

2015 年高考四川卷理科综合（物理部分）试题解析（精编版）

（第I卷 选择题 共7题，共42分）

每题给出的四个选项中，有的只有一个选项、有的有多个选项符合题目要求，全部选对的得6分，选对但不全的得3分，有错选和不选的得0分。

1. 在同一位置以相同的速率把三个小球分别沿水平、斜向上、斜向下方向抛出，不计空气阻力，则落在同一水平地面时的速度大小

- A. 一样大 B. 水平抛的最大 C. 斜向上抛的最大 D. 斜向下抛的最大

【答案】A

【解析】三个小球被抛出后，均仅在重力作用下运动，三球从同一位置落至同一水平地面时，设其下落高度为 h ，并设小球的质量为 m ，根据动能定理有： $mgh = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$ ，解得小球的末速度大小为： $v = \sqrt{v_0^2 + 2gh}$ ，与小球的质量无关，即三球的末速度大小相等，故选项 A 正确。学科网

【考点定位】抛体运动特点、动能定理（或机械能守恒定律）的理解与应用。

【名师点睛】落体运动中，物体的速率变化与其质量无关。

2. 平静湖面传播着一列水面波（横波），在波的传播方向上有相距 3m 的甲、乙两小木块随波上下运动，测得两个小木块每分钟都上下 30 次，甲在波谷时，乙在波峰，且两木块之间有一个波峰。这列水面波

- A. 频率是 30Hz B. 波长是 3m C. 波速是 1m/s D. 周期是 0.1s

【答案】C

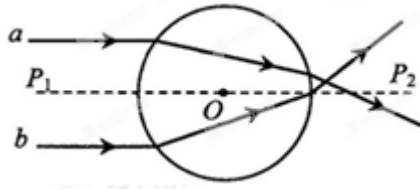
【解析】木块的上下运动反映了所在位置水面质点的振动情况，即波传播方向上的质点每分钟完成 30 次全振动，因此其周期为： $T = \frac{60}{30} \text{s} = 2\text{s}$ ，故选项 D 错误；频率为： $f = \frac{1}{T} = 0.5\text{Hz}$ ，故选项 A 错误；又因为甲在波谷时，乙在波峰，且两木块之间有一个波峰，所以 $s_{AB} = \frac{3}{2}\lambda$ ，解得波长为： $\lambda = \frac{2s_{AB}}{3} = 2\text{m}$ ，故选项 B 错误；根据波长、波速、周期关系可知，这列水面波的波速为： $v = \frac{\lambda}{T} = \frac{2}{2} \text{m/s} = 1\text{m/s}$ ，故选项 C 正确。

【考点定位】对机械波、机械振动特点和规律的理解与应用。

【名师点睛】（1）受迫振动的周期（频率）等于驱动力的周期（频率）；

（2）在波的传播方向上，振动同步的质点，相距半波长的偶数倍，振动异步的质点，相距半波长的奇数倍。

3. 直线 P_1P_2 过均匀玻璃球球心 O ，细光束 a 、 b 平行且关于 P_1P_2 对称，由空气射入玻璃球的光路如图。 a 、 b 光相比



- A. 玻璃对 a 光的折射率较大
 B. 玻璃对 a 光的临界角较小
 C. b 光在玻璃中的传播速度较小
 D. b 光在玻璃中的传播时间较短

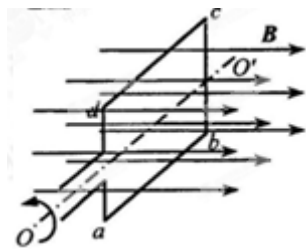
【答案】C

【解析】由于 a 、 b 光平行且关于过球心 O 的直线 P_1P_2 对称，因此它们的入射角 i 相等，根据图中几何关系可知， b 光在玻璃球中的光路偏离进入球之前方向较多，即 b 光的折射角 γ 较小，根据折射定律有： $n = \frac{\sin i}{\sin \gamma}$ ，所以玻璃对 b 光的折射率较大，故选项 A 错误；根据临界角公式有： $\sin C = \frac{1}{n}$ ，所以玻璃对 a 光的临界角较大，故选项 B 错误；根据折射率的定义式有： $n = \frac{c}{v}$ ，所以 b 光在玻璃中的传播速度 v 较小，故选项 C 正确；根据图中几何关系可知， a 、 b 光进入玻璃球后， b 光的光程 d 较大，根据匀速直线运动规律有： $t = \frac{d}{v}$ ，所以 b 光在玻璃中的传播时间较长，故选项 D 错误。学科网

