2022 北京丰台高三二模

物　　理

第一部分

一、本部分共 14 题，每题 3 分，共 42 分。在每题列出的四个选项中，选出最符合题目要求的一项。

1. 下列说法中正确的是（　　）

A. 太阳辐射的能量主要来自太阳内部的核聚变反应

B. 几个核子结合成原子核的过程一定有质量亏损，需要吸收能量

C. 知道氡元素的半衰期我们就能知道一个氡原子核将何时发生衰变

D. 大量处于 $n=3$ 能级的氢原子自发跃迁，可能辐射 2 种不同频率的光

2. 我国研制的 055 新型防空驱逐舰采用“双波段雷达”系统。雷达发射 X 波段电磁波频率为 8~12GHz，S 波段电磁波频率为 2~4GHz。与 S 波段相比，X 波段的电磁波（　　）

A. 在空气中的波长更短　　B. 在空气中传播速度更大

C. 衍射更明显　　D. 光子能量更小

3. 下列说法中正确的是（　　）

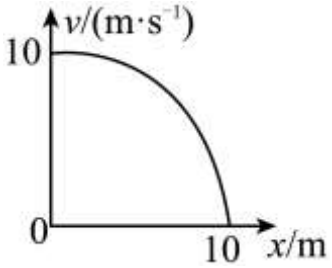
A. 布朗运动证明，悬浮在液体中的固体小颗粒的分子在做无规则热运动

B. 当用力拉伸铅块时，铅块各部分之间要产生反抗拉伸的作用力，此时铅块分子间的作用力表现为引力

C. 当我们把一个物体举高时，组成物体的每个分子的重力都做了负功，因此分子势能增大，物体内能增大

D. 在太空实验室里，水滴的形状是一个完美的球形，这是表面张力作用使其表面具有扩张趋势而引起的结果

4. 如图所示，某次实验利用位移传感器和速度传感器得到我国某品牌汽车刹车过程的 $v-x$ 图像，汽车刹车过程可视为匀减速运动，下列说法正确是（　　）



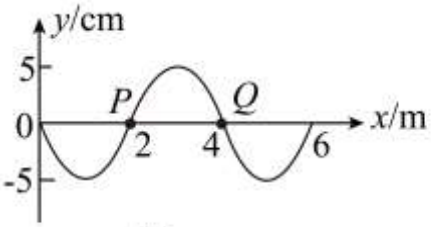
A. 汽车刹车过程的时间为 1s

B. 汽车刹车过程的加速度大小为 $10m/s^2$

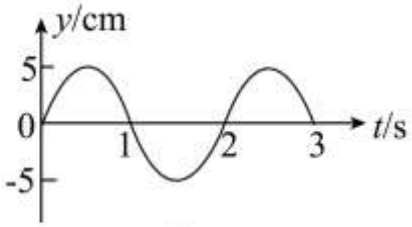
C. 当汽车的位移为 5m 时，运动速度小于 5m/s

D. 当汽车运动速度为 5m/s 时，位移大于 5m

5. 一列简谐横波沿 x 轴传播，t=0 时刻的波形如图甲所示，P 为波传播方向上的一质点，此时 P 质点处于平衡位置。图乙是 $Q\left(x=4\mathrm{m}\right)$ 质点的振动图像，下列说法正确是（　　）



甲



乙

A. 这列波的传播速度为 0.2m/s

B. 这列波沿 x 轴负方向传播

C. 再经过 1.5s，P 质点恰好振动到达波峰处

D. 再经过 2.5s，P 质点加速度方向沿 y 轴负方向

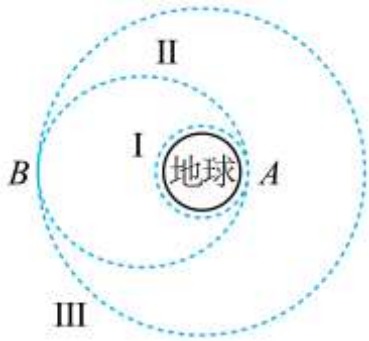
6. 如图所示，一个小孩儿在玩荡秋千。已知秋千的两根绳长均为 3m，小孩和秋千踏板的总质量约为 30kg，绳的质量忽略不计。当该同学荡到秋千支架的正下方时，速度大小为 6m/s，此时每根绳子平均承受的拉力约为（　　）



A. 150N　　B. 330N

C. 360N　　D. 660N

7. 2022 年 3 月 23 日，“天宫课堂”进行了第二次授课活动。授课过程中信号顺畅不卡顿，主要是利用天链系列地球同步轨道卫星进行数据中继来实现的。如图所示，天链卫星的发射过程可以简化如下：卫星先在近地圆形轨道 I 上运动，到达轨道的 A 点时点火变轨进入椭圆轨道II，到达轨道的远地点 B 时，再次点火进入圆形同步轨道III绕地球做匀速圆周运动。设地球半径为 R，地球表面的重力加速度为 g_0，卫星质量保持不变。则下列说法中正确的是（　　）



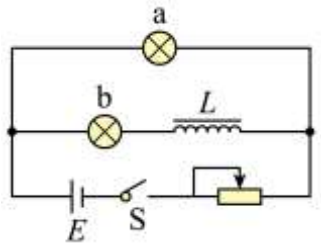
A. 卫星在轨道 I 和轨道III运动的周期均与地球自转周期相同

B. 卫星在轨道II和轨道III运动经过 B 点的加速度大小不同

C. 卫星在轨道III上　运行速率小于$\sqrt{g_0R}$

D. 卫星在轨道 I 上的机械能大于在轨道II上的机械能

8. 如图所示的电路中 a、b 是两个完全相同的灯泡，L 为自感线圈（自感系数足够大，直流电阻不计），E 为电源，S 为开关。下列说法正确的是（　　）



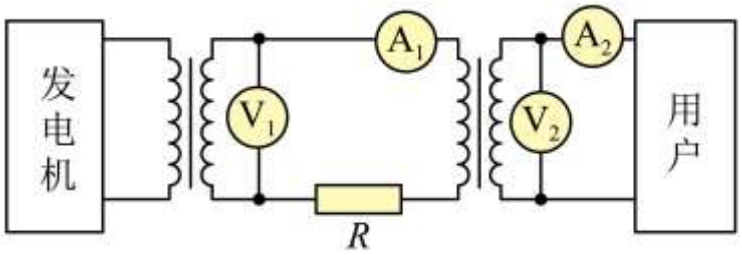
A. 闭合开关，a、b 同时亮

B. 断开开关，a 先熄灭，b 闪亮后熄灭

C. 闭合开关和断开开关瞬间，a 中电流方向相同

D. 闭合开关和断开开关瞬间，b 中电流方向相同

9. 某水电站输电线路简化模型如图所示，已知 R 为输电线总电阻（可视为定值电阻），发电机输出电压恒定。由于用户端负载变化，使发电机输出功率增加。设升压变压器和降压变压器均为理想变压器，下列说法正确的是（　　）



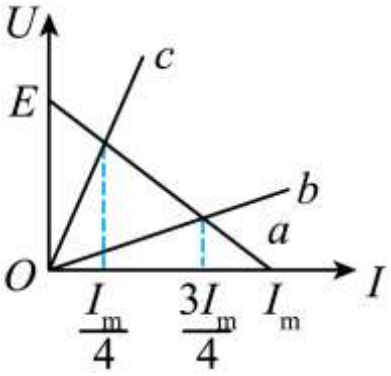
A. 电压表 V_1 的示数增大

B. 电压表 V_2 的示数增大

C. 电流表 A_1 的示数增大

D. 电流表 A_2 的示数减小

10. 如图所示的$U-I$ 图像中，直线 a 为电源的路端电压与电流的关系，直线 b、c 分别是电阻 R_1、R_2 的电压与电流的关系。若将这两个电阻分别直接与该电源连接成闭合电路，则下列说法正确的是（　　）



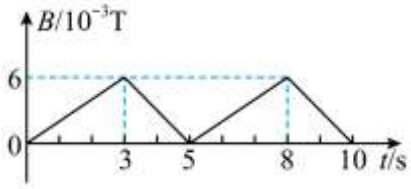
A. 电阻 R_1 大于电阻 R_2

B. R_1 接在电源上时，电源的输出功率较大

C. R_2 接在电源上时，电源的输出功率较大

D. 两种情况下，电源的输出功率相等

11. 一个边长为 10cm 的正方形金属线框置于匀强磁场中，线框平面与磁场垂直，电阻为 1Ω。磁感应强度 B 随时间 t 的变化关系如图所示，则下列说法正确的是（　　）



