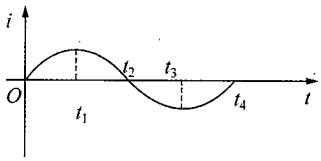
例 5　如图所示是 LC 振荡电路中产生的振荡电流 i 随时间 t 的变化图像，在 t_3 时刻下列说法中正确的是（　　）

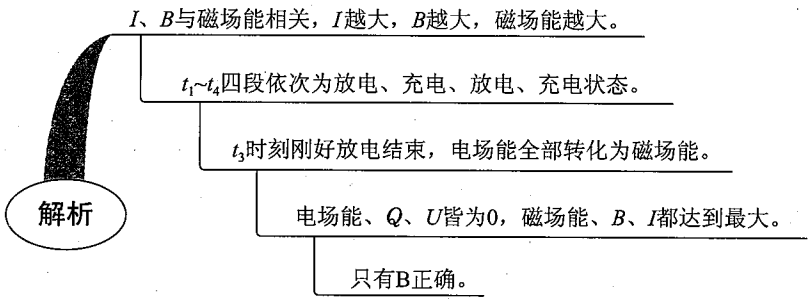
A. 电容器中的带电荷量最大

B. 电容器中带电荷量最小

C. 电容器中电场能达到最大

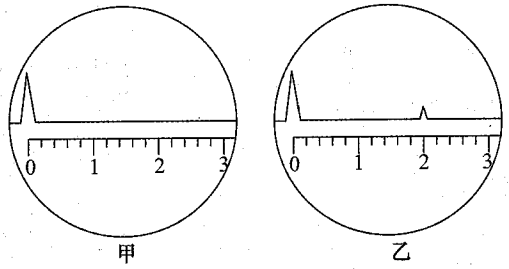
D. 线圈中的磁场能达到最小

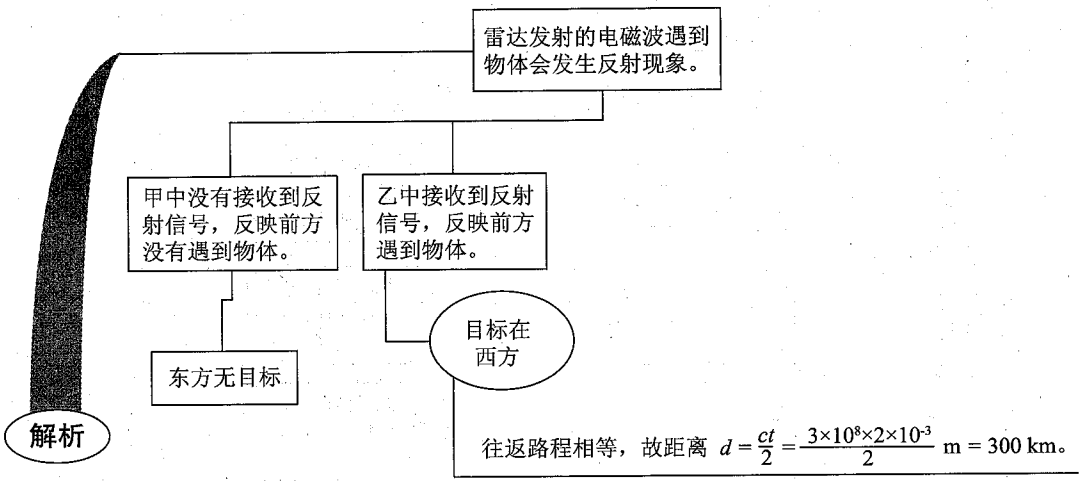




◎【答案】B

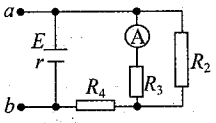
例 6　如图所示为某雷达的荧光屏，屏上标尺的最小刻度对应的时间为 2×10^{-3} s，雷达天线朝向东方时，屏上的波形如图甲所示；雷达天线朝西方时，屏上的波形如图乙所示。问：雷达在何方发现了目标？目标与雷达相距多远？



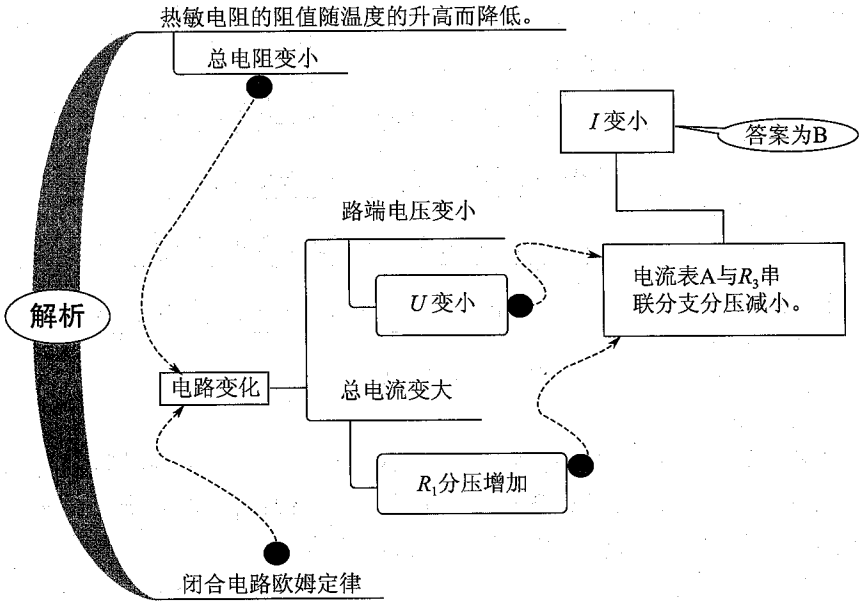


◎【答案】目标在西方，与雷达相距 300 km

例 7 如图所示是一火警报警的一部分电路示意图。其中 R_2 为用半导体热敏材料制成的传感器，电流表为值班室的显示器，a、b 之间接报警器。当传感器 R_2 所在处出现火情时，显示器的电流 I、报警器两端的电压 U 的变化情况是（　　）



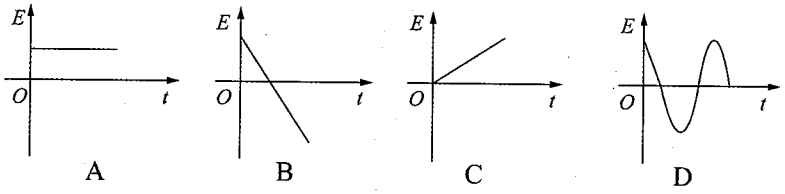
A. I 变大，U 变大　　B. I 变小，U 变小　C. I 变小，U 变大　D. I 变大，U 变小



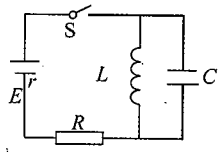
◎【答案】B

同步检测

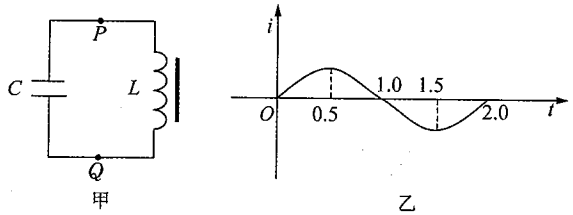
1. 人们的生活离不开电磁波，关于电磁场和电磁波，下列说法中正确的是（　　）
   A. 电磁波的传播需要介质，电磁波不能在真空中传播
   B. 电视机、收音机和手机所接收的信号都属于电磁波
   C. 电磁波的波长越长，衍射能力越弱
   D. 微波炉内所产生的微波不是电磁波，而是波长微小的机械波
2. 在空间某处存在一变化的磁场，则（　　）
   A. 在磁场中放一闭合线圈，线圈里一定产生感应电流
   B. 在磁场中放一闭合线圈，线圈里不一定产生感应电流
   C. 在磁场中不放闭合线圈，在变化的磁场周围一定不会产生电场
   D. 在磁场中不放闭合线圈，在变化的磁场周围一定会产生电场
3. 某电路中的电场随时间变化的图像如图所示，能发射电磁波的电场是（　　）



4. 以下电场能产生变化的磁场的是（　　）
   A. $E=10$ V/m
   B. $E=5\sin(4t+1)$ V/m
   C. $E=(3t+2)$ V/m
   D. $E=(4t^2-2t)$ V/m
5. 如图所示，电源电动势为 E，内阻为 r，电阻 R，自感线圈 L 及电容器 C 都是理想元件，今将 S 接通一段时间，等电路稳定后突然将 S 断开，下列说法中错误的是（　　）
   A. S 断开瞬间，LC 电路中磁场能最大
   B. LC 振荡电路的最大电流为 $\dfrac{E}{R+r}$
   C. 该电路辐射的电磁波以光速 c 在真空中传播，而且其波长与电容器电容 C 成反比
   D. 在该振荡电路中，电场能与磁场能振荡的周期是 $\pi\sqrt{LC}$



6. 如图甲所示的 LC 振荡电路中，通过 P 点的电流变化规律如图乙所示，图中坐标 i 的正方向为 P 点的振荡电流水平向右，则下列说法中正确的是（　　）



A. 0.5 s 至 1 s 内，电容器正在充电

B. 0.5 s 至 1 s 内，电容器的上极板带正电

C. 1 s 至 1.5 s 内，Q 点比 P 点电势高

D. 1 s 至 1.5 s 内，磁场能正在转变为电场能

7. 某振荡电路采用的是可变电容器，当电容器的电容调到 390 PF 时，其振荡频率为 520 kHz，当电容器电容调到 39 PF 时，其振荡频率是多少？该振荡电路的波长范围是多少？

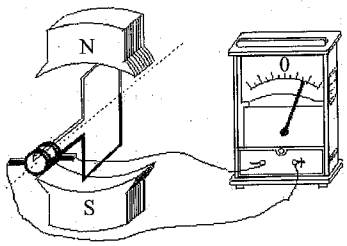
8. 某雷达正在跟踪一架朝雷达站飞来的飞机，某一时刻从雷达站发出无线电波到接收到飞机反射的无线电波历时 $t_1=2.00\times10^{-4}$ s；经过 10 s 后的又一时刻，从雷达站发出无线电波到接收到飞机反射的无线电波历时 $t_2=1.86\times10^{-4}$ s，求该飞机的飞行速度。

◎【答案】1. B　2. BD　3. D　4. BD　5. CD　6. AC

7. 1 644 kHz　182～577 m　　8. 210 m/s

本章知识检测题

1. 如图所示，观察电流表的指针，可以看到（　　）



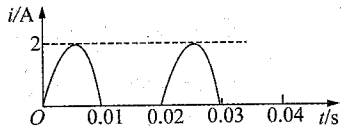
A. 从图示时刻，指针随着线圈转动而摆动，并且线圈旋转一周，指针左右摆动一次

B. 当线圈平面转到跟磁感线垂直的平面位置时，电流表的指针的偏转最大

C. 当线圈平面转到跟磁感线平行的位置时，电流表的指针的偏转最大

D. 从图示时刻计时，在匀强磁场中匀速转动的线圈里产生感应电动势和感应电流是按正弦规律变化的

2. 如图所示为一正弦交流电通过一电子元件后的波形图，则下列说法中正确的是（　　）



A. 这也是一种交流电

B. 电流的变化周期是 0.02 s

C. 电流的变化周期是 0.01 s

D. 电流通过 100 Ω 的电阻时，1 s 内产生热量为 200 J

3. 某交流发电机正常工作时的电动势变化规律为 $e=E_m\sin\omega t$，如果将此发电机的转速提高一倍，线圈的匝数同时增加一倍，其他条件不变，则电动势的变化规律为（　　）

A. $e=2E_m\sin\omega t$

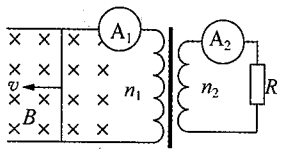
B. $e=4E_m\sin2\omega t$

C. $e=2E_m\sin2\omega t$

D. $e=4E_m\sin\omega t$

4. 如图所示，理想变压器原、副线圈的匝数比 $n_1:n_2=4:1$，当导体棒 L 在匀强磁

场中向左做匀速直线运动切割磁感线时，电流表 A_1 的示数是 12 mA，则电流表 A_2 的示数为（　　）



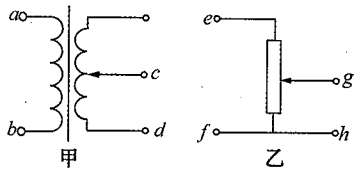
A. 3 mA

B. 0 mA

C. 48 mA

D. 与负载 R 的值有关

5. 如图所示甲、乙两电路中．当 a、b 两端与 e、f 两端分别加上 220 V 的交流电压时。测得 c、d 间与 g、h 间的电压均为 110 V。若分别在 c、d 两端与 g、h 两端加上 110 V 的交流电压。则 a、b 间与 e、f 间的电压分别为（　　）



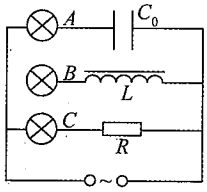
A. 220 V，220 V

B. 220 V，110 V

C. 110 V，110 V

D. 220 V，0

6. 如图所示，当交流电源的电压为 220 V，频率为 50 Hz 时，三只灯泡 A、B、C 的亮度相同，若将交流电源的频率改变为 100 Hz，则（　　）



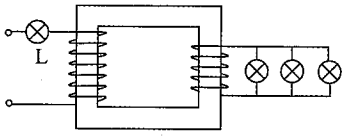
A. A 灯比原来亮

B. B 灯比原来亮

C. C 灯亮度不变

D. C 灯比原来暗

7. 如图所示，一理想变压器原线圈、副线圈匝数比为 3∶1，副线圈接三个相同的灯泡，均能正常发光，若在原线圈再串一相同的灯泡 L，则（电源有效值不变）（　　）



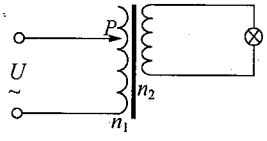
A. 灯 L 与三灯亮度相同

B. 灯 L 比三灯都暗

C. 灯 L 将会被烧坏

D. 无法判断其亮度情况

8. 如图所示，n_1 为理想变压器原线圈，其接入电路的匝数随着滑动接触点 P 的上下移动会增加或减少，当输入电压 U 稍有下降时，为了使接在副线圈 n_2 上的电灯电压保持不变，接电灯的导线无电阻，正确的调节方法是（　　）



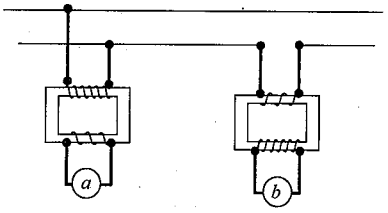
A. 使 P 稍向上滑动

B. 副线圈上改接电阻较大的电灯

C. 使 P 稍向下滑动

D. 副线圈上改接电阻较小的电灯

9. 如图所示为两个互感器，在图中圆圈内 a、b 表示电表，已知电压比为 100，电流比为 10，电压表的示数为 220 V，电流表的示数为 10 A，则（　　）



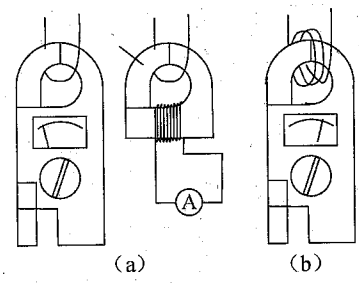
A. a 为电流表，b 为电压表

B. a 为电压表，b 为电流表

C. 路输送电功率是 2 200 W

D. 线路输送电功率是 2.2×10^6 W

10. 钳形电流表的外形和结构如图（a）所示，图（a）中电流表的读数为 1.2 A，图（b）中用同一电缆线绕了 3 匝，则（　　）



A. 这种电流表能测直流电流，图（b）的读数为 2.4 A

B. 这种电流表能测交流电流，图（b）的读数为 0.4 A

C. 这种电流表能测交流电流，图（b）的读数为 3.6 A

D. 这种电流表既能测直流电流，又能测交流电流，图（b）的读数为 3.6 A

11. 发电厂发电机的输出电压为 U_1，发电厂至学校的输电线电阻为 R，通过导线的电流为 I，学校输入电压为 U_2，下列 4 个计算输电线损耗的功率式子中，不正确的是（　　）

A. $\dfrac{U_1^2}{R}$　　B. $\dfrac{(U_1-U_2)^2}{R}$

C. I^2R　　D. $I(U_1-U_2)$

12. 关于麦克斯韦电磁场理论中的电磁场和电磁波，下列说法中正确的是（　　）

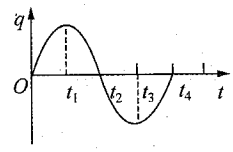
A. 均匀变化的电场一定产生均匀变化的磁场，周期性变化的电场一定产生同频率的周期性变化的磁场

B. 均匀变化的电场一定产生稳定的磁场，均匀变化的磁场一定产生稳定的电场

C. 电磁波的传播需要介质，并且电磁波能产生干涉和衍射现象

D. 电磁波是横波，电磁波中电场和磁场的方向处处相互垂直

13. 如图所示为 LC 振荡电路中电容器极板上的电量 q 随时间 t 变化的图线，由图可知（　　）



A. 在 t_1 时刻，电路中的磁场能最小

B. 从 t_1 到 t_2，电路中的电流值不断变小

C. 从 t_2 到 t_3，电容器不断充电

D. 在 t_4 时刻，电容器的电场能最小

14. 为了增大 LC 振荡电路的固有频率，下列办法中可采取的是（　　）

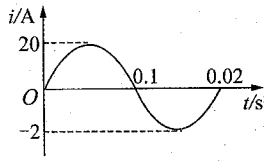
A. 增大电容器两极板的正对面积并在线圈中放入铁芯

B. 减小电容器两极板的距离并增加线圈的匝数

C. 减小电容器两极板的距离并在线圈中放入铁芯

D. 减小电容器两极板的正对面积并减少线圈的匝数

15. 一个正弦规律变化的交变电流的图像如图所示，根据图像计算：



（1）交变电流的频率。

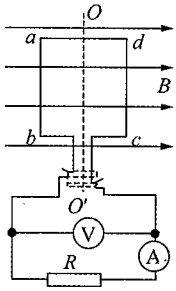
（2）交变电流的有效值。

（3）写出该电流的瞬时值表达式。

（4）在什么时刻该电流的大小与其有效值相等。

16. 如图所示，$abcd$ 为交流发电机的矩形线圈，其面积为 S，匝数为 n，线圈电阻为

r，外电阻为 R，线圈在磁感应强度为 B 的匀强磁场中绕垂直于磁场的转轴 OO' 匀速转动，角速度为 ω. 若图中的电压表，电流表均为理想交流电表，求：



（1）此交流发电机产生感应电动势的最大值 E_m。

（2）若从中性面计时，写出感应电流随时间变化的函数表达式。

（3）交流电压表和交流电流表的示数。

（4）此交流发电机的输出功率 $P_{出}$。

（5）线圈由图示位置转过 90°的过程中，通过导体横截面积的电荷量。

参考答案

1. AC　2. B　3. B　4. B　5. B　6. AC　7. A　8. C　9. BD　10. C　11. A　12. BD　13. ACD　14. D

15. 解：（1）$f=\frac{1}{T}=\frac{1}{0.02}$ Hz=50 Hz

（2）$I=\frac{I_m}{\sqrt{2}}=\frac{20}{\sqrt{2}}$ A=14.1 A

（3）$i=20\sin 100\pi t$ (A)

（4）$14.14=20\sin 100\pi t$，

$100\pi t=k\pi/2+\pi/4$ ($n=0, 1, 2, 3, \cdots$)，

$t=\frac{2k+1}{400}$ s ($n=0, 1, 2, 3, \cdots$)。

16.（1）在图示位置时，电动势有最大值，所以此发电机电动势最大值 $E_m=nBS\omega$。

（2）电动势的瞬时值 $e=E_m\sin\omega t=nBS\omega\sin\omega t$，

所以感应电流函数表达式为：$i=\frac{e}{R+r}=\frac{nBS\omega}{R+r}\sin\omega t$。

（3）电动势有效值 $E=\frac{E_m}{\sqrt{2}}$，

交流电流表的读数为电流的有效值 $I=\frac{E}{R+r}=\frac{\sqrt{2}}{2}\cdot\frac{nBS\omega}{(R+r)}$，

交流电压表的读数为 R 的电压的有效值 $U=\frac{R}{R+r}\cdot E=\frac{\sqrt{2}}{2}\cdot\frac{R}{R+r}nBS\omega$。

（4）发电机的输出功率 $P_{出}=IU=\frac{R}{2(R+r)^2}n^2B^2S^2\omega^2$。

（5）由法拉第电磁感应定律得：$\overline{E}=n\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$，

由闭合电路欧姆定律得：$\overline{I}=\frac{\overline{E}}{R+r}$，

电流的定义：$\overline{I}=\frac{q}{\Delta t}$，

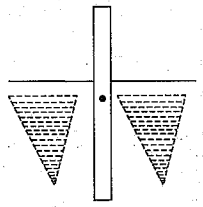
所以 $q=\overline{I}\cdot\Delta t=\frac{nBS}{R+r}$。

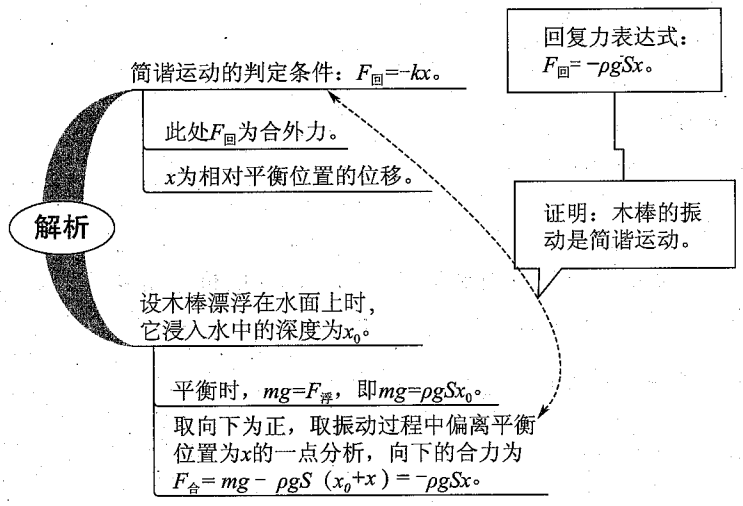
第十一章　机械振动与机械波

第一节　机械振动

解题指南

例 1　横截面积为 S，长度为 l 的均匀木棒漂浮在水面上，如图所示，现用手将棒略向下压一段后释放，木棒在竖直方向上下振动，设水的密度为 ρ，试证明木棒的振动是简谐运动，并写出木棒所受回复力的表达式。





◎【答案】回复力表达式为 $F_{回}=-\rho gSx$

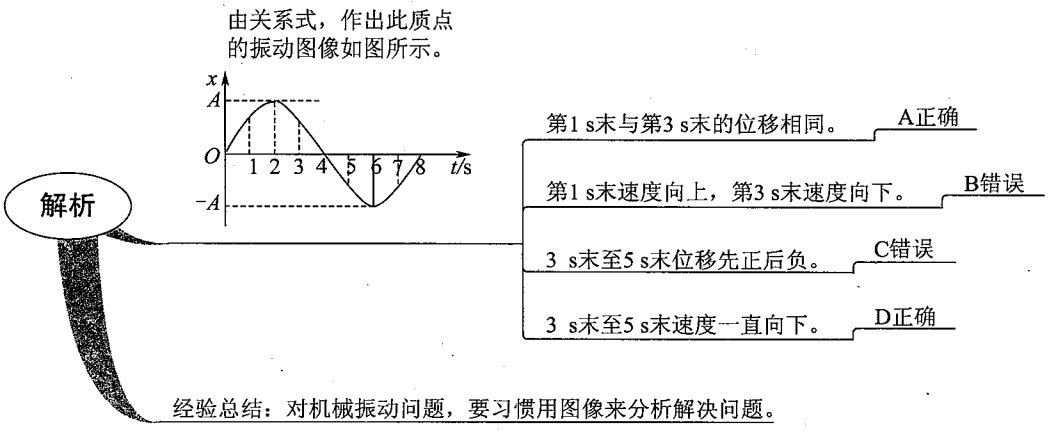
例 2　某质点做简谐运动，其位移随时间变化的关系式为 $x=A\sin\frac{\pi}{4}t$，则质点在（　　）

A. 第 1 s 末与第 3 s 末的位移相同

B. 第 1 s 末与第 3 s 末的速度相同

C. 3 s 末至 5 s 末的位移方向都相同

D. 3 s 末至 5 s 末的速度方向都相同

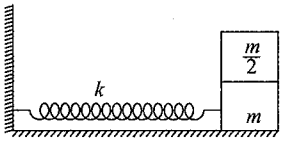


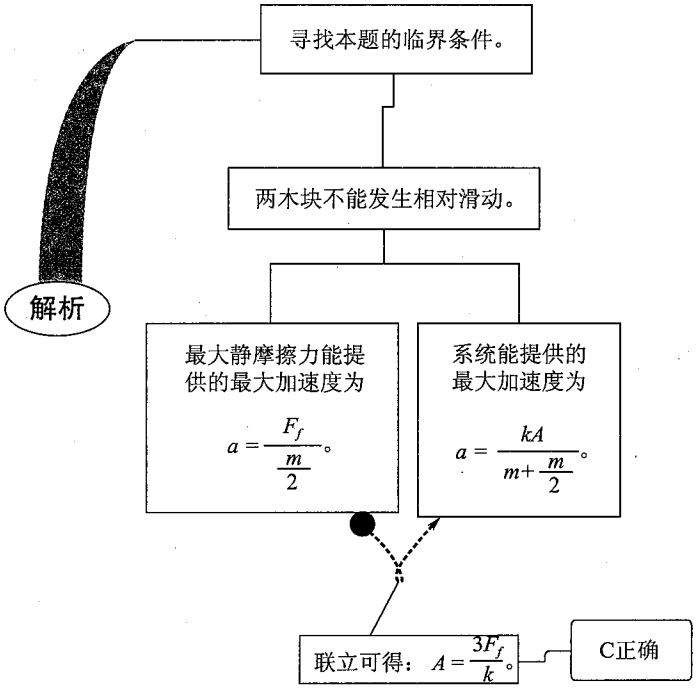
◎【答案】AD

例 3　光滑的水平面上叠放有质量分别为 m 和 $\frac{m}{2}$ 的两木块，下方木块与一劲度系数为 k 的弹簧相连，弹簧的另一端固定在墙上，如图所示，已知两木块之间的最大静摩擦力为 F_f，为使这两木块组成的系统像一个整体一样地振动，系统的最大振幅为（　　）

A. $\frac{F_f}{k}$　　B. $\frac{2F_f}{k}$

C. $\frac{3F_f}{k}$　　D. $\frac{4F_f}{k}$





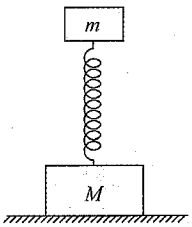
◎【答案】C

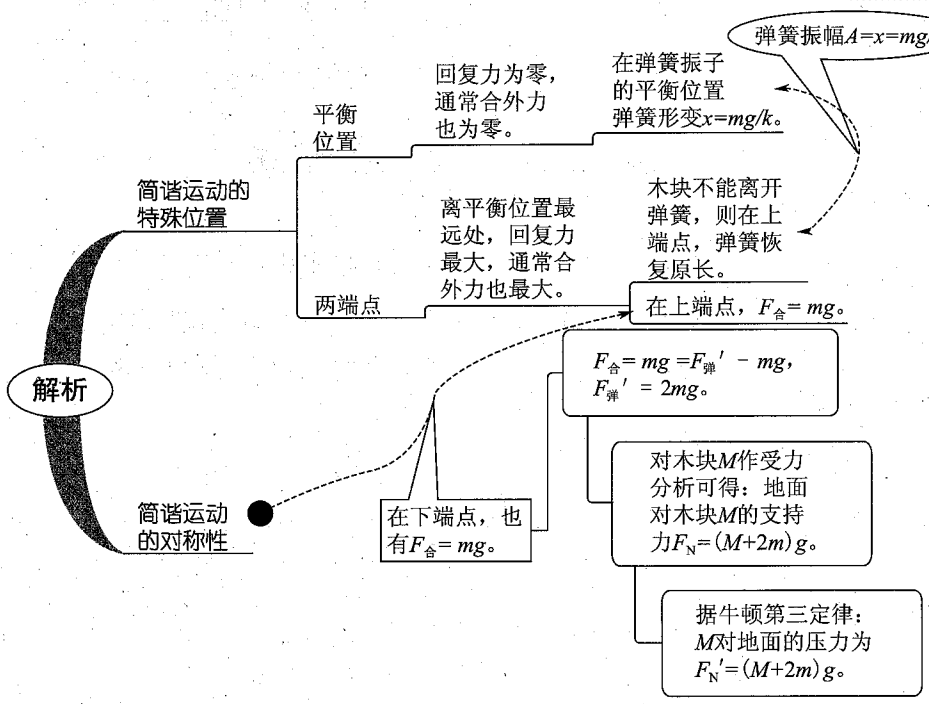
例 4　如图所示，两木块的质量分别为 m 和 M，中间弹簧的劲度系数为 k，弹簧下端

