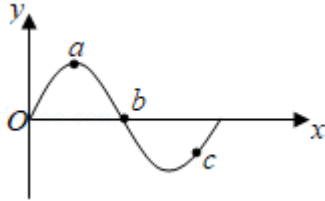


2019 年北京市高考物理试卷

参考答案与试题解析

一、选择题（本部分共 8 小题，每小题 6 分，共 48 分。在每小题列出的四个选项中，选出最符合题目要求的一项。）

1. (6 分) 一列简谐横波某时刻的波形如图所示，比较介质中的三个质点 a、b、c，则 ()



- A. 此刻 a 的加速度最小
- B. 此刻 b 的速度最小
- C. 若波沿 x 轴正方向传播，此刻 b 向 y 轴正方向运动
- D. 若波沿 x 轴负方向传播，a 比 c 先回到平衡位置

【分析】先比较质点的位移大小关系，从而可比较质点的加速度、速度大小关系；由波的传播方向根据同侧法判断质点的振动方向，结合位移大小关系可判断那个质点先回到平衡。

【解答】解：AB. 由图可知，质点 a 的位移大小最大，等于振幅，质点 b 在平衡位置，位移最小为 0，则可知质点 a 的加速度最大，速度最小，质点 b 的加速度最小，速度最大，故 AB 错误；

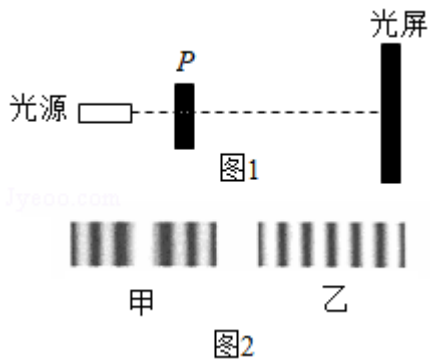
C. 若波沿 x 轴正方向传播，根据同侧法可知质点 b 向 y 轴正方向振动，故 C 正确；

D. 若波沿 x 轴负方向传播，此时质点 c 向上振动，偏离平衡位置的位移小于振幅，则可知质点 c 回到平衡位置的时间小于四分之一一个周期，而质点 a 要回到平衡位置的时间需要四分之一一个周期，故质点 c 比质点 a 先回到平衡位置，故 D 错误。

故选：C。

【点评】对于质点在振动过程中，位移越大，速度越小，加速度越大；波的传播方向与质点的振动方向存在对应关系，可用同侧法、微平移法等进行分析判断。

2. (6 分) 利用图 1 所示的装置（示意图），观察光的干涉、衍射现象，在光屏上得到如图 2 中甲和乙两种图样。下列关于 P 处放置的光学元件说法正确的是 ()



- A. 甲对应单缝，乙对应双缝
- B. 甲对应双缝，乙对应单缝
- C. 都是单缝，甲对应的缝宽较大
- D. 都是双缝，甲对应的双缝间距较大

【分析】根据干涉条纹与衍射条纹的区别：干涉条纹在光屏上观察到的图案是间距相等的条纹图象，而衍射条纹中，中间的亮纹的宽度最大。

【解答】解：干涉条纹在光屏上观察到的图案是间距相等的条纹图象，而衍射条纹中，中间的亮纹的宽度最大，向两边渐渐减小，因此甲对应单缝，乙对应双缝，故 A 正确，BCD 错误。

故选：A。

【点评】考查干涉与衍射条纹的应用，掌握两者的区别与联系，理解干涉的条件，与明显的衍射的条件。

3. (6分) 下列说法正确的是 ()

- A. 温度标志着物体内大量分子热运动的剧烈程度
- B. 内能是物体中所有分子热运动所具有的动能的总和
- C. 气体压强仅与气体分子的平均动能有关
- D. 气体膨胀对外做功且温度降低，分子的平均动能可能不变