【考点定位】对折射率、临界角、光的折射定律的理解与应用。

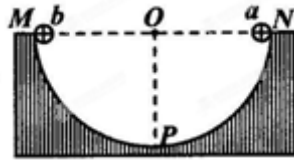
【名师点睛】在光的折射中，光线偏折程度越大，介质对其折射率越大、临界角越小、在介质中的传播速率越小、波长越短，值得注意的是，光（波）在进入介质前后频率不变。

4. 小型手摇发电机线圈共 N 匝，每匝可简化为矩形线圈 $abcd$ ，磁极间的磁场视为匀强磁场，方向垂直于线圈中心轴 OO' ，线圈绕 OO' 匀速转动，如图所示。矩形线圈 ab 边和 cd 边产生的感应电动势的最大值都为 e_0 ，不计线圈电阻，则发电机输出电压



- A. 峰值是 e_0
 B. 峰值是 $2e_0$
 C. 有效值是 $\frac{\sqrt{2}}{2}Ne_0$
 D. 有效值是 $\sqrt{2}Ne_0$

【答案】D



- A. 从 N 到 Q 的过程中，重力与库仑力的合力先增大后减小
- B. 从 N 到 P 的过程中，速率先增大后减小
- C. 从 N 到 Q 的过程中，电势能一直增加
- D. 从 P 到 Q 的过程中，动能减少量小于电势能增加量

【答案】 BC

【解析】 a 球从 N 点静止释放后，受重力 mg 、 b 球的库仑斥力 F_C 和槽的弹力 N 作用， a 球在从 N 到 Q 的过程中， mg 与 F_C 的夹角 θ 逐渐减小，不妨先假设 F_C 的大小不变，随着 θ 的减小 mg 与 F_C 的合力 F 将逐渐增大，况且，由库仑定律和图中几何关系可知，随着 θ 的减小 F_C 逐渐增大，因此 F 一直增加，故选项 A 错误；在 a 球在从 N 到 Q 的过程中， a 、 b 两小球距离逐渐变小，电场力一直做负功，电势能一直增加，故选项 C 正确；显然在从 P 到 Q 的过程中，根据能的转化与守恒可知，其电势能增加量等于其机械能的减少量， b 球在 Q 点时的重力势能大于其在 P 点时的重力势能，因此该过程中动能一定在减少，且其减少量一定等于其电势能与重力势能增加量之和，故选项 D 错误；既然在从 P 到 Q 的过程中， b 球的动能在减少，因此其速率也在减小，而开始在 N 点时速率为 0，开始向下运动段中，其速率必先增大，故选项 B 正确。学科网

【考点定位】 孤立点电荷等势面特征、库仑定律、平行四边形定则、功能关系、能量守恒定律的应用。

【名师点睛】 本题运用假设法，假设出各个量采用定量计算很繁琐，因此宜选择定性分析法与半定量相结合。

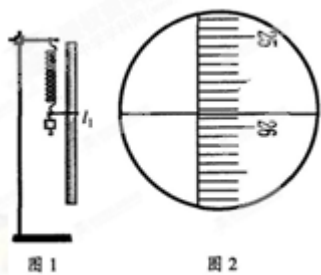
7. 如图所示， S 处有一电子源，可向纸面内任意方向发射电子，平板 MN 垂直于纸面，在纸面内的长度 $L=9.1\text{cm}$ ，中点 O 与 S 间的距离 $d=4.55\text{cm}$ ， MN 与 SO 直线的夹角为 θ ，板所在平面有电子源的一侧区域有方向垂直于纸面向外的匀强磁场，磁感应强度 $B=2.0\times 10^{-4}\text{T}$ ，电子质量 $m=9.1\times 10^{-31}\text{kg}$ ，电荷量 $e=-1.6\times 10^{-19}\text{C}$ ，不计电子重力。电子源发射速度 $v=1.6\times 10^6\text{m/s}$ 的一个电子，该电子打在板上可能位置的区域的长度为 l ，则