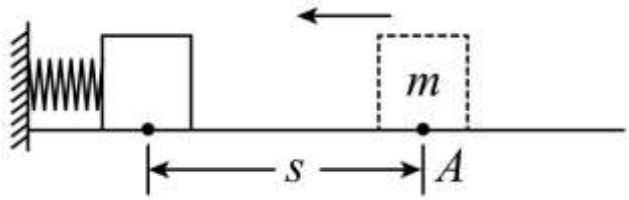
A. 1~3s 的感应电动势为 3×10^{-5}V

B. 3~5s 的感应电流大小为 2×10^{-5}A

C. 0~5s 线框中产生的焦耳热为 4.5×10^{-9}J

D. 0~5s 线框中感应电流的有效值为 $\sqrt{6}\times10^{-5}$A

12. 如图所示，轻质弹簧的左端固定，并处于自然状态。小物块的质量为 m，从 A 点向左沿水平地面运动，压缩弹簧后被弹回，运动到 A 点恰好静止。物块向左运动的最大距离为 s，与地面间的动摩擦因数为 μ，重力加速度为 g，弹簧未超出弹性限度。在上述过程中（　　）



A. 弹簧的最大弹力为 μmg

B. 物块克服摩擦力做的功为 μmgs

C. 弹簧的最大弹性势能为 $2\mu mgs$

D. 物块在 A 点的初速度为 $2\sqrt{\mu gs}$

13. 伽利略猜想落体的速度应该是均匀变化的。为验证自己的猜想，他做了“斜面实验”，如图所示。发现铜球在斜面上运动的位移与时间的平方成正比。改变球的质量或增大斜面倾角，上述结论依然成立。结合以上信息，判断下列说法正确的是（　　）



A. 由“斜面实验”的结论可知，铜球运动的速度随时间均匀增大

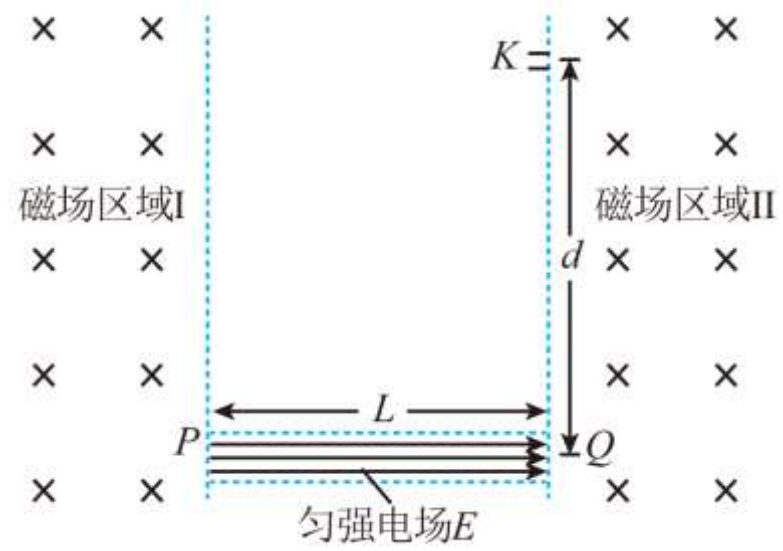
B. 由“斜面实验”　结论可知，铜球运动的速度随位移均匀增大

C. 由“斜面实验”的结论可直接得到落体运动的位移与时间的平方成正比

D. 由“斜面实验”的结论可直接得到落体运动的速度随时间均匀增大

14. 跑道式回旋加速器的工作原理如图所示。两个匀强磁场区域 I、II的边界平行，相距为 L，磁感应强度大小均为 B，方向垂直纸面向里。P、Q 之间存在匀强加速电场，电场强度为 E，方向与磁场边界垂直。质量为 m、电荷量为

+q 的粒子从 P 飘入电场，多次经过电场加速和磁场偏转后，从位于边界上的出射口 K 引出时动能为 E_k。已知 K、Q 的距离为 d，带电粒子的重力不计。则下列说法正确的是（　　）



A. 第一次加速后，粒子在II中运动的半径比在 I 中的半径大

B. 粒子每次从 P 点被加速到再次回到 P 点所用的时间相同

C. 粒子从出射口 K 引出的动能 $E_k=\dfrac{q^2B^2d^2}{8m}$

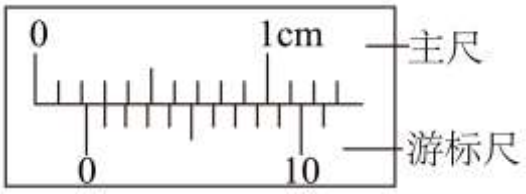
D. 粒子出射前经过加速电场的次数 $N=\dfrac{qB^2d^2}{mEL}$

第二部分

二、本部分共 6 题，共 58 分。

15. 物理实验一般都涉及实验目的、实验原理、实验仪器、实验方法、实验操作、数据分析等。例如：

（1）实验仪器。用 20 分度的游标卡尺测量双缝间距如图所示，双缝间距 $d=$_____mm。



（2）实验操作。在“用油膜法估测油酸分子的大小”实验中，有下列实验步骤：

①往边长约为 40cm 的浅盘里倒入约 2cm 深的水，待水面稳定后将适量的痱子粉均匀地撒在水面上；

②用注射器将事先配好的油酸酒精溶液滴一滴在水面上，待油膜形状稳定；

③将画有油膜形状的玻璃板平放在坐标纸上，计算出油膜的面积，根据油酸的体积和面积计算出油酸分子直径的大小；

④用注射器将事先配好的油酸酒精溶液一滴一滴地滴入量筒中，记下量筒内每增加一定体积时的滴数，由此计算出一滴油酸酒精溶液的体积；

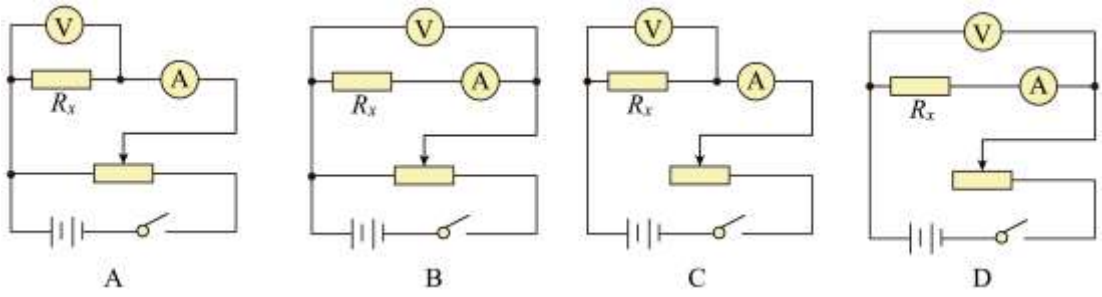
⑤将玻璃板放在浅盘上，然后将油膜的形状用彩笔描绘在玻璃板上；

上述步骤中，正确的顺序是_____。（填写步骤前面的数字）

（3）实验数据分析。在“测量金属丝的电阻率”实验中，待测金属丝的电阻 R_x 约为 5Ω 。

实验中提供的主要器材有电源（电动势为 3V，内阻很小）、电压表 V（量程 $0\sim3\text{V}$，内阻约 $3\text{k}\Omega$ ）、电流表 A（量程 $0\sim0.6\text{A}$，内阻约 0.1Ω ）以及滑动变阻器 $0\sim5\Omega$ 。

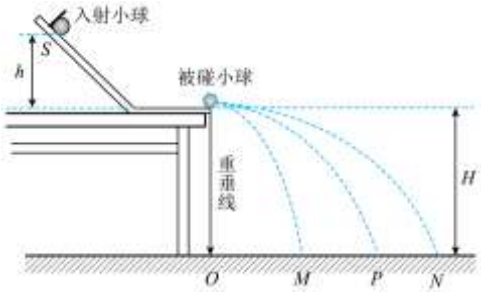
a．为使金属丝两端电压调节范围更大，测量结果更精确，应选用下图_____（选填“A”、“B”、“C”或“D”）所示的电路进行实验；



b．若某同学选择 C 电路进行实验后，向左移动滑片，路端电压 U 和干路电流 I 均发生变化，设变化量分别为 ΔU 和 ΔI 。不考虑温度对电阻的影响，请你分析判断此过程中 $\left|\dfrac{\Delta U}{\Delta I}\right|$ 的值如何变化_____。

16. 如图所示，某实验小组同学用“碰撞实验器”验证动量守恒定律，即研究两个小球在轨道水平部分碰撞前后　动量关系。

（1）实验中，直接测定小球碰撞前后的速度是不容易的，但小组同学通过测量其他物理量间接地解决了这个问题。



a．实验中仅测量_____（填选项前的符号）就可以达到解决问题的目的；

A．小球开始释放高度 h

B．小球抛出点距地面的高度 H

C．小球做平抛运动的射程

D．小球做平抛运动的时间

b．请你写出小组同学解决问题的依据和思路：_____。

（2）图中 O 点是小球抛出点在地面上的垂直投影。实验时，先让人射球 m_1 多次从斜轨上 S 位置静止释放，找到其平均落地点的位置 P，测量 OP 长度；然后，让被碰小球 m_2 静置于轨道的水平部分，再将入射球 m_1 从斜轨上 S 位置静止释放，与小球 m_2 相碰，并多次重复，分别找到 m_1 、 m_2 相碰后平均落地点的位置 M、N，分别测量 OM、ON 长度。最后用天平测量两个小球的质量分别为 m_1 、 m_2 。

a．若两球相碰前后的动量守恒，其表达式为_____（用测量的量表示）；若碰撞是弹性碰撞，那么还应满足的表达式为_____（用测量的量表示）。

b．若实验中记录完平均落地点 P 后，小组中某同学发现斜槽末端有些向上倾斜，此时他将其调整为水平（斜槽末端离地高度 H 不变），然后继续进行后面操作，依然按照原来的方法分析数据。如果该小组同学的其他操作都正确，且调节斜槽引起小球在空中运动时间的变化可以忽略不计，请你分析说明该实验可能会得到的结果_____。