【分析】温度是分子平均动能的标志。

内能是所有分子的分子动能和分子势能的总和。

气体压强与温度、体积有关。

【解答】解 A、温度是分子平均动能的标志，标志着物体内大量分子热运动的剧烈程度，故 A 正确。

B、内能是物体中所有分子热运动所具有的动能和势能总和，故 B 错误。

C、气体压强由温度、体积决定，即与气体分子的平均动能和分子密集程度有关，故 C

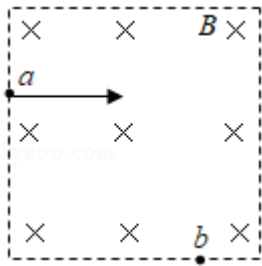
错误。

D、气体膨胀对外做功且温度降低，则分子的平均动能减小，故 D 错误。

故选：A。

【点评】解答本题的关键是掌握温度的含义和气体压强的微观意义，并能运用来分析实际问题。温度是分子平均动能的标志，温度越高，分子平均动能越大，而温度的变化可根据气态方程进行分析。

4. (6分) 如图所示，正方形区域内存在垂直纸面的匀强磁场。一带电粒子垂直磁场边界从 a 点射入，从 b 点射出。下列说法正确的是 ()



- A. 粒子带正电
B. 粒子在 b 点速率大于在 a 点速率
C. 若仅减小磁感应强度，则粒子可能从 b 点右侧射出
D. 若仅减小入射速率，则粒子在磁场中运动时间变短

【分析】根据粒子的偏转情况结合左手定则判断电性；粒子在磁场中运动时洛伦兹力不做功；根据 $R = \frac{mv}{qB}$ 判断半径的变化，从而分析出射位置；若仅减小入射速率，粒子运动时间可能增加。

【解答】解：A、粒子向下偏转，根据左手定则可得粒子带负电，故 A 错误；

B、粒子在磁场中运动时洛伦兹力不做功，粒子在 b 点速率等于在 a 点速率，故 B 错误；

C、根据 $R = \frac{mv}{qB}$ 可知，若仅减小磁感应强度，则粒子运动的半径增大，粒子可能从 b 点右侧射出，故 C 正确；

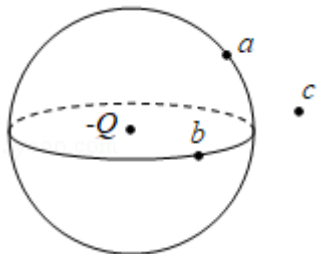
D、若仅减小入射速率，则粒子在磁场中运动半径减小，粒子轨迹对应的圆心角有可能增大，根据 $t = \frac{\theta}{2\pi} T$ 可知粒子运动时间可能增加，故 D 错误。

故选：C。

【点评】对于带电粒子在磁场中的运动情况分析，一般是确定圆心位置，根据几何关系求半径，结合洛伦兹力提供向心力求解未知量；根据周期公式结合轨迹对应的圆心角求

时间。

5. (6分) 如图所示, a、b 两点位于以负点电荷 $-Q$ ($Q>0$) 为球心的球面上, c 点在球面外, 则 ()



- A. a 点场强的大小比 b 点大
B. b 点场强的大小比 c 点小
C. a 点电势比 b 点高
D. b 点电势比 c 点低

【分析】根据点电荷电场强度的计算公式 $E = \frac{kQ}{r^2}$ 判断电场强度的大小; 根据沿电场线方向电势降低分析电势高低。

【解答】解: AB、根据点电荷电场强度的计算公式 $E = \frac{kQ}{r^2}$ 可知, a 点场强的大小和 b 点电场强度大小相等, b 点场强的大小比 c 点大, 故 AB 错误;
CD、a、b 在以负点电荷为球心的同一球面上, 即在同一等势面上, 故 a 点电势和 b 点电势相等, 根据沿电场线方向电势降低可得 b 点电势比 c 点低, 故 C 错误、D 正确。

故选: D。

【点评】本题主要是考查电场强度大小的判断和电势高低的判断, 掌握电场强度的计算公式和电势高低的判断方法是关键。

6. (6分) 2019 年 5 月 17 日, 我国成功发射第 45 颗北斗导航卫星, 该卫星属于地球静止轨道卫星 (同步卫星)。该卫星 ()

- A. 入轨后可以位于北京正上方
B. 入轨后的速度大于第一宇宙速度
C. 发射速度大于第二宇宙速度
D. 若发射到近地圆轨道所需能量较少

【分析】7.9km/s 是卫星最小的发射速度, 是卫星绕地球最大的运行速度; 同步卫星只能在赤道上空一定高处, 卫星越高其发射速度越大。

【解答】解: A、同步卫星只能在赤道上空, 故 A 错误;
B、所有卫星的运行速度都不大于第一宇宙速度, 故 B 错误;