【名师点睛】粒子源中带电粒子等速率，不定方向发射时，相当于一系列等大圆直径旋转。

(第II卷 非选择题, 共 68 分)

8. (17 分)

(1) (6 分) 某同学在“探究弹力和弹簧伸长的关系”时, 安装好实验装置, 让刻度尺零刻度与弹簧上端平齐, 在弹簧下端挂 1 个钩码, 静止时弹簧长度为 l_1 , 如图 1 所示, 图 2 是此时固定在弹簧挂钩上的指针在刻度尺 (最小分度是 1 毫米) 上位置的放大图, 示数 $l_1 =$ _____ cm。在弹簧下端分别挂 2 个、3 个、4 个、5 个相同钩码, 静止时弹簧长度分别是 l_2 、 l_3 、 l_4 、 l_5 。已知每个钩码质量是 50g, 挂 2 个钩码时, 弹簧弹力 $F_2 =$ _____ N (当地重力加速度 $g = 9.8\text{m/s}^2$)。要得到弹簧伸长量 x , 还需要测量的是 _____。作出 $F-x$ 曲线, 得到弹力与弹簧伸长量的关系。



【答案】25.85 0.98 弹簧的原长 l_0

【解析】根据图 2 指针指示可知, $l_1 = 25.85\text{cm}$, 挂 2 个钩码时, 以 2 个钩码整体为对象, 受重力 mg 和弹簧的拉力 F_2 作用而处于平衡, 根据共点力平衡条件有: $F_2 = mg = 2 \times 50 \times 10^{-3} \times 9.8\text{N} = 0.98\text{N}$, 弹簧的伸长 (或缩短) 量 $x = |l - l_0|$, 其中 l 为弹簧形变以后的长度, l_0 为弹簧的原长, 因此要得到弹簧伸长量 x , 还需要测量的是弹簧的原长 l_0 。

考点: 探究弹力和弹簧伸长的关系实验

(2) (11 分) 用实验测一电池的内阻 r 和一待测电阻的阻值 R_x 。已知电池的电动势约 6V, 电池内阻和待测电阻阻值都为数十欧。可选用的实验器材有:

电流表 A_1 (量程 $0 \sim 30\text{mA}$);

电流表 A_2 (量程 $0 \sim 100\text{mA}$);

电压表 V (量程 $0 \sim 6\text{V}$);

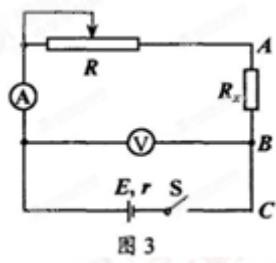
滑动变阻器 R_1 (阻值 $0 \sim 5\Omega$);

滑动变阻器 R_2 (阻值 $0 \sim 300\Omega$);

开关 S 一个，导线若干条。

某同学的实验过程如下：

I. 设计如图 3 所示的电路图，正确连接电路。



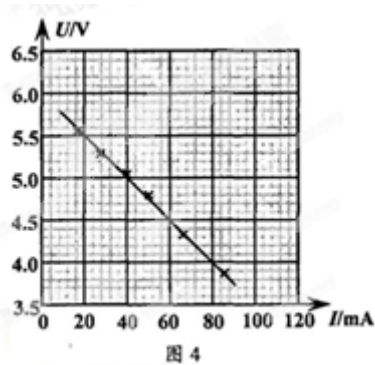
II. 将 R 的阻值调到最大，闭合开关，逐次调小 R 的阻值，测出多组 U 和 I 的值，并记录。以 U 为纵轴， I 为横轴，得到如图 4 所示的图线。

III. 断开开关，将 R_x 改接在 B 、 C 之间， A 与 B 直接相连，其他部分保持不变。重复 II 的步骤，得到另一条 U - I 图线，图线与横轴 I 的交点坐标为 $(I_0, 0)$ ，与纵轴 U 的交点坐标为 $(0, U_0)$ 。

回答下列问题：

① 电流表应选用_____，滑动变阻器应选用_____；

② 由图 4 的图线，得电源内阻 $r =$ _____ Ω ；



③ 用 I_0 、 U_0 和 r 表示待测电阻的关系式 $R_x =$ _____，代入数值可得 R_x ；

④ 若电表为理想电表， R_x 接在 B 、 C 之间与接在 A 、 B 之间，滑动变阻器滑片都从最大阻值位置调到某同一位置，两种情况相比，电流表示数变化范围_____，电压表示数变化范围_____。（选填“相同”或“不同”）

