

2011年天津市高考物理试卷解析版

参考答案与试题解析

一、单项选择题（每小题6分，共30分。每小题给出的四个选项中，只有一个选项是正确的）

1.（6分）下列能揭示原子具有核式结构的实验是（ ）

- A. 光电效应实验
- B. 伦琴射线的发现
- C. α 粒子散射实验
- D. 氢原子光谱的发现

【考点】1U：物理学史；J1：粒子散射实验.

【专题】54M：原子的核式结构及其组成.

【分析】本题比较简单，考查了近代物理中的几个重要试验及发现，要了解这些试验及发现的内容及其重要物理意义.

【解答】解：A、光电效应实验说明光具有粒子性，A选项错误；

B、X射线（伦琴射线）的发现是19世纪末20世纪初物理学的三大发现（X射线1896年、放射线1896年、电子1897年）之一，这一发现标志着现代物理学的产生，B选项错误；

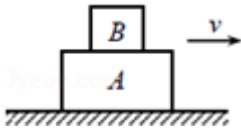
C、 α 粒子散射实验中极少数 α 粒子的大角度偏转说明原子内存在原子核，C正确

D、氢原子光谱的发现解释了原子的稳定性以及原子光谱的分立特征，D选项错误。

故选：C。

【点评】本题考查对物理学史、常识的识记能力，对于类似知识要注意平时的积累与记忆.

2.（6分）如图所示，A、B两物块叠放在一起，在粗糙的水平面上保持相对静止地向右做匀减速直线运动，运动过程中B受到的摩擦力（ ）



- A. 方向向左，大小不变
- B. 方向向左，逐渐减小
- C. 方向向右，大小不变
- D. 方向向右，逐渐减小

【考点】27：摩擦力的判断与计算；2A：滑动摩擦力与动摩擦因数；37：牛顿第二定律.

【专题】4A：整体法和隔离法.

【分析】整体法和隔离法是动力学问题常用的解题方法。

1、整体法：整体法是指对物理问题中的整个系统或整个过程进行分析、研究的方法。在力学中，就是把几个物体视为一个整体，作为研究对象，受力分析时，只分析这一整体对象之外的物体对整体的作用力（外力），不考虑整体内部之间的相互作用力（内力）。

整体法的优点：通过整体法分析物理问题，可以弄清系统的整体受力情况和全过程的受力情况，从整体上揭示事物的本质和变体规律，从而避开了中间环节的繁琐推算，能够灵活地解决问题。通常在分析外力对系统的作用时，用整体法。

2、隔离法：隔离法是指对物理问题中的单个物体或单个过程进行分析、研究的方法。在力学中，就是把要分析的物体从相关的物体体系中隔离出来，作为研究对象，只分析该研究对象以外的物体对该对象的作用力，不考虑研究对象对其他物体的作用力。

隔离法的优点：容易看清单个物体的受力情况或单个过程的运动情形，问题处理起来比较方便、简单，便于初学者使用。在分析系统内各物体（或一个物体的各个部分）间的相互作用时用隔离法。

本题中两物体相对静止，可以先用整体法，整体受重力、支持力和向后的摩擦力，根据牛顿第二定律先求出整体加速度，再隔离物体 B 分析，由于向前匀减速运动，加速度向后，故合力向后，对 B 物体受力分析，受重力、支持力和摩擦力作用，根据牛顿第二定律，可以求出静摩擦力的大小。

【解答】解：A、B 两物块叠放在一起共同向右做匀减速直线运动，对 A、B 整体根据牛顿第二定律有

$$a = \frac{\mu(m_A+m_B)g}{m_A+m_B} = \mu g$$

然后隔离 B，根据牛顿第二定律有

$$f_{AB} = m_B a = \mu m_B g \text{ 大小不变，}$$

物体 B 做速度方向向右的匀减速运动，故而加速度方向向左，摩擦力向左；

故选：A。

【点评】对于连接体问题可以用整体法求加速度，用隔离法求解系统内力！

3.（6分）质点做直线运动的位移 x 与时间 t 的关系为 $x = 5t + t^2$ （各物理量均采用国际单位制单位），则该质点（ ）

A. 第 1s 内的位移是 5m

B. 前 2s 内的平均速度是 6m/s

C. 任意相邻的 1s 内位移差都是 1m

D. 任意 1s 内的速度增量都是 2m/s

【考点】19：平均速度；1E：匀变速直线运动的位移与时间的关系。

【专题】511：直线运动规律专题。

【分析】对照匀变速直线运动的位移时间关系公式 $x=v_0t+\frac{1}{2}at^2$ ，即可求得质点的初速度和加速度，再根据匀变速直线运动规律求解各选项的正误。