与 M 连接，m 与弹簧不连接，现将 m 下压一段距离释放，它就上下做简谐运动，振动过程中，m 始终没有离开弹簧，试求：

（1）m 振动的振幅的最大值。

（2）m 以最大振幅振动时，M 对地面的最大压力。





◎【答案】（1）mg/k　（2）$(M+2m)g$

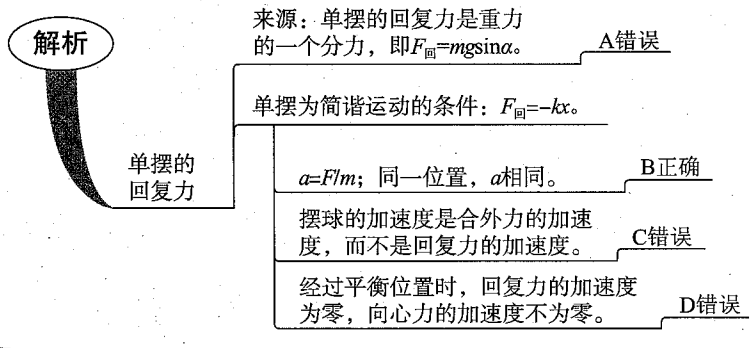
例 5　关于单摆，下列说法中正确的是（　　）

A. 摆球运动的回复力是摆线张力和重力的合力

B. 摆球在运动过程中经过轨迹上的同一点，加速度是相同的

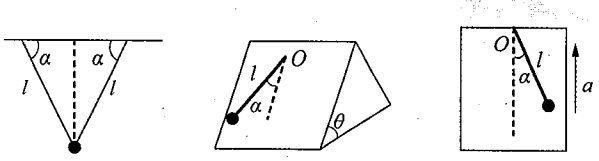
C. 摆球在运动过程中加速度的方向始终指向平衡位置

D. 摆球经过平衡位置时，加速度为零



◎【答案】B

例 6　试确定图中几种情况下摆球振动的周期：

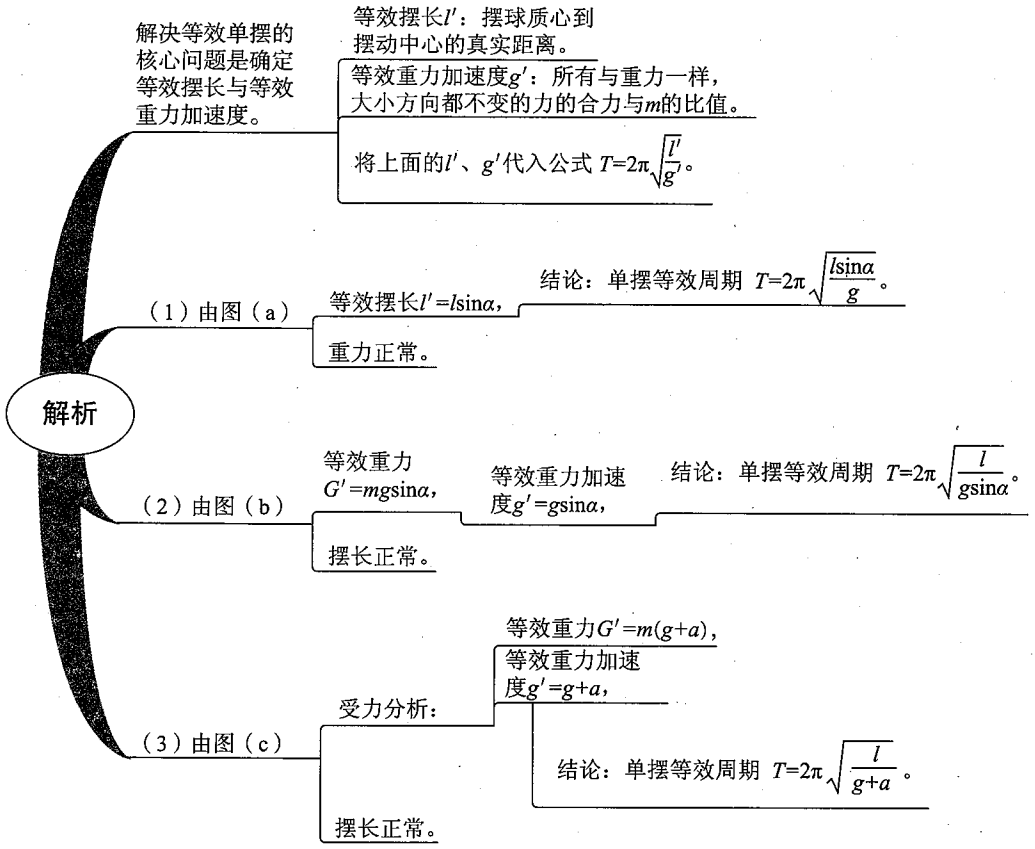


(a)　　(b)　　(c)

（1）如图（a）所示，双线摆的振动周期（已知 l 和 α）。

（2）如图（b）所示，将摆长为 l 的单摆放在倾角为 θ 的光滑斜面上的振动周期。

（3）如图（c）所示，将摆长为 l 的单摆悬在以加速度 a 匀加速上升的升降机中的振动周期。



◎【答案】（1）$T=2\pi\sqrt{\dfrac{l\sin\alpha}{g}}$　（2）$T=2\pi\sqrt{\dfrac{l}{g\sin\alpha}}$　（3）$T=2\pi\sqrt{\dfrac{l}{g+a}}$

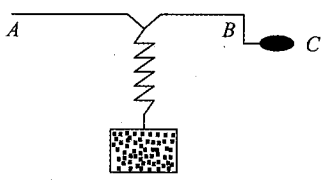
例 7　在图中所示的装置中，在曲轴 AB 上悬挂一个弹簧振子，若不转动把手 C，让其上下振动，周期为 T_1；若使把手 C 以周期 T_2（$T_2>T_1$）匀速转动，当运动都稳定后，则（　　）

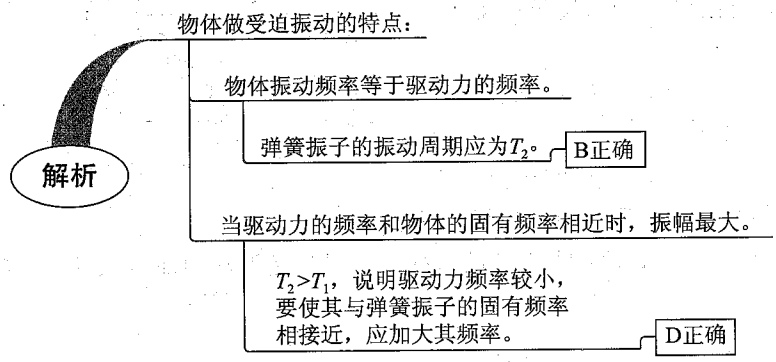
A. 弹簧振子的振动周期为 T_1

B. 弹簧振子的振动周期为 T_2

C. 要使弹簧振子的振幅增大，可让把手转速减小

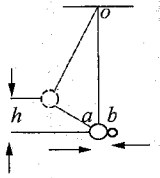
D. 要使弹簧振子的振幅增大，可让把手转速增大





◎【答案】BD

例 8 如图所示的单摆，摆球 a 向右摆动到最低点时，恰好与一沿水平方向向左运动的黏性小球 b 发生碰撞，并粘在一起，且摆动平面不变。已知碰撞前 a 球摆动的最高点与最低点的高度差为 h，摆动的周期为 T，a 球质量是 b 球质量的 5 倍，碰撞前 a 球在最低点的速度是 b 球速度的一半，则碰撞后（　　）

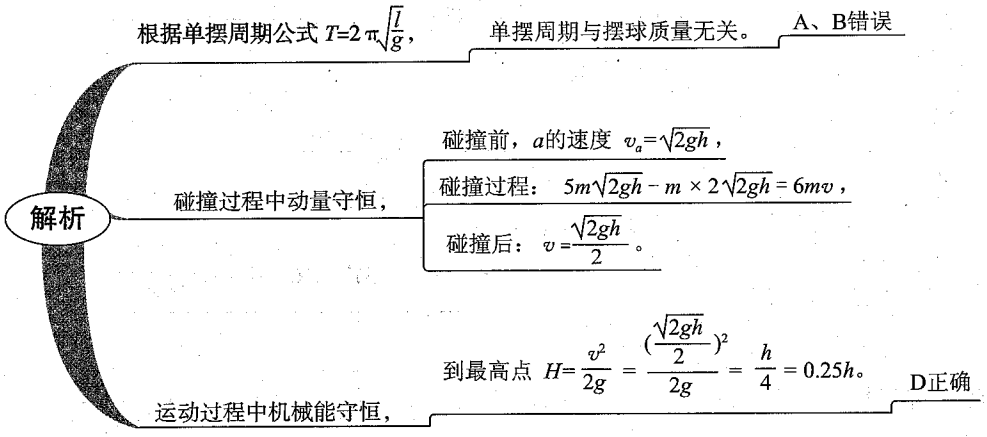


A. 摆动的周期为 $\sqrt{\frac{5}{6}}T$

B. 摆动的周期为 $\sqrt{\frac{6}{5}}T$

C. 摆球最高点与最低点的高度差为 0.3 h

D. 摆球最高点与最低点的高度差为 0.25 h



◎【答案】D

同步检测

1. 弹簧振子每次通过平衡位置时（　　）

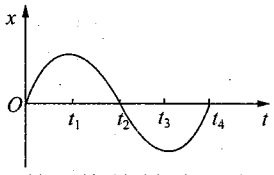
A. 位移为零，动能为零

B. 动能最大，势能最小

C. 速度最大，振动加速度为零

D. 速度最大，振动加速度不一定为零

2. 一单摆做小角度摆动，其振动图像如图所示，以下说法中正确的是（　　）



A. t_1 时刻摆球速度最大，悬线对它的拉力最小

B. t_2 时刻摆球速度为零，悬线对它的拉力最小

C. t_3 时刻摆球速度为零，悬线对它的拉力最大

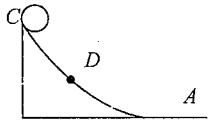
D. t_4 时刻摆球速度最大，悬线对它的拉力最大

3. 在飞机的发展史中有一个阶段，飞机上天后不久，飞机的机翼很快就抖动起来，而且越抖越厉害，后来人们经过了艰苦的探索，利用在飞机机翼前缘处装置一个配重杆的方法，解决了这一问题，在飞机机翼前装置配重杆的主要目的是（　　）

A. 加大飞机的惯性　　B. 使机体更加平衡

C. 使机翼更加牢固　　D. 改变机翼的固有频率

4. 如图所示，AC 为一段很短的光滑圆弧轨道，轨道半径为 R，D 为 AC 上的一点。现将同一小球先后从 C、D 两点由静止释放，到达 A 点的速度分别为 v_1、v_2，所用时间为 t_1、t_2，则　（　　）



A. $v_1>v_2$，$t_1>t_2$　　B. $v_1=v_2$，$t_1=t_2$

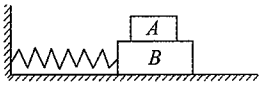
C. $v_1>v_2$，$t_1=t_2$　　D. $v_1>v_2$，$t_1<t_2$

5. 若单摆的摆长不变，摆球的质量增加为原来的 4 倍，摆球经过平衡位置时的速度减为原来的 1/2，则单摆振动的（　　）

A. 频率不变，振幅不变　　B. 频率改变，振幅变大

C. 频率改变，振幅不变　　D. 频率不变，振幅变小

6. 如图所示两木块 A 和 B 叠放在光滑水平面上，质量分别为 m 和 M，A 与 B 之间的最大静摩擦力为 f_m，B 与劲度系数为 k 的轻质弹簧连接构成弹簧振子，为使 A 和 B 在振动过程中不发生相对滑动，则　（　　）



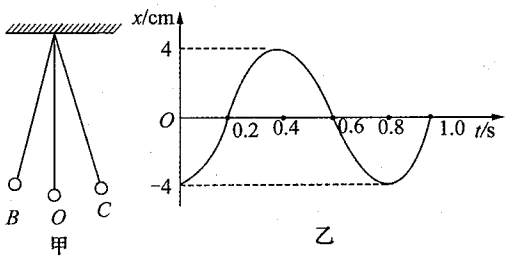
A. 它们的振幅不能大于 $\dfrac{M+m}{kM}f_m$

B. 它们的振幅不能大于 $\dfrac{M+m}{km}f_m$

C. 它们的最大加速度不能大于 $\dfrac{f_m}{M}$

D. 它们的最大加速度不能大于 $\dfrac{f_m}{m}$

7. 如图甲所示是一个单摆振动的情形，O 是它的平衡位置，B、C 是摆球所能到达的最远位置，设摆球向右方向运动为正方向，如图乙所示是这个单摆的振动图像，根据图像回答：

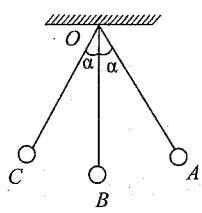


(1) 单摆振动的频率是多大?

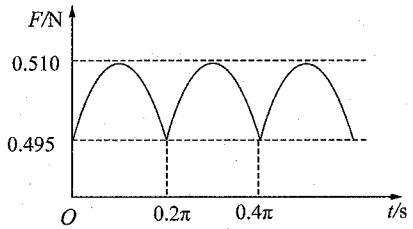
(2) 开始时刻摆球在何位置?

(3) 若当地的重力加速度为 9.86 m/s^2，试求这个摆的摆长是多少?

8. 将一测力传感器连接到计算机上就可以测量快速变化的力。图甲中 O 点为单摆的固定悬点，将传感器接在摆球与 O 点之间，现将小摆球（可视为质点）拉到 A 点，此时细线处于张紧状态，释放摆球，则摆球将在竖直面内的 A、B、C 之间来回摆动，其中 B 点为运动中的最低位置，$\angle AOB=\angle COB=\alpha$，$\alpha<10°$且是未知量。图乙表示由计算得到的细线对摆球的拉力大小 F 随时间 t 变化的曲线，且图中 $t=0$ 时刻为摆球从 A 点开始运动的时刻。试根据力学规律和题中（包括图中）所给的信息求：(g 取 10 m/s^2)



甲



乙

(1) 单摆的振动周期和摆长。

(2) 摆球的质量。

(3) 摆球运动过程中的最大速度。

参考答案

1. BC　2. D　3. D　4. C　5. D　6. BD

7. (1) 1.25 Hz　(2) B 点　(3) 0.16 m

8. (1) 0.4 π s　0.4 m　(2) 0.05 kg　(3) 0.283 m/s

第二节　机械波

解题指南

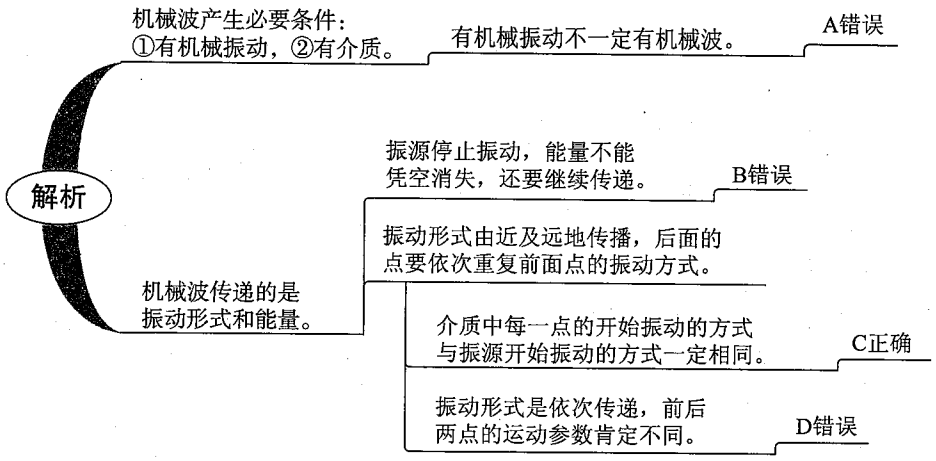
例 1　下列说法中正确的有（　　）

A. 有机械振动就一定有机械波

B. 机械波的波源停止振动时，介质中所有质点也立即停止振动

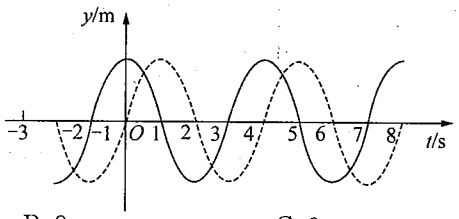
C. 机械波中，每个介质质点开始振动时的速度的方向都与波源开始振动时的速度的方向相同

D. 机械波在介质中传播过程的任意时刻每个介质质点的振动速率都跟波源的振动速率相同

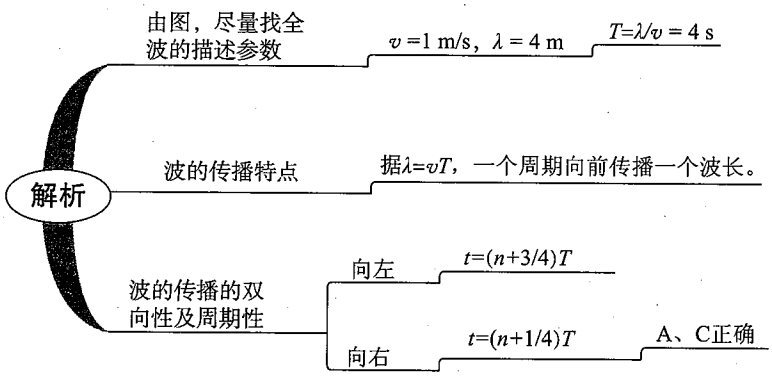


◎【答案】C

例 2　一列机械波在某一时刻的波形如实线所示，经过 Δt 时间的波形如虚线所示。已知波的传播速率为 1 m/s，则下列四个数据中 Δt 的可能值为(　　)



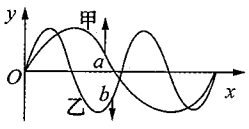
A. 1 s　　B. 8 s　　C. 9 s　　D. 20 s

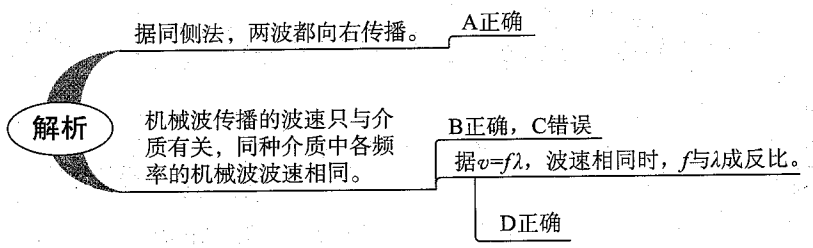


◎【答案】AC

例 3　如图所示，为在同一介质中传播的两列简谐波甲、乙在某时刻的图像。已知此时甲波图像上质点 a 振动方向上，乙波的质点 b 振动方向向下，则错误的是(　　)

A. 两列波传播方向相同
B. 两列波传播速度相同
C. 甲波波速是乙波波速的 2 倍
D. 乙波频率是甲波频率的 2 倍





◎【答案】ABD

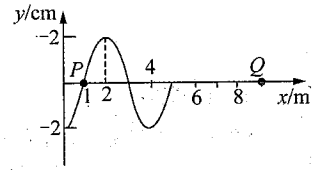
例 4 一列简谐横波沿 x 轴正方向传播，在 $t=0$ 的波形如图所示。已知这列波在 P 点处依次出现两个波峰的时间间隔为 0.4 s。以下说法中正确的是(　　)

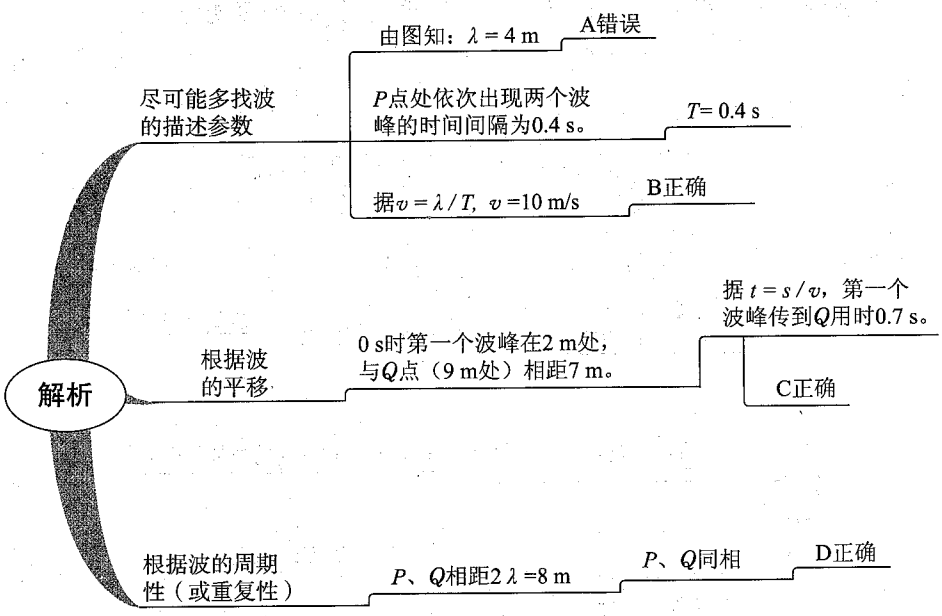
A. 这列波的波长是 5 m

B. 这列波的波速是 10 m/s

C. 质点 Q 需要再经过 0.7 s，才能第一次到达波峰处

D. 质点 Q 达到波峰时，质点 P 也恰好到达波峰处





◎【答案】BCD

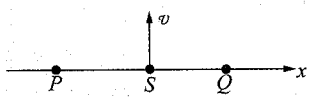
例 5 如图所示，振源 S 在垂直于 x 轴的方向振动，并形成沿 x 轴正、负方向传播的横波，波的频率为 50 Hz，波速为 20 m/s，x 轴上有 P、Q 两点，$SP=2.9$ m，$SQ=2.7$ m，经过足够长的时间以后，当质点 S 正通过平衡位置向上振动时(　　)

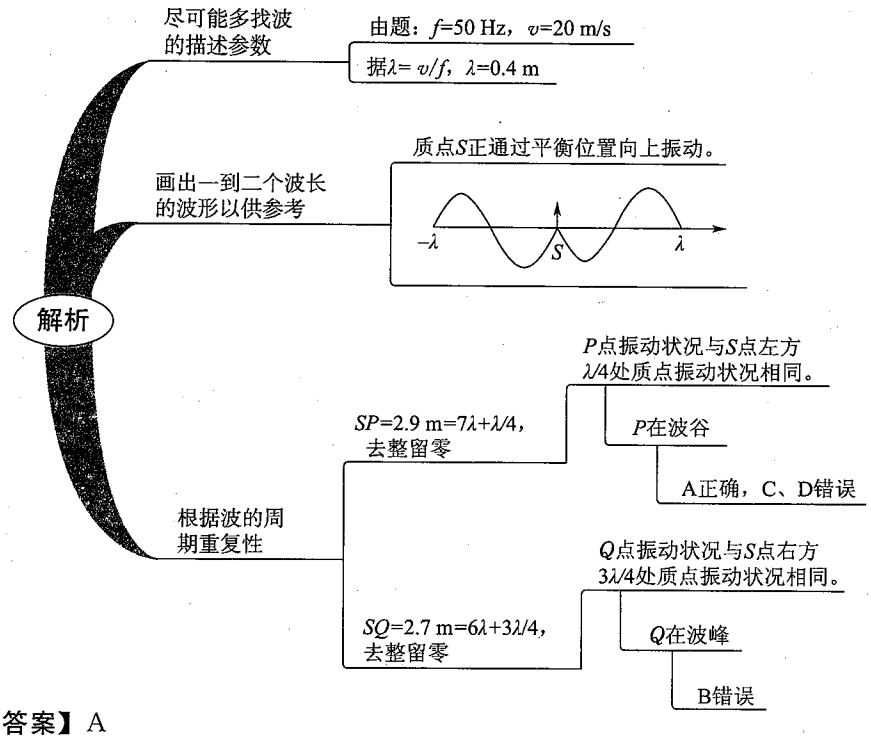
A. 质点 P 正处于波谷

B. 质点 Q 正处于波谷

C. 质点 P、Q 都处于波峰

D. 质点 P、Q 都处于平衡位置





◎【答案】A

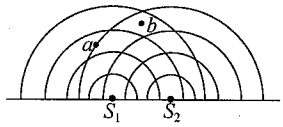
例 6　如图所示，实线表示两个相干波源 S_1、S_2 发出的波的波峰位置，则下列说法中正确的是（　　）

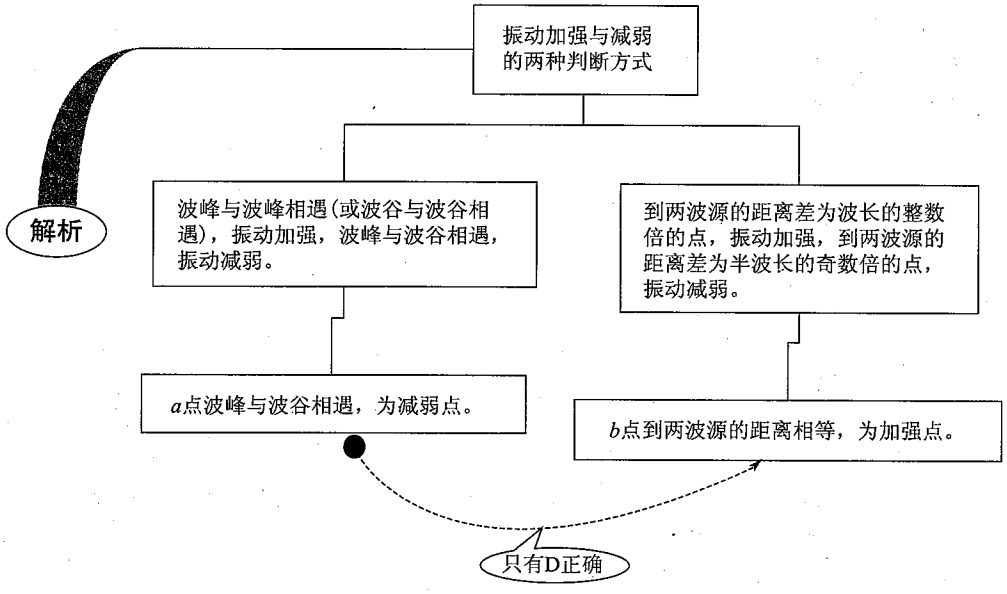
A. 图中 a、b 点均为振动加强点

B. 图中 a、b 点均为振动减弱点

C. 图中 a 为振动加强点，b 为振动减弱点

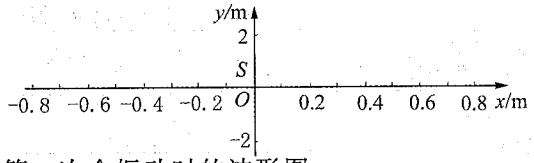
D. 图中 a 为振动减弱点，b 为振动加强点





◎【答案】D

例 7 如图所示，在坐标原点 O 处有一质点 S，它沿 y 轴做频率为 10 Hz、振幅为 2 cm的简谐运动，形成的波沿 x 轴传播，波速为 4 m/s，当 $t=0$ 时，S 从原点开始沿 y 轴负方向运动。

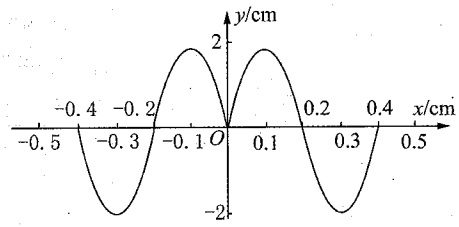


(1) 画出当 S 完成第一次全振动时的波形图。

(2) 经过多长时间 $x=1$ m 处的质点第一次出现波峰？

【解析】(1) 波长 $\lambda=\frac{v}{f}=0.4$ m，S 完成一次全振动波沿 x 轴正、负方向传播一个波长，且此时 S 回到平衡位置沿 y 轴负方向振动，由特殊点可画出此时的波形图。

图像如图所示。



(2) 设 S 点的振动经 t_1 传播到 $x=1$ m 处，$t_1=\frac{x}{v}=0.25$ s。

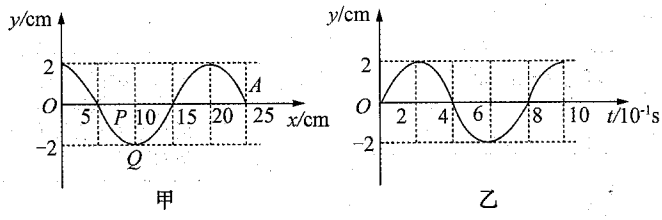
振动传到该质点后又经过 $\frac{3}{4}$ 周期该质点才振动到波峰，

$t_2=\frac{3}{4}T=\frac{3}{4f}=0.075$ s。

所以 $x=1$ m 处的质点第一次出现波峰的时间 $t=t_1+t_2=0.325$ s。

◎【答案】 (1) 见解析 (2) 0.325 s

例 8 一列简谐横波，某时刻的波形图像如图甲所示，从该时刻开始计时，波上 A 质点的振动图像如图乙所示。求：



(1) 若此波遇到另一列简谐横波并发生稳定干涉现象，则该波所遇到的波的频率为多少？

(2) 若该波能发生明显的衍射现象，则该波所遇到的障碍物尺寸应满足什么条件？

(3) 从该时刻起，再经过 $\Delta t=0.4$ s，P 质点通过的路程和波传播的距离分别为多少？

(4) 若 $t=0$ 时振动刚传到 A 点，从该时刻起再经多长时间甲图中坐标为 45 m 的质点（未画出）第二次位于波峰？

解析 (1) 由振动图像可以看出，此波的周期为 0.8 s，所以频率为 1.25 Hz。因为发

生稳定干涉的条件是两列波的频率相等，所以另一列波的频率为 1.25 Hz。

（2）由波动图像可以看出，此波的波长为 20 m，当障碍物的尺寸小于或等于 20 m 时能够发生明显的衍射现象。

（3）$\Delta t=0.4\ \text{s}=\frac{T}{2}$，质点 P 通过的路程为 $2\times2\ \text{cm}=4\ \text{cm}$，