C、同步卫星的发射速度都要大于第一宇宙速度，故 C 错误；

D、依据能量守恒定律可知，将卫星发射到越高的轨道需要克服引力所作的功越大，所以发射到近地圆轨道，所需能量较小，故 D 正确；

故选：D。

【点评】解决本题的关键是理解第一宇宙速度的物理意义，明确不同轨道对应不同的发射速度。

7. (6分) 光电管是一种利用光照射产生电流的装置，当入射光照在管中金属板上时，可能形成光电流。表中给出了 6 次实验的结果。

组	次	入射光子的能量/eV	相对光强	光电流大小/mA	逸出光电子的最大动能/eV
第一组	1	4.0	弱	29	0.9
	2	4.0	中	43	0.9
	3	4.0	强	60	0.9
第二组	4	6.0	弱	27	2.9
	5	6.0	中	40	2.9
	6	6.0	强	55	2.9

由表中数据得出的论断中不正确的是 ()

A. 两组实验采用了不同频率的入射光

B. 两组实验所用的金属板材质不同

C. 若入射光子的能量为 5.0eV，逸出光电子的最大动能为 1.9eV

D. 若入射光子的能量为 5.0eV，相对光强越强，光电流越大

【分析】根据光子能量的大小分析是否为同频率的光子；根据光电效应方程求出两组实验中金属板的逸出功，从而确定是否为同种金属；根据光电效应方程分析光电子的最大初动能；根据表格数据分析光电流的大小与光的强度的关系。

【解答】解：A. 第一组实验时，光子能量为 4.0eV，第二组实验时，光子能量为 6.0eV，可知两组实验采用了不同频率的入射光，故 A 正确；

B. 根据光电效应方程 $E_k = h\nu - W$ ，可得第一组实验对应金属板的逸出功为 $W = 4.0\text{eV} - 0.9\text{eV} = 3.1\text{eV}$ ，第二实验对应金属板的逸出功为 $W' = 6.0\text{eV} - 2.9\text{eV} = 3.1\text{eV}$ ，有 $W = W'$ ，则可知两组实验所用的金属板材质相同，故 B 错误；

C. 若入射光子的能量为 5.0eV，根据光电效应方程 $E_k = h\nu - W$ ，可得逸出光电子的最大

动能为 $E_k = 5.0\text{eV} - 3.1\text{eV} = 1.9\text{eV}$ ，故 C 正确；

D. 由表格中的数据可知，在产生光电效应的前提下，对同种频率的入射光而言，入射光的强度越大，光电流越大，所以若入射光子的能量为 5.0eV ，相对光强越强，光电流越大，故 D 正确。

本题选不正确的，故选：B。

【点评】解决本题的关键掌握光电效应方程，知道同一种金属，逸出功相同，知道最大初动能与遏止电压的关系，并能灵活运用，掌握光电流的大小与光的强度的大小关系。

8. (6分) 国际单位制 (缩写 SI) 定义了米 (m)、秒 (s) 等 7 个基本单位，其他单位均可由物理关系导出。例如，由 m 和 s 可以导出速度单位 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。历史上，曾用“米原器”定义米，用平均太阳日定义秒。但是，以实物或其运动来定义基本单位会受到环境和测量方式等因素的影响，而采用物理常量来定义则可避免这种困扰。1967 年用铯 - 133 原子基态的两个超精细能级间跃迁辐射的频率 $\Delta\nu = 9192631770\text{Hz}$ 定义 s；1983 年用真空中的光速 $c = 299792458\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 定义 m。2018 年第 26 届国际计量大会决定，7 个基本单位全部用基本物理常量来定义 (对应关系如图，例如，s 对应 $\Delta\nu$ ，m 对应 c)。新 SI 自 2019 年 5 月 20 日 (国际计量日) 正式实施，这将对科学和技术发展产生深远影响。下列选项不正确的是 ()



- A. 7 个基本单位全部用物理常量定义，保证了基本单位的稳定性
- B. 用真空中的光速 c ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) 定义 m，因为长度 l 与速度 v 存在 $l = vt$ ，而 s 已定义
- C. 用基本电荷 e (C) 定义安培 (A)，因为电荷量 q 与电流 I 存在 $I = q/t$ ，而 s 已定义
- D. 因为普朗克常量 h ($\text{J}\cdot\text{s}$) 的单位中没有 kg，所以无法用它来定义质量单位