17. 我国自主研制了运－20 重型运输机。飞机获得的升力大小 F 可用 $F=kv^2$ 描写，k 为系数；v 是飞机在平直跑道上的滑行速度，F 与飞机所受重力相等时的 v 称为飞机的起飞离地速度。已知飞机质量为 m 时，起飞离地速度为 v_0；装载货物后质量为 M，装载货物前后起飞离地时的 k 值可视为不变。

（1）请用已知量写出 k 的表达式；

（2）求飞机装载货物后的起飞离地速度 v_1；

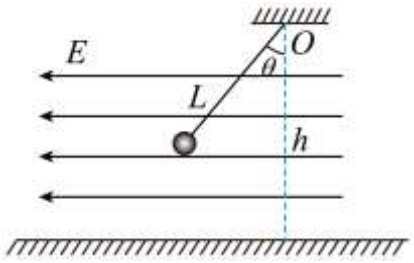
（3）若该飞机装载货物后，从静止开始匀加速滑行距离 d 起飞离地，求飞机滑行过程所用的时间。

18. 如图所示，长 $L=1\text{m}$　轻质细线上端固定在悬点 O，下端连接一个可视为质点的带电小球，小球静止在水平向左、范围足够大的匀强电场中，绳与竖直方向的夹角 $\theta=37°$。已知悬点 O 距地面的高度 $h=1.6\text{m}$，小球所带电荷量 $q=1.0\times10^{-6}\text{C}$，匀强电场的场强 $E=3.0\times10^{3}\text{N/C}$，空气阻力可以忽略，取重力加速度 $g=10\text{m/s}^2$，$\sin37°=0.6$，$\cos37°=0.8$。求：

（1）小球的质量 m；

（2）若将电场撤去，小球摆到最低点时速度 v 的大小；

（3）若保持原电场不变，剪断细线，小球落地时动量 p 的大小和方向。



19. 场是看不见、摸不着的，但我们却可以根据它表现出来的性质去认识它、研究它；我们也常采用类比的方法去研究和认识不同的场。

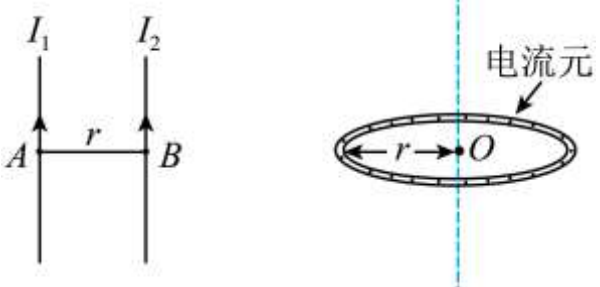
（1）真空中静止的点电荷，电荷量为 Q，在与其相距为的位置产生的场强为 E，请用电场强度的定义和库仑定律推导 $E=k\dfrac{Q}{r^2}$；

（2）1821 年，安培分子电流假说开启了近代磁学，认为磁性源于运动的电荷，科学的发展证实了电流元在空间可以形成磁场。根据电流元周围存在磁场，小鑫同学大胆猜想：两电流元之间存在相互作用的磁场力 F，可能与两点电荷间的静电力类似。如图甲所示，通有电流 I_1、I_2 的两根导线平行放置且电流均向上，设 I_1l_1 和 I_2l_2 分别表示导线上 A、B 两点处的电流元，A、B 两点相距为 r。（说明：若需常量可用 K_m 表示）

a．请你根据小鑫同学的猜想，写出两电流元间相互作用的磁场力大小 F；

b．请类比电场强度的定义方法写出在距电流元 I_1l_1 为 r 处 B 点的磁感应强度的大小，并由安培定则判断 B 点磁感应强度的方向；

C．如图乙所示，环形电流可以视为是由许多段的电流元组成，假设半径为 r 的圆环形导线通有电流为 I，试求在圆心 O 处产生的磁感应强度 B。



图甲　　图乙

20. 物理现象的分析常常有宏观与微观两个视角，建构合理化模型找出其内在联系，有助于更加深刻理解其物理本质。

（1）如图甲所示，直流电源、开关、导线与金属棒 ab 组成一个电路。从微观角度看，开关闭合时，电源两端电压会在金属棒内部形成恒定电场，每个自由电子都在电场力作用下开始定向运动，但这些电子会与导体棒中的金属正离子发生碰撞，碰撞后电子向各方向运动的机会相同，沿导线方向的定向运动速度变为 0；此后自由电子再加速、再碰撞……，这种定向运动在宏观上形成了电流。已知电源两端电压为 U，金属棒的长度为 L，横截面积为 S，单位体积内自由电子数为 n，电子的质量为 m，电荷量为 e，连续两次碰撞间隔的平均时间为 t_0，碰撞时间不计。仅在自由电子和金属正离子碰撞时才考虑粒子间的相互作用，导线及开关的电阻不计。

a．求自由电子定向运动时的加速度大小 a；

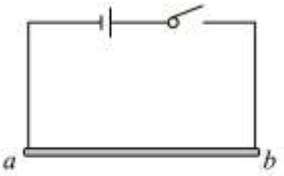
b．求 t_0 时间内自由电子定向运动的平均速率 v_0；

c．推导金属棒中形成电流 I 的表达式；

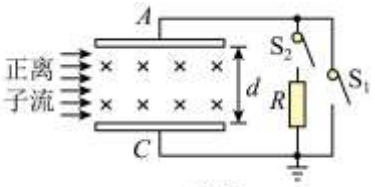
（2）某同学受磁流体发电机　启发，设计了一种新型发电装置。如图乙所示，将发电装置、开关、导线与电阻组成一个电路，这种新型发电装置可视为直流电源。从微观角度看，两面积足够大的平行金属极板 A、C 间有一个垂直纸面向里，磁感应强度为 B 的匀强磁场，将一束带正电的离子流以速度 v 沿垂直于 B 的方向喷入磁场，带正电的离子在洛伦兹力作用下向 A 极板偏转，由于静电感应在 C 极板上感应出等量的负电荷。宏观上 A、C 两板间产生电势差，可为阻值为 R 的外电阻供电。已知每个离子的质量均为 m，电荷量为 $+q$，单位时间内沿垂直极板方向上单位长度喷射的正离子个数为 n，A、C 两板间距为 d，且 d 大于 $\dfrac{2mv}{qB}$。忽略离子的重力及离子间的相互作用力。

a．只闭合开关 S_1 外电路短路，求短路电流 I_m；

b．只闭合开关 S_2，电路中电流稳定后，若单位时间内打在极板 A 上的离子数为 N，请写出 N 与 R 的关系式。



图甲



图乙

参考答案

一、本部分共 14 题，每题 3 分，共 42 分。在每题列出的四个选项中，选出最符合题目要求的一项。

1. 下列说法中正确　是（　　）

A. 太阳辐射的能量主要来自太阳内部的核聚变反应

B. 几个核子结合成原子核的过程一定有质量亏损，需要吸收能量

C. 知道氡元素　半衰期我们就能知道一个氡原子核将何时发生衰变

D. 大量处于 $n=3$ 能级的氢原子自发跃迁，可能辐射 2 种不同频率的光

【1 题答案】

【答案】A

【解析】

【详解】A．太阳辐射的能量主要来自太阳内部的核聚变反应，故 A 正确；

B．依据质能方程，可知，核子结合成原子核一定有质量亏损，且释放出能量，故 B 错误；

C．半衰期是统计规律，对于一个特定的衰变原子核，我们只知道它发生衰变的概率，并不知道它将何时发生衰变，发生多少衰变，故 C 错误；

D．大量处于 n=3 能级的氢原子在自发跃迁时，会发出 $C_3^2=3$ 种不同频率的光，故 D 错误。

故选 A。

2. 我国研制的 055 新型防空驱逐舰采用“双波段雷达”系统。雷达发射 X 波段电磁波频率为 8~12GHz，S 波段电磁波频率为 2~4GHz。与 S 波段相比，X 波段的电磁波（　　）

