

物 理

注 意

1. 問題は全部で22ページである。
2. 解答用紙に氏名・受験番号を忘れずに記入すること。(ただし、マーク・シートにはあらかじめ受験番号がプリントされている。)
3. 解答はすべて解答用紙に記入すること。
4. 問題冊子の余白は計算に利用してよい。
5. 解答用紙は必ず提出のこと。この問題冊子は提出する必要はない。

マーク・シート記入上の注意

1. 解答用紙(その1)はマーク・シートになっている。HBの黒鉛筆またはシャープペンシルを用いて記入すること。
2. 解答用紙にあらかじめプリントされた受験番号を確認すること。
3. 解答する記号の○を塗りつぶしなさい。○で囲んだり×をつけたりしてはいけない。

解答記入例(解答が1のとき)

| | | | | | | | | | | |
|---|----------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | <input checked="" type="radio"/> | ② | ③ | ④ | ⑤ | ⑥ | ⑦ | ⑧ | ⑨ | ⑩ |
|---|----------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|

4. 一度記入したマークを消す場合は、消しゴムでよく消すこと。×をつけても消したことになる。
5. 解答用紙をよごしたり、折り曲げたりしないこと。

1

以下の文章を読み、空欄(1)～(8)にあてはまる最も適切な式または語句をそれぞれの解答群から選び、**解答用紙(その1)**に記された記号をマークせよ。また、空欄(a)～(e)にあてはまる式と問1の解答を、**解答用紙(その2)**の所定の欄に記入せよ。ただし、重力加速度の大きさを g とし、摩擦や空気抵抗は無視できるものとする。なお、小球の運動は紙面内に限るものとする。

図1-1のように、半径 r の半円筒面と水平面がなめらかにつながっている。水平面および半円筒面の表面はなめらかであるとし、半円筒の軸は紙面に垂直とする。図1-1のように水平面に沿って x 軸をとり、 x 軸が半円筒面と交わる点を P とする。水平面と垂直で x 軸を含む面上(つまり紙面内)に点 P , R , T を図1-1に示すようにとり、半円 PRT の中心を O とする。水平面の x 軸上の点 A に質量 m の小球1を静止させて置く。

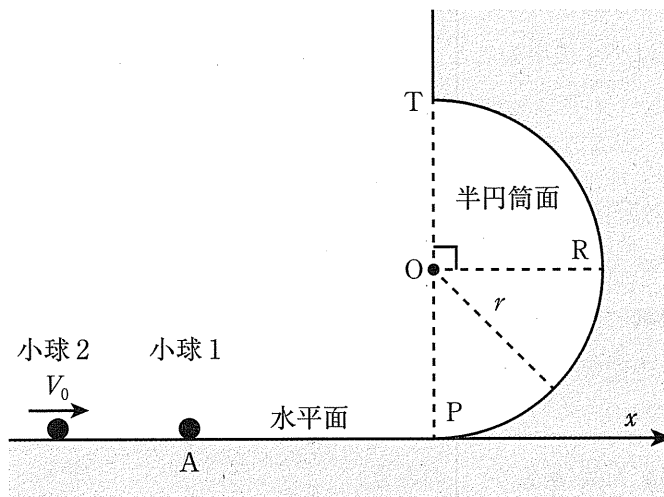


図1-1

- (I) 水平面上で質量 m の小球2が x 軸の正方向に速度 $V_0 (> 0)$ で等速度運動を行い、小球1に衝突した。反発係数(はね返り係数)を e とすると、衝突後の小球1の速度は , 小球2の速度は である。なお弾性衝突 ($e = 1$) の場合は、衝突後の小球1の速度は , 小球2の速度は となる。