【分析】明确单位制的确定，知道基本单位采用基本物理常量可以保证单位的稳定性，同时能根据公式推导常见单位。

【解答】解：A、为了保证了基本单位的稳定性，基本单位全部采用物理常量定义，故 A 正确；

B、真空中光速恒定，而时间单位已确定，因此可以利用速度公式确定长度，故 B 正确；

C、根据 $I = \frac{q}{t}$ ，电量单位为 C，而时间单位 s 已确定，故可以确定电流的单位，故 C 正确；

D、根据 $E = mc^2$ 以及 $E = hv$ 即可确定出质量的单位，故 D 错误。

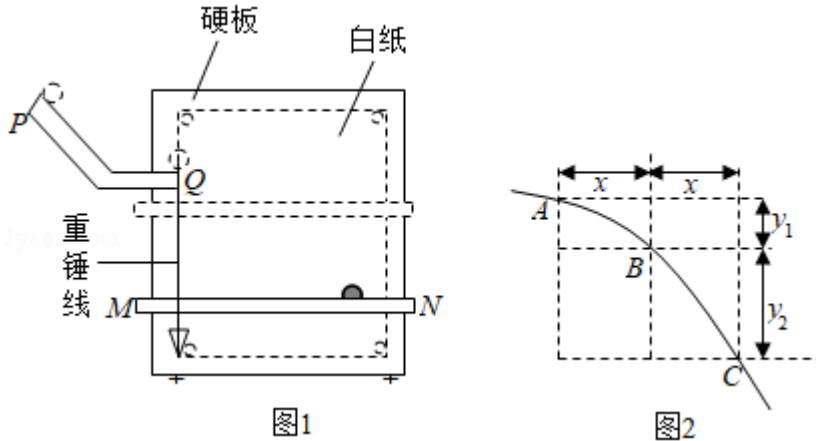
本题选错误的，

故选：D。

【点评】本题考查单位制的性质以及常见单位的推导，要注意明确常见基本物理量，同时明确物理单位与物理公式间的对应关系。

二、非选择题（本部分共 4 小题，共 72 分。）

9. (18 分) 用如图 1 所示装置研究平抛运动。将白纸和复写纸对齐重叠并固定在竖直的硬板上。钢球沿斜槽轨道 PQ 滑下后从 Q 点飞出，落在水平挡板 MN 上。由于挡板靠近硬板一侧较低，钢球落在挡板上时，钢球侧面会在白纸上挤压出一个痕迹点。移动挡板，重新释放钢球，如此重复，白纸上将留下一系列痕迹点。



(1) 下列实验条件必须满足的有 BD。

- A. 斜槽轨道光滑
- B. 斜槽轨道末段水平
- C. 挡板高度等间距变化
- D. 每次从斜槽上相同的位置无初速度释放钢球

(2) 为定量研究，建立以水平方向为 x 轴、竖直方向为 y 轴的坐标系。

a. 取平抛运动的起始点为坐标原点，将钢球静置于 Q 点，钢球的 球心（选填“最上端”、“最下端”或者“球心”）对应白纸上的位置即为原点；在确定 y 轴时 需要（选填“需要”或者“不需要”）y 轴与重锤线平行。

b. 若遗漏记录平抛轨迹的起始点，也可按下述方法处理数据：如图 2 所示，在轨迹上取 A、B、C 三点，AB 和 BC 的水平间距相等且均为 x ，测得 AB 和 BC 的竖直间距分别是