A. 在空气中的波长更短　　B. 在空气中传播速度更大

C. 衍射更明显　　D. 光子能量更小

【2 题答案】

【答案】A

【解析】

【详解】A．根据波长与频率关系

$$\lambda=\frac{c}{f}$$

可知频率大对应的波长小，故 X 波段的电磁波在空气中的波长更短，A 正确；

B．不同频率的电磁波在空气中传播速度相同，B 错误；

C．发生明显衍射现象的条件是障碍物的尺寸与波长接近或者小于波长，因 X 波段的电磁波的波长更短，则 X 波段的电磁波更不容易发生衍射，C 错误；

D．根据光子能量表达式

$$E=h\nu$$

可知频率大对应的光子能量大，则 X 波段的电磁波的光子能量更大，D 错误；

故选 A。

3. 下列说法中正确的是（　　）

A. 布朗运动证明，悬浮在液体中的固体小颗粒的分子在做无规则热运动

B. 当用力拉伸铅块时，铅块各部分之间要产生反抗拉伸的作用力，此时铅块分子间的作用力表现为引力

C. 当我们把一个物体举高时，组成物体的每个分子的重力都做了负功，因此分子势能增大，物体内能增大

D. 在太空实验室里，水滴的形状是一个完美的球形，这是表面张力作用使其表面具有扩张趋势而引起的结果

【3 题答案】

【答案】B

【解析】

【详解】A．布朗运动是悬浮在液体中的固体颗粒的无规则运动，反映液体分子的无规则运动，A 错误；

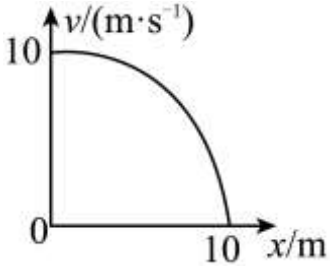
B．当用力拉伸铅块时，铅块各部分之间要产生反抗拉伸的作用力，此时铅块分子间的作用力表现为引力，B 正确；

C．物体举高后，宏观　重力势能增加，对微观中分子势能没有影响，分子势能的大小与分子间距有关，分子势能不变，内能不变，故 C 错误；

D．在太空实验室里，水滴的形状是一个完美的球形，这是表面张力作用使其表面具有收缩趋势而引起的结果，故 D 错误。

故选 B。

4. 如图所示，某次实验利用位移传感器和速度传感器得到我国某品牌汽车刹车过程的$v-x$图像，汽车刹车过程可视为匀减速运动，下列说法正确是（　　）



A. 汽车刹车过程的时间为 1s

B. 汽车刹车过程的加速度大小为 10m/s^2

C. 当汽车的位移为 5m 时，运动速度小于 5m/s

D. 当汽车运动速度为 5m/s 时，位移大于 5m

【4 题答案】

【答案】D

【解析】

【详解】A．汽车刹车后做匀减速直线运动，由图可知，初速度为 v_0=10m/s，位移为 x=10m，则

$$x=\frac{v_0 t}{2}$$

解得汽车刹车过程的时间为

$$t=\frac{2x}{v_0}=2\text{s}$$

故 A 错误；

B．汽车刹车过程的加速度大小为

$$a=\frac{v_0^2}{2x}=\frac{10^2}{2\times10}\text{m/s}^2=5\text{m/s}^2$$

故 B 错误；

C．当汽车运动的位移为 5m 时，根据

v^2-v_0^2=-2ax

得

$$v=\sqrt{v_0^2-2ax}=5\sqrt{2}\text{m/s}>5\text{m/s}$$

故 C 错误；

D．当汽车速度为 5m/s 时，根据

v^2-v_0^2=-2ax

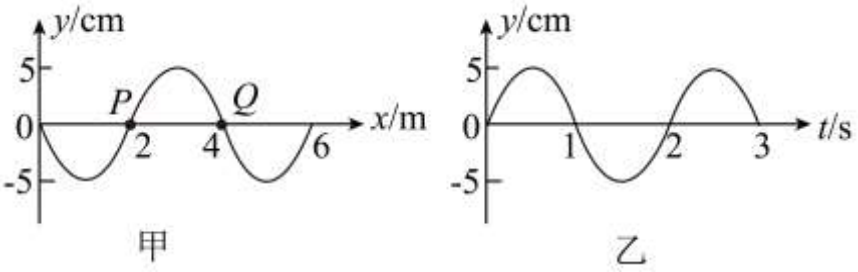
得

$$x=\frac{v_0^2-v^2}{2a}=\frac{10^2-5^2}{2\times5}\text{m}=7.5\text{m}$$

故 D 正确。

故选 D。

5. 一列简谐横波沿 x 轴传播，t=0 时刻的波形如图甲所示，P 为波传播方向上的一质点，此时 P 质点处于平衡位置。图乙是 $Q\left(x=4\text{m}\right)$ 质点的振动图像，下列说法正确是（　　）



A. 这列波的传播速度为 0.2m/s

B. 这列波沿 x 轴负方向传播

C. 再经过 1.5s，P 质点恰好振动到达波峰处

D. 再经过 2.5s，P 质点加速度方向沿 y 轴负方向

【5 题答案】

【答案】C

【解析】

【详解】A．由图甲可知，波长为 4m，周期为 2s，则波速为

$$v=\frac{\lambda}{T}=2\text{m/s}$$

故 A 错误；

B．由图乙可知，Q 质点在 0 时刻向上振动，根据“同侧法”结合图甲可知，波沿 x 轴正方向传播，故 B 错误；

C．由题意可知，0 时刻质点 P 在平衡位置，经过 1.5s 即四分之三个周期，可知，质点 P 位于波峰处，故 C 正确；

D．由题意可知，0 时刻质点 P 在平衡位置，经过 2.5s 即 $1\frac{1}{4}$ 个周期，则质点 P 位于波谷处，此时加速度方向沿 y 轴正方向，故 D 错误。

故选 C。

6. 如图所示，一个小孩儿在玩荡秋千。已知秋千的两根绳长均为 3m，小孩和秋千踏板的总质量约为 30kg，绳的质量忽略不计。当该同学荡到秋千支架的正下方时，速度大小为 6m/s，此时每根绳子平均承受的拉力约为（　　）



A. 150N　　B. 330N

C. 360N　　D. 660N

【6 题答案】

【答案】B

【解析】

【详解】设每根绳的拉力为 T，对小孩和秋千踏板受力分析且由牛顿第二定律有

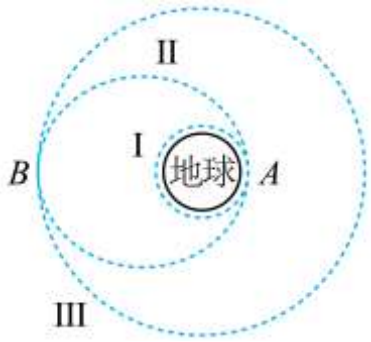
$$2T-mg=m\frac{v^2}{L}$$

得

$$T=\frac{mg+m\frac{v^2}{L}}{2}=\frac{30\times10+30\times\frac{6^2}{3}}{2}\text{N}=330\text{N}$$

故选 B。

7. 2022 年 3 月 23 日，“天宫课堂”进行了第二次授课活动。授课过程中信号顺畅不卡顿，主要是利用天链系列地球同步轨道卫星进行数据中继来实现的。如图所示，天链卫星的发射过程可以简化如下：卫星先在近地圆形轨道 I 上运动，到达轨道的 A 点时点火变轨进入椭圆轨道II，到达轨道的远地点 B 时，再次点火进入圆形同步轨道III绕地球做匀速圆周运动。设地球半径为 R，地球表面的重力加速度为 g_0，卫星质量保持不变。则下列说法中正确的是（　　）



A. 卫星在轨道 I 和轨道III运动的周期均与地球自转周期相同

B. 卫星在轨道II和轨道III运动经过 B 点的加速度大小不同

C. 卫星在轨道III上的运行速率小于 $\sqrt{g_0R}$

D. 卫星在轨道 I 上的机械能大于在轨道II上的机械能

【7 题答案】

【答案】C

【解析】

【详解】A．卫星绕地球做匀速圆周运动，万有引力提供向心力，则有

$$\frac{GMm}{r^2}=m\frac{4\pi^2}{T^2}r$$

可得

$$T=\sqrt{\frac{4\pi^2r^3}{GM}}\propto\sqrt{r^3}$$

卫星在同步轨道III的周期与地球自转周期相同，卫星在轨道 I 的周期小于地球自转周期，A 错误；

B．卫星在运行过程只受地球的万有引力，根据牛顿第二定律可得

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

解得

$$a=\frac{GM}{r^2}$$

由于 M 、 r 都相同，可知卫星在轨道II和轨道III运动经过 B 点的加速度大小相同，B 错误；

C．卫星在轨道III绕地球做匀速圆周运动，万有引力提供向心力，则有

$$\frac{GMm}{r^2}=m\frac{v^2}{r}$$

物体在地球表面受到的重力等于万有引力，则有

$$\frac{GMm_0}{R^2}=m_0g_0$$

联立解得

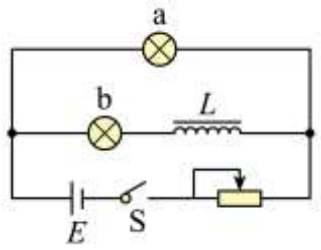
$$v=\sqrt{\frac{g_0R^2}{r}}<\sqrt{g_0R}$$

C 正确；

D．卫星在同一轨道上运行时，只受万有引力，卫星的机械能守恒，卫星从轨道 I 变轨到轨道II需要在 *A* 处点火加速，即机械能增加，故卫星在轨道 I 上的机械能小于在轨道II上的机械能，D 错误；