在 $\frac{T}{2}$ 内波传播的距离为 $\frac{\lambda}{2}=10\ \text{m}$。

（4）由 A 点 $t=0$ 时刻向上振动知，波沿 x 轴正方向传播，波速 $v=\frac{\lambda}{T}=25\ \text{m/s}$。

$x=45$ m处的质点第一次到达波峰的时间 $t_1=\frac{45-20}{25}\ \text{s}=1\ \text{s}$。

此质点第二次位于波峰的时间 $t=t_1+T=1.8\ \text{s}$。

◎【答案】　(1) 1.25 Hz　(2) 小于或等于 20 m　(3) 4 cm　10 m　(4) 1.8 s

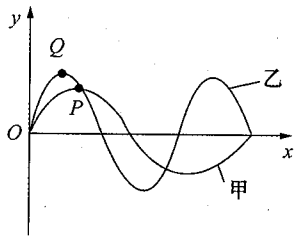
同步检测

1. 2009 年 3 月 1 日下午 4 时 13 分 10 秒，“嫦娥”一号卫星在北京航天飞行控制中心科技人员的精确控制下，准确落于预定撞击点。撞月时可产生的现象有（　　）

A. 碰撞会产生大火球　　B. 四处飞溅的碎片

C. 腾空而起的蘑菇云　　D. 可听到爆炸声

2. 如图所示为某时刻从 O 点同时发出的两列简谐横波在同一介质中沿相同方向传播的波形图，P 点在甲波最大位移处，Q 点在乙波最大位移处，下列说法中正确的是（　　）



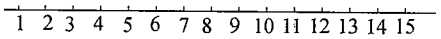
A. 两列波传播相同距离时，乙波所用的时间比甲波的短

B. P 点比 Q 点先回到平衡位置

C. 在 P 质点完成 20 次全振动的时间内 Q 质点可完成 30 次全振动

D. 甲波和乙波在空间相遇处会产生稳定的干涉图样

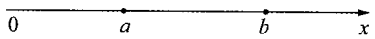
3. 水平放置的弹性长绳上有一系列均匀分布的质点 1，2，3，…，先使质点 1 沿着竖直方向做简谐运动，振动将沿绳向右传播，从质点 1 经过平衡位置向上运动的时刻开始计时，当振动传播到质点 13 时，质点 1 恰好完成一次全振动。此时质点 10 的加速度（　　）



A. 为零　　B. 为最大值

C. 方向竖直向上　　D. 方向竖直向下

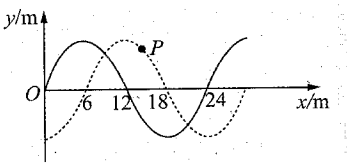
4. 如图所示，一简谐横波在 x 轴上传播，轴上 a、b 两点相距 12 m。$t=0$ 时 a 点为波峰，b 点为波谷，$t=0.5$ s 时 a 点为波谷，b 点为波峰，则下列判断中正确的是（　　）



A. 波一定沿 x 轴正方向传播　　B. 波长可能是 8 m

C. 周期可能是 0.5 s　　D. 波速可能是 24 m/s

5. 一列沿 x 轴正方向传播的简谐横波，$t=0$ 时刻的波形如图中实线所示，$t=0.2$ s 时刻的波形如图中的虚线所示，则（　　）



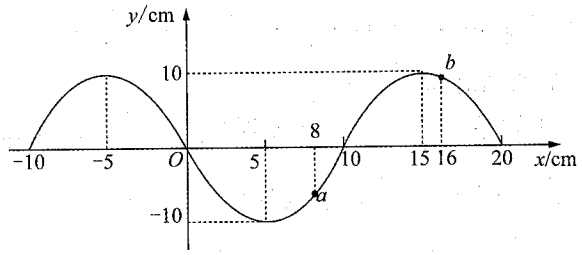
A. 质点 P 的运动方向向右

B. 波的周期可能为 0.27 s

C. 波的频率可能为 1.25 Hz

D. 波的传播速度可能为 20 m/s

6. 一列简谐横波沿 x 轴负方向传播，周期为 0.2 s，某时刻波形如图所示，介质中质点 a、b 的平衡位置距原点 O 的距离分别是 8 cm 和 16 cm，则该时刻有（　　）



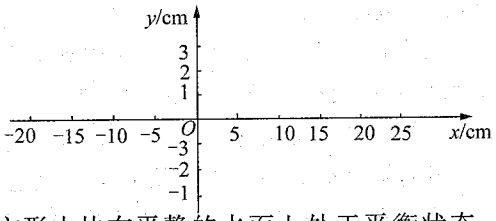
A. a 质点正在沿 y 轴的正方向运动

B. b 质点的加速度方向沿 y 轴的正方向

C. 该波的波速为 1 m/s，故经 $t=0.08$ s，b 质点将向 x 轴负方向运动 0.08 m 的距离

D. 从该时刻起，第一次质点 a 的运动状态与该时刻质点 b 的运动状态相同时，所经历的时间为 $t=0.08$ s

7. 一列振幅是 2.0 cm，频率是 4.0 Hz 的简谐横波，以 32 cm/s 的速度沿 x 轴的正方向传播。在某时刻，x 轴坐标为 -7.0 cm 处的质点正好经平衡位置向 y 轴正方向运动，画出此时刻的波形图。

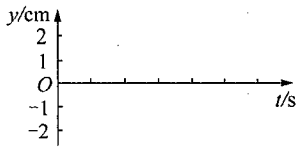


8. 质量为 m 的均匀方形木块在平静的水面上处于平衡状态，用力 F 向下压木块使之向下移动距离 d，然后松开后，不计水的黏滞作用，木块做简谐运动。

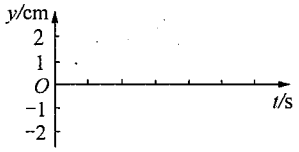
（1）当木块正好经过平衡位置向下运动时，某同学开始观察木块的振动过程，该同学发现经过 0.5 s 后木块第一次回到平衡位置。已知 $d=2$ cm，取竖直向上为正方向，请将该同学观察到的木块振动过程用振动图像描述出来（在图甲中画出），另一位同学在该同学观察 3.5 s 后开始计时，请在图乙中画出后一位同学观察的振动图像。

（2）如果由于该木块的振动，在水面形成机械波，3.5 s 内传播了 3.5 m，则该波的波长是多少？

（3）画出该同学在 3.5 s 时观察到的某一方向的波形图。（至少画一个波长）



甲

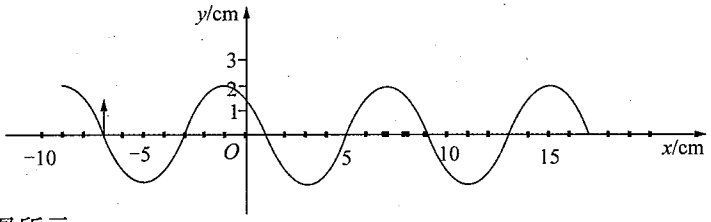


乙

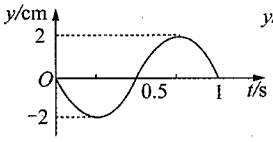
参考答案

1. ABC　2. C　3. BD　4. BD　5. C　6. AD

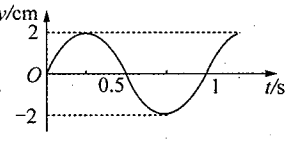
7. $\lambda=\frac{v}{f}=\frac{32}{4}$ cm=8 cm，波形图如图所示。



8. （1）如图所示。



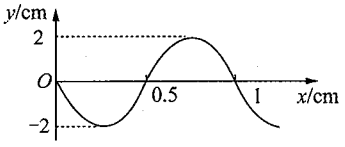
甲



乙

（2）1 m

（3）如图所示。



本章知识检测题

1. 单摆振动的回复力是（　　）

A. 摆球所受的重力

B. 摆球重力在垂直悬线方向上的分力

C. 悬线对摆球的拉力

D. 摆球所受重力和悬线对摆球拉力的合力

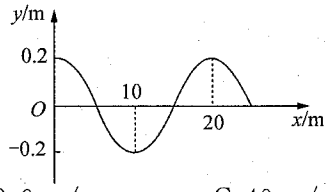
2. 一个做简谐运动的质点，它的振幅是 4 cm，频率是 2.5 Hz。该质点从平衡位置开始经过 0.5 s 后，位移的大小和所通过的路程分别为（　　）.

A. 4 cm，10 cm　　B. 4 cm，20 cm

C. 0，24c m　　D. 100 cm，100 cm

3. 图为一列简谐横波在介质中传播的波形图。在传播过程中，某一质点在 10 s 内运

动的路程是 16 m，则此波的波速是（　　）



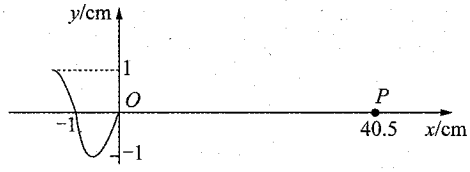
A. 1.6 m/s　　B. 2.0 m/s　　C. 40 m/s　　D. 20 m/s

4. 若单摆的质量不变，摆球的摆长增加为原来的 4 倍，摆球经过平衡位置时的速度减为原来的 1/2，则单摆振动的（　　）

A. 频率不变，振幅不变　　B. 频率增加，振幅变大

C. 频率减小，振幅变小　　D. 频率不变，振幅变小

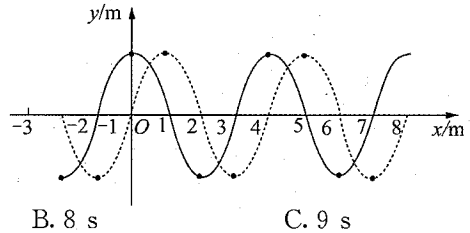
5. 一列横波沿 x 轴传播，到达坐标原点时的波形如图所示。当此波到达 P 点时，处于 O 点处的质点所通过的路程和该时刻的位移是（　　）



A. 40.5 cm，1 cm　　B. 40.5 cm，−1 cm

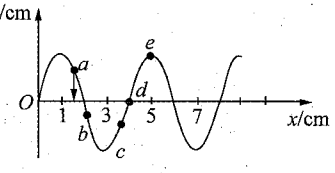
C. 81 cm，1 cm　　D. 81 cm，−1 cm

6. 一列机械波在某一时刻的波形如图中实线所示，经过 Δt 时间的波形如图中虚线所示。已知波的传播速率为 1 m/s，则下列四个数据中 Δt 的可能值为（　　）



A. 1 s　　B. 8 s　　C. 9 s　　D. 20 s

7. 如图所示为简谐横波在某一时刻的波形图线。已知波的传播速度为 2 m/s，质点 a 的运动方向如图所示。则下列说法中正确的是（　　）



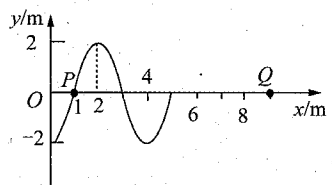
A. 波沿 x 的负方向传播

B. 质点 d 再经过 0.5 s 第一次到达波峰

C. 此刻之后，质点 b 比质点 c 先回到平衡位置

D. 该时刻质点 e 运动的加速度为零

8. 一列简谐横波沿 x 轴正方向传播在 $t=0$ 的波形如图所示。已知这列波在 P 点处依次出现两个波峰的时间间隔为 0.4 s。以下说法中正确的是(　　)



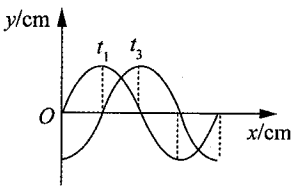
A. 这列波的波长是 5 m

B. 这列波的波速是 10 m/s

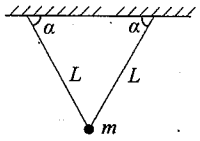
C. 质点 Q 需要再经过 0.7 s，才能第一次到达波峰处

D. 质点 Q 达到波峰时，质点 P 也恰好到达波峰处

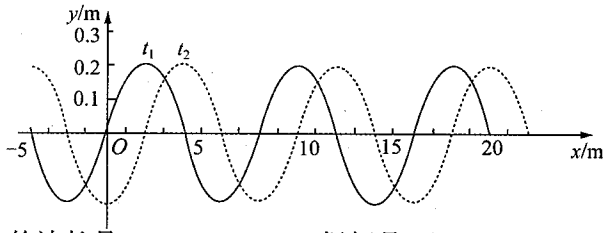
9. 在 x 轴上传播的简谐波在 $t_1=0$ 和 $t_2=2$ s 时的波形图如图所示。若已知波的传播方向是 $-x$ 方向。周期 $T>2$ s，则此波的周期 $T=$_____s；若波沿 x 轴正方向传播，周期 $T>2$ s，则 $T=$_____s。



10. 图中的双线摆，绳的质量可以不计，当摆球垂直线面做简谐运动时，其周期为_____s。



11. 一列横波在 x 轴线上传播着，在 $t_1=0$ 和 $t_2=0.005$ s 时的波形曲线如图所示。



(1) 读出简谐波的波长是_____m，振幅是_____m。

(2) 设周期大于 (t_2-t_1)。如果波向右传播，波速多大？如果波向左传播，波速又是多大？

(3) 设周期小于 (t_2-t_1)，且波速为 6 000 m/s，求波的传播方向。

参考答案

1. B　2. B　3. C　4. C　5. D　6. AC　7. AB　8. BCD

9. 8/3　8

10. $2\pi\sqrt{\dfrac{L\sin\alpha}{g}}$

11. (1) 8　0.2

(2) $v_{右}=\dfrac{\frac{\lambda}{4}}{\Delta t}=\dfrac{2}{0.005}$ m/s=400 m/s，

$v_{左}=\dfrac{\frac{3}{4}\lambda}{\Delta t}=\dfrac{6}{0.005}$ m/s=1 200 m/s。

(3) $\Delta s=v\cdot\Delta t=6\ 000\ \text{m/s}\times0.005\ \text{s}=30\ \text{m}=3\times8\ \text{m}+6\ \text{m}=3\lambda+\dfrac{3}{4}\lambda$，故知波向左传播。

第十二章 光 学

第一节 光的传播

解题指南

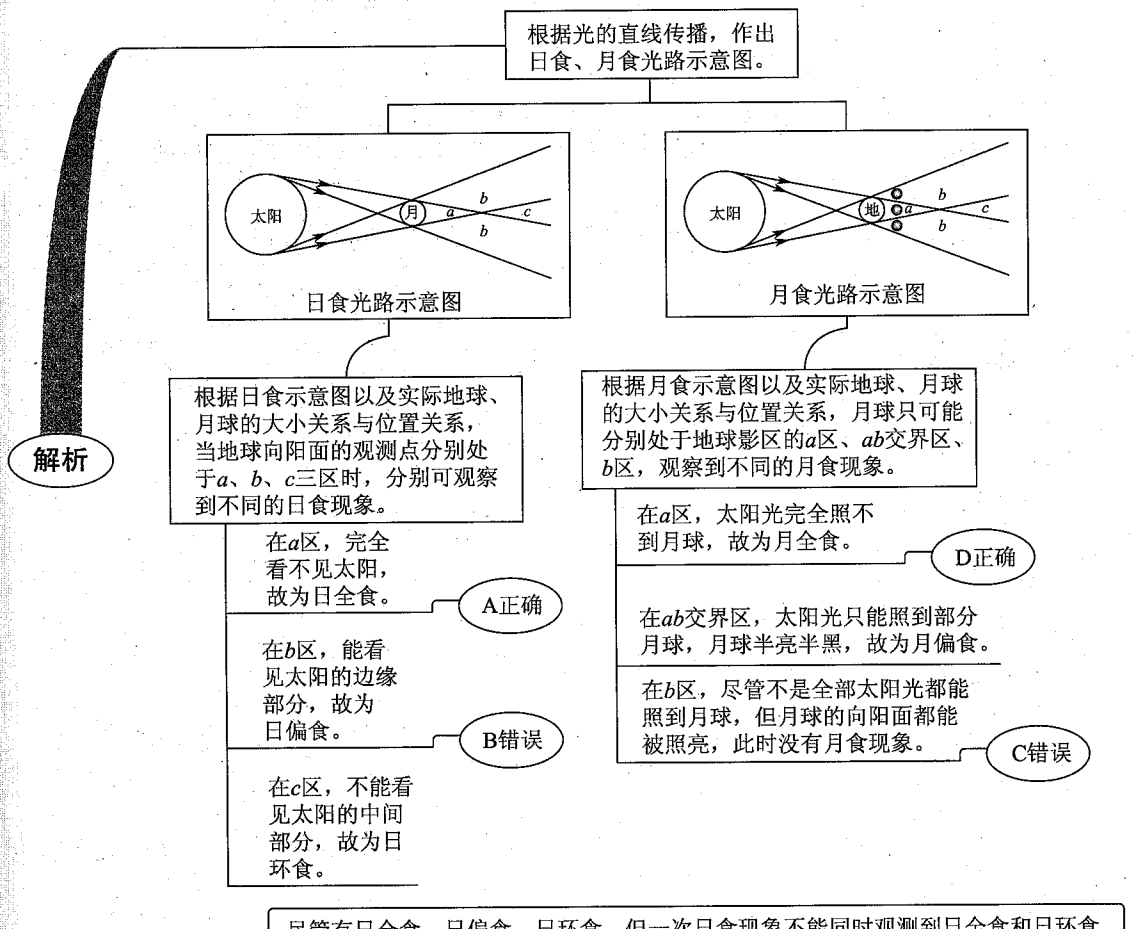
例1 关于日食和月食，以下说法中正确的是（ ）

A. 在月球的本影区内能看到日全食

B. 在月球的半影区内能看到日全食

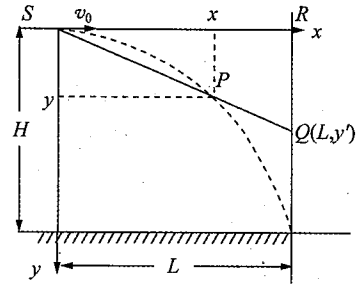
C. 在月球进入地球的半影区时，可看到月偏食

D. 在月球全部进到地球的本影区时，可看到月全食



◎【答案】AD

例 2　如图所示，在离地高为 H 处有固定的点光源 S，在距 S 水平距离为 L 处有一竖直光屏，现有一小球从 S 处以水平速度 v_0 正对光屏抛出，恰好落在屏地的交界处，则小球在平抛过程中在屏上的影子的运动情况是(　　)



A. 自由落体运动　　B. 匀速直线运动

C. 变加速直线运动　　D. 曲线运动

◇【解析】小球从 S 点平抛，经时间 t 到达 P 点，设 P 的坐标为 (x, y)，而其影子由屏上 R 点到达 Q 点，Q 点坐标为 (L, y')，则 $x=v_0t$，$y=\frac{1}{2}gt^2$，

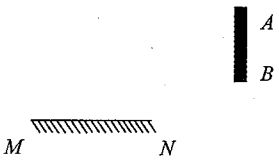
由几何关系得 $\frac{y'}{y}=\frac{L}{x}$，

所以 $y'=\frac{Lgt}{2v_0}$。

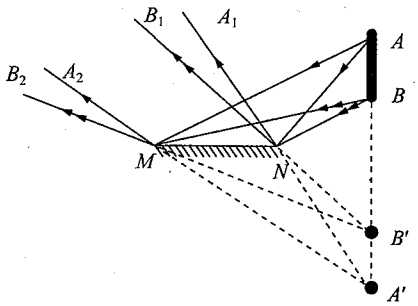
可见小球的影子从 R 开始运动，其位移与时间 t 成正比，是匀速直线运动。

◎【答案】B

例 3　如图所示，MN 为水平放置的平面镜，AB 为竖直放置的刻度尺，试用作图法画出人的眼睛能看到刻度尺上 AB 部分在镜中成像的区域。



◇【解析】根据平面镜成像特点，作出刻度尺 AB 部分在平面镜中的虚像 $A'B'$，过 A 点作两条射到平面镜 MN 边缘上的光线 AM 和 AN，经反射后的光线分别为 MA_2 和 NA_1，则在 MA_2 和 NA_1 所夹的区域内可看到 A 点的虚像 A'。同理可得 MB_2 和 NB_1 为看到 B 点的虚像 B' 的区域，则两个的公共部分 A_2MNB_1 内能看到刻度尺上 AB 部分在镜中的像，如图所示。

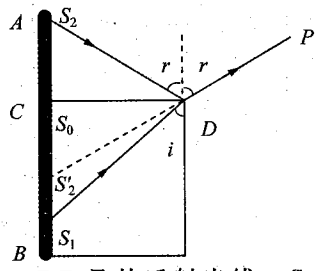


◎【答案】见上图

【点评】物点经平面镜所成的像是物点投射到平面镜上的所有光线经平面镜反射后反向延长线的相交点。物体经平面镜所成的虚像只能用眼通过平面镜观察，通过平面镜看虚像的情况就像通过与平面镜等大的“窗口”看窗外物体一样，具体观察范围由像点和平面镜的边缘连线所限定。

一般采用的方法是：先利用特殊光线作出物体的虚像，再作出物体的每个端点发出的射向镜边缘的光线，此边界光线所界定的范围即为视场。

例 4 在广口瓶内盛满水，照图那样把直尺 AB 紧挨着广口瓶的 C 点竖直插入瓶内，这时在直尺对面的 P 点观察水面，能同时看到直尺在水中的部分和露出水面部分的像。若看到的直尺水下部分最低点的刻度 S_1 的像和水上部分的刻度 S_2 的像相重合，即图中的S'_2。已知：S_1 的位置坐标为 4 cm，S_0 的位置坐标为 20 cm，S_2 的位置坐标为 29 cm，广口瓶直径 d 为 12 cm，根据以上数据，求出水的折射率。



◇【解析】S_2D 是入射光线，DP 是其反射光线，S_1D 是入射光线，DP 是其折射光线，所以水的折射率为：

$$n=\frac{\sin i}{\sin r}=\frac{\dfrac{d}{\sqrt{d^2+(S_0S'_2)^2}}}{\dfrac{d}{\sqrt{d^2+(S_1S_0)^2}}}$$

$$=\frac{\sqrt{d^2+(S_1S_0)^2}}{\sqrt{d^2+(S_0S'_2)}}=\frac{4}{3}。$$

◎【答案】$\frac{4}{3}$

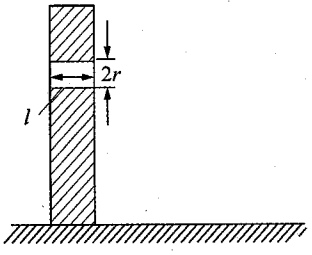
例 5 为了观察门外情况，有人在门上开一小圆孔，将一块圆柱形玻璃嵌入其中，圆柱体轴线与门面垂直，如图所示。从圆柱底面中心看出去，可以看到的门外入射光线与轴线间的最大夹角，称做视场角。已知该玻璃的折射率为 n，圆柱长为 l，底面半径为 r，则视场角是(　　)

A. $\arcsin\dfrac{nl}{\sqrt{r^2+l^2}}$

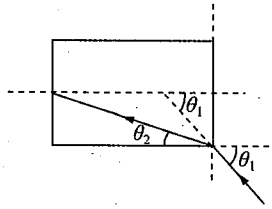
B. $\arcsin\dfrac{nr}{\sqrt{r^2+l^2}}$

C. $\arcsin\dfrac{r}{n\sqrt{r^2+l^2}}$

D. $\arcsin\dfrac{l}{n\sqrt{r^2+l^2}}$



◇【解析】光路如图所示。由折射定律知：$\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2}=n$，

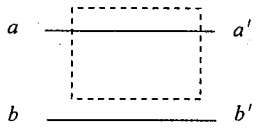


所以 $\sin\theta_1=n\sin\theta_2=n\cdot r/\sqrt{r^2+l^2}$，

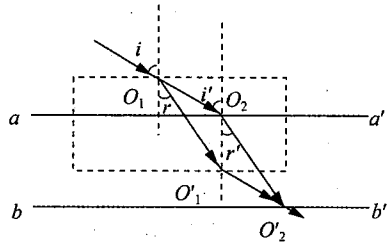
即 $\theta_1=\arcsin\frac{nr}{\sqrt{l^2+r^2}}$。

◎【答案】B

例 6　如图所示，在测定玻璃折射率的实验中，已画好表示玻璃界面的两直线 aa' 和 bb' 后，不觉误将玻璃砖向上平移至图中虚线所示的位置，若其他操作正确，则测得的折射率_____（选填“变大”、“变小”或“不变”）。

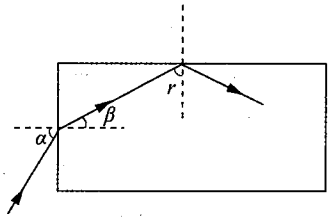


◇【解析】光通过两面平行的玻璃砖的出射光线平行于入射光线，只是发生了侧移，由此作出入射光线和出射光线如图所示。入射点和出射点应该是图中的 O_1 和 O_1'，根据图所确定的入射点和出射点是 O_2 和 O_2'。由于玻璃砖向上平移，实际界面与所画界面平行，由几何知识知 $i=i'$，$r=r'$，所以 $n=\frac{\sin i'}{\sin r}=\frac{\sin i}{\sin r}$。



◎【答案】不变

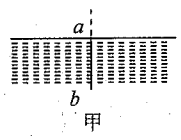
例 7　如图所示，一段光导纤维置于空气中，为了使光导纤维一端射入的光不从侧壁射出，而全部从另一端射出，此光导纤维折射率为多少？



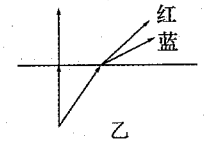
◇【解析】光线在侧壁不能射出，则在侧壁的入射角 r 大于或等于临界角 C，当 r 取最小值临界角 C 时，左侧面入射时折射角 β、入射角 α 均最大，其中 α 最大值为 90°。当 α 取最大值 90°时，β 值为临界角 C，又由于 $\beta+\gamma=90°$。故 $2C\leqslant 90°$，$C\leqslant 45°$，$n=\frac{1}{\sin C}\geqslant\sqrt{2}$。

◎【答案】折射率大于 $\sqrt{2}$

例 8 发出白光的细线光源 ab，长度为 l_0，竖直放置，上端 a 恰好在水面以下，如图甲所示。现考虑细线光源 ab 发出的靠近水面法线（图中的虚线）的细光束经水面折射后所成的像，由于水对光有色散作用，若以 l_1 表示红光成的像的长度，l_2 表示紫光成的像的长度，则（　　）



甲



乙

A. $l_1<l_2<l_0$　　B. $l_1>l_2>l_0$

C. $l_2>l_1>l_0$　　D. $l_2<l_1<l_0$

◇【解析】由于蓝光折射率大于红光，作光路图乙可知 D 正确。

◎【答案】D

例 9 某同学用半圆柱玻璃砖测定玻璃的折射率，他的操作步骤如下：

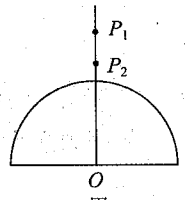
A. 用刻度尺量出半圆形玻璃砖的直径 d，算出半径 $r=\frac{d}{2}$，然后确定圆心的位置，记在玻璃砖上；

B. 在白纸上画一条直线作为入射线，并在入射线上插两枚大头针 P_1 和 P_2；

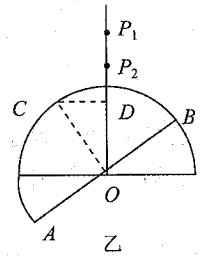
C. 让入射线与玻璃砖直径垂直，入射点与圆心 O 重合，如图甲所示；

D. 以圆心 O 为轴，缓慢逆时针转动玻璃砖，同时调整视线方向，恰好看不到 P_2 和 P_1 的像时，停止转动玻璃砖，然后沿半圆形玻璃砖直径画一条直线 AB，如图乙所示。

（1）该同学利用白纸上描下的 P_1O 和 AB 两条直线，可算出该玻璃的折射率 n，他的根据是什么？



甲



乙

（2）如何在图上用刻度尺和圆规作图，求出该玻璃的折射率 n？

◇【解析】（1）他的根据是光发生了全反射，当光从空气射入半圆形玻璃砖时传播方向不改变，后来由玻璃砖射向空气时，由于光从光密介质射向光疏介质，可能发生全反射。调整玻璃砖的方向使折射光线刚好消失，即发生全反射，折射角为 90°。

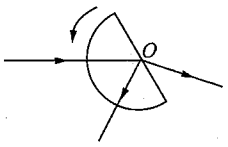
(2) 作垂直 AB 直线的法线 OC，用刻度尺测 CD 线段的长，则 $n=\dfrac{1}{\sin C}=\dfrac{1}{\dfrac{CD}{r}}=\dfrac{d}{2CD}$。

◎【答案】见解析

同步检测

一、选择题

1. 如图所示为研究光的全反射的实验装置。让一束光沿着半圆形玻璃砖的半径射到直边上，可以看到一部分光从玻璃砖的直边上折射到空气中，一部分光线反射回玻璃砖内。如果保持入射光线方向不变，绕 O 点逆时针方向转动玻璃砖，可以看到(　　)