y_1 和 y_2 ，则 $\frac{y_1}{y_2}$ 大于 $\frac{1}{3}$ （选填“大于”、“等于”或者“小于”）。可求得钢球平抛的初

速度大小为 $x\sqrt{\frac{g}{y_2 - y_1}}$ （已知当地重力加速度为 g ，结果用上述字母表示）。

(3) 为了得到平抛物体的运动轨迹，同学们还提出了以下三种方案，其中可行的是 AB。

A. 从细管水平喷出稳定的细水柱，拍摄照片，即可得到平抛运动轨迹

B. 用频闪照相在同一底片上记录平抛小球在不同时刻的位置，平滑连接各位置，即可得到平抛运动轨迹

C. 将铅笔垂直于竖直的白纸板放置，笔尖紧靠白纸板，铅笔以一定初速度水平抛出，将会在白纸上留下笔尖的平抛运动轨迹

(4) 伽利略曾研究过平抛运动，他推断：从同一炮台水平发射的炮弹，如果不受空气阻力，不论它们能射多远，在空中飞行的时间都一样。这实际上揭示了平抛物体 B。

A. 在水平方向上做匀速直线运动

B. 在竖直方向上做自由落体运动

C. 在下落过程中机械能守恒

(5) 牛顿设想，把物体从高山上水平抛出，速度一次比一次大，落地点就一次比一次远，如果速度足够大，物体就不再落回地面，它将绕地球运动，成为人造地球卫星。

同样是受地球引力，随着抛出速度增大，物体会从做平抛运动逐渐变为做圆周运动，请分析原因。

【分析】(1) 根据实验的原理以及操作中的注意事项确定正确的操作步骤。

(2) 明确实验原理，知道应记录球心位置；根据位移 - 时间公式求出从抛出到到达 A、B 两点的时间，从而得出时间差，结合水平位移求出平抛运动的初速度；

(3) 根据实验中是否能准确记录下小球的轨迹进行分析，从而确定能否可行；

(4) 根据伽利略说明的现象明确其能说明的问题；

(5) 根据地球的特点、人造卫星的性质以及平抛运动的性质进行分析，从而明确由平抛变成圆周运动的原因。

【解答】解：(1) ABD、为了能画出平抛运动轨迹，首先保证小球做的是平抛运动，所

以斜槽轨道不一定要光滑，但必须是水平的。同时要让小球总是从同一位置释放，这样才能找到同一运动轨迹上的几个点；故 A 错误，BD 正确；

C、挡板只要能记录下小球下落在不同高度时的不同的位置即可，不需要等间距变化；故 C 错误；

(2) a、小球在运动中记录下的是其球心的位置，故抛出点也应是小球静置于 Q 点时球心的位置；故应以球心在白纸上的位置为坐标原点；小球在竖直方向为自由落体运动，故 y 轴必须保证与重锤线平行；

b、如果 A 点是抛出点，则在竖直方向上为初速度为零的匀加速直线运动，则 AB 和 BC 的竖直间距之比为 1: 3；但由于 A 点不是抛出点，故在 A 点已经具有竖直分速度，故竖直间距之比大于 1: 3；

由于两段水平距离相等，故时间相等，根据 $y_2 - y_1 = gt^2$ 可知 $t = \sqrt{\frac{y_2 - y_1}{g}}$ ，则初速度 v

$$= \frac{x}{t} = x \sqrt{\frac{g}{y_2 - y_1}};$$

(3) A. 从细管水平喷出稳定的细水柱，拍摄照片，即可得到平抛运动轨迹，此方案是可行的；

B. 用频闪照相在同一底片上记录平抛小球在不同时刻的位置，平滑连接各位置，即可得到平抛运动轨迹，此方案是可行的；

C. 将铅笔垂直于竖直的白纸板放置，笔尖紧靠白纸板，铅笔以一定初速度水平抛出，由于铅笔和纸之间没有压力，故不会形成运动轨迹，故 C 不可行；

故选：C；

(4) 伽利略说明了小球由同一高度下落时的等时性，故只能说明小球在竖直方向为自由落体运动，无法说明水平方向上的匀速直线运动和是否机械能守恒；

(5) 物体初速度较小时，运动范围很小，引力可以看作恒力 - - 重力，做平抛运动；随着物体初速度增大，运动范围变大，引力不再看作恒力；当物体初速度达到第一宇宙速度时，做圆周运动而成为地球卫星。

故答案为：(1) BD；(2) a、球心；需要；b、大于； $x \sqrt{\frac{g}{y_2 - y_1}}$ ；(3) AB；(4) B；(5)

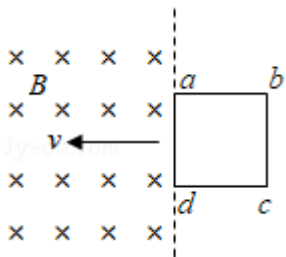
物体初速度较小时，运动范围很小，引力可以看作恒力 - - 重力，做平抛运动；随着物体初速度增大，运动范围变大，引力不再看作恒力；当物体初速度达到第一宇宙速度时，