故选 C。

8. 如图所示的电路中 a、b 是两个完全相同的灯泡，L 为自感线圈（自感系数足够大，直流电阻不计），*E* 为电源，S 为开关。下列说法正确的是（　　）



A. 闭合开关，a、b 同时亮

B. 断开开关，a 先熄灭，b 闪亮后熄灭

C. 闭合开关和断开开关瞬间，a 中电流方向相同

D. 闭合开关和断开开关瞬间，b 中电流方向相同

【8 题答案】

【答案】D

【解析】

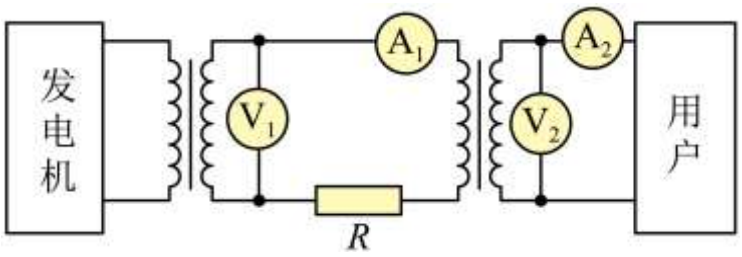
【详解】A．由图可以看出，a、b 灯泡在两个不同的支路中，对于纯电阻电路，不发生电磁感应，通电后用电器立即开始正常工作；但对于含电感线圈的电路，在通电时，线圈产生自感电动势，对电流的增大有阻碍作用，使 b 灯后亮，则合上开关，a 先亮，b 后亮，故 A 错误；

B．L 为自感线圈（直流电阻不计），接通开关稳定时通过两灯的电流一样，当断开开关时，线圈中产生自感电动势，由 a、b 及电感线圈组成一个回路，两灯同时逐渐熄灭，故 B 错误；

CD．由图可知，闭合开关接通开关稳定时通过 a、b 两灯的电流方向相同，断开开关瞬间线圈中产生自感电动势，由 a、b 及电感线圈组成一个回路，则 b 灯电流方向不变，而 a 灯电流方向反向，故 C 错误，D 正确。

故选 D。

9. 某水电站输电线路简化模型如图所示，已知 *R* 为输电线总电阻（可视为定值电阻），发电机输出电压恒定。由于用户端负载变化，使发电机输出功率增加。设升压变压器和降压变压器均为理想变压器，下列说法正确的是（　　）



A. 电压表 V_1 的示数增大

B. 电压表 V_2 的示数增大

C. 电流表 A_1 的示数增大

D. 电流表 A_2 的示数减小

【9 题答案】

【答案】C

【解析】

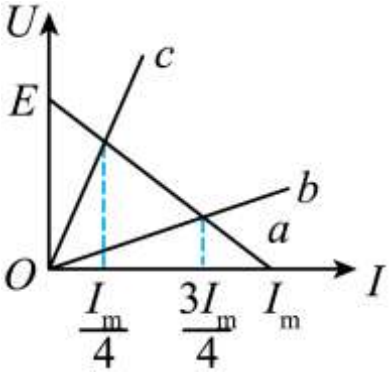
【详解】A．发电机的输出电压恒定，所以升压变压器副线圈的电压不变，则电压表 V_1 的示数不变，故 A 错误；

BC．发电机输出功率升高，则流过输电线的电流 $I=\dfrac{P}{U_2}$ 增大，则电流表 A_1 的示数增大，输电线电阻所分的电压增大，则降压变压器原副线圈的电压均减小，则电压表 V_2 的示数减小，故 B 错误，C 正确；

D．降压变压器原线圈电流增大，根据电流于匝数的关系可知，降压变压器副线圈电流变大，电流表 A_2 的示数变大，故 D 错误。

故选 C。

10. 如图所示的 $U-I$ 图像中，直线 a 为电源的路端电压与电流的关系，直线 b、c 分别是电阻 R_1、R_2 的电压与电流的关系。若将这两个电阻分别直接与该电源连接成闭合电路，则下列说法正确的是（　　）



A. 电阻 R_1 大于电阻 R_2

B. R_1 接在电源上时，电源的输出功率较大

C. R_2 接在电源上时，电源的输出功率较大

D. 两种情况下，电源的输出功率相等

【10 题答案】

【答案】D

【解析】

【详解】A．由欧姆定律 $R=\dfrac{U}{I}$ 结合图象可知电阻 R_1 小于电阻 R_2，故 A 错误；

BCD．电源的内阻

$$r=\frac{E}{I_m}$$

当 $I=\dfrac{3}{4}I_m$ 时，由闭合电路欧姆定律

$$\frac{E}{I_{\mathrm{m}}}\cdot\frac{3}{4}I_{\mathrm{m}}+U_1=E$$

同理当$I=\frac{1}{4}I_{\mathrm{m}}$时，由闭合电路欧姆定律

$$\frac{E}{I_{\mathrm{m}}}\cdot\frac{1}{4}I_{\mathrm{m}}+U_2=E$$

解得

$$U_1=\frac{1}{4}E$$

$$U_2=\frac{3}{4}E$$

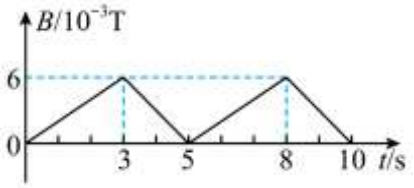
根据$P=UI$可得两种情况下，电源的输出功率相等为

$$P=\frac{E}{4}\times\frac{3}{4}I_{\mathrm{m}}=\frac{3}{16}EI_{\mathrm{m}}$$

故 D 正确，BC 错误

故选 D。

11. 一个边长为 10cm 的正方形金属线框置于匀强磁场中，线框平面与磁场垂直，电阻为 1Ω。磁感应强度 B 随时间 t 的变化关系如图所示，则下列说法正确的是（　　）



A. 1~3s 的感应电动势为 3×10^{-5}V

B. 3~5s 的感应电流大小为 2×10^{-5}A

C. 0~5s 线框中产生的焦耳热为 4.5×10^{-9}J

D. 0~5s 线框中感应电流的有效值为$\sqrt{6}\times10^{-5}$A

【11 题答案】

【答案】D

【解析】

【详解】A．由法拉第电磁感应定律可知，1~3s 的感应电动势为

$$E_1=n\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}=n\frac{\Delta BS}{\Delta t}=1\times\frac{4\times10^{-3}\times0.1\times0.1}{2}\mathrm{V}=2\times10^{-5}\mathrm{V}$$

此过程中的感应电流为

$$I_1=\frac{E_1}{R}=2\times10^{-5}\mathrm{A}$$

故 A 错误；

B．由法拉第电磁感应定律可知，3~5s 的感应电动势为

$$E_2=n\frac{\Delta\Phi'}{\Delta t}=n\frac{\Delta B'S}{\Delta t'}=1\times\frac{6\times10^{-3}\times0.1\times0.1}{2}\text{V}=3\times10^{-5}\text{V}$$

3~5s 的感应电流大小为

$$I_2=\frac{E_2}{R}=3\times10^{-5}\text{A}$$

故 B 错误；

C．0~5s 线框中产生的焦耳热为

$$Q=I_1^2Rt_1+I_2^2Rt_2=(2\times10^{-5})^2\times1\times3\text{J}+(3\times10^{-5})^2\times1\times2\text{J}=3.0\times10^{-9}\text{J}$$

故 C 错误；

D．根据电流热效应可得

$$I^2RT=I_1^2R\times\frac{3}{5}T+I_2^2R\times\frac{2}{5}T$$

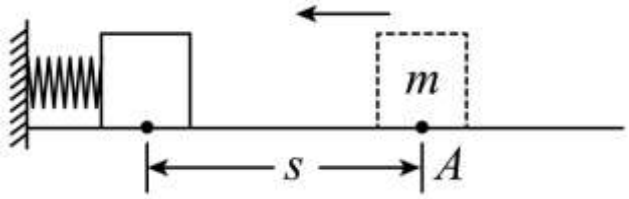
代入数据解得

$$I=\sqrt{6}\times10^{-5}\text{A}$$

故 D 正确。

故选 D。

12. 如图所示，轻质弹簧的左端固定，并处于自然状态。小物块的质量为 m，从 A 点向左沿水平地面运动，压缩弹簧后被弹回，运动到 A 点恰好静止。物块向左运动的最大距离为 s，与地面间的动摩擦因数为 μ，重力加速度为 g，弹簧未超出弹性限度。在上述过程中（　　）



A. 弹簧的最大弹力为 μmg

B. 物块克服摩擦力做的功为 μmgs

C. 弹簧的最大弹性势能为 $2\mu mgs$

D. 物块在 A 点的初速度为 $2\sqrt{\mu gs}$

【12 题答案】

【答案】D

【解析】

【详解】A．物体从静止向右运动时，弹力先大于摩擦力，当弹簧的弹力与滑动摩擦力大小相等时，即

$$F=\mu mg$$

时，速度最大，物体继续向右运动，弹簧继续伸长直到自然状态，所以弹簧的最大弹力大于 μmg，A 错误；

B．整个过程中，物块所受的摩擦力大小恒定，摩擦力一直做负功，则物块克服摩擦力做的功为 $2\mu mgs$，B 错误；

C．物体向右运动的过程，根据能量守恒定律得，弹簧的最大弹性势能

$$E_p=\mu mgs$$

C 错误；

D．设物块在 A 点的初速度为 v_0，对整个过程，利用动能定理得

$$-2\mu mgs = 0 - \frac{1}{2}mv_0^2$$

可得

$$v_0 = 2\sqrt{\mu gs}$$

D 正确。

故选 D。

13. 伽利略猜想落体的速度应该是均匀变化的。为验证自己的猜想，他做了“斜面实验”，如图所示。发现铜球在斜面上运动的位移与时间的平方成正比。改变球的质量或增大斜面倾角，上述结论依然成立。结合以上信息，判断下列说法正确的是（　　）