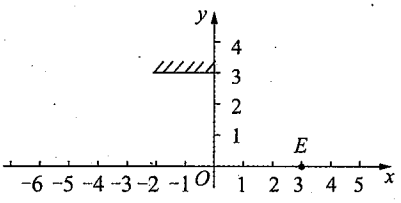
A. 反射光线与入射光线的夹角越来越大，反射光线的亮度保持不变

B. 反射光线与入射光线的夹角越来越大，反射光线的亮度越来越强

C. 折射光线偏离法线越来越远，但亮度保持不变

D. 当玻璃砖转动超过一定角度之后，只观察到反射光线，看不到折射光线

2. 如图所示，在 xOy 平面内，人的眼睛位于坐标为（3，0）的 E 点，一个平面镜镜面向下，左右两个端点的坐标分别（−2，3）和（0，3）。一个点光源 S 从原点出发，沿 x 轴负方向匀速运动。它运动到哪个区域内时，人眼能从平面镜中看到 S 的像点？像做什么运动？(　　)



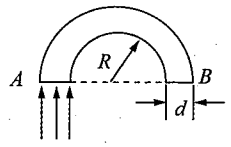
A. 0～−7 区间，沿 x 轴正方向匀速运动

B. −3～−7 区间，沿 x 轴负方向匀速运动

C. −3～−7 区间，沿 x 轴负方向加速运动

D. −3～−∞区间，沿 x 轴正方向加速运动

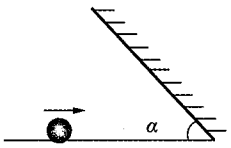
3. 如图所示，一根粗细均匀的半圆形玻璃棒，折射率为 1.5，半径为 R，两端面 A、B 均为正方形，宽度为 d。令一束平行光垂直于端面 A 入射，要使入射光线全部从另一端面 B 射出，则 R 与 d 之比的最小值应为(　　)



A. 2　　B. 1

C. 3　　D. 1.5

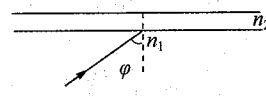
4. 如图所示，水平桌面上斜放着一个平面镜，桌面上有一个小球向镜面滚去。要使平面镜中小球的像沿竖直方向下落，则镜面与桌面间的夹角 α 应为(　　)



A. 30°　　B. 45°　　C. 60°　　D. 90°

5. 如图所示，一条圆柱形的光导纤维，长为 L，它的玻璃芯的折射率为 n_1，外层材料

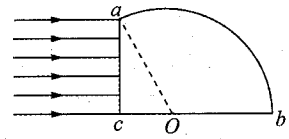
的折射率为 n_2，光在空气中的传播速度为 c，若光从它的一端射入经全反射后从另一端射出所需的最长时间为 t，则下列说法中正确的是（图中所标的 φ 为发生全反射的临界角）（　　）



A. $n_1>n_2$，$t=\dfrac{n_1L}{n_2c}$　　B. $n_1>n_2$，$t=\dfrac{n_1^2L}{n_2c}$

C. $n_1<n_2$，$t=\dfrac{n_1L}{n_2c}$　　D. $n_1<n_2$，$t=\dfrac{n_1^2L}{n_2c}$

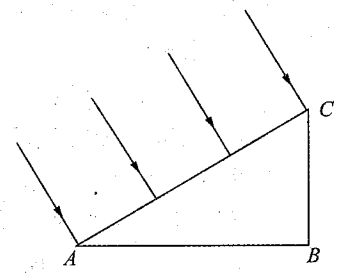
6. 一块用折射率 $n=2$ 的玻璃制作的透明体，其横截面如图所示，ab 是半径为 R 的圆弧，ac 边与 bc 边垂直，$\angle aOc=60°$，当一束平行光线垂直照射到 ac 时，ab 部分的外表面只有一部分是亮的，其余部分是暗的，其照亮部分的弧长为（　　）



A. $\dfrac{\pi R}{6}$　　B. $\dfrac{\pi R}{4}$

C. $\dfrac{\pi R}{3}$　　D. $\dfrac{\pi R}{5}$

7. 如图所示，直角三角形 ABC 为透明介质制成的三棱镜的截面。且 $\angle A=30°$，在整个 AC 面上有一束垂直于 AC 的平行光线射入，已知这种介质的折射率 $n>2$，则（　　）



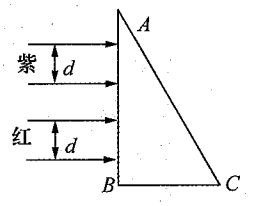
A. 可能有光线垂直 AB 面射出

B. 一定有光线垂直 BC 面射出

C. 一定有光线垂直 AC 面射出

D. 从 AB 面和 BC 面出射的光线能会聚于一点

8. 如图所示，截面为 ABC 的玻璃直角三棱镜放置在空气中，宽度均为 d 的紫、红两束光垂直照射三棱镜的一个直角边 AB，在三棱镜的另一侧放置一平行于 AB 边的光屏，屏的距离远近可调，在屏上出现紫、红两条光带，可能是（　　）



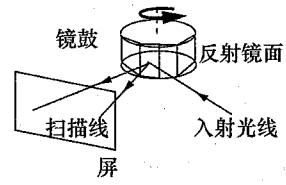
A. 紫色光带在上，红色光带在下，紫色光带较宽

B. 紫色光带在下，红色光带在上，紫色光带较宽

C. 红色光带在上，紫色光带在下，红色光带较宽

D. 红色光带在下，紫色光带在上，红色光带较宽

9. 为了连续改变反射光的方向，并多次重复这个过程，方向之一是旋转由许多反射镜面组成的多面体棱镜（简称镜鼓），如图所示。当激光束以固定方向入射到镜鼓的一个反射面上时，由于反射镜绕垂直轴旋转，反射光就可在屏幕上扫出一条水平线。依此，每块反射镜都将轮流扫描一次。如果要求扫描范围 $\theta=45°$ 且每秒钟扫描 48 次，那么镜鼓反射镜面数目和镜鼓旋转的转速为（　　）



A. 8，360 转/分

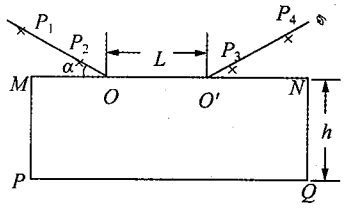
B. 16，180 转/分

C. 16，360 转/分

D. 32，180 转/分

10. 利用插针法测玻璃的折射率，实验中先将玻璃砖固定在水平桌面上的白纸上，画

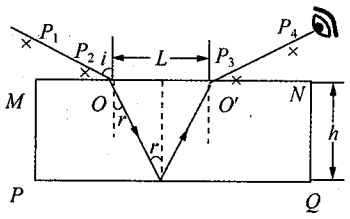
出玻璃砖两侧界面 MN、PQ，在玻璃砖的一侧插好 P_1、P_2 大头针后，某同学发现在 P_1、P_2 同侧通过玻璃砖在图所示位置也可观察到 P_1、P_2 的像。于是他在白纸上插大头针 P_3，使 P_3 挡住 P_1、P_2 的像，同样方法，他又插入大头针 P_4，使 P_4 挡住 P_3 和 P_1、P_2 的像。取走玻璃砖，P_1、P_2 连线交 MN 于 O 点，P_3、P_4 连线交 MN 于 O' 点。测出 P_1P_2 连线与 MN 间的夹角 $\alpha=30°$，玻璃砖的厚度 $h=2.00$ cm、OO' 两点间的距离 $L=3.00$ cm，则玻璃砖的折射率 $n=$ _____。（结果保留 3 位有效数字）



参考答案

1. BD　2. B　3. A　4. B　5. B　6. A　7. BC　8. CD　9. B

10. 依题意作出光路如图所示。



从图中可得出 $\sin i=\sin\dfrac{\pi}{3}==0.866$。

$\sin r=\dfrac{L/2}{\sqrt{h^2+L^2/4}}=0.6$，

所以玻璃砖的折射率 $n=\dfrac{\sin i}{\sin r}=\dfrac{0.866}{0.6}=1.44$。

第二节　光的波动性

解题指南

例 1　用绿光做双缝干涉实验，在光屏上呈现出绿、暗相间的条纹，相邻两条绿条纹间的距离为 Δx。下列说法中正确的有（　　）

A. 如果增大单缝到双缝间的距离，Δx 将增大

B. 如果增大双缝之间的距离，Δx 将增大

C. 如果增大双缝到光屏之间的距离，Δx 将增大

D. 如果减小双缝的每条缝的宽度，而不改变双缝间的距离，Δx 将增大

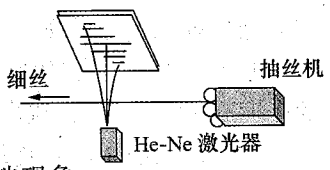
解析

根据公式 $\Delta x=\dfrac{l}{d}\lambda$：

- 增大双缝间距 d，条纹间距 Δd 将减小。——B 错误
- 如果增大双缝到光屏之间的距离 l，Δx 将增大。——C 正确
- Δx 的大小与单缝到双缝间的距离无关，与缝本身的宽度也无关。——A、D 错误

◎【答案】C

例 2 抽制细丝时可用激光监控其粗细，如图所示，激光束越过细丝时产生的条纹和它通过遮光板上的一条同样宽度的窄缝规律相同，则（　　）



A. 这是利用光的干涉现象

B. 这是利用光的衍射现象

C. 如果屏上的条纹变宽，表明抽制的丝粗了

D. 如果屏上的条纹变宽，表明抽制的丝细了

◇【解析】由题目材料的介绍可知，激光束通过细丝时产生的条纹与单缝的衍射规律相同，也是一种光的衍射现象。衍射条纹的宽窄与狭缝的宽窄有关，狭缝越窄，条纹越宽。

◎【答案】BD

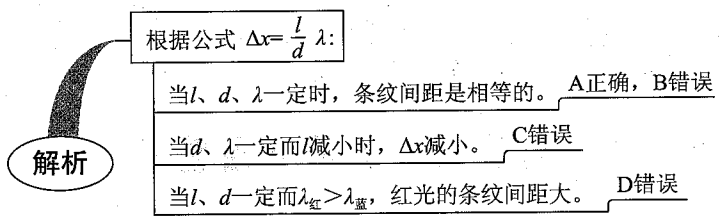
例 3 用单色光作双缝干涉实验，下列说法中正确的是（　　）

A. 相邻干涉条纹之间的距离相等

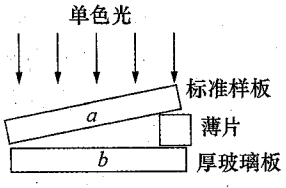
B. 中央明条纹宽度是两侧明条纹宽度的 2 倍

C. 屏与双缝之间距离减小，则屏上条纹间距增大

D. 在实验装置不变的情况下，红光的条纹间距小于蓝光的条纹间距



例 4 如图所示是用干涉法检查某块厚玻璃板的上表面是否平整的装置，所用单色光是用普通光源加滤光片产生的，检查中所观察到的干涉条纹是由下列哪两个表面反射的光线叠加而成的（　　）



A. a 的上表面和 b 的下表面

B. a 的上表面和 b 的上表面

C. a 的下表面和 b 的上表面

D. a 的下表面和 b 的下表面

◇【解析】由于光波的波长很短，只有利用很薄的介质膜才能观察到明显的干涉条纹。所以该题中是利用标准样板和被检测板间很薄的空气膜上下表面的反射光发生干涉来对被检查板的平整度进行检验的。

◎【答案】C

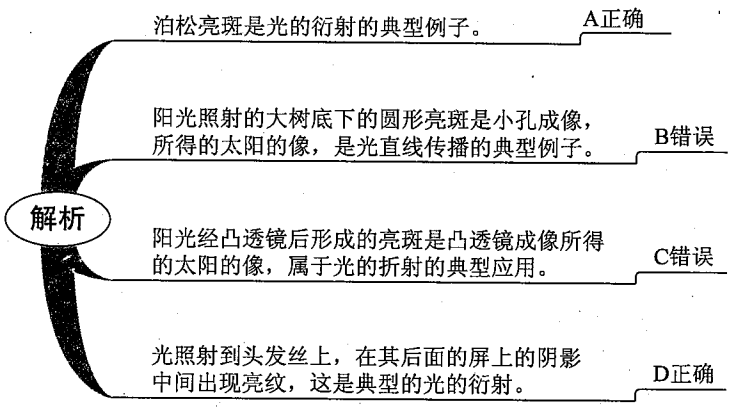
例 5 下列现象是光发生衍射而产生的有（　　）

A. 泊松亮斑

B. 阳光照射的大树底下的圆形亮斑

C. 阳光经凸透镜后形成的亮斑

D. 光照射到头发丝上，在其后面的屏上的阴影中间出现亮纹



◎【答案】AD

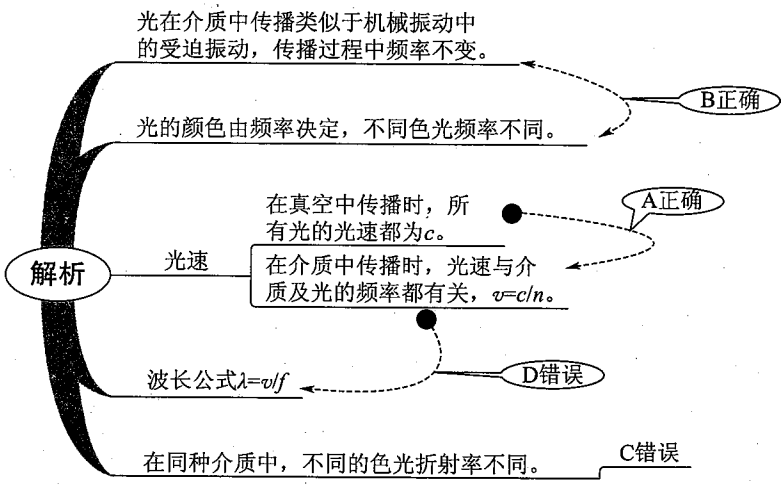
例 6　下列关于光的频率、速度的说法中正确的是（　　）

A. 各种色光在真空中传播速度相同，在介质中传播速度不同

B. 各种色光在真空中频率不同，同一色光在各种介质中频率相同

C. 同一色光在各种介质中折射率不同，不同色光在同一介质中折射率相同

D. 各种色光在同一介质中波长不同，同一色光在不同介质中波长相同



◎【答案】AB

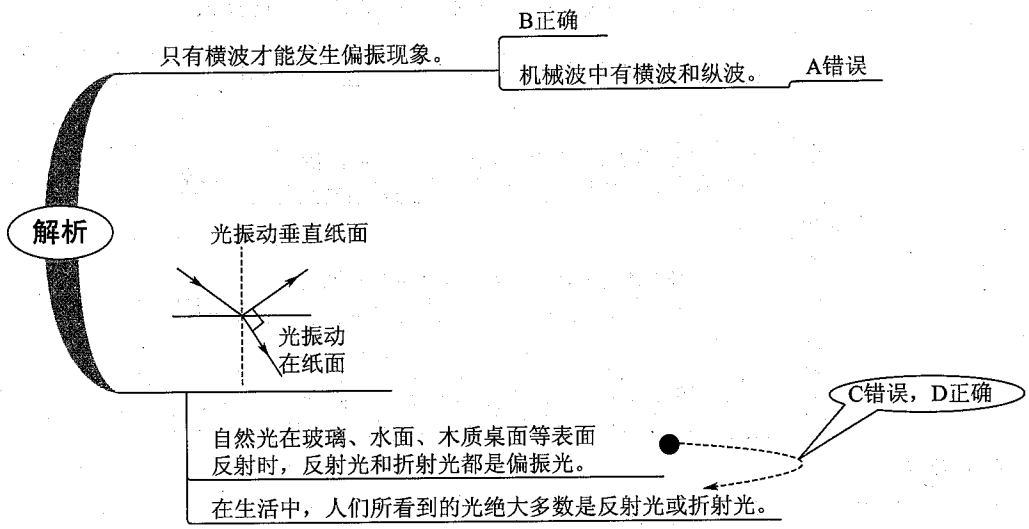
例 7　下列有关偏振和偏振光的说法中正确的有（　　）

A. 只有电磁波才能发生偏振，机械波不能发生偏振

B. 只有横波能发生偏振，纵波不能发生偏振

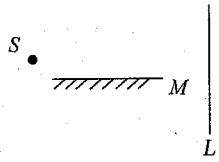
C. 自然界不存在偏振光，自然光只有通过偏振片才能变为偏振光

D. 除了从光源直接发出的光以外，我们通常看到的绝大部分光都是偏振光



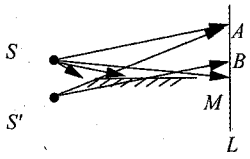
◎【答案】BD

例 8 如图所示是洛埃镜干涉装置示意图，S 为光源，M 为平面镜，在屏幕 L 上可获得干涉条纹。用作图法确定屏上能形成干涉条纹的范围。



◇【解析】产生光的干涉的条件是频率相同，步调一致的两束光能到达同区域就可产生干涉。凡是能把一束光一分为二的方法都能形成光的干涉，本装置中点光源和它在平面镜中的像 S' 形成相干光源，从点光源 S 直接射到屏幕 L 上的光和从平面镜反射到达屏幕 L 上的光的叠加区域 AB 是能形成干涉条纹的范围。

◎【答案】如图所示



同步检测

1. 下列电磁波中，最容易出现衍射现象的是（　　）

A. 可见光　　B. X 射线　　C. γ 射线　　D. 紫外线

2. 分别用 a、b 两种单色光做双缝干涉实验，发现 a 光条纹间距宽，则（　　）

A. a 光频率较大　　B. 在同种介质中，a 光波长较大

C. 在同种介质中，a 光速率较大　　D. b 光更容易发生衍射

3. 声波和光波分别由空气进入水中，则（　　）

A. 声波的波速变小，光波的波速变大　　B. 声波的波速变大，光波的波速变小

C. 声波的波长变短，光波的波长变长　　D. 声波的波长变长，光波的波长变短

4. 下列各种现象，由于光的干涉造成的是（　　）

A. 雨后天空中出现的彩虹

B. 把两块平板玻璃紧捏在一起，在玻璃面上看到彩色花纹

C. 肥皂泡在阳光照射下呈现彩色花纹

D. 白光通过三棱镜在屏上形成彩色光带

5. 关于薄膜干涉，下列说法中正确的是（　　）

A. 干涉条纹的产生是由于光在膜的前后表面反射的两列光波叠加的结果

B. 条纹中的暗纹是由于上述两列反射光的波谷和波谷叠加的结果

C. 观察薄膜的干涉条纹时，应在入射光的同一侧

D. 干涉条纹总是等间距的

6. 下列关于红外线与紫外线的说法中正确的是（ ）

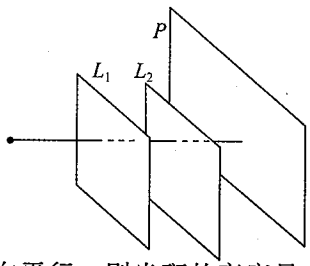
A. 红外线的热效应显著，而紫外线的化学效应显著

B. 红外线的波动性比紫外线显著，而紫外线的粒子性比红外线显著

C. 红外线与紫外线产生的机理在本质上是相同的

D. 红外线与紫外线都是可见光的一部分

7. 如图所示，两个偏振片 L_1、L_2 平行放置，一束自然光垂直射到偏振片 L_1 上，关于屏 P 上接受到的光斑，下列说法中正确的是（ ）



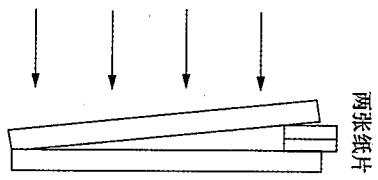
A. 若两偏振片的透振方向平行，则光斑的亮度最暗

B. 若两偏振片的透振方向平行，则光斑的亮度最亮

C. 若两偏振片的透振方向垂直，则光斑的亮度最暗

D. 若两偏振片的透振方向垂直，则光斑的亮度最亮

8. 劈尖干涉是一种薄膜干涉，其装置如图甲所示，将一块平行玻璃板放置在另一平板玻璃上，在一端加入两张纸片，从而在两玻璃表面之间形成一个劈形空气薄膜。当光垂直入射后，从上往下看到的干涉条纹如图乙所示，干涉条纹有如下特点：(1) 任意一条明条纹或暗条纹所在位置下面的薄膜厚度相等；(2) 任意相邻明条纹和暗条纹所对应的薄膜厚度差恒定。现若在图甲装置中抽去一张纸片，则当光垂直入射到新的劈形空气薄膜后，从上往下观察到的干涉条纹（ ）



甲（俯视图）



乙

A. 变疏　　B. 变密　　C. 不变　　D. 消失

9. 在拍摄落日时水下的景物、池中的游鱼、玻璃橱中陈列的照片时，在镜头前装一片偏振片的原因是什么？

10. 用波长为 0.51 μm 的绿光经双缝干涉装置在屏上得到干涉条纹，测得相邻两明条纹间距为 0.5 mm。将该装置放于水中并改用红光做双缝干涉实验，测得干涉条纹相邻间距仍为 0.5 mm。若水的折射率为 4/3，求此红光的频率。

参考答案

1. A　2. BC　3. BD　4. BC　5. AC　6. ABC　7. BC　8. A

9. 利用偏振片，过滤水面上的反射光，从而可消除倒影，使水下的景物清晰。

10. 由公式 $\Delta x=\frac{l}{d}\lambda$，水中红光波长与空气中绿光波长相同，由水的折射率，可求空气中红光的波长，红光频率 $f=4.4\times10^{14}$ Hz。

本章知识检测题

1. 借助于漫反射，我们才能从不同方向（　　）

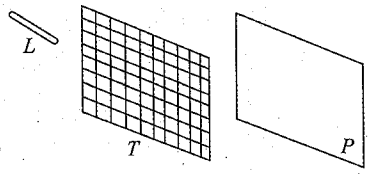
A. 看电影　　B. 看电视

C. 欣赏油画　　D. 欣赏中秋明月

2. 已知月球周围没有大气层，因此，在月球上看到的天空的颜色应是（　　）

A. 蓝色的　　B. 红色的　　C. 苍白色的　　D. 黑暗的

3. 如图所示，L 为水平放置的点亮的 8 W 日光灯，T 为一藤椅的竖直靠背，横藤条与日光灯管平行，竖藤条相互垂直交织，它们之间是透空方格，P 是与藤条靠背平行的白屏。现将屏从紧贴椅背处慢慢向远处（图中右方）平移，从屏上将依次看到（　　）



A. 横藤条的影，横竖藤条的影

B. 竖藤条的影，横竖藤条的影

C. 横竖藤条的影，竖藤条的影，没有藤条的影

D. 横竖藤条的影，横藤条的影，没有藤条的影

4. 用眼睛观察远处的灯，有时会看到它周围光芒辐射，对于这一现象的解释，下列说法中正确的是（　　）

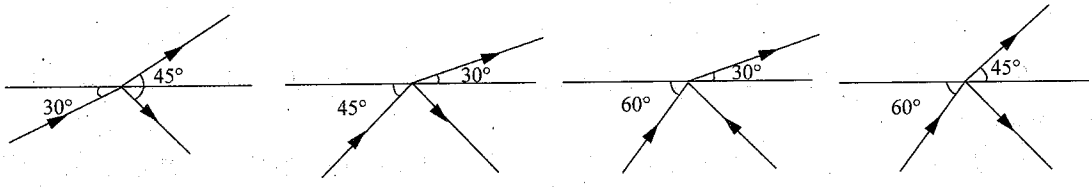
A. 这是空气对光的折射作用造成的

B. 这是眼睛的瞳孔对光的衍射作用造成的

C. 这现象说明眼睛的瞳孔是规则的圆形

D. 这现象说明眼睛的瞳孔是多边形

5. 某介质的折射率为$\sqrt{2}$，光线从此介质射向与空气的界面，下列光路图中正确的是（　　）



A　　B　　C　　D

6. 关于激光的应用问题，以下说法中正确的是（　　）

A. 光纤通信是应用激光平行度非常好的特点对信号来进行调制，使其在光导纤维

中进行传递信息

B. 计算机内的“磁头”读出光盘上记录的信息是应用了激光的相干性特点来进行的

C. 医学上用激光作“光刀”来切除肿瘤是应用了激光亮度高的特点

D. “激光测距雷达”利用激光测量很远目标的距离是应用了激光亮度高的特点

7. 在没有月光的夜间，一个池面较大的水池底部中央有一盏灯（可看做光源），小鱼在水中游动，小鸟在水面上方飞翔，设水中无杂质且水面平静，下列说法中正确的（　　）

A. 小鱼在上方水面看去，看到水面到处都是亮的，但中部较暗

B. 小鱼向上方水面看去，看到的是一个亮点，它的位置与鱼的位置无关

C. 小鸟向下方水面看去，看到水面中部有一圆形区域是亮的，周围是暗的

D. 小鸟向下方水面看去，看到的是一个亮点，它的位置与鸟的位置有关

8. 下面是四种与光有关的事实：①用光导纤维传播信号；②用透明的标准样板和单色光检查平面的平整度；③一束白光通过三棱镜形成彩色光带；④水面上的油膜呈现彩色。其中，与光的干涉有关的是（　　）

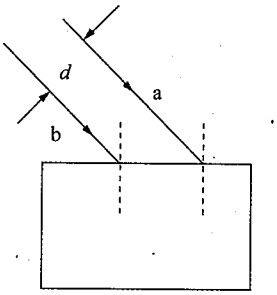
A. ①④　　B. ②④　　C. ①③　　D. ②③

9. 用黄光照射一不透明的圆板时，在圆板的背影中恰能观察到一黄色光斑，若用红色光、绿色光和紫色光照射圆板，能够观察到光斑的是（　　）

A. 只有红色光　　B. 只有紫色光

C. 只有红色光和紫色光　　D. 三种色光都能

10. 如图所示，在折射率大于玻璃折射率的透明液体中，水平放置着一个长方体玻璃砖。在竖直平面内有两束光线，相互平行且相距为 d，斜射到长方体的上表面上，折射后直接射到下表面，然后射出。已知图中 a 为红光、b 为紫光，则（　　）



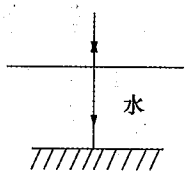
A. 两出射光线仍平行，距离大于 d

B. 两出射光线仍平行，距离等于 d

C. 两出射光线仍平行，距离小于 d

D. 两出射光线不再平行

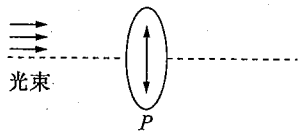
11. 如图所示，在水面以下有一平面镜水平放置，一束白光由空气垂直射向水面，现让平面镜绕过入射点的水平轴转动，要使该光束不会从水中射出水面，若红光临界角为 α，紫光的临界角为 β，则平面镜转过的角度不能小于（　　）



A. $\alpha/2$　　B. α

C. $\beta/2$　　D. β

12. 如图所示，P 是一偏振片，P 的透振方向（用带箭头的实线表示）为竖直方向。下列四种入射光束中哪几种照射 P 时能在 P 的另一侧观察到透射光（　　）



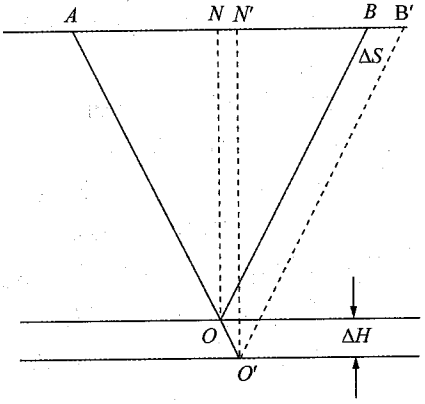
A. 太阳光

B. 沿竖直方向振动的光

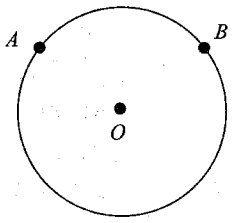
C. 沿水平方向振动的光

D. 沿与竖直方向成 45°角振动的光

13. 激光液面控制仪的原理是：一束激光 A 以入射角 α 照射液面，反射光斑被光电管接收后转变为电信号，电信号输入控制系统以控制液面高度。若反射光斑 B 移动了距离 ΔS 到 B'，如图所示，那么液面应怎样变化？其变化量 ΔH 为多少？



14. 如图所示，光从 A 点射入圆形玻璃，而从 B 点射出，若射出玻璃与射入玻璃的光线夹角为 30°，AB 弧所对应的圆心角 120°，则此玻璃的折射率是多少？



参考答案

1. ACD　2. D　3. D　4. BD　5. D　6. AC　7. BD　8. B　9. A　10. A　B　11. A　12. ABD

13. 液面下降 $\Delta H=\dfrac{\Delta S}{2\tan\alpha}$

14. $\sqrt{2}$

第十三章 热 学

第一节 分子动理论 气体

解题指南

例 1 下面两种关于布朗运动的说法都是错误的，分析它们各错在哪里。

（1）大风天常常看到风沙弥漫、尘土飞扬，这就是布朗运动。

（2）布朗运动是由于液体分子对固体小颗粒的撞击引起的，固体小颗粒的体积越大，液体分子对它的撞击越多，布朗运动就越显著。

解析

（1）能在液体或气体中做布朗运动的微粒都是很小的，一般数量级在10^{-6}m，这种微粒肉眼是看不到的，必须借助于显微镜。大风天看到的尘土都是较大的颗粒，它们的运动不能称为布朗运动，它们的运动基本属于在气流的作用下的定向移动，而布朗运动是无规则运动。