【解答】解：A、代入 $t=1s$ ，可得第 1s 内的位移为 6m，故 A 错误；

B、代入 $t=2s$ ，可得前 2s 的位移为 14m，根据平均速度公式可得前 2s 的平均速度为 7m/s 故 B 错误；

C、根据位移时间关系公式 $x=v_0t+\frac{1}{2}at^2$ ，可得物体运动的初速度为 5m/s，加速度为

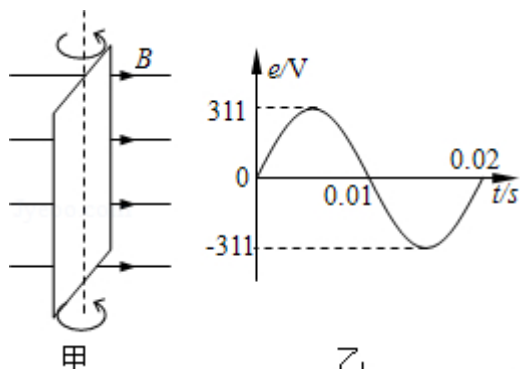
$2m/s^2$ ，据 $\Delta x=aT^2$ 可得任意相邻 1s 内位移差都是 2m，故 C 错误；

D、因为加速度为 $2m/s^2$ ，所以任意 1s 内速度增量都是 2m/s，故 D 正确。

故选：D。

【点评】本题关键要掌握匀变速直线运动的位移时间关系公式 $x=v_0t+\frac{1}{2}at^2$ 、推论 $\Delta x=aT^2$ 等运动学公式的基本规律，并能灵活应用。

4. (6分) 在匀强磁场中，一矩形金属线框绕与磁感线垂直的转轴匀速转动，如图甲所示，产生的交变电动势的图象如图乙所示，则下列说法正确的是 ()



- A. $t=0.005s$ 时线框的磁通量变化率为零
B. $t=0.01s$ 时线框平面与中性面重合
C. 线框产生的交变电动势有效值为 311V
D. 线框产生的交变电动势的频率为 100Hz

【考点】 E2: 交流发电机及其产生正弦式电流的原理; E3: 正弦式电流的图象和三角函数表达式.

【专题】 53A: 交流电专题.

【分析】 由图 2 可知特殊时刻的电动势, 根据电动势的特点, 可判处于那个面上, 由图象还可知电动势的峰值和周期, 根据有效值和峰值的关系便可求电动势的有效值.

【解答】 解: A、由图乙可知, 当 0.05s 时, 感应电动势最大, 则此时穿过线框回路的磁通量变化率最大, 故 A 错误;

B、由图乙可知, 当 0.01s 时, 感应电动势为零, 则此时穿过线框回路的磁通量最大, 处于中性面, 故 B 正确;

C、线框产生的产变电动势的有效值 $E = \frac{311}{\sqrt{2}} = 220\text{V}$; 故 C 错误;

D、由图可知, 交流电的周期为 0.02s, 则转速为: $n = \frac{1}{T} = 50\text{Hz}$, 故 D 错误;

故选: B.

【点评】 本题考查的是有关交变电流的产生和特征的基本知识, 要具备从图象中获得有用信息的能力. 并明确有效值和频率等物理量的计算.

5. (6 分) 板间距为 d 的平行板电容器所带电荷量为 Q 时, 两极板间电势差为 U_1 , 板间场

强为 E_1 . 现将电容器所带电荷量变为 $2Q$, 板间距变为 $\frac{1}{2}d$, 其他条件不变, 这时两极板

间电势差为 U_2 , 板间场强为 E_2 , 下列说法正确的是 ()

A. $U_2 = U_1$, $E_2 = E_1$

B. $U_2 = 2U_1$, $E_2 = 4E_1$

C. $U_2 = U_1$, $E_2 = 2E_1$

D. $U_2 = 2U_1$, $E_2 = 2E_1$

【考点】 AS: 电容器的动态分析.

【专题】 16: 压轴题.

【分析】 根据电容公式 $C = \frac{\epsilon S}{4\pi k d}$ 判断出电容的变化, 再根据电容定义式 $C = \frac{Q}{U}$ 得出电势差

的变化, 再根据匀强电场公式 $E = \frac{U}{d}$ 判断出场强的变化.