A. 由“斜面实验”的结论可知，铜球运动的速度随时间均匀增大

B. 由“斜面实验”　结论可知，铜球运动的速度随位移均匀增大

C. 由“斜面实验”的结论可直接得到落体运动的位移与时间的平方成正比

D. 由“斜面实验”的结论可直接得到落体运动的速度随时间均匀增大

【13 题答案】

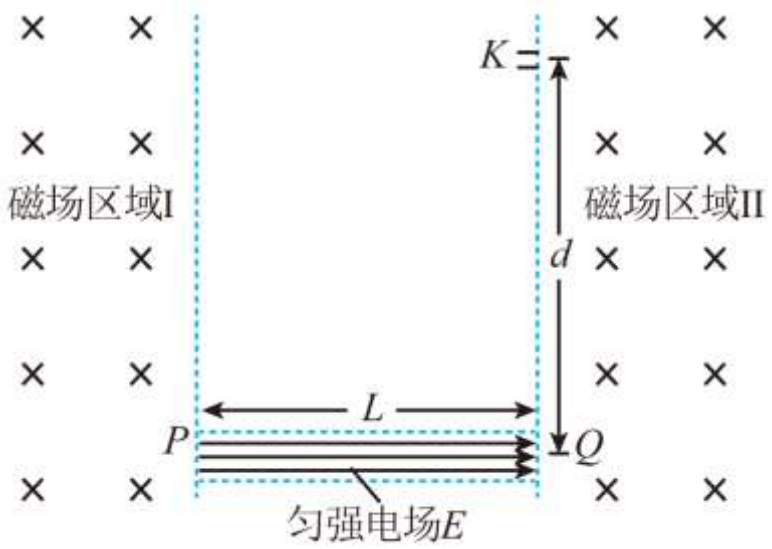
【答案】A

【解析】

【详解】研究铜球在较小倾角斜面上的运动情况，发现铜球做的是匀变速直线运动，且铜球加速度随斜面倾角的增大而增大，倾角最大的情况就是 90°时，这时铜球做自由落体运动，由此得出的结论是在斜面倾角一定时，铜球运动的速度随时间均匀增大，即自由落体运动是一种匀变速直线运动，但不能直接得出落体运动的位移与时间的平方成正比、落体运动的速度随时间均匀增大，故 A 正确，BCD 错误。

故选 A。

14. 跑道式回旋加速器的工作原理如图所示。两个匀强磁场区域 I、II的边界平行，相距为 L，磁感应强度大小均为 B，方向垂直纸面向里。P、Q 之间存在匀强加速电场，电场强度为 E，方向与磁场边界垂直。质量为 m、电荷量为 $+q$ 的粒子从 P 飘入电场，多次经过电场加速和磁场偏转后，从位于边界上的出射口 K 引出时动能为 E_k。已知 K、Q 的距离为 d，带电粒子的重力不计。则下列说法正确的是（　　）



A. 第一次加速后，粒子在II中运动的半径比在 I 中的半径大

B. 粒子每次从 P 点被加速到再次回到 P 点所用的时间相同

C. 粒子从出射口 K 引出的动能 $E_{\mathrm{k}}=\dfrac{q^2B^2d^2}{8m}$

D. 粒子出射前经过加速电场的次数 $N=\dfrac{qB^2d^2}{mEL}$

【14 题答案】

【答案】C

【解析】

【详解】A．粒子在磁场中根据洛伦兹力提供向心力得

$$qvB=m\frac{v^2}{r}$$

得

$$r=\frac{mv}{qB}$$

由题意可知，粒子在II中运动的速度大小与在 I 中运动的速度大小相等，则半径也相等，故 A 错误；

B．粒子每次从 P 点被加速到再次回到 P 点所用的时间等于在两磁场中运动的时间与在电场中加速的时间之和，由 $T=\dfrac{2\pi m}{qB}$ 可知，粒子在两磁场中运动的时间相同，但在加速电场中的时间越来越短，所以粒子每次从 P 点被加速到再次回到 P 点所用的时间不同，故 B 错误；

C．设粒子从出射口 K 射出时的速度大小为 v_{m}，此时粒子在磁场中做匀速圆周运动的轨道半径最大，为

$$r=\frac{d}{2}$$

粒子在磁场中做匀速圆周运动，洛伦兹力提供向心力，由牛顿第二定律得

$$qv_mB=m\frac{v_m^2}{r}$$

粒子从出射口 K 射出时的动能

$$E_{\mathrm{k}}=\frac{1}{2}mv_m^2$$

解得

$$E_{\mathrm{k}}=\frac{q^2d^2B^2}{8m}$$

故 C 正确；

D．由于粒子被引出时的动能为 E_{k}，根据动能定理可得

$$NqEL=E_{\mathrm{k}}$$

解得

$$N=\frac{E_{\mathrm{k}}}{qEL}=\frac{qd^2B^2}{8mEL}$$

故 D 错误。

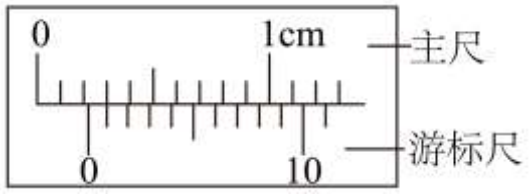
故选 C。

第二部分

二、本部分共 6 题，共 58 分。

15. 物理实验一般都涉及实验目的、实验原理、实验仪器、实验方法、实验操作、数据分析等。例如：

（1）实验仪器。用 20 分度的游标卡尺测量双缝间距如图所示，双缝间距 $d=$_____mm。



（2）实验操作。在“用油膜法估测油酸分子的大小”实验中，有下列实验步骤：

①往边长约为 40cm 的浅盘里倒入约 2cm 深的水，待水面稳定后将适量的痱子粉均匀地撒在水面上；

②用注射器将事先配好的油酸酒精溶液滴一滴在水面上，待油膜形状稳定；

③将画有油膜形状的玻璃板平放在坐标纸上，计算出油膜的面积，根据油酸的体积和面积计算出油酸分子直径的大小；

④用注射器将事先配好的油酸酒精溶液一滴一滴地滴入量筒中，记下量筒内每增加一定体积时的滴数，由此计算出一滴油酸酒精溶液的体积；

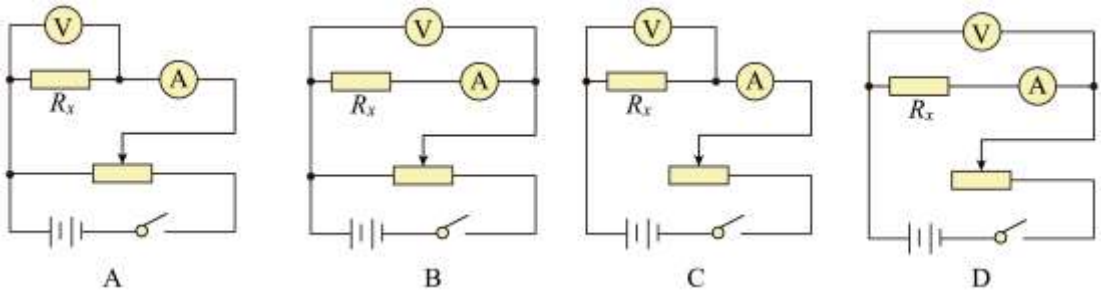
⑤将玻璃板放在浅盘上，然后将油膜的形状用彩笔描绘在玻璃板上；

上述步骤中，正确的顺序是_____。（填写步骤前面的数字）

（3）实验数据分析。在“测量金属丝的电阻率”实验中，待测金属丝的电阻 R_x 约为 5Ω 。

实验中提供的主要器材有电源（电动势为 3V，内阻很小）、电压表 V（量程 $0\sim3\mathrm{V}$，内阻约 $3\mathrm{k}\Omega$ ）、电流表 A（量程 $0\sim0.6\mathrm{A}$，内阻约 0.1Ω ）以及滑动变阻器 $0\sim5\Omega$ 。

a．为使金属丝两端电压调节范围更大，测量结果更精确，应选用下图_____（选填“A”、“B”、“C”或“D”）所示的电路进行实验；



A　　B　　C　　D

b．若某同学选择 C 电路进行实验后，向左移动滑片，路端电压 U 和干路电流 I 均发生变化，设变化量分别为 ΔU 和 ΔI 。不考虑温度对电阻的影响，请你分析判断此过程中 $\left|\frac{\Delta U}{\Delta I}\right|$ 的值如何变化_____。