做圆周运动而成为地球卫星。

【点评】解决本题的关键知道实验的原理以及注意事项，知道平抛运动在水平方向和竖直方向上的运动规律，结合运动学公式灵活求解；明确地球是球形，只有在水平速度较小高度较小时，地面可视为水平，此种情况下可以视为小球做平抛运动。

10. (16分) 如图所示，垂直于纸面的匀强磁场磁感应强度为 B 。纸面内有一正方形均匀金属线框 $abcd$ ，其边长为 L ，总电阻为 R ， ad 边与磁场边界平行。从 ad 边刚进入磁场直至 bc 边刚要进入的过程中，线框在向左的拉力作用下以速度 v 匀速运动，求：

- (1) 感应电动势的大小 E ；
- (2) 拉力做功的功率 P ；
- (3) ab 边产生的焦耳热 Q 。



【分析】(1) 根据导体切割磁感应线处的感应电动势计算公式求解感应电动势大小；

(2) 拉力做功功率等于回路中产生的电功率，则 $P = \frac{E^2}{R}$ 求解功率；

(3) 求出线框产生的总热量， ab 边产生的热量为总热量的四分之一。

【解答】解：(1) 根据导体切割磁感应线处的感应电动势计算公式可得： $E = BLv$ ；

(2) 拉力做功功率等于回路中产生的电功率，则 $P = \frac{E^2}{R} = \frac{B^2 L^2 v^2}{R}$ ；

(3) 进入磁场的运动时间 $t = \frac{L}{v}$

产生的总热量 $Q_{\text{总}} = Pt = \frac{B^2 L^3 v}{R}$

ab 边产生的热量 $Q_1 = \frac{1}{4} Q_{\text{总}} = \frac{B^2 L^3 v}{4R}$ 。

答：(1) 感应电动势的大小为 BLv ；

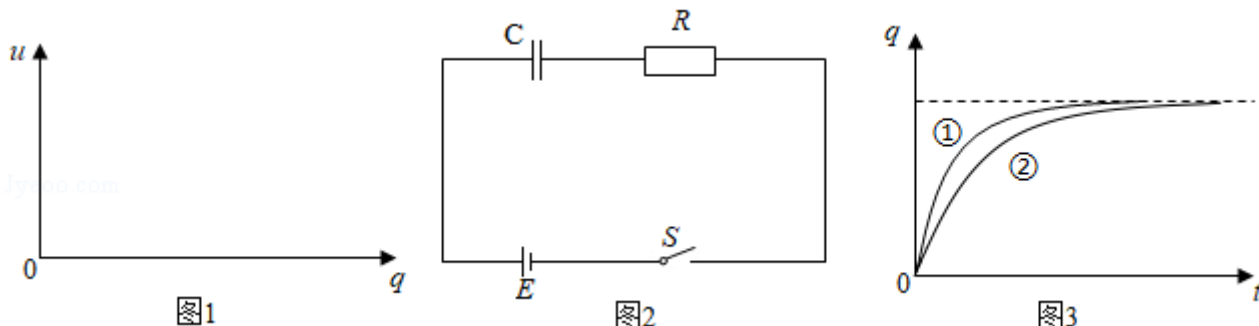
(2) 拉力做功的功率为 $\frac{B^2 L^2 v^2}{R}$ ；

(3) ab 边产生的焦耳热为 $\frac{B^2 L^3 v}{4R}$ 。

【点评】对于电磁感应问题研究思路常有两类：一类从力的角度，根据牛顿第二定律或平衡条件列出方程；另一类是能量，分析涉及电磁感应现象中的能量转化问题，根据动

能定理、功能关系等列方程求解。

11. (18分) 电容器作为储能器件, 在生产生活中有广泛的应用。对给定电容值为 C 的电容器充电, 无论采用何种充电方式, 其两极间的电势差 u 随电荷量 q 的变化图象都相同。