【解答】 解: 根据电容公式 $C = \frac{\epsilon S}{4\pi k d}$ 说明电容变为 2 倍, 根据电容定义式 $C = \frac{Q}{U}$, 发现电

量变为原来的 2 倍，电容也变为原来的 2 倍，所以电势差不变，根据场强关系 $E = \frac{U}{d}$ ，d

变为原来的 $\frac{1}{2}$ ，所以场强变为 2 倍，故 A、B、D 错误，C 正确。

故选：C。

【点评】 解决本题的关键是熟练运用电容的定义式、决定式。

二、选择题（每小题 6 分，共 18 分。在每小题给出的四个选项中，都有多个选项是正确的。全部选对的得 6 分，选对但不全的得 3 分，有选错的得 0 分。）

6.（6 分）甲、乙两单色光分别通过一双缝干涉装置得到各自的干涉图样，设相邻两个亮条纹的中心距离为 Δx ，若 $\Delta x_{\text{甲}} > \Delta x_{\text{乙}}$ ，则下列说法正确的是（ ）

- A. 甲光能发生偏振现象，乙光则不能发生
- B. 真空中甲光的波长一定大于乙光的波长
- C. 甲光的光子能量一定大于乙光的光子能量
- D. 在同一均匀介质中甲光的传播速度大于乙光

【考点】 F5：波长、频率和波速的关系；H9：光的干涉；ID：光子及其动量。

【专题】 54D：光的折射专题；54L：物理光学综合专题。

【分析】 光是横波，偏振现象是横波特有的现象；双缝干涉的条纹间距满足公式 $\Delta x = \frac{L}{d}\lambda$ ；光速、波长和频率满足公式 $C = \lambda\gamma$ ，而光子的能量满足公式 $E = h\gamma$ ；光的频率越

小，在同一种介质中的折射率越小，结合公式 $n = \frac{C}{v}$ 可求光在介质中的传播速度。

【解答】 解：A、偏振现象是横波特有的现象，由于光是横波，故甲乙都可以发生偏振现象。故 A 错；

B、根据双缝干涉的条纹间距 $\Delta x = \frac{L}{d}\lambda$ 可知对于同一个实验装置，波长越大，条纹间距越大，由 $\Delta x_{\text{甲}} > \Delta x_{\text{乙}}$ 可知甲光的波长一定大于乙光的波长，故 B 正确；

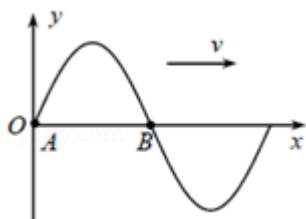
C、根据 $C = \lambda\gamma$ 可知甲光的频率小于乙光的频率，而光子的能量 $E = h\gamma$ ，故甲光的光子能量一定小于乙光的光子能量，故 C 错；D、由于不同的单色光频率小，折射率小，即甲

光折射率小，根据 $n = \frac{C}{v}$ 可知甲光的传播速度大，故 D 正确。

故选：BD。

【点评】该部分所考查的大多是基础性题目，难度不是太大，但综合性很强，只要掌握了基础知识就能顺利解决。

7. (6分) 位于坐标原点处的波源 A 沿 y 轴做简谐运动。A 刚好完成一次全振动时，在介质中形成简谐横波的波形如图所示。B 是沿波传播方向上介质的一个质点，则 ()



- A. 波源 A 开始振动时的运动方向沿 y 轴负方向
B. 此后的 $\frac{1}{4}$ 周期内回复力对波源 A 一直做负功
C. 经半个周期时间质点 B 将向右迁移半个波长
D. 在一个周期时间内 A 所受回复力的冲量为零

【考点】F1：波的形成和传播；F4：横波的图象；F5：波长、频率和波速的关系。

【专题】16：压轴题。

【分析】根据题中波的传播方向可知波源 A 开始振动方向。由功的公式分析此后的 $\frac{1}{4}$ 周期内回复力做功的正负。由简谐波的对称性研究冲量。

【解答】解：A、由 A 刚好完成一次全振动时的图线可知波由 A 向 B 传播，可判断 A 此时刻沿 y 轴负方向运动，与 0 时刻的开始振动时的运动方向相同，故 A 正确。

B、在此后的 $\frac{1}{4}$ 周期内，质点 A 向 y 轴负方向向波谷运动，回复力沿 y 轴正方向，则回复力做负功，故 B 正确。

C、质点不随波迁移，故 C 错误。

D、由简谐运动的对称性可知，回复力在一个周期内的冲量为零，故 D 正确。

故选：ABD。

【点评】本题考查意图是机械波的形成和特征。机械波在形成过程中各质点起振方向与波源起振方向相同，质点不随波迁移。

8. (6分) 质量为 m 的探月航天器在接近月球表面的轨道上飞行，其运动视为匀速圆周运

动. 已知月球质量为 M , 月球半径为 R , 月球表面重力加速度为 g , 引力常量为 G , 不考虑月球自转的影响, 则航天器的 ()

A. 线速度 $v = \sqrt{\frac{GM}{R}}$

B. 角速度 $\omega = \sqrt{gR}$

C. 运行周期 $T = 2\pi\sqrt{\frac{R}{g}}$

D. 向心加速度 $a = \frac{Gm}{R^2}$

【考点】4A: 向心力; 4F: 万有引力定律及其应用; 4H: 人造卫星.