【答案】 ① A_2 R_2 ② 25 ③ $\frac{U_0}{I_0} - r$ ④ 相同 不同

【解析】学科网

试题分析：①根据题设条件中电池的电动势约 6V，电池内阻和待测电阻阻值都为数十欧，可估算出电路中的电流为数十毫安，因此电流表应选用 A_2 ，为了电路正常工作，以及方便调节，多测量几组数据，滑动变阻器应选用 R_2 。

②根据图 3 电路结构可知，电压表测量了电路的路端电压，电流表测量了电路的总电流，因此图 4 中，图线斜率绝对值即为电源的内阻，有： $r = |k| = \frac{5.5 - 4.5}{(60 - 20) \times 10^{-3}} \Omega = 25 \Omega$ 。

③当改接电路后，将待测电阻与电源视为整体，即为一“等效电源”，此时图线的斜率为等效电源的内阻，因此有： $r' = r + R_x = |k'| = \frac{U_0 - 0}{I_0 - 0}$ ，解得： $R_x = \frac{U_0}{I_0} - r$

④若电表为理想电表， R_x 接在 $B、C$ 之间与接在 $A、B$ 之间，电路的总电阻可变范围不变，因此电流表的示数变化范围相同， R_x 接在 $B、C$ 之间时，电压表测量的是滑动变阻器两端的电压，而 R_x 接在 $A、B$ 之间时，电压表测量的是滑动变阻器与 R_x 两端电压的和，由于对应某一滑动变阻器阻值时，电路的电流相同，因此电压表的读数不同，所以电压表示数变化范围也不同。

【考点定位】测定电源电动势和内阻、伏安法测电阻的实验

9. (15分)严重的雾霾天气，对国计民生已造成了严重的影响，汽车尾气是形成雾霾的重要污染源，“铁腕治污”已成为国家的工作重点，地铁列车可实现零排放，大力发展地铁，可以大大减少燃油公交车的使用，减少汽车尾气排放。

若一地铁列车从甲站由静止启动后做直线运动，先匀加速运动 20s 达到最高速度 72km/h，再匀速运动 80s，接着匀减速运动 15s 到达乙站停住。设列车在匀加速运动阶段牵引力为 $1 \times 10^6 \text{N}$ ，匀速阶段牵引力的功率为 $6 \times 10^3 \text{kW}$ ，忽略匀减速运动阶段牵引力所做的功。



- (1) 求甲站到乙站的距离；
- (2) 如果燃油公交车运行中做的功与该列车从甲站到乙站牵引力做的功相同，求公交车排放气体污染物的质量。(燃油公交车每做 1 焦耳功排放气体污染物 3×10^{-6} 克)

【答案】(1) $s = 1950 \text{m}$ ；(2) $m = 2.04 \text{kg}$

【解析】(1) 根据匀变速直线运动规律可知，地铁列车匀加速运动的位移为： $s_1 = \frac{1}{2}vt_1$ ①

匀减速运动的位移为： $s_3 = \frac{1}{2}vt_3$ ②

根据匀速运动规律可知，地铁列车匀速运动的位移为： $s_2 = vt_2$ ③

根据题意可知，甲站到乙站的距离为： $s = s_1 + s_2 + s_3$ ④

由①②③④式联立，并代入数据解得： $s = 1950\text{m}$

(2) 地铁列车在从甲站到乙站的过程中，牵引力做的功为： $W_1 = Fs_1 + Pt_2$ ⑤

根据题意可知，燃油公交车运行中做的功为： $W_2 = W_1$ ⑥

由①⑤⑥式联立，并代入数据解得： $W_2 = 6.8 \times 10^3 \text{J}$

所以公交车排放气体污染物的质量为： $m = 3 \times 10^{-9} \times 6.8 \times 10^3 \text{kg} = 2.04 \text{kg}$ 学科网