【15 题答案】

【答案】　①. 2.05　②. ④①②⑤③　③. A　④. 不变

【解析】

【详解】（1）[1]20 分度的游标卡尺的精确值为 0.05mm，图中的读数为

$$d = 2\text{mm} + 1 \times 0.05\text{mm} = 2.05\text{mm}$$

（2）[2]在“用油膜法估测油酸分子的大小”实验中，正确的实验步骤是④①②⑤③；

（3）a[3]为使金属丝两端电压调节范围更大，滑动变阻器应采用分压接法，且由于

$$\frac{R_{\text{V}}}{R_x} > \frac{R_x}{R_{\text{A}}}$$

说明待测电阻属于小电阻，电流表应采用外接法，A 正确，BCD 错误；

故选 A。

b[4]若某同学选择 C 电路进行实验后，向左移动滑片，路端电压 U 和干路电流 I 均发生变化，根据闭合电路欧姆定律可得

$$E = U + Ir$$

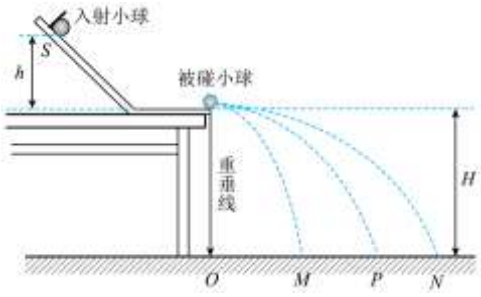
解得

$$U = -Ir + E$$

可知 $\left|\frac{\Delta U}{\Delta I}\right|$ 等于电源的内阻，保持不变。

16. 如图所示，某实验小组同学用“碰撞实验器”验证动量守恒定律，即研究两个小球在轨道水平部分碰撞前后的动量关系。

（1）实验中，直接测定小球碰撞前后的速度是不容易的，但小组同学通过测量其他物理量间接地解决了这个问题。



a．实验中仅测量_____（填选项前的符号）就可以达到解决问题的目的；

A．小球开始释放高度 h

B．小球抛出点距地面的高度 H

C．小球做平抛运动的射程

D．小球做平抛运动的时间

b．请你写出小组同学解决问题的依据和思路：_____。

（2）图中 O 点是小球抛出点在地面上的垂直投影。实验时，先让人射球 m_1 多次从斜轨上 S 位置静止释放，找到其平均落地点的位置 P，测量 OP 长度；然后，让被碰小球 m_2 静置于轨道的水平部分，再将入射球 m_1 从斜轨上 S 位置静止释放，与小球 m_2 相碰，并多次重复，分别找到 m_1、m_2 相碰后平均落地点的位置 M、N，分别测量 OM、ON 长度。最后用天平测量两个小球的质量分别为 m_1、m_2。

a．若两球相碰前后的动量守恒，其表达式为_____（用测量的量表示）；若碰撞是弹性碰撞，那么还应满足的表达式为_____（用测量的量表示）。

b．若实验中记录完平均落地点 P 后，小组中某同学发现斜槽末端有些向上倾斜，此时他将其调整为水平（斜槽末端离地高度 H 不变），然后继续进行后面操作，依然按照原来的方法分析数据。如果该小组同学的其他操作都正确，且调节斜槽引起小球在空中运动时间的变化可以忽略不计，请你分析说明该实验可能会得到的结果_____。

【16 题答案】

【答案】 ①. C ②. 见解析 ③. $m_1 \cdot OP = m_1 \cdot OM + m_2 \cdot ON$ ④. $m_1 \cdot OP^2 = m_1 \cdot OM^2 + m_2 \cdot ON^2$ ⑤. 见解析

【解析】

【详解】（1）a[1]实验中仅测量小球做平抛运动的射程可以解决直接测定速度是不容易的问题，C 正确，ABD 错误；

故选 C。

b[2]两球碰撞过程满足动量守恒，则有

$$m_1 v_0 = m_1 v_1 + m_2 v_2$$

小球离开轨道后做平抛运动，它们的下落高度相同，在空中的时间相等，则有

$$m_1 v_0 \cdot t = m_1 v_1 \cdot t + m_2 v_2 \cdot t$$

可得

$$m_1 \cdot OP = m_1 \cdot OM + m_2 \cdot ON$$

可知只要测量小球做平抛运动的射程就可以解决小球碰撞前后的速度问题；

（2）a[3]两球碰撞过程满足动量守恒，则有

$$m_1v_0 = m_1v_1 + m_2v_2$$

小球离开轨道后做平抛运动，它们的下落高度相同，在空中的时间相等，则有

$$m_1v_0 \cdot t = m_1v_1 \cdot t + m_2v_2 \cdot t$$

可得

$$m_1 \cdot OP = m_1 \cdot OM + m_2 \cdot ON$$

[4]若两球碰撞是弹性碰撞，碰撞过程满足机械能守恒，则有

$$\frac{1}{2}m_1v_0^2 = \frac{1}{2}m_1v_1^2 + \frac{1}{2}m_2v_2^2$$

可得需要满足的表达式为

$$m_1 \cdot OP^2 = m_1 \cdot OM^2 + m_2 \cdot ON^2$$

b[5] 实验可能的结果是：碰撞前的总动量小于碰撞后的总动量；由于斜槽末端向上倾斜，小球抛出后做斜抛运动，水平速度变小。若斜槽引起小球在空中运动时间的变化忽略不计，则斜槽末端向上倾斜时，小球的水平位移变小，故可能会得到碰撞前的总动量小于碰撞后的总动量。

17. 我国自主研制了运－20 重型运输机。飞机获得的升力大小 F 可用 $F = kv^2$ 描写，k 为系数；v 是飞机在平直跑道上的滑行速度，F 与飞机所受重力相等时的 v 称为飞机的起飞离地速度。已知飞机质量为 m 时，起飞离地速度为 v_0；装载货物后质量为 M，装载货物前后起飞离地时的 k 值可视为不变。

（1）请用已知量写出 k 的表达式；

（2）求飞机装载货物后的起飞离地速度 v_1；

（3）若该飞机装载货物后，从静止开始匀加速滑行距离 d 起飞离地，求飞机滑行过程所用的时间。

【17 题答案】

【答案】（1）$k = \frac{mg}{v_0^2}$；（2）$v_1 = \sqrt{\frac{M}{m}}v_0$；（3）$t = \frac{2d}{v_0}\sqrt{\frac{m}{M}}$

【解析】

【详解】（1）空载起飞时，升力正好等于重力，竖直方向平衡方程

$$kv_0^2 = mg$$

所以

$$k = \frac{mg}{v_0^2}$$

（2）载货起飞时，升力正好等于重力，竖直方向平衡方程

$$kv_1^2 = Mg$$

将 k 代入解得

$$v_1 = \sqrt{\frac{M}{m}}v_0$$

（3）该飞机装载货物后，初速度为零的匀加速直线运动，则由

$v_1^2-0=2ad$

解得

$$a=\frac{Mv_0^2}{2md}$$

根据匀变速速度与时间关系

$v_1-0=at$

解得

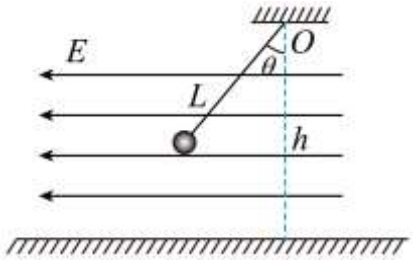
$$t=\frac{2d}{v_0}\sqrt{\frac{m}{M}}$$

18. 如图所示，长$L=1\text{m}$的轻质细线上端固定在悬点O，下端连接一个可视为质点的带电小球，小球静止在水平向左、范围足够大的匀强电场中，绳与竖直方向的夹角$\theta=37°$。已知悬点O距地面的高度$h=1.6\text{m}$，小球所带电荷量$q=1.0\times10^{-6}\text{C}$，匀强电场的场强$E=3.0\times10^{3}\text{N/C}$，空气阻力可以忽略，取重力加速度$g=10\text{m/s}^2$，$\sin37°=0.6$，$\cos37°=0.8$。求：

（1）小球的质量m；

（2）若将电场撤去，小球摆到最低点时速度v的大小；

（3）若保持原电场不变，剪断细线，小球落地时动量p的大小和方向。



【18题答案】

【答案】（1）$4\times10^{-4}\text{kg}$；（2）2m/s；（3）$2\times10^{-3}\text{kg}\cdot\text{m/s}$，方向与竖直方向夹角为$\theta=37°$