(1) 请在图 1 中画出上述 $u - q$ 图象。类比直线运动中由 $v - t$ 图象求位移的方法, 求两极间电压为 U 时电容器所储存的电能 E_p 。

(2) 在如图 2 所示的充电电路中, R 表示电阻, E 表示电源 (忽略内阻)。通过改变电路中元件的参数对同一电容器进行两次充电, 对应的 $q - t$ 曲线如图 3 中①②所示。

a. ①②两条曲线不同是 R (选填 E 或 R) 的改变造成的;

b. 电容器有时需要快速充电, 有时需要均匀充电。依据 a 中的结论, 说明实现这两种充电方式的途径。

(3) 设想使用理想的“恒流源”替换 (2) 中电源对电容器充电, 可实现电容器电荷量随时间均匀增加。请思考使用“恒流源”和 (2) 中电源对电容器的充电过程, 填写下表 (选填“增大”、“减小”或“不变”)。

	“恒流源”	(2) 中电源
电源两端电压	<u>增大</u>	<u>不变</u>
通过电源的电流	<u>不变</u>	<u>减小</u>

【分析】 (1) 明确电容的定义式, 并由定义式推出电压和电量表达式, 从而确定图象, 并类比直线运动中由 $v - t$ 图象求位移时, 面积表示位移即可确定电能大小;

(2) 根据图象进行分析, 明确电动势不变, 故影响充电的只能是电阻, 并根据电阻的影响确定实现两种充电方式的方法;

(3) 明确恒流源以及忽略电阻的电源的性质, 从而确定电流大小。

【解答】 解 (1) 根据电容的定义 $Q=UC$ 可知, $U=\frac{q}{C}$, 故电压 U 与电量为正比例关系,

故图象如图所示；

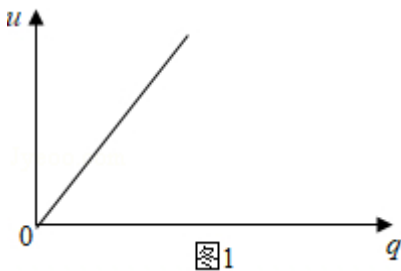
根据图象的性质可知，图象与 q 轴所围成的面积表示电能，故有： $E_p = \frac{1}{2} qU = \frac{1}{2} CU^2$ ；

(2) a、电源电阻不计，当电容器充满电后，电容器两端电压等于电源电动势。由图可知，充电时间不同，而最大电量相等，故说明图象不同的原因是电阻 R 的改变造成的；

b、由图象可知，当 R 越小，充电时间越短； R 越大，电荷量随时间变化趋向均匀，故需要快速充电时， R 越小越好；而需要均匀充电时， R 越大越好；

(3) 由于电容充电后两板间的电势差增大，因此需要恒流源的电压增大才能保证电量随时间均匀增加；而 (2) 中电源电动势不变，而内阻忽略不计，故两端电压不变；所以使用恒流源时，电流不变，而使用 (2) 中电源时电流减小。

故答案为：(1) 如图所示； $\frac{1}{2} CU^2$ ；(2) a、 R ；b、快速充电时， R 越小越好；而需要均匀充电时， R 越大越好；(3) 增大；不变；不变；减小。



【点评】 本题考查对电容器电容的定义式的掌握，同时考查了相关的数学规律应用，关键在于明确题意，注意题中隐藏信息的把握：明确电源内阻忽略不计，所以 (2) 中电源输出电压不变。

12. (20 分) 雨滴落到地面的速度通常仅为几米每秒，这与雨滴下落过程中受到空气阻力有关。雨滴间无相互作用且雨滴质量不变，重力加速度为 g 。

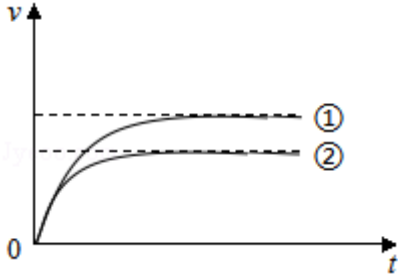
(1) 质量为 m 的雨滴由静止开始，下落高度 h 时速度为 u ，求这一过程中克服空气阻力所做的功 W 。

(2) 将雨滴看作半径为 r 的球体，设其竖直落向地面的过程中所受空气阻力 $f = kr^2v^2$ ，其中 v 是雨滴的速度， k 是比例系数。

a. 设雨滴的密度为 ρ ，推导雨滴下落趋近的最大速度 v_m 与半径 r 的关系式；

b. 示意图中画出了半径为 r_1 、 r_2 ($r_1 > r_2$) 的雨滴在空气中无初速下落的 $v - t$ 图线，其中 ① 对应半径为 r_1 的雨滴 (选填①、②)；若不计空气阻力，请在图中画出雨滴无初速下落的 $v - t$ 图线。