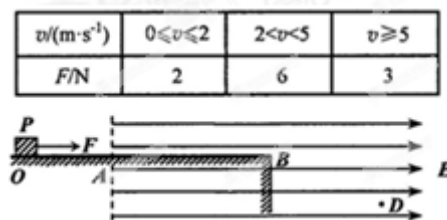
【考点定位】匀速直线运动与匀变速直线运动规律的应用，以及功大小的计算。

【名师点睛】本题考查匀速直线运动与匀变速直线运动规律的应用，以及功大小的计算，意在考查考生的理解能力和计算能力。

(1) 匀变速直线运动中要善于使用平均速度公式： $x = \bar{v}t = \frac{v_0 + v_t}{2} \cdot t$

(2) 注意区分功大小的两种计算方法：恒力的功： $W = Fscos\alpha$ ，恒定功率的功： $W = Pt$ 。

10. (18分) 如图所示，粗糙、绝缘的直轨道 OB 固定在水平桌面上， B 端与桌面边缘对齐， A 是轨道上一点，过 A 点并垂直于轨道的竖直面右侧有大小 $E = 1.5 \times 10^6 \text{N/C}$ ，方向水平向右的匀强电场。带负电的小物体 P 电荷量是 $2.0 \times 10^{-6} \text{C}$ ，质量 $m = 0.25 \text{kg}$ ，与轨道间动摩擦因数 $\mu = 0.4$ ， P 从 O 点由静止开始向右运动，经过 0.55s 到达 A 点，到达 B 点时速度是 5m/s ，到达空间 D 点时速度与竖直方向的夹角为 α ，且 $\tan\alpha = 1.2$ 。 P 在整个运动过程中始终受到水平向右的某外力 F 作用， F 大小与 P 的速率 v 的关系如表所示。 P 视为质点，电荷量保持不变，忽略空气阻力，取 $g = 10 \text{ m/s}^2$ ，求：



(1) 小物体 P 从开始运动至速率为 2m/s 所用的时间；

(2) 小物体 P 从 A 运动至 D 的过程，电场力做的功。

【答案】(1) $t_1 = 0.5\text{s}$; (2) $W = -9.25\text{J}$ 。

【解析】(1) 物体 P 在水平桌面上运动时，竖直方向上只受重力 mg 和支持力 N 作用，因此其滑动摩擦力大小为： $f = \mu mg = 1\text{N}$

根据表格数据可知，物体 P 在速率 $v = 0 \sim 2\text{m/s}$ 时，所受水平外力 $F_1 = 2\text{N} > f$ ，因此，在进入电场区域之前，物体 P 做匀加速直线运动，设加速度为 a_1 ，不妨设经时间 t_1 速度为 $v_1 = 2\text{m/s}$ ，还未进入电场区域。

根据匀变速直线运动规律有： $v_1 = a_1 t_1$ ①

根据牛顿第二定律有： $F_1 - f = ma_1$ ②

由①②式联立解得： $t_1 = \frac{mv_1}{F_1 - f} = 0.5\text{s} < 0.55\text{s}$ ，所以假设成立

即小物体 P 从开始运动至速率为 2m/s 所用的时间为 $t_1 = 0.5\text{s}$

(2) 当物体 P 在速率 $v = 2 \sim 5\text{m/s}$ 时，所受水平外力 $F_2 = 6\text{N}$ ，设先以加速度 a_2 再加速 $t_2 = 0.05\text{s}$ 至 A 点，速度为 v_2 ，根据牛顿第二定律有： $F_2 - f = ma_2$ ③

根据匀变速直线运动规律有： $v_2 = v_1 + a_2 t_2$ ④

由③④式联立解得： $v_2 = 3\text{m/s}$ ⑤

物体 P 从 A 点运动至 B 点的过程中，由题意可知，所受水平外力仍然为 $F_2 = 6\text{N}$ 不变，设位移为 x_1 ，加速度为 a_3 ，根据牛顿第二定律有： $F_2 - f - qE = ma_3$ ⑥

根据匀变速直线运动规律有： $2a_3 x_1 = v_2^2 - v_1^2$ ⑦

由⑤⑥⑦式联立解得： $x_1 = 1\text{m}$ ⑧

根据表格数据可知，当物体 P 到达 B 点时，水平外力为 $F_3 = qE = 3\text{N}$ ，因此，离开桌面在水平方向上做匀速直线运动，在竖直方向上只受重力，做自由落体运动，设运动至 D 点时，其水平向右运动位移为 x_2 ，时间为 t_3 ，则在水平方向上有： $x_2 = v_3 t_3$ ⑨