【专题】16: 压轴题.

【分析】研究月航天器绕月球做匀速圆周运动, 根据万有引力提供向心力, 列出等式求出问题.

向心力的公式选取要根据题目提供的已知物理量或所要求解的物理量选取应用.

不考虑月球自转的影响, 万有引力等于重力.

【解答】解: 根据万有引力提供卫星做圆周运动的向心力和万有引力等于重力得出:

A、 $G\frac{Mm}{R^2} = m\frac{v^2}{R} \Rightarrow v = \sqrt{\frac{GM}{R}}$ 故 A 正确;

B、 $mg = m\omega^2 R \Rightarrow \omega = \sqrt{\frac{g}{R}}$ 故 B 错误;

C、 $mg = m\frac{4\pi^2}{T^2} R \Rightarrow T = 2\pi\sqrt{\frac{R}{g}}$ 故 C 正确;

D、 $G\frac{Mm}{R^2} = ma \Rightarrow a = G\frac{M}{R^2}$ 故 D 错误.

故选: AC.

【点评】应用万有引力定律进行卫星加速度、速度、周期和中心天体质量的估算.

三、实验题 (共 1 小题, 18 分)

9. (18 分) (1) 某同学利用测力计研究在竖直方向运行的电梯运动状态, 他在地面上用测力计测量砝码的重力, 示数是 G , 他在电梯中用测力计仍测量同一砝码的重力, 则测力计的示数小于 G , 由此判断此时电梯的运动状态能是 减速上升或加速下降.

(2) 用螺旋测微器测量某金属丝直径的结果如图所示.

该金属丝的直径是 1.706 mm.

(3) 某同学用大头针、三角板、量角器等器材测量玻璃砖的折射率, 开始玻璃砖位置如

图中实线所示，使大头针 P_1 、 P_2 圆心 O 在同一直线上，该直线垂直于玻璃砖的直径边，然后使玻璃砖绕圆心缓缓转动，同时在玻璃砖的直径边一侧观察 P_1 、 P_2 的像，且 P_2 的像挡住 P_1 的像，如此只需测量出 玻璃砖的直径边绕 O 转过的角度 θ ，即可计算出玻璃砖的折射率，请用你的方法表示出折射率 $n = \frac{1}{\sin\theta}$

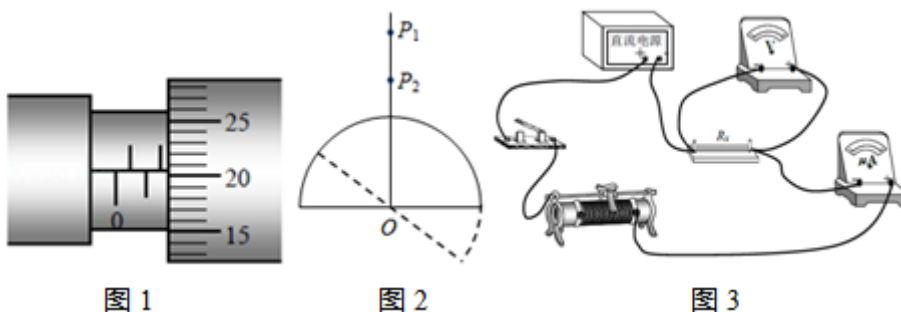
玻璃砖的折射率，请用你的方法表示出折射率 $n = \frac{1}{\sin\theta}$

(4) 某同学测量阻值约为 $25\text{k}\Omega$ 的电阻 R_X ，现备有下列器材：

- A. 电流表（量程 $122\mu\text{A}$ ，内阻约 $2\text{k}\Omega$ ）；
- B. 电流表（量程 $500\mu\text{A}$ ，内阻约 300Ω ）；
- C. 电压表（量程 15V ，内阻约 $100\text{k}\Omega$ ）；
- D. 电压表（量程 50V ，内阻约 $500\text{k}\Omega$ ）；
- E. 直流电源（ 20V ，允许最大电流 1A ）；
- F. 滑动变阻器（最大阻值 $1\text{k}\Omega$ ，额定功率 1W ）；
- G. 电键和导线若干。

电流表应选 B。电压表应 C。（填字母代号）该同学正确选择仪器后连接了图 3 所示的电路，为保证实验顺利进行，并使测量误差尽量减小，实验前请你检查该电路，指出电路在接线上存在的问题：