（2）布朗运动的确是由于液体(或气体)分子对固体小颗粒的碰撞引起的，但只有在固体小颗粒很小时，各个方向的液体分子对它的碰撞不平衡才引起它做布朗运动。

◎【答案】见解析

例 2 两个分子从相距较远（分子力可忽略）开始靠近，直到不能再靠近的过程中（　　）

A. 分子力先做负功后做正功

B. 分子力先做正功后做负功

C. 分子间的引力和斥力都增大

D. 两分子从 r_0 处再靠近，斥力比引力增加得快

解析

分子力先是引力后是斥力，所以分子力先做正功后做负功。r减小时，分子间的引力和斥力都增大，但斥力比引力增大得快。

A错，B、C、D对。

◎【答案】BCD

例 3 在做布朗运动的实验中，有以下叙述：

①能观察到液体分子做无规则运动，

②微粒的无规则运动是由液体分子无规则运动引起的，

③微粒越大，布朗运动越明显，

④滴进热水中的墨水比滴进冰水中的墨水扩散得快，说明分子的无规则运动随温度的升高而更加剧烈，

以上说法中正确的是（　　）

A. ①③　　B. ②④　　C. ①④　　D. ②③

布朗运动是大量液体分子对固体微粒撞击的集体行为的结果，个别分子对固体微粒的碰撞不会产生布朗运动。

布朗运动的激烈程度与固体微粒的大小、液体的温度等有关。

解析

固体微粒越小，液体分子对它各部分碰撞的不均匀性越明显；质量越小，它的惯性越小，越容易改变运动状态，所以运动越激烈。液体温度越高，固体微粒周围的液体分子运动越不规则，对微粒碰撞的不均匀性越明显，布朗运动越激烈。

注意布朗运动是悬浮的固体微粒的运动，不是单个分子的运动，布朗运动证实了周围液体分子的无规则运动。

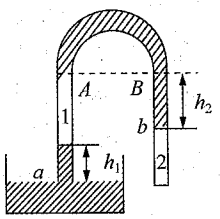
◎【答案】B

例 4　如图所示，粗细均匀的竖直倒置的 U 形管右端封闭，左端开口插入水银槽中，封闭着两段空气柱 1 和 2。已知 $h_1=15$ cm，$h_2=12$ cm，外界大气压强 $p_0=76$ cmHg，求空气柱 1 和 2 的压强。

设空气柱1和2的压强分别为p_1和p_2，选水银柱h_1和下端管内与水银槽内水银面相平的液片a为研究对象。

解析

根据帕斯卡定律，气柱1的压强p_1通过水银柱h_1传递到液片a上，同时水银柱h_1由于自重在a处产生的压强为h_1 cmHg，从而知液片a受到向下的压力为$(p_1+h_1)S$，S为液片a的面积。液片a很薄，自重不计。液片受到向上的压强是大气压强通过水银槽中水银传递到液片a的，故液片a受到向上的压力为p_0S。因整个水银柱h_1处于静止状态，故液片a所受上、下压力相等，即$(p_1+h_1)S=p_0S$。故气柱1的压强为p_1=61 cmHg。



通过气柱2上端画等高线AB，则由连通器原理可知$p_B=p_A=p_1$。再以水银柱h_2的下端面的液片b为研究对象，可求得空气柱2的压强为p_2=73 cmHg。

◎【答案】$p_1=61$ cmHg，$p_2=73$ cmHg。

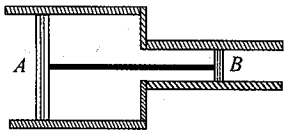
例 5　如图所示，气缸由两个横截面不同的圆筒连接而成。活塞 A、B 被轻刚性细杆连接在一起，可无摩擦移动。A、B 的质量分别为 $m_A=12$ kg，$m_B=8.0$ kg，横截面积分别为$S_A=4.0\times10^{-2}$ m^2，$S_B=2.0\times10^{-2}$m^2。一定质量的理想气体被封闭在两活塞之间。活塞外侧大气压强 $p_0=1.0\times10^5$ Pa。

（1）气缸水平放置达到如图甲所示的平衡状态，求气体的压强。

（2）现将气缸竖直放置，达到平衡后如图乙所示，求此时气体的压强。重力加速度 g 取 10 m/s^2。

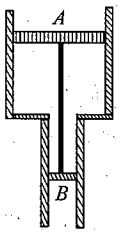
解析

(1) 气缸处于图甲位置时，设气缸内气体压强为p_1，对于活塞和杆，据力的平衡条件有：$p_0S_A+p_1S_B=p_1S_A+p_0S_B$，解得 $p_1=p_0=1.0\times10^5$ Pa。



甲

(2) 气缸处于图乙位置时，设气缸内气体压强为p_2，对于活塞和杆，据力的平衡条件有：$p_0S_A+(m_A+m_B)g+p_2S_B=p_2S_A+p_0S_B$，解得 $p_2=p_0+\dfrac{(m_A+m_B)g}{S_A-S_B}=1.1\times10^5$ Pa。



乙

◎【答案】(1) 1.0×10^5 Pa　(2) 1.1×10^5 Pa。

同步检测

1. 只要知道下列哪一组物理量，就可以估算出气体中分子间的平均距离(　　)
   A. 阿伏伽德罗常数，该气体的摩尔质量和质量
   B. 阿伏伽德罗常数，该气体的摩尔质量和密度
   C. 阿伏伽德罗常数，该气体的质量和体积
   D. 该气体的密度、体积和摩尔质量
2. 关于布朗运动，下列说法中正确的是(　　)
   A. 布朗运动是由外部原因引起的液体分子的运动
   B. 布朗运动虽然不是分子的运动，但它能反映出分子的运动规律
   C. 布朗运动的剧烈程度与悬浮颗粒的大小有关，这说明分子的运动与悬浮颗粒的大小有关
   D. 布朗运动的剧烈程度与温度有关，所以布朗运动也叫做热运动
3. 两个分子甲和乙相距较远（此时它们之间的作用力可以忽略），设甲固定不动，乙逐渐向甲靠近，直到不能再靠近，在整个移动过程中(　　)
   A. 分子间引力和斥力都将逐渐增大
   B. 分子间距减小，分子力先增大再减小
   C. 外力克服分子力做功
   D. 前阶段分子力做正功，后阶段外力克服分子力做功
4. 若已知阿伏伽德罗常数、物质的摩尔质量、摩尔体积，则可以计算出(　　)
   A. 固体物质分子的大小和质量
   B. 液体物质分子的大小和质量
   C. 气体分子的大小和质量
   D. 气体分子的质量和平均分子间距
5. 设 1 g 氢气的分子数为 N_1，10 g 氧气的分子数为 N_2，10 g 氮气的分子数为 N_3，它们的分子数相比较(　　)

A. $N_1 > N_2 > N_3$

B. $N_1 > N_3 > N_2$

C. $N_3 > N_2 > N_1$

D. $N_1 > N_2 = N_3$

6. 有 50 mL 酒精和 50 mL 升水混合，混合后的体积小于 100 mL，这是因为(　　)

A. 分子间有间隙，一种液体的分子填在另一种液体分子间

B. 它们相混合后，每个分子的体积减小了

C. 两种液体的分子重新排列后使间隙减小了

D. 两种液体分子结合成新分子的体积比结合前两分子的体积小

7. 关于分子动理论，下列说法中正确的是(　　)

A. 分子是组成物质的最小微粒

B. 物质是由大量分子组成的

C. 分子永不停息地做无规则运动

D. 分子间有相互作用的引力或斥力

8. 以下几种说法中正确的是(　　)

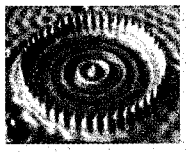
A. 因为空气分子间存在斥力，所以用气筒给自行车打气时，要用力才能压缩空气

B. 用手捏面包，面包体积会缩小，这是分子间有间隙的缘故

C. 打开酒瓶后可嗅到酒的气味，说明分子在做无规则的运动

D. 用碳素墨水滴入清水中，观察到的布朗运动，是碳分子无规则运动的反映

9. 如图所示是用扫描隧道显微镜拍下的一个“量子围栏”的照片。这个量子围栏是由 48 个铁原子在铜的表面排列成直径为 14.3 nm 的圆周而组成的。由此可以估算每个铁原子的直径约为_____ m。



10. 已知地球半径 $R=6.4\times10^6$ m，地球表面附近的重力加速度 g 取 9.8 m/s^2，大气压 $p_0=1.0\times10^5$ Pa，空气的平均摩尔质量为 $M=2.9\times10^{-2}$ kg/mol，阿伏伽德罗常数 $N_A=6\times10^{23}$个/mol，请估算地球周围大气层空气分子个数。(大气绝大部分聚集在地表附近，保留 1 位有效数字)

11. 成年人做一次深呼吸，吸进的空气约为 400 mL，其中氧气约占 20%。据此估算成年人一次深呼吸吸进的氧气分子数约是多少？(答案保留 1 位有效数字)

12. 已知标准状况下气体的摩尔体积为 22.4 L/mol，试估算标准状态下气体分子的平均间距。(答案保留 2 位有效数字)

参考答案

1. B　2. B　3. AD　4. ABD　5. B　6. C　7. BC　8. C

9. 9.4×10^{-10}

10. 1×10^{44}

11. 2×10^{21}

12. 3.3×10^{-9} m

第二节 内能与热力学定律

解题指南

例 1 关于温度的微观解释，有以下叙述：

①物体温度低，物体内不可能有动能大的分子，②物体温度高，物体内每个分子的动能一定都大，③不论温度高低，物体内都可能有动能大或动能小的分子，④物体温度高，物体内动能大的分子就多，分子平均动能大，以上说法正确的是（ ）

A. ①②

B. ②③

C. ①③

D. ③④

解析

物质分子由于不停地运动而具有的能叫分子动能。

分子的运动是杂乱的，同一物体内各个分子的速度大小和方向是不同的。从大量分子的总体来看，速率很大和速率很小的分子数比较少，具有中等速率的分子数比较多。

在研究热现象时，有意义的不是一个分子的动能，而是大量分子的平均动能。从分子动理论观点来看，温度是物体分子热运动平均动能的标志，温度越高，分子的平均动能就越大；反之亦然。

注意同一温度下，不同物质分子的平均动能都相同，但由于不同物质的分子质量不尽相同，所以分子运动的平均速率不尽相同。

弄清了温度与分子动能的关系，就不难解答相关试题，显然正确答案为D。

◎【答案】D

例 2 关于物体内能，下列说法中正确的是（ ）

A. 相同质量的两个物体，升高相同的温度，内能增量一定相同

B. 在一定条件下，一定量 0℃的水结成 0℃的冰，内能一定减小

C. 一定量的气体体积增大，但既不吸热也不放热，内能一定减小

D. 一定量气体吸收热量而保持体积不变，内能一定减小

升高相同的温度，分子的平均动能增量相同，而物体的内能是物体内所有的分子的动能和势能的总和。分子的平均动能增量相同，分子数不同，分子的势能也不一定相同，所以内能增量一定相等是不正确的，即A错误。

解析

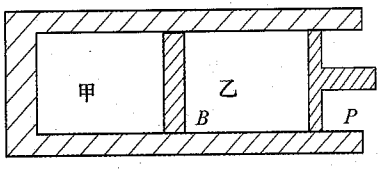
0℃水变成0℃冰，需放出热量，因温度不变，所以分子的动能不变，分子的势能就必须减少，因而内能就一定减少，即B正确。

一定质量的气体体积增大，气体对外做功，又因既不吸热也不放热，所以，内能一定减少，即C正确。

对一定量气体吸热但体积不变，即不对外做功，外界也不对气体做功，内能一定增加，即D错。

◎【答案】BC

例 3 如图所示，固定容器及可动活塞 P 都是绝热的，中间有一导热的固定隔板 B，B 的两边分别盛有气体甲和乙。现将活塞 P 缓慢地向 B 移动一段距离，已知气体的温度随其内能的增加而升高。则在移动 P 的过程中(　　)



A. 外力对乙做功，甲的内能不变

B. 外力对乙做功，乙的内能不变

C. 乙传递热量给甲，乙的内能增加

D. 乙的内能增加，甲的内能不变

在移动P的过程中，外界对乙气体做功，乙的内能要增加，所以乙的温度要升高。

解析

乙的温度升高后，甲、乙两部分气体就存在温度差，乙的温度较高，这样乙传递热量给甲。

正确答案为C。

◎【答案】C

例 4 根据热力学第二定律可知下列说法中正确的是(　　)

A. 热量能够从高温物体传到低温物体，但不能从低温物体传到高温物体

B. 热量能够从高温物体传到低温物体，也可能从低温物体传到高温物体

C. 机械功可以全部转化为热量，但热量不可能全部转化为机械功

D. 机械功可以全部转化为热量，热量也可能全部转化为机械功

根据热传递的规律可知热量能够从高温物体传到低温物体，当外界对系统做功时，可以使系统从低温物体吸取热量传到高温物体上去，制冷机(如冰箱和空调)就是这样的装置。但是热量不能自发地从低温物体传到高温物体。选项A错误，B正确。

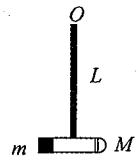
解析

一个运动的物体，克服摩擦阻力做功，最终停止，在这个过程中机械功全部转化为热量。外界条件发生变化时，热量也可以全部转化为机械功；如在等温膨胀过程中，系统吸收的热量全部转化为对外界做的功，选项C错误，D正确。

综上所述，该题的正确答案是B、D。

◎【答案】BD

例 5　如图所示，在质量为 M 的细玻璃管中盛有少量乙醚液体，用质量为 m 的软木塞将管口封闭。加热玻璃管使软木塞在乙醚蒸气的压力下水平飞出，玻璃管悬于长为 L 的轻杆上，细杆可绕上端 O 轴无摩擦转动。欲使玻璃管在竖直平面内做圆周运动，在忽略热量损失的条件下，乙醚最少要消耗多少内能？



设活塞冲开瞬间，软木塞和细玻璃管的速度分别为v_1、v_2，则据动量守恒定律可得：$Mv_2-mv_1=0$。

解析

玻璃管在竖直平面内做圆周运动至少要达到最高点，此时速度 $v_3=0$，对玻璃管，根据机械能守恒定律可得：$\frac{1}{2}Mv_2^2=2MgL$。

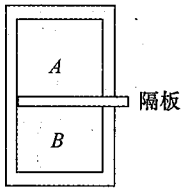
根据能量守恒得乙醚最少要消耗的内能为：

$$E=\frac{1}{2}mv_1^2+\frac{1}{2}Mv_2^2=\frac{2M(M+m)gL}{m}。$$

◎【答案】见解析

同步检测

1. 如图所示，直立容器内部有被隔板隔开的 A、B 两部分气体，A 的密度小，B 的密度大，抽去隔板（气体不外漏），加热气体，使两部分气体均匀混合，在此过程中气体吸热为 Q，气体内能增量为 ΔE，则(　　)



A. $\Delta E=Q$

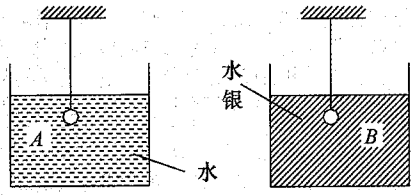
B. $\Delta E<Q$

C. $\Delta E>Q$

D. 无法比较 ΔE 和 Q 的大小

2. 如图所示，A、B 两球完全相同，分别浸没在水和水银的同一深度，A、B 两球用同一种特殊的材料制成，当温度稍微升高时，球的体积会明显地变大，如果开始水和水银的温度相同，且两液体温度同时缓慢地升高同一值，两球膨胀后，体积相等，则应是(　　)

A. A 球吸收的热量较多

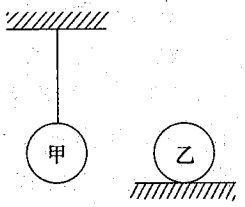


B. B 球吸收的热量较多

C. 两球吸收的热量一样多

D. 无法确定

3. 如图所示，甲、乙两金属球完全相同，若将两球从相同的初温加热到相同的末温，且不计悬线和支持面的吸热，则（　　）



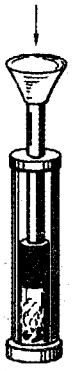
A. 甲球吸热较多

B. 乙球吸热较多

C. 两球吸热一样多

D. 无法比较哪只球吸热较多

4. 如图所示的实验装置中，把浸有乙醚的一小块棉花放在厚玻璃筒内底部，当很快向下压活塞时，由于被压缩的气体骤然变热，温度升高达到乙醚的燃点，使浸有乙醚的棉花燃烧起来，此实验的目的是要说明对物体（　　）



A. 做功可以增加物体的热量

B. 做功可以改变物体的内能

C. 做功一定会升高物体的温度

D. 做功一定可以使物态发生变化

5. 一定质量的理想气体可经不同的过程从一种状态（p_1、V_1、T_1）变到另一种状态（p_2、V_2、T_2），已知 $T_2>T_1$，则在这些过程中（　　）

A. 气体一定从外界吸收热量

B. 气体和外界交换的热量都是相等的

C. 外界对气体所做的功都是相等的

D. 气体内能的变化都是相等的

6. 下列改变物体内能的物理过程中，属于对物体做功来改变物体内能的有（　　）

A. 用锯子锯木料，锯条温度升高

B. 阳光照射地面，地面温度升高

C. 搓搓手就感觉手暖和些

D. 擦火柴时，火柴头燃烧起来

7. 下列过程中，由于热传递而使物体内能改变的是（　　）

A. 用打气筒给自行车打气时，打气筒下部温度升高

B. 太阳光照在物体上，物体温度升高

C. 食品放入冰箱，温度降低

D. 用铁锤连续打击物体使物体温度升高

8. 下列说法中正确的是（　　）

A. 热量能够从高温物体传到低温物体，但不能从低温物体传到高温物体

B. 机械能可以全部转化为内能而不引起其他变化

C. 不可能从单一热源吸收热量并把它全部用来做功，而不引起其他变化

D. 凡是不违背能量守恒定律的过程都一定能实现

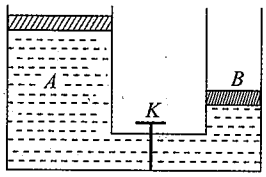
9. 如图所示，A、B 各有一个可以自由移动的轻活塞，活塞下是水，上为空气，大气压恒定。A、B 底部由带有阀门 K 的管道相连，整个装置与外界绝热。原先 A 中水面比 B 中高，打开阀门，使 A 中的水逐渐向 B 中流，最后达到平衡。在这个过程中（　　）

A. 大气压力对水做功，水的内能增加

B. 水克服大气压力做功，水的内能减少

C. 大气压力对水不做功，水的内能不变

D. 大气压力对水不做功，水的内能增加



参考答案

1. B　2. B　3. B　4. B　5. D　6. ACD　7. BC　8. BC　9. D

本章知识检测题

1. 较大的悬浮颗粒不做布朗运动，是由于（　　）

A. 液体分子不一定与颗粒碰撞

B. 各个方向的液体分子对颗粒的冲力的平均效果相互平衡

C. 颗粒的质量大，不易改变运动状态

D. 颗粒分子本身的热运动缓慢

2. 设处于平衡状态时相邻分子间的距离是 r_0，则关于分子力的下列说法中错误的是（　　）

A. 分子间距离由 r_0 逐渐减小时，分子力表现为斥力并逐渐增大

B. 分子间距离由 r_0 逐渐增大时，分子力表现为引力并逐渐增大

C. 当分子间距离大于 $10\ r_0$ 以后，分子力变得十分微弱，可以忽略不计了

D. 分子间的这样复杂的作用力其本质是组成分子的带电粒子间的电场力引起的

3. 关于分子间相互作用力，下列说法中正确的是（　　）

A. 分子间既有引力作用，同时有斥力作用，分子力是指分子间的引力和斥力的合力

B. 当分子间距 $r=r_0$ 时，分了力大小为零，此时分子间的引力和斥力均为零

C. 当分子间距 $r>r_0$ 时，r 越大，引力越小；当分子间距 $r<r_0$ 时，r 越大，引力越大

D. 温度越高，分子间的相互作用力就越大

4. 布朗运动的发现，在物理学上的主要贡献是（　　）

A. 说明了悬浮微粒时刻做无规则运动

B. 说明了液体分子做无规则运动

C. 说明了悬浮颗粒做无规则运动的激烈程度与温度有关

D. 说明了液体分子与悬浮颗粒之间有相互作用力

5. 物体能够被压缩，但又不能无限地被压缩这说明了(　　)

A. 分子之间有空隙

B. 分子之间既有引力又有斥力

C. 分子之间有斥力

D. 分子在做无规则的热运动

6. 关于分子的质量，下列说法正确的是(　　)

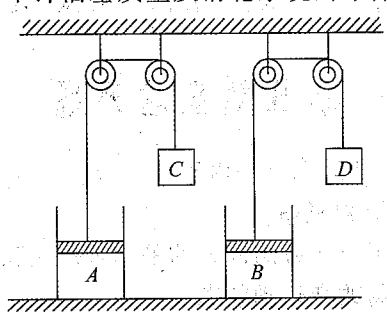
A. 质量相同的任何物体分子数都相同

B. 摩尔质量相同的物体，分子质量也相同

C. 分子质量比一定等于它们摩尔质量比

D. 在相同条件下，比重大的物质的分子质量一定大

7. A、B 为两个相同的固定在地面上的气缸，内部有质量相等的同种气体，且温度相同，C、D 为两重物，质量 $m_C>m_D$，按如图所示方式连接并保持平衡。现使它们的温度都升高 10 ℃，不计活塞质量及滑轮系统的摩擦，则系统重新平衡后(　　)



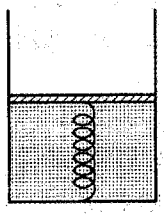
A. C 下降的高度比 D 下降的多

B. C 下降的高度比 D 下降的少

C. C、D 下降的高度一样多

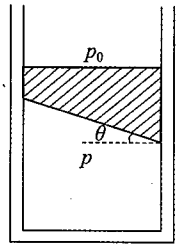
D. A、B 气缸内气体的最终压强与初始压强不相同

8. 如图所示，竖直放置的气缸内盛有气体，上面被一活塞盖住，活塞通过劲度系数 $k=600$ N/m的弹簧与气缸相连接，系统处于平衡状态。已知此时外界大气压强 $p_0=1.00\times10^5$ N/m，活塞到缸底的距离 $l=0.500$ m，缸内横截面积 $S=1.00\times10^{-2}$ m^2。今在等温条件下将活塞缓慢上提到距缸底为 $2l$ 处，此时提力为 $F=500$ N，弹簧的原长 l_0 应为多少？若提力为 $F=700$ N，弹簧的原长 l_0 又应为多少？(不计摩擦及活塞和弹簧的质量，并假定在整个过程中，气缸不漏气，弹簧都遵从胡克定律)



9. 如图所示，一个横截面积为 S 的圆筒形容器竖直放置。金属圆板 A 的上表面是水

平的，下表面是倾斜的，下表面与水平面的夹角为 θ，圆板的质量为 M。不计圆板与容器内壁之间的摩擦。若大气压强为 p_0，则被圆板封闭在容器中的气体的压强 p 等于（　　）



A. $p_0+\frac{Mg\cos\theta}{S}$　　B. $\frac{p_0}{\cos\theta}+\frac{Mg}{S\cos\theta}$

C. $p_0+\frac{Mg\cos^2\theta}{S}$　　D. $p_0+\frac{Mg}{S}$

参考答案

1. BC　2. B　3. A　4. B　5. AC　6. BC　7. A　8. 1.5 m，0.833 m　9. D

第十四章 动 量

第一节 动量和冲量 动量定理

解题指南

例 1 A、B、C 三个质量相等的小球以相同的初速度 v_0 分别竖直上抛、竖直下抛、水平抛出，若空气阻力不计，设落地时 A、B、C 三球的速度分别为 v_1、v_2、v_3，则（　　）

A. 经过时间 t 后，若小球均未落地，则三小球动量变化大小相等，方向相同

B. A 球从抛出到落地过程中动量变化的大小为 mv_1-mv_0，方向竖直向下

C. 三个小球运动过程的动量变化率大小相等、方向相同

D. 三个小球从抛出到落地过程中 A 球所受的冲量最大

分析三物体的运动情景和时间，区分动量变化量的大小和变化率。

解析

A选项要判定三球的动量变化，若直接应用$\Delta p=p_2-p_1$比较麻烦，因为动量是矢量，它们的方向并不是在同一直线上，不易求出矢量差，考虑到它们所受的合力均为重力，并都是相同的，由动量定理$\Delta p=F_{合}t$可知，A选项正确。

B选项是判定A球从抛出到落地过程中动量变化。由$\Delta p=p_2-p_1$，可得$\Delta p=mv_1+mv_0$，方向竖直向下，故B选项是错误的。

对C选项，由$F_{合}=\Delta p/t$知是正确的。

因为竖直上抛的A球在空中持续时间最长，故A球受到的冲量mgt也是最大，因此，D选项也是正确的。

◎【答案】ACD

例 2 质量为 70 kg 的撑竿跳运动员，从 5.60 m 高处落到海绵垫上，经时间 1 s 停下。

（1）求海绵垫对运动员的平均作用力。

（2）若身体与海绵垫的接触面积为 0.20 m^2，求身体所受平均压强。

（3）如不用海绵垫，落在普通沙坑中运动员以 0.05 m^2 的接触面积着地并历时 0.1 s 后停下，求沙坑对运动员的平均作用力和运动员所受压强。（g 取 10 m/s^2）

从高处下落做什么运动，及触地时的速度

接触海绵与接触沙坑的区别

触地时的受力

动量定理求受到的力的作用。

以运动员为研究对象，从高h=5.6 m处落至海绵或沙坑时的速度为$v=\sqrt{2gh}$，接触海绵或沙坑后的速度v'=0。以刚着地和停下后为始末两状态、则运动的初动量$p_1=mv$，其方向竖直向下；末动量$p_2=mv'=0$。在这始末两状态的过程中(即着地过程中)，运动员除了受到向下的重力外，还受到竖直向上的支持力，在这两个力的合力冲量作用下，使运动员的动量发生了变化。

设始末两状态经历时间为Δt，当规定竖直向上为正方向时，则合外力的冲量为$(N-mg)\Delta t$。由动量定理得：$(N-mg)\Delta t=0-(-mv)$。

所以$N=\dfrac{mv}{\Delta t}+mg=\dfrac{m\sqrt{2gh}}{\Delta t}+mg$。

解析

(1)落在海绵上时，Δt_1=1 s，故海绵对运动员的平均作用力

$$N_1=\frac{m\sqrt{2gh}}{\Delta t_1}+mg$$

$$=\left(\frac{70\sqrt{2\times10\times5.6}}{1}+70\times10\right)\text{N}$$

$$=1\,442\text{ N}。$$

(2)身体所受平均压强$p_1=\dfrac{N_1}{S_1}=\dfrac{1\,442}{0.20}$ Pa=7 210 Pa。

(3)落在沙坑里经Δt_2=0.1 s后停止，则沙坑对运动员的平均作用力和平均压强分别为：

$$N_2=\frac{m\sqrt{2gh}}{\Delta t_2}+mg$$

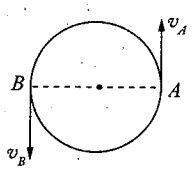
$$=\left(\frac{70\sqrt{2\times10\times5.6}}{0.1}+70\times10\right)\text{N}$$

$$=8\,120\text{ N},$$

$$p_2=\frac{N_2}{S_2}=\frac{8\,120}{0.05}\text{ Pa}=162\,400\text{ Pa}。$$

◎【答案】(1) 1 442 N　(2) 7 210 Pa　(3) 8 120 N　165 400 Pa

例 3　如图所示，一质点在水平面内以速度 v 做匀速圆周运动，质点从位置 A 开始，经过 1/2 圆周，质点所受合力的冲量是多少？



质点做匀速圆周运动，它所受的合外力提供向心力，合力是一个大小不变、方向不断变化的力。合力的冲量可由$\Sigma F\Delta t=\Delta p$求出。

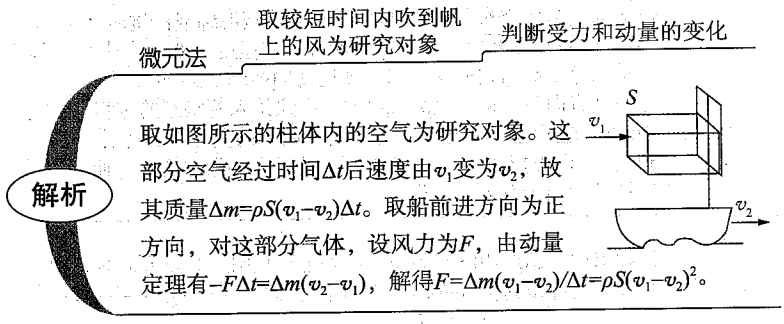
解析

以v_B方向为正，则$\Delta p=mv_B-mv_A=2mv$。

合力的冲量与v_B同向。

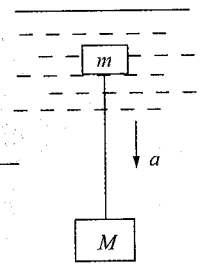
◎【答案】$2mv$，方向与 v_B 相向

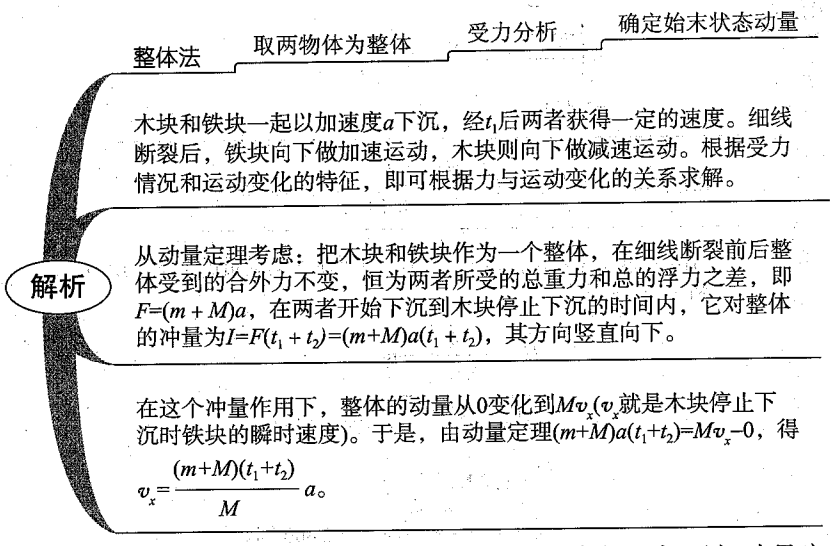
例 4 一艘帆船在静水中由风力推动做匀速直线运动。设帆面的面积为 S，风速为 v_1，船速为 v_2（$v_2<v_1$），空气的密度为 ρ，则帆船在匀速前进时帆面受到的平均风力大小为多少？