【解析】

详解】（1）根据共点力平衡条件可得

$$\frac{qE}{mg}=\tan37°$$

解得

$$m=\frac{qE}{g\tan37°}=4\times10^{-4}\text{kg}$$

（2）从小球所处位置到最低点的过程中，根据动能定理:

$$mgL(1-\cos\theta)=\frac{1}{2}mv^2-0$$

解得

$v=2\text{m/s}$

（3）设小球落地点为Q，根据几何关系可知

$$OQ=\frac{h}{\cos 37^{\circ}}=2\mathrm{m}$$

根据牛顿第二定律有

$$\sqrt{qE^2+mg^2}=ma$$

解得

$$a=12.5\mathrm{m/s^2}$$

根据匀变速直线运动规律

$$v_1^2-0=2ax$$

解得

$$v_1=\sqrt{2ax}=\sqrt{2\times12.5\times(2-1)}\mathrm{m/s}=5\mathrm{m/s}$$

根据动量定义可知

$$p=mv=2\times10^{-3}\mathrm{kg\cdot m/s}$$

方向与竖直方向夹角为$\theta=37°$。

19. 场是看不见、摸不着的，但我们却可以根据它表现出来的性质去认识它、研究它；我们也常采用类比的方法去研究和认识不同的场。

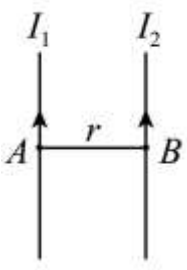
（1）真空中静止的点电荷，电荷量为 Q，在与其相距为的位置产生的场强为 E，请用电场强度的定义和库仑定律推导 $E=k\frac{Q}{r^2}$；

（2）1821 年，安培分子电流假说开启了近代磁学，认为磁性源于运动的电荷，科学的发展证实了电流元在空间可以形成磁场。根据电流元周围存在磁场，小鑫同学大胆猜想：两电流元之间存在相互作用的磁场力 F，可能与两点电荷间的静电力类似。如图甲所示，通有电流 I_1、I_2 的两根导线平行放置且电流均向上，设 I_1l_1 和 I_2l_2 分别表示导线上 A、B 两点处的电流元，A、B 两点相距为 r。（说明：若需常量可用 K_m 表示）

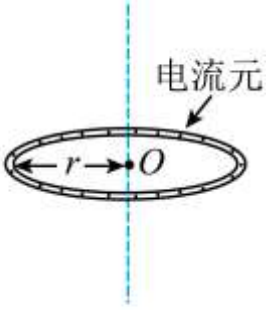
a．请你根据小鑫同学的猜想，写出两电流元间相互作用的磁场力大小 F；

b．请类比电场强度的定义方法写出在距电流元 I_1l_1 为 r 处 B 点的磁感应强度的大小，并由安培定则判断 B 点磁感应强度的方向；

C．如图乙所示，环形电流可以视为是由许多段的电流元组成，假设半径为 r 的圆环形导线通有电流为 I，试求在圆心 O 处产生的磁感应强度 B。



图甲



图乙

【19题答案】

【答案】（1）见解析；（2）a. $F=K_{\mathrm{m}}\frac{(I_1l_1)\cdot(I_2l_2)}{r^2}$；b. $B=K_{\mathrm{m}}\frac{I_1l_1}{r^2}$，垂直纸面向里；c. $B=2\pi K_{\mathrm{m}}\frac{I}{r}$

【解析】

【详解】（1）电荷量为 Q 的点电荷，在与之相距 r 处放一试探电荷 q,根据库仑定律，该试探电荷受到的电场力为

$$F=k\frac{Qq}{r^2}$$

由电场强度

$$E=\frac{F}{q}$$

得电荷量为 Q 的点电荷，在与之相距 r 处电场强度为

$$E=k\frac{Q}{r^2}$$

（2）a. 通过类比可以猜想两电流元间相互作用的磁场力大小 F 可以写为

$$F=K_{\mathrm{m}}\frac{(I_1l_1)\cdot(I_2l_2)}{r^2}\qquad①$$

b. 通过类比电场强度的定义可写出在距电流元 I_1l_1 为 r 处的磁感应强度 B 的表达式为：

$$B=\frac{F}{I_2l_2}\qquad②$$

将磁场力 F 表达式代入②式子得

$$B=K_{\mathrm{m}}\frac{I_1l_1}{r^2}\qquad③$$

由安培定则判断 B 的方向：垂直纸面向里。

c. 环形电流是由许多段的电流元组成，设任意一段电流元为 I_xl_x，则在距其 r 处产生的磁感应强度由③可知

$$B_x=K_{\mathrm{m}}\frac{(I_xl_x)}{r^2}\qquad④$$

则环形电流在圆心 O 处产生的磁感应强度的大小 B 可表示为:

$$B=K_{\mathrm{m}}\frac{I(l_1+l_2+l_3\ldots\ldots+l_n)}{r^2}$$

得到

$$B=2\pi K_{\mathrm{m}}\frac{I}{r}$$

20. 物理现象的分析常常有宏观与微观两个视角，建构合理化模型找出其内在联系，有助于更加深刻理解其物理本质。

（1）如图甲所示，直流电源、开关、导线与金属棒 ab 组成一个电路。从微观角度看，开关闭合时，电源两端电压会在金属棒内部形成恒定电场，每个自由电子都在电场力作用下开始定向运动，但这些电子会与导体棒中的金属正离子发生碰撞，碰撞后电子向各方向运动的机会相同，沿导线方向的定向运动速度变为 0；此后自由电子再加速、

再碰撞……，这种定向运动在宏观上形成了电流。已知电源两端电压为 U，金属棒的长度为 L，横截面积为 S，单位体积内自由电子数为 n，电子的质量为 m，电荷量为 e，连续两次碰撞间隔的平均时间为 t_0，碰撞时间不计。仅在自由电子和金属正离子碰撞时才考虑粒子间的相互作用，导线及开关的电阻不计。

a．求自由电子定向运动时的加速度大小 a；

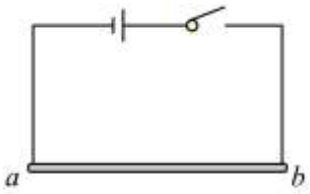
b．求 t_0 时间内自由电子定向运动的平均速率 v_0；

c．推导金属棒中形成电流 I 的表达式；

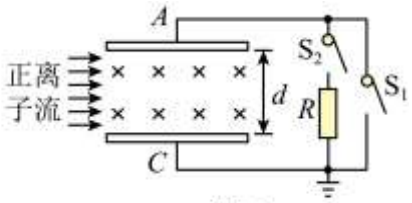
（2）某同学受磁流体发电机的启发，设计了一种新型发电装置。如图乙所示，将发电装置、开关、导线与电阻组成一个电路，这种新型发电装置可视为直流电源。从微观角度看，两面积足够大的平行金属极板 A、C 间有一个垂直纸面向里，磁感应强度为 B 的匀强磁场，将一束带正电的离子流以速度 v 沿垂直于 B 的方向喷入磁场，带正电的离子在洛伦兹力作用下向 A 极板偏转，由于静电感应在 C 极板上感应出等量的负电荷。宏观上 A、C 两板间产生电势差，可为阻值为 R 的外电阻供电。已知每个离子的质量均为 m，电荷量为 $+q$，单位时间内沿垂直极板方向上单位长度喷射的正离子个数为 n，A、C 两板间距为 d，且 d 大于 $\frac{2mv}{qB}$。忽略离子的重力及离子间的相互作用力。

a．只闭合开关 S_1 外电路短路，求短路电流 I_m；

b．只闭合开关 S_2，电路中电流稳定后，若单位时间内打在极板 A 上的离子数为 N，请写出 N 与 R 的关系式。



图甲



图乙

【20 题答案】

【答案】（1）a. $a=\frac{eU}{mL}$；b. $v_0=\frac{Uet_0}{2mL}$；c. $I=\frac{ne^2t_0SU}{2mL}$；（2）a. $I_m=\frac{2nmv}{B}$；b. $N=\frac{Bdv}{\left(R+\frac{B^2d}{2nm}\right)q}$

【解析】

【详解】（1）a.由牛顿第二定律得自由电子的加速度

$$a=\frac{F}{m}=\frac{eE}{m}$$

$$E=\frac{U}{L}$$

联立可得

$$a=\frac{eU}{mL}$$

b.电子在 t_0 时间内做匀加速直线运动，则定向运动的平均速率

$$v_0=\frac{v}{2}=\frac{at_0}{2}=\frac{Uet_0}{2mL}$$

c.由电流的定义式

$$I=\frac{Q}{t}$$

其中

$$Q=nVe=nv_0tSe$$

解得

$$I=neSv_0=\frac{ne^2t_0SU}{2mL}$$

（2）a.短路时，粒子在洛伦兹力的作用下发生偏转，设 r_0 为圆周运动的半径，只有距 A 板为 $2r_0$ 的正离子能够打在 A 板上形成等效电流，则

$$I_{\mathrm{m}}=\frac{Q}{t}=n\cdot 2r_0q$$

根据洛伦兹力提供向心力

$$qvB=\frac{mv^2}{r_0}$$

则

$$r_0=\frac{mv}{qB}$$

联立可得

$$I_{\mathrm{m}}=\frac{2nmv}{B}$$

b.由电流定义得

$$I=Nq$$

闭合电路欧姆定律得

$$I=\frac{E}{R+r}$$

电源电动势

$$E=Bdv$$

由

$$I_{\mathrm{m}}=\frac{E}{r}$$

得

$$r=\frac{B^2d}{2nm}$$

联立解得

$$N=\frac{Bdv}{\left(R+\frac{B^2d}{2nm}\right)q}$$