- ① 电流表采用了外接的方法。② 滑动变阻器采用了限流式的接法。



【考点】 3E：牛顿运动定律的应用 - 超重和失重；BE：伏安法测电阻；H3：光的折射定律；L1：实验中常用仪器及其正确操作方法。

【专题】 16：压轴题。

【分析】 (1) 测力计的示数小于 G ，砝码的加速度向下，处于失重状态，电梯向下加速或向上减速。

(2) 螺旋测微器的固定刻度最小分度为 1mm ，可动刻度最小分度为 0.01mm ，由固定刻度读出整毫米数，可动刻度读出毫米的小数部分。

(3) 在玻璃砖的直径边一侧观察 P_1 、 P_2 的像，且 P_2 的像挡住 P_1 的像，这现象刚好消失，意味着刚好发生全反射，此时玻璃砖内光线的入射角恰好等于临界角 C ，玻璃砖转过 θ ，法线也转过 θ ，则 $\theta=C$ ，根据临界角求出折射率。

(4) 采用阻值的比较法选择电流表的接法，根据变阻器的总电阻与待测电阻的关系选择变阻器的接法。

【解答】解：(1) 加速度方向向下，物体处于失重状态，故可能是减速上升或加速下降。

(2) 螺旋测微器的固定刻度读数为 1.5mm，可动刻度要有估读，读数为 $20.6 \times 0.01\text{mm} = 0.206\text{mm}$ 。本题读数为 $1.5\text{mm} + 0.206\text{mm} = 1.706\text{mm}$ 。

(3) 由题意可知，当玻璃砖转过某一角度 θ 时，刚好发生全反射，在直径边一侧观察不到 P_1 、 P_2 的像，做出如图所示的光路图可知，测出玻璃直径边转过的角度 θ ，则法线转过的角度也为 θ ，玻璃砖内入射角为 θ ，临界角为 θ ，则 $n = \frac{1}{\sin\theta}$

(4) 电学实验选择仪器的一般步骤如下：①根据电路中电流、电压的最大值选择电流表和电压表的量程，量程不能太大导致电表的读数偏小；②根据题中关键词句，如精确测量，从零开始连续可调等等选择分压电路亦或是限流电路；分压电路滑动变阻器选择小阻值，限流电路滑动变阻器选择大阻值；③选择电流表的内外接法，采用阻值比较法，一般的原则是“大内偏大，小外偏小”

(I) 本题中，待测电阻 R_x 的阻值约为 $25\text{k}\Omega$ ，直流电源电动势为 20V ，经粗略计算电路中最大的电流约为 $I = \frac{E}{R} = \frac{20}{25 \times 10^3} = 800\mu\text{A}$ ，所以电流表选择 B；虽然电压表 C 的量程不足，可以变阻器调节使电压不超过量程。电压表 D 的量程超过太多，读数偏小，故电压表选择 C 表。

(II) 由于 $\frac{R_V}{R_x} = 4 < \frac{R_x}{R_A} = 83.3$ 则电流表应采用内接的方法；

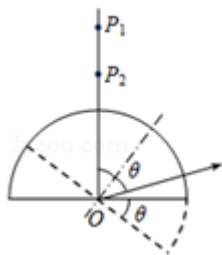
则存在的问题有 ①电流表采用外接的方法 ②滑动变阻器采用限流式的接法。

故本题答案：

(1) 减速上升或加速下降； (2) 1.706； (3) 玻璃砖直径边绕 O 点转过的角度

$$n = \frac{1}{\sin\theta};$$

(4) B, C, ①电流表采用了外接的方法; ②滑动变阻器采用了限流式的接法

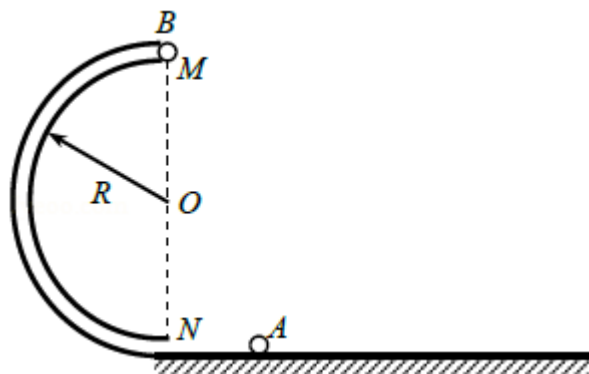


【点评】本题(3)考查应用全反射测量玻璃折射率的实验技能. 题(4)考查按要求设计电路的能力.

四、解答题(共3小题, 满分54分)

10. (16分) 如图所示, 圆管构成的半圆形竖直轨道固定在水平地面上, 轨道半径为 R , MN 为直径且与水平面垂直, 直径略小于圆管内径的小球 A 以某一初速度冲进轨道, 到达半圆轨道最高点 M 时与静止于该处的质量与 A 相同的小球 B 发生碰撞, 碰后两球粘在一起飞出轨道, 落地点距 N 为 $2R$. 重力加速度为 g , 忽略圆管内径, 空气阻力及各处摩擦均不计, 求:

- (1) 粘合后的两球从飞出轨道到落地的时间 t ;
- (2) 小球 A 冲进轨道时速度 v 的大小.