(3) 由于大量气体分子在各方向运动的几率相等，其对静止雨滴的作用力为零。将雨滴简化为垂直于运动方向面积为 S 的圆盘，证明：圆盘以速度 v 下落时受到的空气阻力 $f \propto v^2$ (提示：设单位体积内空气分子数为 n ，空气分子质量为 m_0)。



【分析】(1) 分析雨滴动能和重力势能大小的变化，根据动能定理即可求出；

(2) 雨滴匀速下落时，受竖直向下的重力 G 、竖直向上的空气阻力 $F_{阻}$ 作用而处于平衡状态，由平衡条件可以求出雨滴在空气中下落的终极速度表达式，然后判断；若没有空气的阻力，则雨滴做自由落体运动；

(3) 根据共点力平衡条件和题意中有关摩擦力的关系式列式求解。

【解答】解：(1) 对雨滴，下落过程中重力做正功，阻力做负功，由动能定理可得：

$$mgh - W = \frac{1}{2}mv^2 - 0$$

$$\text{所以：} W = mgh - \frac{1}{2}mv^2$$

(2) a. 当雨滴的速度最大时： $mg = f$

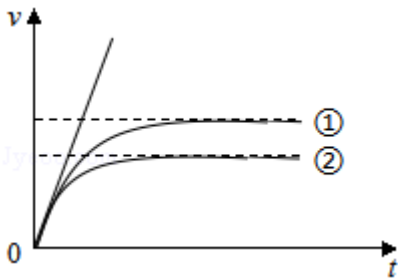
$$\text{其中：} m = \rho \cdot \frac{4}{3}\pi r^3, \text{ 空气阻力 } f = kr^2v_m^2,$$

$$\text{联立可得：} v_m = \sqrt{\frac{4\pi\rho rg}{3k}}$$

b. 可知雨滴的半径越大则末速度越大，所以末速度较大的①对应半径为 r_1 的雨滴。

若没有空气的阻力，则雨滴做自由落体运动，则： $v = gt$

其 $v - t$ 图象如图：



(3) 取圆盘 Δt 时间内扫过柱体内分子的个数为 N ，则： $N = v \cdot \Delta t \cdot S n$

由题意，由于大量气体分子在各方向运动的几率相等，若取上下左右前后 6 个方向，则

各方向的分子各占 $\frac{1}{6}$;

设分子的平均速率为 v_0 ，碰撞为弹性碰撞，则：

对上表面，向下运动的分子与圆盘碰撞，由于圆盘的质量远大于分子的质量，根据动量守恒与动能守恒可知，则分子碰撞后的速率： $v_1=2v-v_0$

对分子则： $-f_1 \Delta t = \frac{N}{6} \cdot m_0 (v_1 - v_0)$

沿前后左右方向运动的分子与盘的下表面碰撞，获得向下的速率，大小为 $2v$ ，所以：

$$f_2 \Delta t = \frac{4N}{6} \cdot m_0 \cdot 2v$$

对下表面，向上运动的分子与圆盘碰撞，由于圆盘的质量远大于分子的质量，根据动量守恒与动能守恒可知，则分子碰撞后的速率： $v_2=v_0+2v$

对分子则： $f_3 \Delta t = \frac{N}{6} \cdot m_0 (v_2 - v_0)$

圆盘受到的阻力： $f=f_2+f_3-f_1$

联立可得： $f=2S \cdot n m_0 v^2$

则： $f \propto v^2$

答：（1）质量为 m 的雨滴由静止开始，下落高度 h 时速度为 u ，这一过程中克服空气阻力所做的功 W 为 $mgh - \frac{1}{2}mu^2$ 。

（2）a. 设雨滴的密度为 ρ ，推导雨滴下落趋近的最大速度 v_m 与半径 r 的关系式为 $v_m = \sqrt{\frac{4\pi\rho r}{3k}}$;

b. ①，如图；

（3）证明见上。

【点评】该题属于物理知识在日常生活中的应用，其中雨滴的终极速度是常见的问题，要注意雨滴的质量与球的体积的联系。