◎【答案】$\rho S\ (v_1-v_2)^2$

例 5 质量为 m 的木块下面用细线系一质量为 M 的铁块，一起浸没在水中从静止开始以加速度 a 匀加速下沉（如图所示），经时间 t_1 后细线断裂，又经 t_2 后，木块停止下沉。试求铁块在木块停止下沉瞬间的速度。





【说明】本题也可以根据牛顿第二定律或功能关系求解，但不如动量定理方便，同学们可自行比较研究。

由本例可知，动量定理不仅可适用于单个物体，也可对整个系统（且不论系统内各物体是连接还是分离）适用。

◎【答案】$\dfrac{(m+M)\ (t_1+t_2)}{M}a$



同步检测

1. 在距地面 h 高处以 v_0 水平抛出质量为 m 的物体，当物体着地时和地面碰撞时间为 Δt，则这段时间内物体受到地面给予竖直方向的冲量为（　　）

A. $mg\sqrt{2h/g}$　　B. $mg\sqrt{2h/g}+mg\Delta t$

C. $mg\Delta t$　　D. $mg\Delta t-mg\sqrt{2h/g}$

2. 在以下几种运动中，相等的时间内物体的动量变化相等的是（　　）

A. 匀速圆周运动　　B. 自由落体运动

C. 平抛运动　　D. 单摆的摆球沿圆弧摆动

3. 质量相等的物体 P 和 Q，并排静止在光滑的水平面上，现用一水平恒力推物体 P，同时给 Q 物体一个与 F 同方向的瞬时冲量 I，使两物体开始运动，当两物体重新相遇时，所经历的时间为（　　）

A. I/F　　B. $2I/F$　　C. $2F/I$　　D. F/I

4. A、B 两个物体都静止在光滑水平面上，当分别受到大小相等的水平力作用，经过相等时间，则下列说法中正确的是（　　）

A. A、B 所受的冲量相同　　B. A、B 的动量变化相同

C. A、B 的末动量相同　　D. A、B 的末动量大小相同

5. A、B 两球质量相等，A 球竖直上抛，B 球平抛，两球在运动中空气阻力不计，则下列说法中正确的是（　　）

A. 相同时间内，动量的变化大小相等，方向相同

B. 相同时间内，动量的变化大小相等，方向不同

C. 动量的变化率大小相等，方向相同

D. 动量的变化率大小相等，方向不同

6. 下列关于冲量、动量与动量变化的说法中正确的是（　　）

A. 物体的动量等于物体所受的冲量

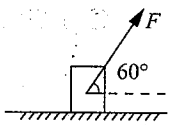
B. 物体所受外力的冲量大小等于物体动量的变化大小

C. 物体所受外力的冲量方向与物体动量的变化方向相同

D. 物体的动量变化方向与物体的动量方向相同

7. 将 0.5 kg 小球以 10 m/s 的速度竖直向上抛出，在 3 s 内小球的动量变化的大小等于_____ kg·m/s，方向_____；若将它以 10 m/s 的速度水平抛出，在 3 s 内小球的动量变化的大小等于_____ kg·m/s，方向_____。

8. 如图所示，重为 100 N 的物体，在与水平方向成 60°角的拉力 $F=10$ N 作用下，以 2 m/s 的速度匀速运动，在 10 s 内，拉力 F 的冲量大小等于_____ N·s，摩擦力的冲量大小等于_____ N·s。



9. 以初速度 v_0 竖直上抛一个质量为 m 的小球，不计空气阻力，则小球上升到最高点的一半时间内的动量变化为_____，小球上升到最高点的一半高度内的动量变化为_____（选竖直向下为正方向）。

10. 质量为 1 kg 的物体从高 5 m 处的平台以 1 m/s 的速度水平抛出，不计空气阻力，求物体落地时的动量。（g 取 10 m/s^2）

11. 质量为 10 kg 的铁锤，从某一高度处落下后与立在地面上的木桩相碰，碰前速度大小为 10 m/s，碰后静止在木桩上，若铁锤与木桩的作用时间为 0.1 s，g 取 10 m/s^2。求：(1) 铁锤受到的平均冲力。(2) 木桩对铁锤的平均弹力。

参考答案

1. D　2. BC　3. B　4. D　5. AC　6. BC

7. 14.7　竖直向下　14.7　竖直向下

8. 100　50

9. $\frac{1}{2}mv_0$　$\frac{2-\sqrt{2}}{2}mv_0$

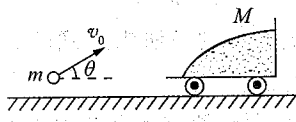
10. $\sqrt{101}$ kg·m/s，与水平方向夹角为 arctan 10，斜向下

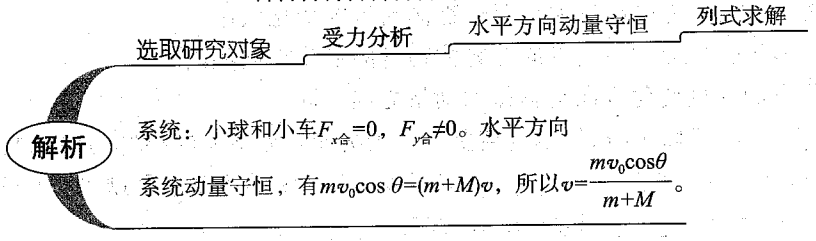
11. (1) 1 000 N，竖直向上　(2) 1 100 N，竖直向上

第二节　动量守恒定律

解题指南

例 1　质量为 m 的铅球以大小为 v_0，仰角为 θ 的初速度抛入一个装有砂子的总质量为 M 的静止的砂车中，砂车与地面的摩擦不计，球与砂车的共同速度是多少？

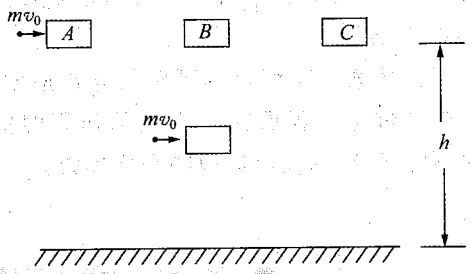




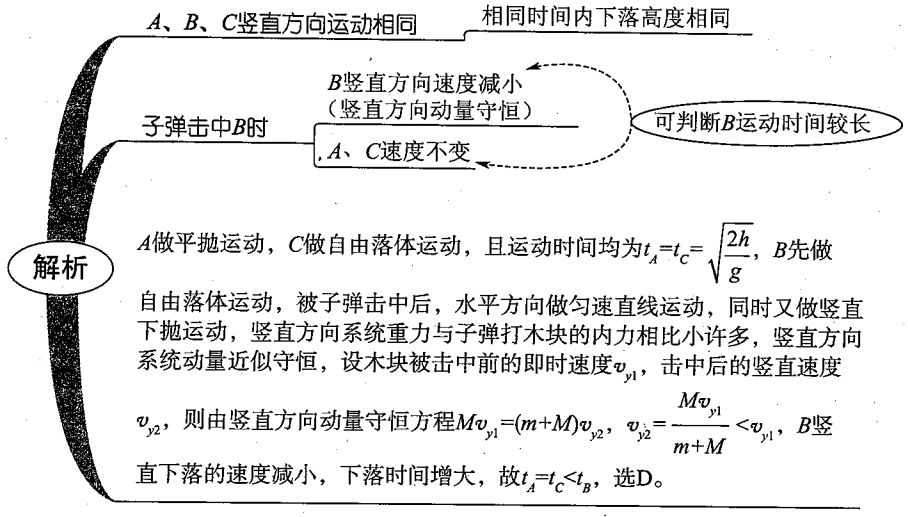
◎【答案】$\frac{mv_0\cos\theta}{m+M}$

点评：虽然系统 $F_{合}\neq 0$，但可以使用正交分解法，若 $F_{x合}=0$，则 x 方向系统动量守恒，若 $F_{y合}=0$，则 y 方向系统动量守恒，列守恒方程时 4 个速度都应是守恒方向的投影。

例 2　如图所示，质量 M 相同的三个木块 A、B、C，从同一高度自由落下，若 A 一开始运动就被水平飞来的子弹 m 射中，B 在途中被射中且子弹的水平初速度相同，但均未穿出木块，而 C 始终自由下落，因此，三个木块在空中运动时间的关系为（　　）

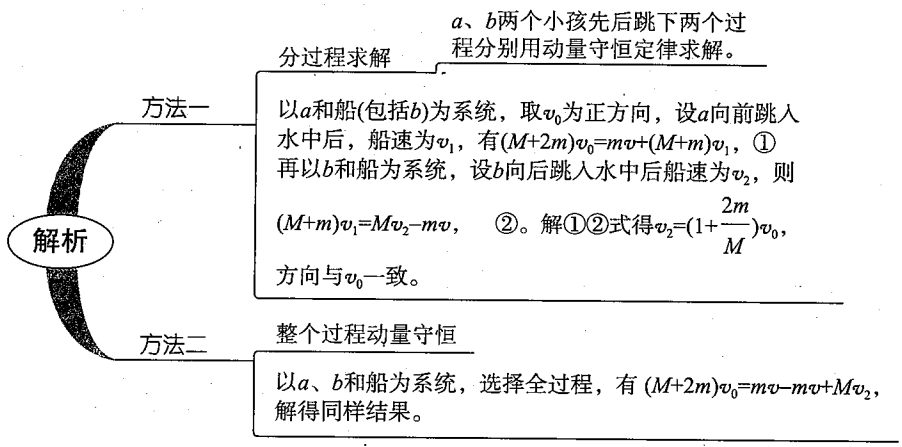


A. $t_A=t_B=t_C$　　B. $t_A>t_B>t_C$　　C. $t_A=t_C>t_B$　　D. $t_A=t_C<t_B$



◎【答案】D

例3　质量为 M 的小船以速度 v_0 行驶，船上有两个质量皆为 m 的小孩 a 和 b，分别静止站在船头和船尾。现小孩 a 沿水平方向以速率 v（相对于静止的水面）向前跳入水中，然后小孩 b 沿水平方向以同一速率 v（相对于静止水面）向后跳入水中，求小孩 b 跳出后，小船的速度（水的阻力不计）。



◎【答案】$(1+\frac{2m}{M})v_0$，方向与 v_0 一致。

点评：对于多个物体系统，应用动量守恒定律时，有时对整体应用动量守恒定律，有时对系统的部分应用动量守恒定律，有时分过程多次应用动量守恒定律，有时对全过程应用动量守恒定律，要善于选择过程。

【拓展】再例，如图所示，两只小船平行逆向航行，航线邻近，当它们头尾相齐时，由每只船上各投质量 $m=50$ kg 的麻袋到对方船上去，结果载重较小的一只船停下来，另一只船则以 $v=8.5$ m/s的速度向原方向航行。设两只船及船上的载重总质量分别是 $m_1=500$ kg，$m_2=1\ 000$ kg。问在交换麻袋前，两只船的速率为多少？（水的阻力不计）

通解通法：

取其中的部分的物体用动量守恒定律，令 v_2 为正方向，

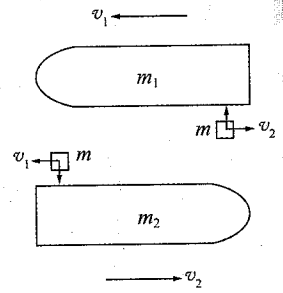
以小船和大船投过的麻袋为系统，有

$$mv_2-(m_1-m)v_1=0 \quad ①$$

以大船和小船投过的麻袋为系统，有

$$(m_2-m)\ v_2-mv_1=m_2v, \quad ②$$

解①②式得 $v_1=1$ m/s，$v_2=9$ m/s。



巧解巧法：

对所有船和麻袋整体，全过程用动量守恒，

$$m_2v_2-m_1v_1=m_2v, \quad ③$$

联立③式和①②式中的任意一个可得同样结果。

例 4 平静的湖面上浮着一只长 $L=6$ m，质量为 550 kg 的船，船头上站着一质量为 $m=50$ kg的人，开始时，人和船均处于静止。若船行进时阻力很小，问当人从船头走到船尾时，船将行进多远？

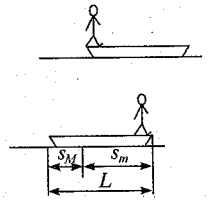
人船模型适用条件：初动量为零

两物体位移之比等于质量的反比：关键找出两物体的位移和；画出物体运动关系图

以人和船组成的系统为研究对象。因船行进时阻力很小，船及人所受重力与水对船的浮力平衡，可以认为人在船上行走时系统动量守恒，开始时人和船都静止，系统总动量为零；当人在船上走动时，无论人的速度如何，系统的总动量都保持为零不变。取人运动方向为正方向，设人对岸的速度为v，船对岸的速度为V，其方向与v相反，由动量守恒定律有$0=mv+(-MV)$，解得两速度大小之比为$\frac{v}{V}=\frac{M}{m}$，此结果对于人在船上行走过程的任一瞬时都成立。

解析

方法一：取人在船上行走时任一极短时间Δt_i，在此时间内人和船都可视为匀速运动，此时间内人和船相对地面移动的距离分别为$\Delta s_{mi}=v_i\Delta t_i$和$\Delta s_{Mi}=V_i\Delta t_i$，由此有$\frac{\Delta s_{mi}}{\Delta s_{Mi}}=\frac{v_i}{V_i}=\frac{M}{m}$，这样人从船头走到船尾时，人和船相对地面移动的总距离分别为$s_m=\Sigma\Delta s_{mi}$，$s_M=\Sigma\Delta s_{Mi}$。



由此有$\frac{s_m}{s_M}=\frac{M}{m}$，由图中几何关系可知$s_m+s_M=L$。这样，人从船头走到船尾时，船行进的距离为$s_M=L\frac{m}{M+m}$。

代入数据有$s_M=0.5$ m。

方法二：由于对于人在船上行走过程的任一时刻都有$\frac{v}{V}=\frac{M}{m}$，则在该过程中人和船的平均速度应满足$\frac{\overline{v}}{\overline{V}}=\frac{M}{m}$，由于人和船运动时间相同，故有$\frac{s_m}{s_M}=\frac{\overline{v}t}{\overline{V}t}=\frac{M}{m}$，同方法一，可求得$s_M=0.5$ m。

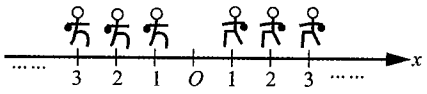
◎【答案】0.5 m

说明：做这类题目，首先要画好示意图，要特别注意两个物体相对于地面的移动方向和两个物体位移大小之间的关系。

例 5　如图所示，一排人站在 x 轴的水平轨道旁，原点 O 两侧的人的序号都记为 n（$n=1, 2, 3, \cdots$）。每人只有一个沙袋，$x>0$ 一侧的每个沙袋质量为 $m=14\ \text{kg}$，$x<0$ 一侧的每个沙袋质量为 $m'=10\ \text{kg}$。一质量为 $M=48\ \text{kg}$ 的小车以某初速度从原点出发向正 x 方向滑行，不计轨道阻力，当车每经过一人身旁时，此人就把沙袋以水平速度 u 朝与车速相反的方向沿车面扔到车上，u 的大小等于扔此沙袋之前的瞬间速度大小的 $2n$ 倍（n 是此人的序号数）。求：

（1）空车出发后，车上堆积了几个沙袋时车就反向滑行？

（2）车上最终有大小沙袋共多少个？



考查学生运用数学方法求解物理问题（数学归纳法）。

通过一次、两次、三次的碰撞运用动量守恒定律求出碰后的速度。

归纳出n次碰后速度的通式。

确定小车反向速度满足的条件。

$v_{n-1}>0$，$v_n<0$确定碰撞次数，进一步确定沙袋数。

解析

(1)在小车朝正x方向滑行的过程中，第$n-1$个沙袋扔到车上后的车速为v_{n-1}，第n个沙袋扔到车上后的车速为v_n，由动量守恒定律有

$$[M+(n-1)m]v_{n-1}-2nmv_{n-1}=[M+nm]v_n,$$

$$v_n=\frac{M-(n+1)m}{M+nm}v_{n-1}, \quad ①$$

小车反向运动的条件是$v_{n-1}>0$，$v_n<0$，即

$$M-nm>0, \quad ②$$

$$M-(n+1)m<0, \quad ③$$

代入数字，得

$$n<\frac{M}{m}=\frac{48}{14},$$

$$n>\frac{M}{m}-1=\frac{34}{14}。$$

n应为整数，故$n=3$，即车上堆积3个沙袋后车就反向滑行。

(2)车自反向滑行直到接近$x<0$一侧第1人所在位置时，车速保持不变，而车的质量为$M+3m$。若在朝负x方向滑行过程中，第$n-1$个沙袋扔到车上后车速为v'_{n-1}，第n个沙袋扔到车上后车速为v'_n，现取在图中向左的方向(负x方向)为速度v'_n、v'_{n-1}的正方向，则由动量守恒定律有

$$[M+3m+(n-1)m']v'_{n-1}-2m'nv'_{n-1}=(M+3m+nm')v'_n,$$

$$v'_n=\frac{M+3m-(n+1)m'}{M+3m+nm'}v'_{n-1}, \quad ④$$

车不再向左滑行的条件是

$$v'_{n-1}>0,\ v'_n\leqslant 0,$$

即

$$M+3m-nm'>0, \quad ⑤$$

$$M+3m-(n+1)m'\leqslant 0, \quad ⑥$$

或

$$n<\frac{M+3m}{m'}=9,$$

$$n\geqslant\frac{M+3m}{m'}-1=8,$$

$$8\leqslant n<9。 \quad ⑦$$

$n=8$时，车停止滑行，即在$x<0$一侧第8个沙袋扔到车上后车就停住。故车上最终共有大小沙袋3+8=11个。

◎【答案】(1) 3个　(2) 11个

例6 一个连同装备总质量为$M=100$ kg的宇航员，在距离飞船$s=45$ m处与飞船处于相对静止状态，宇航员背着装有质量为$m_0=0.5$ kg氧气的储气筒，筒上有一个可以使氧气以$v=50$ m/s的速度喷出的喷嘴，宇航员必须向着返回飞船的相反方向放出氧气，才能回到飞船，同时又必须保留一部分氧气供途中呼吸用。宇航员的耗氧率为$Q=2.5\times10^{-4}$ kg/s，不考虑喷出氧气对设备及宇航员总质量的影响，则：

(1) 瞬时喷出多少氧气，宇航员才能安全返回飞船？

(2) 宇航员安全返回到飞船的最长和最短时间分别为多少？

(3) 为了使总耗氧量最低，应一次喷出多少氧气？返回时间又是多少？

(解析：一般飞船沿椭圆轨道运动，不是惯性参考系，但是，在一段很短的圆弧上，可以视为飞船做匀速直线运动，当做惯性参考系)

用数学方法求解极值。

解析

(1) 结合题目中的第(1)、第(2)两问不难看出，第(1)问所求的喷出氧气的质量m应有一个范围。若m太小，宇航员获得的速度也小，虽储气筒中剩余的氧气较多，但由于返回飞船所用的时间太长，将无法满足他途中的呼吸所用。若m太大，宇航员获得的速度虽然大了，而筒中氧气太少，也无法满足其呼吸所用。所以m对应的最小和最大两个临界值都应是氧气恰好用完的情况。设瞬间喷m kg氧气时，宇航员恰能安全返回，根据动量守恒定律可得：$mv=MV$，　① 宇航员匀速返回的时间为：$t=\frac{s}{V}$，　② 储气筒中氧气的总质量：$m\geqslant m+Qt$，　③ 代入数据解①②③式可得瞬间喷出的氧气质量应满足0.05 kg$\leqslant m\leqslant$0.45 kg。

(2) 根据①式及②式得$t=\frac{Ms}{mv}$，　④ 当$m=0.05$ kg时，可求得宇航员安全返回到飞船的最长时间为$t_{max}=1\ 800$ s。当$m=0.45$ kg时，可求得宇航员安全返回到飞船的最短时间为$t_{min}=200$ s。

(3) 当总耗氧量最低时，设宇航员安全返回时，共消耗氧气Δm，则：$\Delta m=m+Qt$，　⑤ 由①②⑤式可得：$\Delta m=\frac{QsM}{mv}+m=\frac{2.25\times10^{-2}}{m}+m$，当$m=\frac{2.25\times10^{-2}}{m}$即$m=0.15$ kg时，Δm有极小值。故总耗氧量最低时，应一次喷出0.15 kg的氧气。将$m=0.15$ kg代入①②两式可解得返回时间$t=600$ s。

◎【答案】(1) 0.05 kg$\leqslant m\leqslant$0.45 kg　(2) 1800 s，200s　(3) 0.15 kg，600s

说明：高考对能力的要求越来越高，这其中就包括推理能力和应用数学知识处理物理问题的能力。对于较复杂的物理问题，如何根据题目中所给的事实及隐含条件，对物理问题进行逻辑推理，找出相关的临界过程，建立必要的数学方程式，并能从数学的角度加以处理，对今后的高考将会变得越来越重要。

例7 动量分别为5 kg·m/s和6 kg·m/s的小球A、B沿光滑平面上的同一条直线同向运动，A追上B并发生碰撞，若已知碰撞后A的动量减小了2 kg·m/s，而方向不

变，那么 A、B 质量之比的可能范围是多少？

碰撞中动量守恒；碰撞后动能小于等于碰前动能；碰撞后，后面物体的速度小于等于前面物体的速度。

解析

A能追上B，说明碰前$v_A > v_B$，即$\frac{5}{m_A} > \frac{6}{m_B}$，碰后$A$的速度不大于$B$的速度，得$\frac{3}{m_A} \leqslant \frac{8}{m_B}$，又因为碰撞过程系统动能不会增加，有$\frac{5^2}{2m_A}+\frac{6^2}{2m_B} \geqslant \frac{3^2}{2m_A}+\frac{8^2}{2m_B}$，由以上不等式组解得：$\frac{3}{8} \leqslant \frac{m_A}{m_B} \leqslant \frac{4}{7}$。

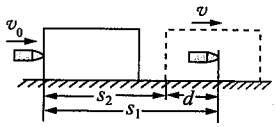
◎【答案】$\frac{3}{8} \leqslant \frac{m_A}{m_B} \leqslant \frac{4}{7}$

例 8　设质量为 m 的子弹以初速度 v_0 射向静止在光滑水平面上的质量为 M 的木块，并留在木块中不再射出，子弹钻入木块深度为 d。求木块对子弹的平均阻力的大小和该过程中木块前进的距离。

碰撞时动量守恒，系统减少的机械能等于产生的内能，产生的内能等于阻力乘以相对位移（往返运动则乘以相对路程）。

解析

子弹和木块最后共同运动，相当于完全非弹性碰撞。从动量的角度看，子弹射入木块过程中系统动量守恒：$mv_0=(M+m)v$，从能量的角度看，该过程系统损失的动能全部转化为系统的内能。设平均阻力大小为 f，设子弹、木块的位移大小分别为s_1、s_2，如图所示，



显然有$s_1-s_2=d$，对子弹用动能定理：$fs_1=\frac{1}{2}mv_0^2-\frac{1}{2}mv^2$，　①　对木块用动能定理：$fs_2=\frac{1}{2}Mv^2$，　②　①、②相减得：$fd=\frac{1}{2}Mv_0^2-\frac{1}{2}(M+m)v^2=\frac{Mm}{2(M+m)}v_0^2$。　③

上式③的物理意义是：fd恰好等于系统动能的损失；根据能量守恒定律，系统动能的损失应该等于系统内能的增加；可见$fd=Q$，即两物体由于相对运动而摩擦产生的热(机械能转化为内能)等于摩擦力大小与两物体相对滑动的路程的乘积(由于摩擦力是耗散力，摩擦生热跟路径有关，所以这里应该用路程，而不是用位移)。

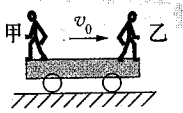
由上式不难求得平均阻力的大小$f=\frac{Mmv_0^2}{2(M+m)d}$，至于木块前进的距离$s_2$，可以由以上②、③相比得出：$s_2=\frac{m}{M+m}d$。

◎【答案】$\frac{Mmv_0^2}{2(M+m)d}$　$\frac{m}{M+m}d$

同步检测

1. 如图所示，光滑水平面上有一辆质量为 $2m$ 的小车，车上左右两端分别站着甲、乙两人，他们的质量都是 m，开始两个人和车一起以速度 v_0 向右匀速运动，某一时

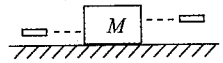
刻，站在车右端的乙先以相对于地面向右的速度 u 跳离小车，然后站在车左端的甲以相对于地面向左的速度 u 跳离小车。两人都离开小车后，小车的速度将是（　　）



A. v_0　　B. $2v_0$

C. 大于 v_0 小于 $2v_0$　　D. 大于 $2v_0$

2. 质量为 M 的均匀木块静止在光滑水平面上，木块左右两侧各有一位拿着完全相同步枪和子弹的射击手。首先左侧射手开枪，子弹水平射入木块的最大深度为 d_1，然后右侧射手开枪，子弹水平射入木块的最大深度为 d_2，如图所示，设子弹均未射穿木块，且两颗子弹与木块之间的作用力大小均相同。当两颗子弹均相对木块静止时，下列说法正确的是（　　）



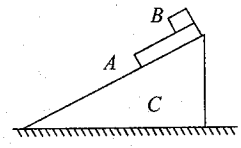
A. 最终木块静止，$d_1=d_2$

B. 最终木块向右运动，$d_1<d_2$

C. 最终木块静止，$d_1<d_2$

D. 最终木块向左运动，$d_1=d_2$

3. 如图，斜面体 C 质量为 M，斜面足够长，始终静止在水平面上，一质量为 m 的长方形木板 A，上表面光滑，木板 A 获得初速度 v_0 后正好能沿着斜面匀速下滑，当木板 A 匀速下滑时将一质量也为 m 的滑块 B 轻轻放在木块 A 表面，当滑块 B 在木块 A 上滑动时（　　）



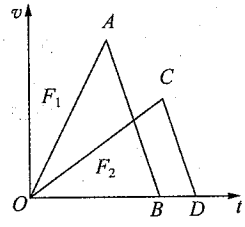
A. 滑块 B 的动量为 $\frac{1}{2}mv_0$ 时，木块 A 和滑块 B 速度大小相等

B. 滑块 B 的动量为 $\frac{1}{2}mv_0$ 时，斜面体对水平面压力大小为 $(M+2m)g$

C. 滑块 B 的动量为 $\frac{3}{2}mv_0$ 时，木板 A 的动量为 $-\frac{1}{2}mv_0$

D. 滑块 B 的动量为 $\frac{3}{2}mv_0$ 时，水平面对斜面体的摩擦力向左

4. 水平推力 F_1 和 F_2 分别作用于水平面上原来静止的等质量的 a、b 两物体上，作用一段时间后撤去推力，物体将继续运动一段时间停下，两物体的 v-t 图像如图所示，已知图中线段 $AB/\!/CD$，则（　　）



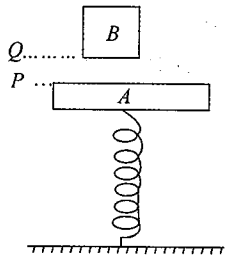
A. F_1 的冲量小于 F_2 的冲量

B. F_1 的冲量等于 F_2 的冲量

C. 两物体受到的摩擦力大小相等

D. 两物体受到的摩擦力大小不等

5. 如图所示，固定在水平面上的竖直轻弹簧上端与质量为 M 的物块 A 相连，静止时物块 A 位于 P 处，另有一质量为 m 的物块 B，从 A 的正上方 Q 处自由下落，与 A 发生碰撞立即具有相同的速度，然后 A、B 一起向下运动，将弹簧继续压缩后，物块 A、B 被反弹。下面是有关的几个结论，其中正确的是（　　）



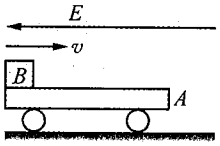
A. A、B 反弹过程中，在 P 处物块 B 与 A 相分离

B. A、B 反弹过程中，在 P 处物块 B 与 A 仍未分离

C. B 可能回到 Q 处

D. B 不可能回到 Q 处

6. 如图所示为一个模拟货物传送的装置，A 是一个表面绝缘，质量 $M=100$ kg，电荷量 $q=+6.0\times10^{-2}$ C 的传送小车，小车置于光滑的水平地面上。在传送途中，有一个水平电场，电场强度为 $E=4.0\times10^{3}$ V/m，可以通过开关控制其有无。现将质量 $m=20$ kg 的货物 B 放置在小车左端，让它们以 $v=2$ m/s 的共同速度向右滑行，在货物和小车快到终点时，闭合开关产生一个水平向左的匀强电场，经过一段时间后关闭电场，当货物到达目的地时，小车和货物的速度恰好都为零。已知货物与小车之间的动摩擦因素 $\mu=0.1$。