【考点】1J: 自由落体运动; 43: 平抛运动; 6C: 机械能守恒定律.

【分析】(1) 求平抛运动的时间, 当然是从竖直方向的自由落体运动中求得.

(2) 小球 A 以某一初速度冲进轨道, 到达半圆轨道最高点的过程机械能守恒、 A 与 B 碰撞过程动量守恒, 而碰撞完成后的速度就是 AB 一起平抛的初速度. 列出机械能守恒和动量守恒的方程组, 问题可解.

【解答】解: (1) 粘合后的两球飞出轨道后做平抛运动, 竖直方向分运动为自由落体运动,

$$\text{有 } 2R = \frac{1}{2}gt^2 \dots \textcircled{1}$$

$$\text{解得 } t = 2\sqrt{\frac{R}{g}} \dots \textcircled{2}$$

(2) 设球 A 的质量为 m ，碰撞前速度大小为 v_1 ，把球 A 冲进轨道最低点时的重力势能

$$\text{定为 } 0, \text{ 由机械能守恒定律知 } \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}mv_1^2 + 2mgR \dots \textcircled{3}$$

$$\text{设碰撞后粘合在一起的两球速度大小为 } v_2, \text{ 则 } v_2 = \frac{2R}{t} = \sqrt{gR}$$

$$\text{由动量守恒定律知 } mv_1 = 2mv_2 \dots \textcircled{4}$$

$$\text{飞出轨道后做平抛运动, 水平方向分运动为匀速直线运动, 有 } 2R = v_2 t \dots \textcircled{5}$$

$$\text{综合 } \textcircled{2}\textcircled{3}\textcircled{4}\textcircled{5} \text{ 式得 } v = 2\sqrt{2gR}$$

$$\text{答: (1) 两球从飞出轨道到落地的时间 } t = 2\sqrt{\frac{R}{g}}$$

$$\text{(2) 小球 A 冲进轨道时速度为 } 2\sqrt{2gR}.$$

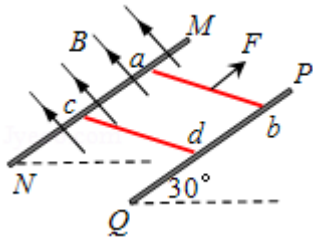
【点评】 本题考查机械能守恒和动量守恒，分段列出相应的物理规律方程是解决问题的关键，

11. (18分) 如图所示，两根足够长的光滑平行金属导轨 MN、PQ 间距为 $L=0.5\text{m}$ ，其电阻不计，两导轨及其构成的平面均与水平面成 30° 角。完全相同的两金属棒 ab、cd 分别垂直导轨放置，每棒两端都与导轨始终有良好接触，已知两棒质量均为 $m=0.02\text{kg}$ ，电阻均为 $R=0.1\Omega$ ，整个装置处在垂直于导轨平面向上的匀强磁场中，磁感应强度 $B=0.1\text{T}$ ，棒 ab 在平行于导轨向上的力 F 作用下，沿导轨向上匀速运动，而棒 cd 恰好能够保持静止。取 $g=10\text{m/s}^2$ ，问：