根据几何关系有： $\cot \alpha = \frac{gt_3}{v_2}$ ⑩

由⑧⑩式联立解得： $x_2 = \frac{25}{12}\text{m}$ ⑪

所以电场力做的功为： $W = -qE(x_1 + x_2)$ ⑫

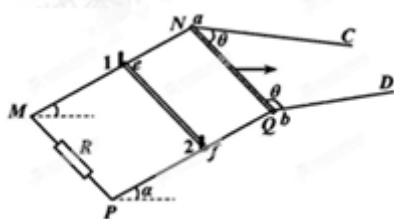
由⑧⑩⑫式联立解得： $W = -9.25\text{J}$

【考点定位】 动力学综合

【名师点睛】 本题考查物体的受力分析、牛顿第二定律、匀变速直线运动规律、平抛运动规律、功的定义

式的应用，意在考查考生的推理能力和分析综合能力。对多过程问题往往需要分段处理，做好受力分析与运动分析。

11. (18分) 如图所示，金属导轨 MNC 和 PQD ， MN 与 PQ 平行且间距为 L ，所在平面与水平面夹角为 α ， N 、 Q 连线与 MN 垂直， M 、 P 间接有阻值为 R 的电阻；光滑直导轨 NC 和 QD 在同一水平面内，与 NQ 的夹角都为锐角 θ 。均匀金属棒 ab 和 ef 质量均为 m ，长均为 L ， ab 棒初始位置在水平导轨上与 NQ 重合； ef 棒垂直放在倾斜导轨上，与导轨间的动摩擦因数为 μ (μ 较小)，由导轨上的小立柱 1 和 2 阻挡而静止。空间有方向竖直的匀强磁场 (图中未画出)。两金属棒与导轨保持良好接触。不计所有导轨和 ab 棒的电阻， ef 棒的阻值为 R ，最大静摩擦力与滑动摩擦力大小相等，忽略感应电流产生的磁场，重力加速度为 g 。



(1) 若磁感应强度大小为 B ，给 ab 棒一个垂直于 NQ 、水平向右的速度 v_1 ，在水平导轨上沿运动方向滑行一段距离后停止， ef 棒始终静止，求此过程 ef 棒上产生的热量；

(2) 在 (1) 问过程中， ab 棒滑行距离为 d ，求通过 ab 棒某横截面的电荷量；

(3) 若 ab 棒以垂直于 NQ 的速度 v_2 在水平导轨上向右匀速运动，并在 NQ 位置时取走小立柱 1 和 2，且运动过程中 ef 棒始终静止。求此状态下最强磁场的磁感应强度及此磁场下 ab 棒运动的最大距离。

【答案】 (1) $Q_{ef} = \frac{1}{4}mv_1^2$ ；(2) $q = \frac{2Bd(L-d\cot\theta)}{R}$ ；(3) $B_m = \frac{1}{L} \sqrt{\frac{mgR(\sin\alpha + \mu\cos\alpha)}{(\cos\alpha - \mu\sin\alpha)v_2}}$ ，方向竖直向上或竖直向下均可， $x_m = \frac{\mu L \tan\theta}{(1 + \mu^2)\sin\alpha \cos\alpha + \mu}$

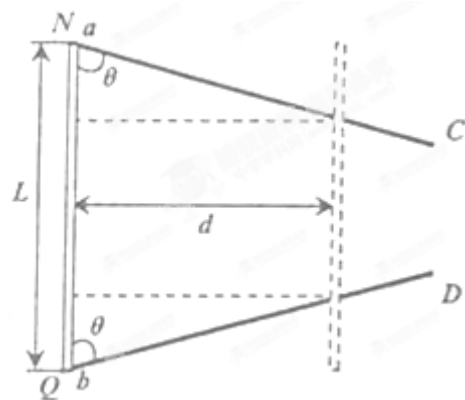
下均可， $x_m = \frac{\mu L \tan\theta}{(1 + \mu^2)\sin\alpha \cos\alpha + \mu}$

【解析】 (1) 由于 ab 棒做切割磁感线运动，回路中产生感应电流，感应电流流经电阻 R 和 ef 棒时，电流做功，产生焦耳热，根据功能关系及能的转化与守恒有： $\frac{1}{2}mv_1^2 = Q_R + Q_{ef}$ ①