（1）试指出关闭电场的瞬间，货物和小车的速度方向。

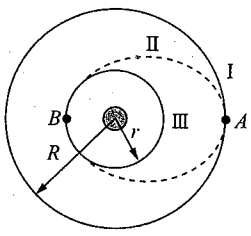
（2）为了使货物不滑离小车的另一端，小车至少多长？

（货物不带电且体积大小不计，g 取 10 m/s^2）

7. 美国航空航天局和欧洲航空航天局合作研究的“卡西尼”号土星探测器，在美国东部时间 2004 年 6 月 30 日（北京时间 7 月 1 日）抵达预定轨道，开始“拜访”土星及其卫星家族。质量为 m 的“卡西尼”号探测器进入绕土星飞行的轨道，先在半径为 R 的圆形轨道Ⅰ上绕土星飞行，运行速度大小为 v_1。为了进一步探测土星表面的情况，当探测器运行到 A 点时发动机向前喷出质量为 Δm 的气体，探测器速度大小减为 v_2，进入一个椭圆轨道Ⅱ，运行到 B 点时再一次改变速度，然后进入离土星更近的半径为 r 的圆轨道Ⅲ，如图所示，设探测器仅受到土星的万有引力，不考虑土星的卫星对探测器的影响，探测器在 A 点喷出的气体速度大小为 u。求：

（1）探测器在轨道Ⅲ上的运行速率 v_3 和加速度的大小。

（2）探测器在 A 点喷出的气体质量 Δm。

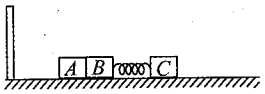


8. 如图所示，在足够长的光滑水平轨道上静止三个小木块 A、B、C，质量分别为 $m_A=1$ kg，$m_B=1$ kg，$m_C=2$ kg，其中 B 与 C 用一个轻弹簧固定连接，开始时整个装置处于静止状态；A 和 B 之间有少许塑胶炸药，A 的左边有一个弹性挡板（小木块和弹性挡板碰撞过程没有能量损失）。现在引爆塑胶炸药，若炸药爆炸产生的能量有 $E=9$ J 转化为 A 和 B 沿轨道方向的动能，A 和 B 分开后，A 恰好在 BC 之间的弹簧第一次恢复到原长时追

上 B，并且在碰撞后和 B 粘到一起。求：

（1）在 A 追上 B 之前弹簧弹性势能的最大值。

（2）A 与 B 相碰以后弹簧弹性势能的最大值。



参考答案

1 A　2　C　3 AD　4 AC　5 BD

6.（1）货物和小车的速度方向分别向右和向左。

（2）设关闭电场的瞬间，货物和小车的速度大小分别为 v_B 和 v_A；电场存在时和电场消失后货物在小车上相对滑行的距离分别为 L_1 和 L_2；电场存在的时间是 t，该段时间内货物和小车的加速度大小分别是 a_B 和 a_A，对地位移分别是 s_B 和 s_A。在关闭电场后，货物和小车系统动量守恒，由动量守恒定律和能量守恒定律有

$$mv_B-Mv_A=0, \qquad ①$$

$$\mu mgL_2=\frac{1}{2}mv_B{}^2+\frac{1}{2}Mv_A{}^2 \qquad ②$$

由①式代入数据得

$$v_B=5v_A \qquad ③$$

在加电场的过程中，货物一直向前做匀减速运动，小车先向前做匀减速运动，然后反向做匀加速运动，由牛顿第二定律有 $a_B=\mu mg/m=1\ \text{m/s}^2$，$a_A=(qE-\mu mg)/M=2.2\ \text{m/s}^2$，

又 $v_B=v-a_Bt$，$v_A=|v-a_At|$，

将其与③式联立可得 $t=1\ \text{s}$，$v_B=1\ \text{m/s}$，$v_A=0.2\ \text{m/s}$。

再由运动学公式可得 $s_B=vt-\frac{1}{2}a_Bt^2=1.5\ \text{m}$，$s_A=vt-\frac{1}{2}a_At^2=0.9\ \text{m}$，

所以 $L_1=s_B-s_A=0.6\ \text{m}$，

又将数据代入②式解得 $L_2=0.6\ \text{m}$，

所以小车的最短长度为 $L=L_1+L_2=1.2\ \text{m}$。

7.（1）在轨道Ⅰ上，探测器所受万有引力提供向心力，设土星质量为 M，则有

$$G\frac{Mm}{R^2}=m\frac{v_1^2}{R}, \qquad ①$$

同理，在轨道Ⅲ上有

$$G\frac{Mm}{r^2}=m\frac{v_3^2}{r}, \qquad ②$$

由式①②式可得 $v_3=\sqrt{\frac{R}{r}}v_1$，

探测器在轨道Ⅲ上运行时加速度设为 a，则有

$$G\frac{Mm}{r^2}=ma \text{ 或 } a=\frac{v_3^2}{r}, \qquad ③$$

由①③式可得 $a=\frac{R}{r^2}v_1^2$。

（2）探测器在 A 点喷出气体前后，由动量守恒得

$mv_1=(m-\Delta m)v_2+\Delta mu$，

$\Delta m=\dfrac{v_1-v_2}{u-v_2}m$。

8.（1）塑胶炸药爆炸瞬间取 A 和 B 为研究对象，假设爆炸后瞬间 A、B 的速度大小分别为 v_A、v_B，取向右为正方向

由动量守恒：$-m_Av_A+m_Bm_B=0$，

爆炸产生的热量为 9 J，转化为 A、B 的动能：$E=\dfrac{1}{2}m_Av_A^2+\dfrac{1}{2}m_Bv_B^2$，

代入数据解得：$v_A=v_B=3$ m/s。

由于 A 在炸药爆炸后再次追上 B 的时候弹簧恰好第一次恢复到原长，则在 A 追上 B 之前弹簧已经有一次被压缩到最短（即弹性势能最大），爆炸后取 B、C 和弹簧为研究系统，当弹簧第一次被压缩到最短时 B、C 达到共速 v_{BC}，此时弹簧的弹性势能最大，设为 E_{p1}。

由动量守恒定律：$m_Bv_B=(m_B+m_C)v_{BC}$，

由能量守恒定律：$\dfrac{1}{2}m_Bv_B^2=\dfrac{1}{2}(m_B+m_C)v_{BC}^2+E_{p1}$，

代入数据得：$E_{p1}=3$ J。

（2）设 B、C 之间的弹簧第一次恢复到原长时 B、C 的速度大小分别为 v_{B1} 和 v_{C1}，则由动量守恒和能量守恒：

$m_Bv_B=m_Bv_{B1}+m_Cv_{C1}$，

$\dfrac{1}{2}m_Bv_B^2=\dfrac{1}{2}m_Bv_{B1}^2+\dfrac{1}{2}m_Cv_{C1}^2$，

代入数据解得：$v_{B1}=-1$ m/s　$v_{C1}=2$ m/s。

（$v_{B1}=3$ m/s，$v_{C1}=0$ m/s 不合题意，舍去。）

A 爆炸后先向左匀速运动，与弹性挡板碰撞以后速度大小不变，反向弹回。当 A 追上 B，发生碰撞瞬间达到共速 v_{AB}。

由动量守恒：$m_Av_A+m_Bv_{B1}=(m_A+m_B)v_{AB}$，

解得：$v_{AB}=1$ m/s。

当 A、B、C 三者达到共同速度 v_{ABC} 时，弹簧的弹性势能最大为 E_{p2}。

由动量守恒：$(m_A+m_B)v_{AB}+m_Cv_{C1}=(m_A+m_B+m_C)v_{ABC}$，

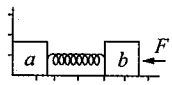
由能量守恒：$\dfrac{1}{2}(m_A+m_B)v_{AB}^2+\dfrac{1}{2}m_Cv_1^2=\dfrac{1}{2}(m_A+m_B+m_C)v_{ABC}^2+E_{p2}$，

代入数据得：$E_{p2}=0.5$ J。

本章知识检测题

1. 木块 a 和 b 用一根轻弹簧连接起来，放在光滑水平面上，a 紧靠在墙壁上，在 b 上施加向左的水平力使弹簧压缩，如图所示，当撤去外力后，下列说法中正确的是（　　）

A. a 尚未离开墙壁前，a 和 b 系统的动量守恒



B. a 尚未离开墙壁前，a 与 b 系统的动量不守恒

C. a 离开墙后，a、b 系统动量守恒

D. a 离开墙后，a、b 系统动量不守恒

2. 甲球与乙球相碰，甲球的速度减少 5 m/s，乙球的速度增加了 3 m/s，则甲、乙两球质量之比 $m_{甲}:m_{乙}$ 是（　　）

A. 2∶1　　B. 3∶5　　C. 5∶3　　D. 1∶2

3. 光滑水平面上停有一平板小车，小车上站有两人，由于两人朝同一方向跳离小车，而使小车获得一定速度，则下列说法中正确的是（　　）

A. 两人同时相对于地以 2 m/s 的速度跳离，比两人先后相对于地以 2 m/s 的速度跳离使小车获得速度要大些

B. 两人同时相对于地以 2 m/s 的速度跳离与两人先后相对于地以 2 m/s 的速度跳离两种情况下，小车获得的速度是相同的

C. 两人同时相对于车以 2 m/s 的速度跳离，比两人先后相对于车以 2 m/s 的速度跳离，使小车获得的速度要大些

D. 两人同时相对于车以 2 m/s 的速度跳离，比两人先后相对于车以 2 m/s 的速度跳离，使小车获得的速度要小些

4. A、B 两球在光滑水平面上相向运动，两球相碰后有一球停止运动，则下列说法中正确的是（　　）

A. 若碰后，A 球速度为 0，则碰前 A 的动量一定大于 B 的动量

B. 若碰后，A 球速度为 0，则碰前 A 的动量一定小于 B 的动量

C. 若碰后，B 球速度为 0，则碰前 A 的动量一定大于 B 的动量

D. 若碰后，B 球速度为 0，则碰前 A 的动量一定小于 B 的动量

5. 在光滑水平面上有 A、B 两球，其动量大小分别为 10 kg·m/s 与 15 kg·m/s，方向均为向东，A 球在 B 球后，当 A 球追上 B 球后，两球相碰，则相碰以后，A、B 两球的动量可能分别为（　　）

A. 10 kg·m/s，15 kg·m/s

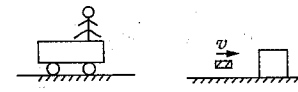
B. 8 kg·m/s，17 kg·m/s

C. 12 kg·m/s，13 kg·m/s

D. −10 kg·m/s，35 kg·m/s

6. 分析下列情况中系统的动量是否守恒（　　）

A. 如图所示，小车停在光滑水平面上，车上的人在车上走动时，人与车组成的系统



B. 如图所示子弹射入放在光滑水平面上的木块中，子弹与木块组成的系统

C. 子弹射入紧靠墙角的木块中，子弹与木块组成的系统

D. 斜向上抛出的手榴弹在空中炸开时，各碎片组成的系统

7. 一平板小车静止在光滑的水平地面上，甲、乙两个人背靠背站在车的中央，当两人同时向相反方向行走，如甲向小车左端走，乙向小车右端走，发现小车向右运动，则（　　）

A. 若两人质量相等，则必定 $v_{甲}>v_{乙}$

B. 若两人的质量相等，则必定 $v_{甲}<v_{乙}$

C. 若两人的速度相等，则必定 $m_{甲}>m_{乙}$

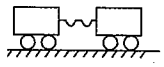
D. 若两人的速度相等，则必定 $m_{甲}<m_{乙}$

8. 质量为 M 的原子核，原来处于静止状态，当它以速度 v 放出一个质量为 m 的粒子时，剩余部分的速度为（　　）

A. $mv/(M-m)$　　B. $-mv/(M-m)$

C. $mv/(M+m)$　　D. $-mv/(M+m)$

9. 如图所示，光滑水平面上两小车中间夹一压缩了的轻弹簧，两手分别按住小车，使它们静止，若以两车及弹簧组成系统，则下列说法中正确的是（　　）



A. 两手同时放开后，系统总量始终为零

B. 先放开左手，后放开右手后，动量不守恒

C. 先放开左手，后放开右手，总动量向左

D. 无论何时放手，只要两手放开后在弹簧恢复原长的过程中，系统总动量都保持不变，但系统的总动量不一定为零

10. 质量分别为 m_A 和 m_B 的人，站在停于水平光滑的冰面上的冰车 C 上，当此两人做相向运动时，设 A 的运动方向为正，则下列关于冰车的运动的说法中正确的是（　　）

A. 如果 $v_A>v_B$，则车运动方向跟 B 的方向相同

B. 如果 $v_A>v_B$，则车运动方向跟 B 的方向相反

C. 如果 $v_A=v_B$，则车保持静止

D. 如果 $m_Av_A>m_Bv_B$，则车运动方向跟 B 的方向相同

11. A、B 两个相互作用的物体，在相互作用的过程中合外力为 0，则下列说法中正确的是（　　）

A. A 的动量变大，B 的动量一定变大

B. A 的动量变大，B 的动量一定变小

C. A 与 B 的动量变化相等

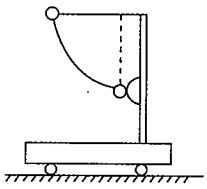
D. A 与 B 受到的冲量大小相等

12. 船静止在水中，若水的阻力不计，当先后以相对地面相等的速率，分别从船头与船尾水平抛出两个质量相等的物体，抛出时两物体的速度方向相反，则两物体抛出以后，船的状态是（　　）

A. 仍保持静止状态　　B. 船向前运动

C. 船向后运动　　D. 无法判断

13. 如图所示，在光滑水平面上有一静止的小车，用线系一小球，将球拉开后放开，球放开时小车保持静止状态，当小球落下以后与固定在小车上的油泥沾在一起，则从此以后，关于小车的运动状态是（　　）



A. 静止不动

B. 向右运动

C. 向左运动

D. 无法判断

14. 小车静止在光滑的水平面上，A、B 两人分别站在车的左右两端，A、B 两人同时相向运动，此时小车向左运动，下述情况可能是（　　）

A. A、B 质量相等，速率相等

B. A、B 质量相等，A 的速度小

C. A、B 速率相等，A 的质量大

D. A、B 速率相等，B 的质量大

15. 在光滑水平面上有两辆车，上面分别站着 A、B 两个人，人与车的质量总和相等，在 A 的手中拿有一个球，两车均保持静止状态，当 A 将手中球抛给 B，B 接到后，又抛给 A，如此反复多次，最后球落在 B 的手中，则关于 A、B 速率大小是（　　）

A. A、B 两车速率相等

B. A 车速率大

C. A 车速率小

D. 两车均保持静止状态

16. 火箭喷气发动机每次喷出 $m=200$ g 的气体，喷出的气体相对地面的速度为 $v=1\ 000$ m/s，设火箭初质量 $m=300$ kg，发动机每秒喷 20 次，在不考虑空气阻力及地球引力的情况下，火箭发动机 1 s 末的速度多大？

17. 平静的水面上有一载人小船，船和人的共同质量为 M，站立在船上的人手中拿一质量为 m 的物体，起初人相对船静止，船、人、物以共同速度 v_0 前进。当人相对于船以速度 u 向相反方向将物体抛出后，人和船的速度为多大？（水的阻力不计）

18. 一辆列车总质量为 M，在平直轨道上以 v 速度匀速行驶，突然后一节质量为 m 的车厢脱钩，假设列车所受的阻力与质量成正比，牵引力不变，当后一节车厢刚好静止时，前面列车的速度多大？

参考答案

1. BC　2. B　3. BC　4. AD　5. B　6. ABD　7. AC　8. B　9. ACD

10. D　11. D　12. A　13. A　14. C　15. B

16. 13.5 m/s

17. $v_0+mu/(M+m)$

18. $Mv/(M-m)$

第十五章　原子结构与原子核

第一节　原子结构

解题指南

例 1　原子从一个能级跃迁到一个较低的能级时，有可能不发射光子。例如，在某种条件下，铬原子的 $n=2$ 能级上的电子跃迁到 $n=1$ 能级上时并不发射光子，而是将相应的能量转移给 $n=4$ 能级上的电子，使其能脱离原子，这一现象叫做俄歇效应，以这种方式脱离了原子的电子叫做俄歇电子。已知铬原子的能级公式可简化表示为 $E_n=-\frac{A}{n^2}$，式中 $n=1$，2，3，…表示不同能级，A 是正的已知常数，上述俄歇电子的动能是（　　）

A. $\frac{3}{16}A$　　B. $\frac{7}{16}A$　　C. $\frac{11}{16}A$　　D. $\frac{13}{16}A$

解析

由能量守恒　吸收能量用来克服原子核做功。

根据题意n=1时，$E_1=-A$；n=2时，$E_2=-A/4$；n=4时，$E_4=-A/16$。

铬原子从n=2能级跃迁到n=1能级时放出能量为$\Delta E=E_2-E_1=\frac{3}{4}A$。

所以俄歇电子动能为$E=E_4+\Delta E=\frac{11}{16}A$。

◎【答案】C

例 2　卢瑟福原子核式结构的理论的主要内容有（　　）

A. 原子的中心有个核，叫原子核

B. 原子的正电荷均匀分布在整个原子中

C. 原子的全部正电荷和几乎全部的质量都集中在原子核里

D. 带负电的电子在核外绕核旋转

解析

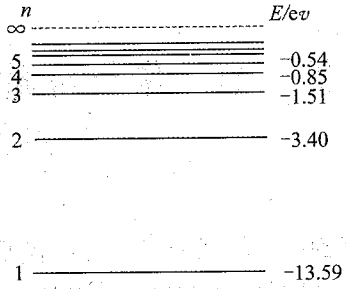
本题考查对卢瑟福核式结构学说内容的掌握情况。

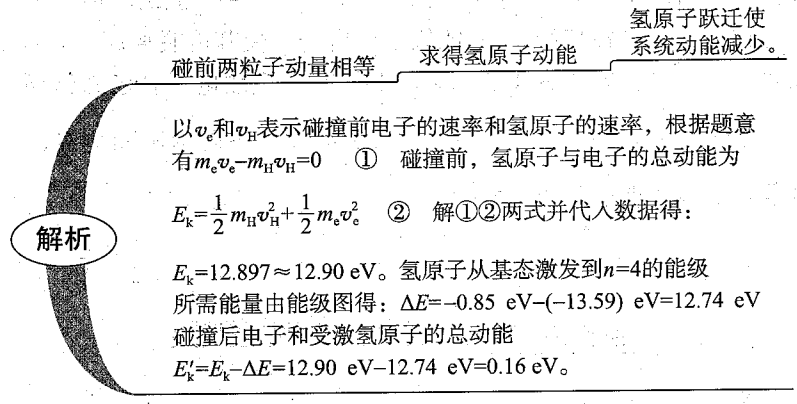
由α粒子散射实验可知，绝大多数α粒子穿过金箔后仍沿原来方向前进，少数α粒子发生了较大的偏转，并且有极少数α粒子偏转角超过90°，有的甚至被反弹回，说明这需要很强的相互作用力，除非原子核的大部分质量和电荷集中到一个很小的核上，否则大角度散射是不可能的。

◎【答案】ACD

例 3　图示为氢原子能级示意图，现有每个电子的动能都是 $E_e=12.89$ eV 的电子束与

处在基态的氢原子束射入同一区域，使电子与氢原子发生迎头正碰。已知碰撞前一个电子和一个原子的总动量为零。碰撞后，氢原子受到激发，跃迁到 $n=4$ 的能级。求碰撞后一个电子和一个受激氢原子的总动能。已知电子的质量 m_e 与氢原子的质量 m_H 之比为 $m_e/m_H=5.445\times10^{-4}$。





◎【答案】0.16 eV

同步检测

1. 有些光谱是一条条的亮线，这样的亮线叫_____，这样的光谱叫_____。有的光谱看起来是连续在一起的光带，这样的光谱叫_____。

2. 卢瑟福的核式结构模型正确地指出了_____的存在，很好地解释了_____，但是经典的物理学既无法解释原子的_____，又无法解释原子光谱的_____特征。

3. 光谱的类型主要有_____和_____。

4. 不同原子发出的光谱都不同，这样的光谱也叫_____。

5. 利用光谱分析可以_____。

6. 在酒精灯的酒精中溶解些食盐，灯焰会发出明亮的黄光，用摄谱仪拍摄下来的光谱中就会有钠的_____（选填“明线”或“暗线”）光谱。用摄谱仪拍摄太阳光，可以分析太阳大气的成分，就是利用太阳光的_____（选填“明线”或“暗线”）光谱。

7. 利用白炽灯、蜡烛、霓虹灯，在酒精灯火焰中燃烧钠盐所产生的光谱中，能产生连续光谱的有_____，能产生明线光谱的有_____。

8. 下列关于光谱和光谱分析的说法中正确的是（　　）

A. 日光灯产生的光谱是连续光谱

B. 太阳光谱中的暗线说明太阳上缺少与这些暗线相对应的元素

C. 我们能通过光谱分析鉴别月球的物质成分

D. 连续光谱是不能用来做光谱分析的

9. 下列关于光谱的说法中正确的是（　　）

A. 炽热固体、液体和高压气体发出的光谱是连续光谱

B. 各种原子的线状谱中的明线和它的吸收谱中的暗线必定一一对应

C. 气体发出的光只能产生线状光谱

D. 甲物质发出的白光通过低温的乙物质蒸气可得到甲物质的吸收光谱

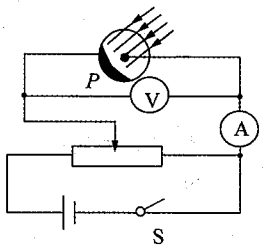
参考答案

1. 谱线　线状谱　连续谱
2. 原子核　α粒子散射实验　稳定性　分立
3. 发射光谱　吸收光谱
4. 特征谱线
5. 鉴别物质及其组成
6. 明线　暗线
7. 白炽灯、蜡烛　霓虹灯、燃烧钠盐
8. D　9. A

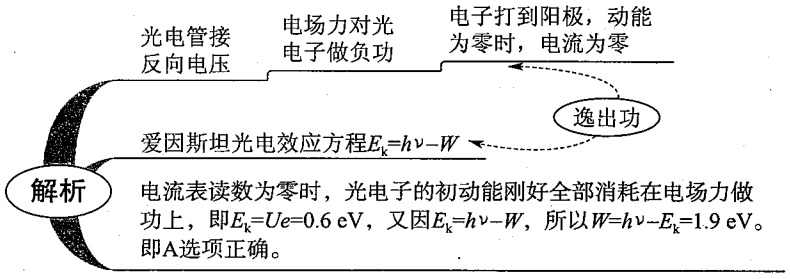
第二节　原子核

解题指南

例 1　如图所示，当开关S断开时，用光子能量为2.5 eV的一束光照射阴极 P，发现电流表读数不为零。合上开关，调节滑线变阻器，发现当电压表读数小于0.60 V时，电流表读数仍不为零；当电压表读数大于或等于0.60 V时，电流表读数为零，由此可知阴极材料的逸出功为（　　）



A. 1.9 eV　　B. 0.6 eV　　C. 2.5 eV　　D. 3.1 eV



◎【答案】A

例 2 $^{232}_{90}$Th（钍）经过一系列 α 或 β 衰变，变成$^{208}_{82}$Pb，下列说法中正确的是（　　）

A. 铅核比钍核少 8 个质子

B. 铅核比钍核少 16 个中子

C. 共经历了 4 次 α 衰变和 6 次 β 衰变

D. 共经历了 6 次 α 衰变和 4 次 β 衰变

A、B项由原子核的符号可分别求得质子数和中子数，也就可以比较质子数和中子数的多少。根据β衰变不会引起质量数的减少，可先根据质量数的变化确定α衰变的次数，再依据电荷数守恒确定β衰变的次数。

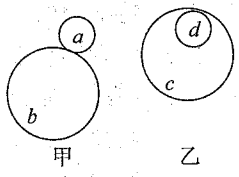
解析

$^{232}_{90}$Th的质子数为90，中子数为142，$^{208}_{82}$Pb的质子数为82，中子数126，因而铅核比钍核少8个质子，16个中子。

一次α衰变质量数减少4，故α衰变的次数x=(232−208)/4=6次，再结合核电荷数的变化情况和衰变规律判定β衰变的次数应满足：$2x-y+82=90$，$y=2x-8=4$次。

◎【答案】D

例 3 甲、乙两个原子核原来都静止在同一匀强磁场中，其中一个核放出一个 α 粒子，另一个核放出一个 β 粒子，得出如图所示的四条径迹（　　）



A. 磁场的方向一定垂直于纸面向里

B. 甲核放出的是 α 粒子，乙核放出的是 β 粒子

C. a 为 α 粒子的径迹，d 为 β 粒子的径迹

D. b 为 α 粒子的径迹，c 为 β 粒子的径迹

释放粒子动量守恒

洛伦兹力做向心力

两粒子旋转方向相反

外切圆为α衰变

内切圆为β衰变

解析

衰变过程中满足动量守恒，粒子与新核的动量大小相等，方向相反，据带电粒子在磁场中的运动不难分析：若轨迹为外切圆，则为α衰变；若轨迹为内切圆，则为β衰变。(可作为结论记住)

◎【答案】BD

例 4 电子的质量为 m_e，一对正、负电子以一定的速度相碰，湮灭后放出一对光子，c 为光速，则可以判断（　　）

A. 这对光子的总能量等于 $2m_ec^2$　　B. 这对光子的总能量大于 $2m_ec^2$

C. 光子的波长等于$\frac{h}{m_ec}$　　D. 光子的波长大于$\frac{h}{m_ec}$

当电子的速度v不是很大时，根据能量守恒有：$2m_ec^2+m_ev^2=2h\nu$。

解析

这对光子的总能量大于$2m_ec^2$，所以光子的波长小于$\frac{h}{m_ec}$。

◎【答案】B

例 5　太阳现正处于主序星演化阶段。它主要是由电子和${}_1^1\mathrm{H}$、${}_2^4\mathrm{He}$等原子核组成。维持太阳辐射的是它内部的核聚变反应，核反应方程是 $2e+4{}_1^1\mathrm{H}\rightarrow{}_2^4\mathrm{He}+$释放的核能，这些核能最后转化为辐射能。根据目前关于恒星演化的理论，若由于聚变反应而使太阳中的${}_1^1\mathrm{H}$核数目从现有数减少 10%，太阳将离开主序星阶段而转入红巨星的演化阶段。为了简化，假定目前太阳全部由电子和${}_1^1\mathrm{H}$核组成。

（1）为了研究太阳演化进程，需知道目前太阳的质量 M。已知地球半径 $R=6.4\times10^6\,\mathrm{m}$，地球质量 $m=6.0\times10^{24}\,\mathrm{kg}$，日地中心的距离 $r=1.5\times10^{11}\,\mathrm{m}$，地球表面处的重力加速度 g 取 $10\,\mathrm{m/s^2}$，1 年约为 $3.2\times10^7\,\mathrm{s}$，试估算目前太阳的质量 M。

（2）已知质子质量 $m_p=1.6726\times10^{-27}\,\mathrm{kg}$，${}_2^4\mathrm{He}$质量 $m_\alpha=6.6458\times10^{-27}\,\mathrm{kg}$，电子质量 $m_e=0.9\times10^{-30}\,\mathrm{kg}$，光速 $c=3\times10^8\,\mathrm{m/s}$。求每发生一次题中所述的核聚变反应所释放的核能。

（3）又知地球上与太阳垂直的每平方米截面上，每秒通过的太阳辐射能 $w=1.35\times10^3\,\mathrm{W/m^2}$。试估算太阳继续保持在主序星阶段还有多少年的寿命。（估算结果只要求一位有效数字。）

解析

（1）用圆周运动（万有引力）求中心天体质量。

设T为地球绕日心运动的周期，则由万有引力定律和牛顿第二定律可知 $G\frac{Mm}{r^2}=m(\frac{2\pi}{T})^2r$，地球表面处的重力加速度 $g=G\frac{m}{R^2}$，可得：$M=m(\frac{2\pi}{T})^2\frac{r^3}{R^2g}$，以题给数值代入，得 $M=2\times10^{30}\,\mathrm{kg}$。

（2）用质能方程求一次核反应释放的能量。

根据质量亏损和质能公式，该核反应每发生一次释放的核能为：$\Delta E=(4m_p+2m_e-m_\alpha)c^2$，代入数值，得 $\Delta E=4.2\times10^{-12}\,\mathrm{J}$。

（3）太阳内发生核反应的次数　反应的时间

根据题给假设，在太阳继续保持在主序星阶段的时间内，发生题中所述的核聚变反应的次数为：$N=\frac{M}{4m_p}\times10\%$。因此，太阳总共辐射出的能量为：$E=N\cdot\Delta E$。设太阳辐射是各向同性的，则每秒内太阳向外放出的辐射能为：$\varepsilon=4\pi r^2w$。所以太阳继续保持在主星序的时间为：$t=\frac{E}{\varepsilon}$，由以上各式解得：$t=\frac{0.1M(4m_p+2m_e-m_\alpha)c^2}{4m_p\times4\pi r^2w}$。

以题给数据代入，并以年为单位，可得：$t=1\times10^{10}$年=1百亿年。

◎【答案】（1）$2\times10^{30}\,\mathrm{kg}$　（2）$4.2\times10^{-12}\,\mathrm{J}$　（3）100 亿年