(1) 通过棒 cd 的电流 I 是多少，方向如何？

(2) 棒 ab 受到的力 F 多大？

(3) 棒 cd 每产生 $Q=1\text{J}$ 的热量，力 F 做的功 W 是多少？



【考点】D9：导体切割磁感线时的感应电动势；DD：电磁感应中的能量转化。

【专题】53C：电磁感应与电路结合。

【分析】(1) 对 cd 研究：cd 保持静止，分析受力，由平衡条件求出安培力，即能求出电流。运用楞次定律分析感应电流的方向。

(2) 再对棒 ab 研究，棒 ab 沿导轨向上匀速运动，由平衡条件求出 F。

(3) 已知棒 cd 产生的热量，由焦耳定律、法拉第电磁感应定律、欧姆定律列式，求出位移，由 $W=Fs$ 求得力 F 做的功。

【解答】解：(1) 对 cd 棒受力分析如图所示由平衡条件得

$$mgsin\theta = BIL$$

$$\text{得 } I = \frac{mgsin\theta}{BL} = 2A。$$

根据楞次定律可判定通过棒 cd 的电流方向为由 d 到 c。

(2) 棒 ab 与 cd 所受的安培力大小相等，对 ab 棒，受力分析如图所示，由共点力平衡条件知

$$F = mgsin\theta + BIL$$

代入数据解得 $F = 2mgsin\theta = 0.2\text{ N}$ 。

(3) 设在时间 t 内棒 cd 产生 $Q = 1\text{ J}$ 的热量，由焦耳定律知 $Q = I^2Rt$

设 ab 棒匀速运动的速度是 v，其产生的感应电动势 $E = BLv$

$$\text{由闭合电路欧姆定律知 } I = \frac{E}{2R}$$

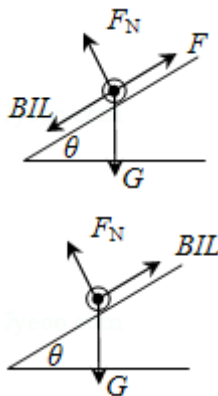
时间 t 内棒 ab 运动的位移 $s = vt$

力 F 所做的功 $W = Fs$

综合上述各式，代入数据解得 $W = 4\text{ J}$ 。

答：

- (1) 通过棒 cd 的电流 I 是 2A ，方向由 d 到 c 。
- (2) 棒 ab 受到的力 F 是 0.2N 。
- (3) 力 F 做的功 W 是 4J 。



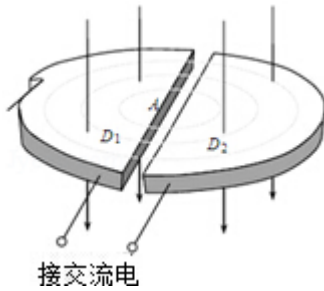
【点评】 本题是电磁感应中的力学问题，综合运用电磁磁学知识和力平衡知识。第 2 小题，也可以选择研究整体求解 F 的大小。

12. (20 分) 回旋加速器在核科学、核技术、核医学等高新技术领域得到了广泛应用，有力地推动了现代科学技术的发展。

(1) 当今医学成像诊断设备 PET/CT 堪称“现代医学高科技之冠”，它在医疗诊断中，常利用能放射电子的同位素碳 11 为示踪原子，碳 11 是由小型回旋加速器输出的高速质子轰击氮 14 获得，同时还产生另一粒子，试写出核反应方程。若碳 11 的半衰期 τ 为 20min ，经 2.0h 剩余碳 11 的质量占原来的百分之几？（结果取 2 位有效数字）

(2) 回旋加速器的原理如图， D_1 和 D_2 是两个中空的半径为 R 的半圆金属盒，它们接在电压一定、频率为 f 的交流电源上，位于 D_1 圆心处的质子源 A 能不断产生质子（初速度可以忽略，重力不计），它们在两盒之间被电场加速， D_1 、 D_2 置于与盒面垂直的磁感应强度为 B 的匀强磁场中。若质子束从回旋加速器输出时的平均功率为 P ，求输出时质子束的等效电流 I 与 P 、 B 、 R 、 f 的关系式（忽略质子在电场中运动的时间，其最大速度远小于光速）

(3) 试推理说明：质子在回旋加速器中运动时，随轨道半径 r 的增大，同一盒中相邻轨道的半径之差 Δr 是增大、减小还是不变？



【考点】37：牛顿第二定律；65：动能定理；CK：质谱仪和回旋加速器的工作原理；J9：天然放射现象。

【专题】16：压轴题；537：带电粒子在复合场中的运动专题。

【分析】（1）根据质量数守恒和核电荷数守恒书写核反应方程式。根据半衰期的定义写成剩余质量和总质量的关系式即可求解。

（2）根据电流的定义式 $I = \frac{Q}{t}$ 和 $Q = Nq$ 以及 $P = \frac{N \cdot \frac{1}{2}mv^2}{t}$ 求解。

（3）求出 r_k 所对应的加速次数和 r_{k+1} 所对应的加速次数即可求出它们所对应的轨道半径，然后作差即可求出 r_k 和 r_{k+1} ，从而求出 Δr_k ，运用同样的方法求出 Δr_{k+1} ，比较 Δr_k 和 Δr_{k+1} 即可得出答案。

【解答】解：（1）核反应方程为 ${}^1_7\text{N} + {}^1_1\text{H} \rightarrow {}^6_6\text{C} + {}^4_2\text{He} \dots \textcircled{1}$

设碳 11 原有质量为 m_0 ，经过 $t = 2.0\text{h}$ 剩余的质量为 m_t ，根据半衰期定义，有：

$$\frac{m_t}{m_0} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{120}{20}} = 1.6\% \dots \textcircled{2}$$

（2）设质子质量为 m ，电荷量为 q ，质子离开加速器时速度大小为 v ，由牛顿第二定律

$$\text{知：} qvB = m \frac{v^2}{R} \dots \textcircled{3}$$

$$\text{质子运动的回旋周期为：} T = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi m}{qB} \dots \textcircled{4}$$