根据并联电路特点和焦耳定律 $Q = I^2 R t$ 可知，电阻 R 和 ef 棒中产生的焦耳热相等，即 $Q_R = Q_{ef}$ ②

由①②式联立解得 ef 棒上产生的热量为： $Q_{ef} = \frac{1}{4}mv_1^2$

(2) 设在 ab 棒滑行距离为 d 时所用时间为 t ，其示意图如下图所示：



该过程中回路变化的面积为： $\Delta S = \frac{1}{2} [L + (L - 2d \cot \theta)] d$ ③

根据法拉第电磁感应定律可知，在该过程中，回路中的平均感应电动势为： $\bar{E} = \frac{B \Delta S}{t}$ ④

根据闭合电路欧姆定律可知，流经 ab 棒平均电流为： $\bar{I} = \frac{\bar{E}}{R/2}$ ⑤

根据电流的定义式可知，在该过程中，流经 ab 棒某横截面的电荷量为： $q = \bar{I} \cdot t$ ⑥

由③④⑤⑥式联立解得： $q = \frac{2Bd(L - d \cot \theta)}{R}$

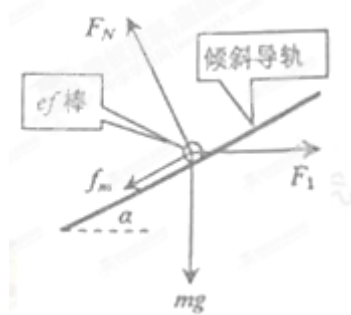
(3) 由法拉第电磁感应定律可知，当 ab 棒滑行 x 距离时，回路中的感应电动势为： $e = B(L - 2x \cot \theta) v^2$ ⑦

根据闭合电路欧姆定律可知，流经 ef 棒的电流为： $i = \frac{e}{R}$ ⑧

根据安培力大小计算公式可知， ef 棒所受安培力为： $F = iLB$ ⑨

由⑦⑧⑨式联立解得： $F = \frac{B^2 L v_2}{R} (L - 2x \cot \theta)$ ⑩

由⑩式可知，当 $x=0$ 且 B 取最大值，即 $B=B_m$ 时， F 有最大值 F_m ， ef 棒受力示意图如下图所示：



根据共点力平衡条件可知，在沿导轨方向上有： $F_m \cos \alpha = mg \sin \alpha + f_m$ ⑪

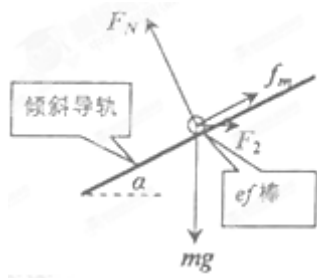
在垂直于导轨方向上有： $F_N = mg \cos \alpha + F_m \sin \alpha$ ⑫

根据滑动摩擦定律和题设条件有： $f_m = \mu F_N$ ⑬

由⑩⑪⑫⑬式联立解得： $B_m = \frac{1}{L} \sqrt{\frac{mgR(\sin \alpha + \mu \cos \alpha)}{(\cos \alpha - \mu \sin \alpha) v_2}}$

显然此时，磁感应强度的方向竖直向上或竖直向下均可

由⑩式可知，当 $B = B_m$ 时， F 随 x 的增大而减小，即当 F 最小为 F_{min} 时， x 有最大值为 x_m ，此时 ef 棒受力示意图如下图所示：



根据共点力平衡条件可知，在沿导轨方向上有： $F_{min}\cos\alpha + f_m = mg\sin\alpha$ ⑭

在垂直于导轨方向上有： $F_N = mg\cos\alpha + F_{min}\sin\alpha$ ⑮

由⑩⑬⑭⑮式联立解得： $x_m = \frac{\mu L \tan\theta}{(1 + \mu^2)\sin\alpha\cos\alpha + \mu}$

【考点定位】 力电综合

【名师点睛】 本题考查功能关系、串并联电路特征、闭合电路欧姆定律、法拉第电磁感应定律、楞次定律共点力平衡条件的应用，和临界状态分析与求解极值的能力多画图，多列分步式，采用极限假设寻求临界状态。