同步检测

1. 下列说法中错误的是（　　）
   A. 原子核分裂成核子时会放出核能
   B. α 粒子散射实验使人们认识到原子核本身有复杂的结构
   C. 根据玻尔的原子理论，在氢原子中，量子数 n 越大，原子能级的能量也越大
   D. 氡-222 衰变成钋-218，半衰期为 3.8 天，因此，200 个氡-222 原子核经过 3.8 天后剩下 100 个
2. 一群处于 $n=4$ 的激发态的氢原子，向低能级跃迁时，可能发射的谱线为（　　）
   A. 3 条　　B. 4 条　　C. 5 条　　D. 6 条
3. 已知氢原子核外电子的第一条可能轨道半径为 r_1，此时氢原子的能量为 E_1，当核外电子在第 n 条可能轨道上时，有（　　）
   A. 其轨道半径为 $r_n=n^2r_1$
   B. 氢原子的能量为 $E_n=E_1/n^2$，由此可见 n 越大，能量越小
   C. 氢原子在不同能量状态之间跃迁时，总能辐射出一定波长的光子
   D. 氢原子由能量状态 E_n 跃迁到能量状态 E_{n-1} 时，其辐射光子的波长为 $\lambda=\dfrac{hc}{E_n-E_{n-1}}$
4. 某放射性元素，在 15 h 内衰变了全部原子核的 7/8，则其半衰期为（　　）
   A. 10 h　　B. 7.5 h　　C. 5 h　　D. 3 h
5. $^{232}_{90}$Th（钍）经过一系列 α 和 β 衰变，变成 $^{208}_{82}$Pb（铅），下列说法中正确的是（　　）
   A. 铅核比钍核少 8 个质子　　B. 铅核比钍核少 16 个中子
   C. 共经过 4 次 α 衰变和 6 次 β 衰变　　D. 共经过 6 次 α 衰变和 4 次 β 衰变
6. 卢瑟福提出原子的核式结构学说的依据是用 α 粒子轰击金铂，实验中发现 α 粒子（　　）
   A. 全部穿过或发生很小偏转
   B. 绝大多数穿过，只有少数发生较大偏转，有的甚至被弹回
   C. 全部发生很大偏转
   D. 绝大多数发生很大偏转，甚至被弹回，只有少数穿过
7. 在极短的距离上，核力将一个质子和一个中子吸引在一起形成一个氘核，下列说法中正确的是（　　）
   A. 氘核的能量大于一个质子和一个中子能量之和
   B. 氘核的能量等于一个质子和一个中子能量之和
   C. 氘核的能量小于一个质子和一个中子能量之和
   D. 氘核若分裂为一个质子和一个中子时，一定要放出能量
8. 关于质能方程，下列说法中正确的是（　　）
   A. 人质量减少，能量就会增加，在一定条件下质量转化为能量
   B. 物体获得一定的能量，它的质量也相应地增加一定值
   C. 物体一定有质量，但不一定有能量，所以质能方程仅是某种特殊条件下的数量关系

D. 某一定量的质量总是与一定量的能量相联系的

9. 当一个中子和一个质子结合成氘核时，产生 γ 光子辐射，对这一实验事实，下列说法中正确的是（　　）

A. 核子结合成原子核时，要放出一定的能量

B. 原子核分裂成核子时，要放出一定的能量

C. γ 光子的质量为零，氘核的质量等于中子与质子的质量之和

D. γ 光子具有一定的能量，氘核的质量小于中子与质子的质量之和

10. 原子核 A 经 β 衰变（一次）变成原子核 B，原子核 B 再经 α 衰变（一次）变成原子核 C，则下列说法中正确的是（　　）

A. 核 A 的中子数减核 C 的中子数等于 2

B. 核 A 的质子数减核 C 的质子数等于 5

C. 原子核为 A 的中性原子的电子数比原子核为 B 的中性原子的电子数少 1

D. 核 C 的质子数比核 A 的质子数少 1

11. 氢原子核外电子由一个轨道向另一个轨道跃迁时，可能发生的情况是（　　）

A. 原子吸收光子，电子的动能增大，原子的电势能增大，原子的能量增大

B. 原子放出光子，电子的动能减少，原子的电势能减少，原子的能量减少

C. 原子吸收光子，电子的动能减少，原子的电势能增大，原子的能量增大

D. 原子放出光子，电子的动能增加，原子的电势能减少，原子的能量减少

12. 氢原子从第 4 能级跃迁到第 2 能级发出蓝光，那么，当氢原子从第 5 能级跃迁到第 2 能级应发出（　　）

A. X 射线　　B. 红光　　C. 黄光　　D. 紫光

13. 氢原子第一能级是 −13.6 eV，第二能级是 −3.4 eV。如果一个处于基态的氢原子受到一个能量为 11 eV 的光子的照射，则这个氢原子（　　）

A. 吸收这个光子，跃迁到第二能级，放出多余的能量

B. 吸收这个光子，跃迁到比第二能级能量稍高的状态

C. 吸收这个光子，跃迁到比第二能级能量稍低的状态

D. 不吸收这个光子

14. 处于静止状态的原子核 X 经历一次 α 衰变后变成质量为 M 的 Y 原子核，放出的 α 粒子垂直射入磁感应强度为 B 的匀强磁场，测得其做圆周运动的半径为 r，已知 α 粒子的质量为 m，电荷量为 q，设衰变过程中出现的能量全部转化为新核和 α 粒子的动能。求此衰变过程亏损的质量。

15. 核聚变能是一种具有经济性能优越、安全可靠、无环境污染等优势的新能源。近年来，受控核聚变的科学可行性已得到验证，目前，正在突破关键技术，最终将建成商用核聚变电站。一种常见的核聚变反应是由氢的同位素氘（又叫重氢）和氚（又叫超重氢）聚合成氦，并释放一个中子。若已知氘原子的质量为 2.014u，氚原子的质量为 3.0160u，氦原子的质量为 4.0026u，中子的质量为 1.0087u，1 u=1.66×10^{-27} kg。

（1）写出氘和氚聚合的反应方程。

（2）试计算这个核反应释放出来的能量。

（3）若建一座功率为 3.0×10^{5} kW 的核聚变电站，假设聚变所产生的能量有一半变成

品种

D. 用γ射线治疗肿瘤时一定要严格控制剂量，以免对人体正常组织造成太大的危害

4. “朝核危机”引起全球瞩目，其焦点就是朝鲜核电站采用轻水堆还是重水堆。重水堆核电站在发电的同时还可以生产出可供研制核武器的钚-239（$^{239}_{94}Pu$），这种$^{239}_{94}Pu$可由铀-239（$^{239}_{92}U$）经过n次β衰变而产生，则n为（　　）

A. 2　　B. 239　　C. 145　　D. 92

5. 关于半衰期，以下说法中正确的是（　　）

A. 同种放射性元素在化合物中的半衰期比单质中长

B. 升高温度可以使半衰期缩短

C. 氡的半衰期为3.8天，若有四个氡原子核，经过7.6天就只剩下一个

D. 氡的半衰期为3.8天，4 g氡原子核，经过7.6天就只剩下1 g

6. 美国前总统老布什曾让医生们虚惊了一场。那是在访日宴会上突然昏厥，美国政府急忙将他送回国，医生用^{123}I进行诊断，通过体外跟踪，迅速查出了病因。^{123}I的特性是（　　）

A. 半衰期长，并迅速从体内清除　　B. 半衰期长，并缓慢从体内清除

C. 半衰期短，并迅速从体内清除　　D. 半衰期短，并缓慢从体内消除

7. 质子、中子组成氦核，质量分别是m_p、m_n和m_α，则（　　）

A. $m_\alpha>2(m_p+m_n)$　　B. $m_\alpha=2(m_p+m_n)$

C. $m_\alpha<2(m_p+m_n)$　　D. 以上三种情况都有可能

8. 根据爱因斯坦质能关系方程，可以说明（　　）

A. 任何核反应，只要伴随能量的产生，则反应前后各物质的质量和一定不相等

B. 太阳不断地向外辐射能量，因而它的总质量一定不断减少

C. 虽然太阳不断地向外辐射能量，但它的总质量是不变的

D. 若地球从太阳获得的能量大于地球向外辐射的能量，则地球的质量将不断增大

9. 联合国将2005年定为“国际物理年”，以纪念爱因斯坦对物理学的巨大贡献。对于爱因斯坦提出的质能方程$E=mc^2$，下列说法中正确的是（　　）

A. $E=mc^2$表明物体具有的能量与其质量成正比

B. $E=mc^2$中的E表示发生核反应过程中释放的核能

C. 根据$\Delta E=\Delta mc^2$可以计算核反应中释放的核能

D. $\Delta E=\Delta mc^2$表示发生的质量亏损Δm转变为能量ΔE释放出去

10. 从原子核中能放出α、β、γ射线，关于原子核的组成，以下说法中正确的是（　　）

A. 原子核中，有质子、中子，还有α粒子

B. 原子核中，有质子、中子，还有β粒子

C. 原子核中，有质子、中子，还有γ粒子

D. 原子核中，只有质子和中子

11. 北京奥委会接受专家的建议，大量采用对环境有益的新技术。如奥运会场馆周围80%～90%的路灯将利用太阳能发电技术。奥运会90%的洗浴热水将采用全玻真空太阳能集热技术。太阳能的产生是由于太阳内部高温高压条件下的热核聚变反

提示：b 是核反应前 α 粒子的径迹；a 是核反应后生成的新核的径迹，新核是氧核；c 是质子的径迹。核反应方程是：${}_2^4\mathrm{He}+{}_7^{14}\mathrm{N}\rightarrow{}_8^{17}\mathrm{O}+{}_1^1\mathrm{H}$。

23. (1) 放射线具有穿透本领，如果向前运动的铝板的厚度有变化，则探测器接收到的放射线的强度就会随之变化，这种变化被转化为电信号输入到相应装置，进而自动地控制图中右侧的两个轮间的距离，使铝板的厚度恢复正常。

(2) β 射线起主要作用。因为 α 射线的穿透本领很小，一张薄纸就能把它挡住，更穿不过 1 mm 的铝板；γ 射线的穿透本领非常强，能穿透几厘米的铝板，1 mm 左右的铝板厚度发生变化时，透过铝板的射线强度变化不大；β 射线的穿透本领较强，能穿透几毫米的铝板，当铝板的厚度发生变化时，透过铝板的射线强度变化较大，探测器可明显地反映出这种变化，使自动化系统做出相应的反应。

24. (1) 42∶1。α 粒子和 Po 核动量相等，根据公式 $R=\frac{mv}{Bq}=\frac{p}{Bq}$ 可求得两者半径与电荷成反比。(2) 利用公式 $T=\frac{2\pi m}{qB}$ 可求得 α 粒子与 Po 核的周期之比为 $\frac{84}{109}$，α 粒子每转 109 圈 Po 核转 84 圈两者方相遇，故两次相遇的时间间隔 $\Delta t=109T_\alpha$。

25. (1) 45 亿年是 ${}^{238}\mathrm{U}$ 的半衰期，这样还剩 ${}^{238}\mathrm{U}$ 为 1 kg。(2) 1 kg 的 ${}^{238}\mathrm{U}$ 衰变为 ${}^{206}\mathrm{Pb}$，则铅的质量为 $\frac{206}{238}\times 1\ \mathrm{kg}=0.866\ \mathrm{kg}$。(3) 铀、铅的质量之比为 1∶0.866。

26. 根据放射性元素的衰变规律可知，放射性元素在单位时间内的衰变数量与放射性元素的含量成正比，设原来溶液中放射性同位素的含量为 m_0，经过 15 h 后变为 m，则 $m=m_0\left(\frac{1}{2}\right)^{15/5}=\frac{m_0}{8}$。设取出 10 mL 的血液中放射性同位素的质量为 m'，人体内的血液体积为 V，如果认为含放射性的溶液在血液中是均匀分布的，则有 $\frac{m}{V}=\frac{m'}{V'}$，故 $V=\frac{m}{m'}V'$，又由单位时间衰变数量与放射性物质的含量成正比，即 $\frac{m}{m'}=\frac{\frac{1}{8}m_0}{m'}=\frac{6\,000}{16}$，所以 $V=\frac{m}{m'}V'=\frac{6\,000}{16}\times 10\ \mathrm{mL}=3.75\times 10^3\ \mathrm{mL}$。

27. (1) 因为 $Bqv_\alpha=m\frac{v_\alpha^2}{r}$，$\alpha$ 粒子的带电荷量为 $q=2e$，有 $v_\alpha=\frac{2Ber}{m}$，$E_{k\alpha}=\frac{1}{2}mv_\alpha^2=\frac{2B^2e^2r^2}{m}$。

(2) 由动量守恒 $mv_\alpha-Mv_y=0$，所以 $v_y=\frac{2Ber}{M}$，$E_{ky}=\frac{1}{2}Mv_y^2=\frac{2B^2e^2r^2}{M}$。

(3) 由质能方程：$\Delta E=\Delta mc^2$，而 $\Delta E=E_{k\alpha}+E_{ky}$，所以 $\Delta m=\frac{2B^2e^2r^2}{c^2}\left(\frac{1}{m}+\frac{1}{M}\right)$。

衰变前 X 核的质量：$M_x=m+M+\Delta m=m+M+\frac{2B^2e^2r^2}{c^2}\left(\frac{1}{m}+\frac{1}{M}\right)$。

28. 设甲、乙两核质量分别为 $m_甲$、$m_乙$，电荷量分别为 $q_甲$、$q_乙$。由动量与动能关系 $p=\sqrt{2mE_k}$ 和 $p_甲=p_乙$，可得 $\frac{m_甲}{m_乙}=\frac{E_{k乙}}{E_{k甲}}=\frac{4}{1}$，又由 $R=\frac{mv}{Bq}=\frac{p}{Bq}$，可得 $\frac{q_甲}{q_乙}=\frac{R_乙}{R_甲}=\frac{6}{1}$。

因为 $m_{甲}+m_{乙}=15m_0$，$q_{甲}+q_{乙}=7e$，所以 $m_{甲}=12m_0$，$m_{乙}=3m_0$，$q_{甲}=6e$，$q_{乙}=e$。即甲为${}^{12}_{6}\mathrm{C}$，乙为${}^{3}_{1}\mathrm{H}$。

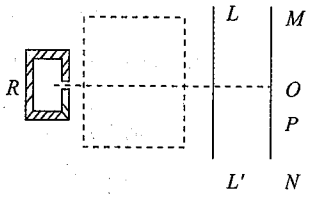
由动量守恒定律，可得 $m_0v_0=m_{甲}v_{甲}+m_{乙}v_{乙}=2m_{甲}v_{甲}=24m_0v_{甲}$，进而求得甲的速度 $v_{甲}=\frac{v_0}{24}$，乙的速度 $v_{乙}=\frac{v_0}{6}$。核反应方程为${}^{14}_{7}\mathrm{N}+{}^{1}_{0}\mathrm{n}\rightarrow{}^{12}_{6}\mathrm{C}+{}^{3}_{1}\mathrm{H}$。

应形成的，其核反应方程是（　　）

A. $4{}_1^1\mathrm{H}\rightarrow{}_2^4\mathrm{He}+2{}_1^0\mathrm{e}$　　B. ${}_7^{14}\mathrm{N}+{}_2^4\mathrm{He}\rightarrow{}_8^{17}\mathrm{O}+{}_1^1\mathrm{H}$

C. ${}_{92}^{235}\mathrm{U}+{}_0^1\mathrm{n}\rightarrow{}_{54}^{135}\mathrm{Xe}+{}_{38}^{90}\mathrm{Sr}+10{}_0^1\mathrm{n}$　　D. ${}_{92}^{238}\mathrm{U}\rightarrow{}_{90}^{234}\mathrm{Th}+{}_2^4\mathrm{He}$

12. 如图所示，R 为放射源，虚线范围内有垂直于纸面的磁场 B，LL' 为厚纸板，MN 为荧光屏，今在屏上 P 点处发现亮斑，则到达 P 点处的放射性物质微粒和虚线范围内 B 的方向分别为（　　）



A. α 粒子，B 垂直于纸面向外

B. α 粒子，B 垂直于纸面向内

C. β 粒子，B 垂直于纸面向外

D. β 粒子，B 垂直于纸面向内

13. 2006 年 2 月 4 日，由中科院等离子体物理研究所设计、制造的 EAST 全超导非圆截面托卡马克实验装置大部件已安装完毕，进入抽真空降温试验阶段，其目的是建成一个受控核聚变反应堆，届时就相当于人类为自己制造了一个小太阳，可以得到无穷尽的清洁能源。核聚变的主要原料是氘，在海水中含量极其丰富。已知氘核（${}_1^2\mathrm{H}$）的质量为 $2.0136u$，中子（${}_0^1\mathrm{n}$）的质量为 $1.0087u$，${}_2^3\mathrm{He}$ 的质量为 $3.0150u$，$1\ u=931.5$ MeV，则下列说法中正确的是（　　）

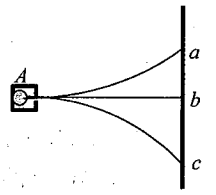
A. 两个氘核聚变成一个 ${}_2^3\mathrm{He}$ 所释放的核能为 3.26 MeV

B. 两个氘核聚变成一个 ${}_2^3\mathrm{He}$ 所释放的核能为 3.16 MeV

C. 两个氘核聚变成一个 ${}_2^3\mathrm{He}$ 所释放的核能为 4.26 MeV

D. 与这种受控核聚变比较，核裂变反应堆产生的废物具有放射性

14. 如图所示，铅盒 A 中装有天然放射性物质，放射线从其右端小孔中水平向右射出，在小孔和荧光屏之间有垂直于纸面向里的匀强磁场，则下列说法中正确的有（　　）



A. 打在图中 a、b、c 三点的依次是 α 射线、γ 射线和 β 射线

B. α 射线和 β 射线的轨迹是抛物线

C. α 射线和 β 射线的轨迹是圆弧

D. 如果在铅盒和荧光屏间再加一个竖直向下的场强适当的匀强电场，可能使屏上的亮斑只剩下 b

15. 设某放射性同位素 A 的半衰期为 T，另一种放射性同位素 B 的半衰期为 $T/2$。在初始时刻，A 的原子核数目为 N_0，B 的原子核数目为 $4N_0$，则（　　）

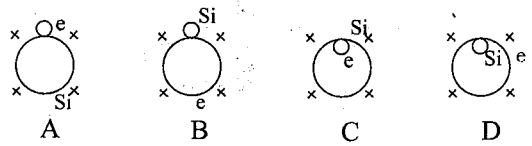
A. 经过时间 $2T$，A、B 的原子核数目都等于 $N_0/2$

B. 经过时间 $2T$，A、B 的原子核数目都等于 $N_0/4$

C. 经过时间 $3T$，A、B 的原子核数目都等于 $N_0/8$

D. 经过时间 $4T$，A、B 的原子核数目都等于 $N_0/16$

16. 一个在磁场中的放射性同位素原子核 ${}_{15}^{30}\mathrm{P}$，放出一个正电子后变成原子核 ${}_{14}^{30}\mathrm{Si}$，在图中近似反映正电子和 Si 核轨迹的图是（　　）



17. 美国科研人员正在研制一种新型镍铜长效电池，它是采用半衰期长达 100 年的放射性同位素镍-63（$^{63}_{28}\mathrm{Ni}$）和铜两种金属作为长寿命电池的材料，利用镍-63 发生 β 衰变时释放电子给铜片，把镍-63 和铜片做电池两极，外接负载为负载提供电能。下列有关该电池的说法中正确的是（　　）

A. 镍-63 的衰变方程是 $^{63}_{28}\mathrm{Ni}\rightarrow{}^{0}_{-1}\mathrm{e}+{}^{63}_{27}\mathrm{Cu}$

B. 镍-63 的衰变方程是 $^{63}_{28}\mathrm{Ni}\rightarrow{}^{0}_{-1}\mathrm{e}+{}^{64}_{29}\mathrm{Cu}$

C. 外接负载时镍-63 的电势比铜片高

D. 该电池内电流方向是从镍到铜片

18. 在匀强磁场中，一个静止的原子核 $^{b}_{a}\mathrm{X}$ 只放出一个 α 粒子变成新核，若放出来的 α 粒子的速度方向与磁场方向垂直，其运动的轨道半径为 R，则新核的（　　）

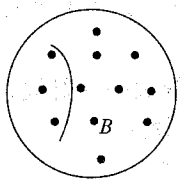
A. 动能是 α 粒子的 $\dfrac{4}{b-4}$ 倍　　B. 动能是 α 粒子的 $\dfrac{2}{a-2}$ 倍

C. 半径是 $\dfrac{(b-4)\ R}{4}$　　D. 半径是 $\dfrac{2R}{a-2}$

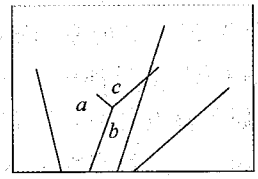
19. 两种放射性元素的原子 $^{a}_{c}\mathrm{A}$ 和 $^{b}_{d}\mathrm{B}$，其半衰期分别为 T 和 $\dfrac{1}{2}T$。若经过 $2T$ 后两种元素的核的质量相等，则开始时两种核的个数之比为_____；若经过 $2T$ 后两种核的个数相等，则开始时两种核的质量之比为_____。

20. 一个正电子和一个负电子相遇会发生湮灭而转化为一对光子，设正、负电子的质量均为 m，普朗克常量为 h，则这一对光子的频率为_____。

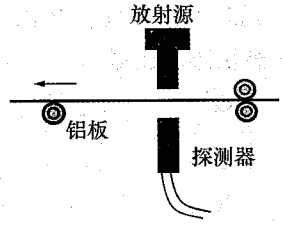
21. 如图所示，放射性元素 $^{M}_{Z}\mathrm{X}$ 在云雾室里进行衰变，放射线受到垂直纸面出来的匀强磁场的作用，径迹如图所示。设射线由下向上射入磁场，则生成的新核原子序数为_____，质子数为_____。



22. 如图所示为云室内用 α 粒子轰击氮核生成一个新核放出一个质子的图，则发生核反应前 α 粒子的径迹是_____，核反应后生成的新核是_____，新核的径迹是_____，质子的径迹是_____，核反应方程是_____。



23. 如图所示是工厂利用放射线自动控制铝板厚度的装置示意图。



（1）请你简述自动控制的原理。

（2）如果工厂生产的为1 mm的铝板，在α、β和γ三种射线中，你认为哪一种射线在铝板的厚度控制中起主要作用，为什么？

24. 足够强的匀强磁场中的一个原来静止的氡核$^{222}_{86}Rn$，它放射一个α粒子后变成Po核。假设放出的α粒子运动方向与磁场方向垂直，求：

（1）α粒子与Po核在匀强磁场中的径迹圆半径之比。

（2）α粒子与Po核两次相遇的时间间隔与α粒子运动周期的关系。

25. ^{238}U的半衰期是4.5×10^{9}年，假设一块矿石中含有2 kg的^{238}U。求：

（1）经过45亿年后，还剩多少^{238}U？

（2）假设发生衰变的铀都变成了^{206}Pb，矿石中含有多少铅？

（3）这时铀、铅的质量之比是多少？

26. 一小瓶含有某种放射性同位素的溶液，每分钟衰变6 000次，将它注射到某人的血液中，经过15 h后从此人身上取出10 mL的血液，测得每分钟有2次衰变，已知这种同位素的半衰期为5 h，试计算这个人血液的总体积为多少？

27. 处于静止状态的某原子核X，发生α衰变后变成质量为M的原子核Y，被释放的α粒子垂直射入磁感应强度为B的匀强磁场中，测得其圆周运动的半径为r，设α粒子质量为m，质子的电量为e，试求：

（1）衰变后α粒子的速率v_α和动能$E_{k\alpha}$。

（2）衰变后Y核的速率v_y和动能E_{kY}。

（3）衰变前X核的质量M_X。

28. 静止的氮核$^{14}_{7}N$被速度是v_0的中子$^{1}_{0}n$击中生成甲、乙两核。已知甲、乙两核的速度方向同碰撞前中子的速度方向一致，甲、乙两核动量之比为1∶1，动能之比为1∶4，它们沿垂直磁场方向进入匀强磁场做圆周运动，其半径之比为1∶6。问：甲、乙各是什么核？速度各是多大？写出该反应方程。

参考答案

1. ABC　2. C

3. D　提示：放射线消除有害静电是利用放射线的电离性，使空气分子电离成为导体，将静电泄出。γ射线对人体细胞伤害太大，不能用来进行人体透视。作物种子发生的DNA突变不一定都是有益的，还要经过筛选才能培育出优秀品种。用γ射线治疗肿瘤对人体肯定有副作用，因此要科学地严格控制剂量。

4. A　提示：$^{239}_{92}U$衰变成$^{239}_{94}Pu$的核反应方程是：$^{239}_{92}U\rightarrow{}^{239}_{94}Pu+2^{0}_{-1}e$，可见$n=2$。

5. D　提示：考虑到放射性元素衰变的快慢是跟原子所处的物理状态或化学状态无关，又考虑到半衰期是一种统计规律，即给定的四个氡核是否马上衰变会受到各种偶然因素的影响。

6. C　7. C　8. ABD　9. AC

10. D　提示：原子核内只有质子和中子。原子核放出的α粒子是核内两个质子和两个中子结合形成的；放出的β粒子是核内的一个中子转变成一个质子时产生的；原子核发生α衰变或β衰变时处于激发态，向低能级跃迁时，将多余的能量以γ光子的形式辐射出。

11. A

12. D　提示：由于α粒子贯穿本领很弱，只能穿透几厘米空气，因此穿透厚纸板到达屏上 P 点处不可能是α粒子；由于γ粒子不带电，穿过 B 区域不会发生偏转，因此，到达 P 点处的也不可能是γ粒子；由此可知，到达 P 点处的必然是β粒子。又由于β粒子带的是负电，因此用左手定则便可判断 B 的方向应该是垂直于纸面向内。

13. AD

14. AC　提示：由左手定则可知粒子向右射出后，在匀强磁场中α粒子受的洛伦兹力向上，β粒子受的洛伦兹力向下，轨迹都是圆弧。由于α粒子和β粒子电性不同，在同样的混合场中不可能都做直线运动（如果一个打在 b 点，则另一个必然打在 b 点下方）。

15. B

16. B　提示：把放出的正电子和衰变生成物 Si 核看成一个系统，衰变过程中系统的动量守恒，发出正电子的方向跟 Si 核运动方向一定相反。由于它们都带正电，在洛仑兹力作用下一定形成两个外切圆的轨迹，故选项 CD 错。因为由洛仑兹力作为向心力，即 $qvB=m\frac{v^2}{r}$。所以做匀速圆周运动的半径为 $r=\frac{mv}{qB}$ 衰变时，放出的正电子获得的动量大小与反冲核 Si 的动量大小相等，因此，在同一个磁场中做圆周运动的半径与它们的电量成反比，即 $\frac{r_e}{r_{si}}=\frac{q_{si}}{q_e}=\frac{15}{1}$，可见正电子运动的圆半径较大。

17. C　提示：$^{63}_{28}\mathrm{Ni}$ 的衰变方程为 $^{63}_{28}\mathrm{Ni}\rightarrow{}^{0}_{-1}\mathrm{e}+{}^{64}_{29}\mathrm{Cu}$，故选项 AB 错。电流方向为正电荷定向移动方向，在电池内部电流方向从铜片到镍片且镍片电势高，故选项 C 对 D 错。

18. AD　提示：放射性元素发生 α 衰变反应方程 $^{b}_{a}\mathrm{X}\rightarrow{}^{b-4}_{a-2}\mathrm{Y}+{}^{4}_{2}\mathrm{He}$，设 α 粒子质量为 m_α，新核质量为 m_y，其速度分别为 v_α 和 v_y，由于核反应过程中动量守恒，故有 $0=m_\alpha v_\alpha-m_y v_y$，即 $m_\alpha v_\alpha=m_y v_y$。动能之比为：$\frac{E_{ky}}{E_{k\alpha}}=\frac{\frac{1}{2}m_y v_y^2}{\frac{1}{2}m_\alpha v_\alpha^2}=\frac{m_y^2 v_y^2}{m_\alpha^2 v_\alpha^2}\cdot\frac{m_\alpha}{m_y}=\frac{4}{b-4}$。

带电粒子在磁场中做匀速圆周运动时：$qvB=m\frac{v^2}{r}$，即 $r=\frac{mv}{qB}$，在动量相等时半径与电量成反比，所以新核轨道半径与 α 粒子轨道半径之比为：$\frac{r}{R}=\frac{q_\alpha}{q_y}=\frac{2}{a-2}$，即 $r=\frac{2}{a-2}R$。

19. 若开始时两种核的个数分别为 N_1 和 N_2，则经时间 $2T$ 后剩下的核的个数就分别为 $\frac{1}{4}N_1$ 和 $\frac{1}{16}N_2$，而此时两种核的质量相等，则有 $\frac{1}{4}N_1 a=\frac{1}{16}N_2 b$，由此可得 $\frac{N_1}{N_2}=\frac{b}{4a}$。若开始时两种核的质量分别为 m_1 和 m_2，则经时间 $2T$ 后剩下的核的质量就分别为 $\frac{1}{4}m_1$ 和 $\frac{1}{16}m_2$，而此时两种核的个数相等，于是有 $\frac{m_1}{4a}=\frac{m_2}{16b}$，由此可得 $m_1:m_2=a:4b$。

20. $2mc^2=2h\nu$，则 $\nu=\frac{mc^2}{h}$。

21. 根据左手定则可知衰变后的射线为β射线，所以新核的原子序数为 $Z+1$，质子数为 M。

22. b　氧核　a　c　$^{4}_{2}\mathrm{He}+{}^{14}_{7}\mathrm{N}\rightarrow{}^{17}_{8}\mathrm{O}+{}^{1}_{1}\mathrm{H}$