由回旋加速器工作原理可知，交变电源的频率与质子回旋频率相同，由周期 T 与频率 f

$$\text{的关系可得：} f = \frac{1}{T} \dots \textcircled{5}$$

设在 t 时间内离开加速器的质子数为 N ，则质子束从回旋加速器输出时的平均功率

$$P = \frac{N \cdot \frac{1}{2}mv^2}{t} \dots \textcircled{6}$$

输出时质子束的等效电流为： $I = \frac{Nq}{t} \dots \textcircled{7}$

由上述各式得 $I = \frac{P}{\pi BR^2 f}$

(3) 方法一：

设 k ($k \in \mathbb{N}^*$) 为同一盒子中质子运动轨道半径的序数，相邻的轨道半径分别为 r_k , r_{k+1}

($r_k < r_{k+1}$)， $\Delta r_k = r_{k+1} - r_k$ ，

在相应轨道上质子对应的速度大小分别为 v_k , v_{k+1} ， D_1 、 D_2 之间的电压为 U ，

由动能定理知 $qU = \frac{1}{2}mv_{k+1}^2 - \frac{1}{2}mv_k^2 \dots \textcircled{8}$

由洛伦兹力充当质子做圆周运动的向心力，知 $r_k = \frac{mv_k}{qB}$ ，

则 $qU = \frac{q^2 B^2}{2m} (r_{k+1}^2 - r_k^2) \dots \textcircled{9}$

整理得 $\Delta r_k = \frac{4mU}{qB^2(r_{k+1} + r_k)} \dots \textcircled{10}$

因 U 、 q 、 m 、 B 均为定值，令 $C = \frac{4mU}{qB^2}$ ，由上式得 $\Delta r_k = \frac{C}{r_k + r_{k+1}} \dots \textcircled{11}$

相邻轨道半径 r_{k+1} , r_{k+2} 之差 $\Delta r_{k+1} = r_{k+2} - r_{k+1}$

同理 $\Delta r_k = \frac{C}{r_{k+1} + r_{k+2}}$

因为 $r_{k+2} > r_k$ ，比较 Δr_k , Δr_{k+1} 得 $\Delta r_{k+1} < \Delta r_k$

说明随轨道半径 r 的增大，同一盒中相邻轨道的半径之差 Δr 减小

方法二：

设 k ($k \in \mathbb{N}^*$) 为同一盒子中质子运动轨道半径的序数，相邻的轨道半径分别为 r_k , r_{k+1}

($r_k < r_{k+1}$)， $\Delta r_k = r_{k+1} - r_k$ ，

在相应轨道上质子对应的速度大小分别为 v_k , v_{k+1} ， D_1 、 D_2 之间的电压为 U

由洛伦兹力充当质子做圆周运动的向心力，知 $r_k = \frac{mv_k}{qB}$ ，故 $\frac{r_k}{r_{k+1}} = \frac{v_k}{v_{k+1}} \dots \textcircled{12}$

由动能定理知，质子每加速一次，其动能增量 $\Delta E_k = qU \dots \textcircled{13}$

以质子在 D_2 盒中运动为例，第 k 次进入 D_2 时，被电场加速 $(2k - 1)$ 次

$$\text{速度大小为 } v_k = \sqrt{\frac{(2k-1)2qU}{m}} \dots (14)$$

同理，质子第 $(k+1)$ 次进入 D_2 时，被电场加速 $(2k+1)$ 次，速度大小为

$$v_{k+1} = \sqrt{\frac{(2k+1)2qU}{m}}$$

$$\text{综合上述各式可得 } \frac{r_k}{r_{k+1}} = \frac{v_k}{v_{k+1}} = \sqrt{\frac{2k-1}{2k+1}}$$

$$\text{整理得 } \frac{r_k^2}{r_{k+1}^2} = \frac{2k-1}{2k+1},$$

$$\frac{r_{k+1}^2 - r_k^2}{r_{k+1}^2} = \frac{2}{2k-1}$$

$$\Delta r_k = \frac{2r_k^2}{(2k-1)(r_k+r_{k+1})}$$

同理，对于相邻轨道半径 r_{k+1} ， r_{k+2} ， $\Delta r_{k+1} = r_{k+2} - r_{k+1}$ ，整理后有

$$\Delta r_{k+1} = \frac{2r_{k+1}^2}{(2k+1)(r_{k+1}+r_{k+2})}$$

由于 $r_{k+2} > r_k$ ，比较 Δr_k ， Δr_{k+1} 得 $\Delta r_{k+1} < \Delta r_k$

说明随轨道半径 r 的增大，同一盒中相邻轨道的半径之差 Δr 减小，用同样的方法也可得到质子在 D_1 盒中运动时具有相同的结论。

【点评】 本题的难点是 (3)，要求 Δr_k 需要知道 r_k 和 r_{k+1} ，同理算出 Δr_{k+1} ，对 Δr_k 和 Δr_{k+1} ，即可得出答案。