(1), (2)の解答群

① eV_0

② $\frac{e}{2}V_0$

③ $\frac{1+e}{2}V_0$

④ $\frac{1+2e}{2}V_0$

⑤ $\frac{1+2e}{3}V_0$

⑥ $\frac{1-e}{2}V_0$

⑦ $\frac{2-e}{3}V_0$

⑧ $\frac{1}{e}V_0$

⑨ $\frac{1}{1+e}V_0$

⑩ 0

(3), (4)の解答群

① $\frac{1}{3}V_0$

② $\frac{1}{2}V_0$

③ $\frac{2}{3}V_0$

④ V_0

⑤ $\frac{3}{2}V_0$

⑥ $2V_0$

⑦ $3V_0$

⑧ 0

⑨ $-V_0$

⑩ $-2V_0$

これ以降は弾性衝突($e = 1$)の場合を考える。衝突直後の小球1の速度を v_0 とする。

- (II) 図1-2のように小球1は点Pを通過後、半円筒面に沿って紙面内を運動し、半円筒上の点Qを通過した。POQのなす角を θ ($0 < \theta \leq \frac{\pi}{2}$) とすると、点Qを通過するときの小球1の速さは v_0 , r , θ , g を用いて、(a) と表される。またその時に小球1が半円筒面から受ける垂直抗力の大きさは v_0 , m , r , θ , g を用いて、(b) と表される。以上より、小球1が途中で停止せずに点Rを通過するためには、 v_0 の大きさが (5) 以上である必要がある。

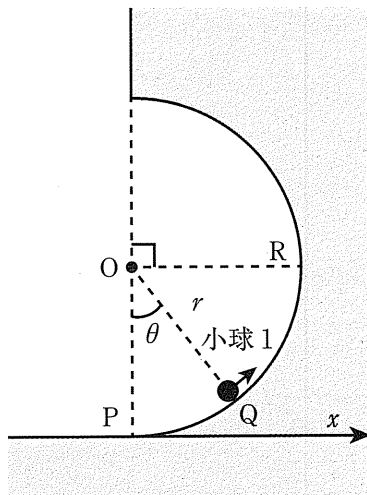


図1-2

(5), (7)の解答群

- ① gr ② $\sqrt{2}gr$ ③ $\sqrt{3}gr$ ④ $2gr$ ⑤ $\sqrt{5}gr$
 ⑥ \sqrt{gr} ⑦ $\sqrt{2gr}$ ⑧ $\sqrt{3gr}$ ⑨ $2\sqrt{gr}$ ⑩ $\sqrt{5gr}$

(Ⅲ) 次に $v_0 > \boxed{(5)}$ の条件下での小球1の運動を考える。図1-3のように、小球1が点Rを通過した後、点Sで半円筒面から離れた。POSのなす角を θ' ($\frac{\pi}{2} < \theta' < \pi$) とすると、点Sでの小球1の速さは $\boxed{(6)}$ である。

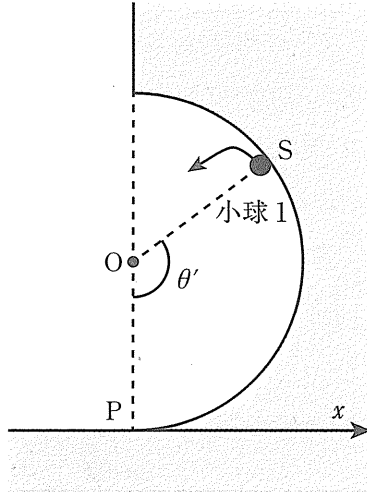


図1-3

(6)の解答群

- | | | | |
|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| ① $gr \sin \theta'$ | ② $gr \cos \theta'$ | ③ $gr \tan \theta'$ | ④ $-gr \sin \theta'$ |
| ⑤ $-gr \cos \theta'$ | ⑥ $\sqrt{gr \sin \theta'}$ | ⑦ $\sqrt{gr \cos \theta'}$ | ⑧ $\sqrt{gr \tan \theta'}$ |
| ⑨ $\sqrt{-gr \sin \theta'}$ | ⑩ $\sqrt{-gr \cos \theta'}$ | | |

(IV) v_0 が十分大きい場合には、図1-4のように小球1は半円筒面から離れることなく点Tに到達する。点Tでの小球の速さ v' は、 v_0 、 r 、 g を用いて $\boxed{\text{(c)}}$ と表される。なお、小球1が半円筒面から離れることなく点Tに達するための条件は、 $v_0 \geq \boxed{\text{(7)}}$ である。小球1は点Tを通過後、水平面上の点Uに落下した。UPの距離は、 v' 、 r 、 g を用いて $\boxed{\text{(d)}}$ と表される。小球1の速度 v_0 がある値を取るときに、小球1と小球2が点Uで再び衝突した。図1-1のAP間の距離を L とすると、小球1が水平面上の小球2と再び衝突するための条件は、 L 、 r 、 g を用いて $v_0 = \boxed{\text{(e)}}$ と表される。なお、小球1が点Tに達するための条件 ($v_0 \geq \boxed{\text{(7)}}$) を同時に満たすためには、 $L \geq \boxed{\text{(8)}}$ でなければならない。

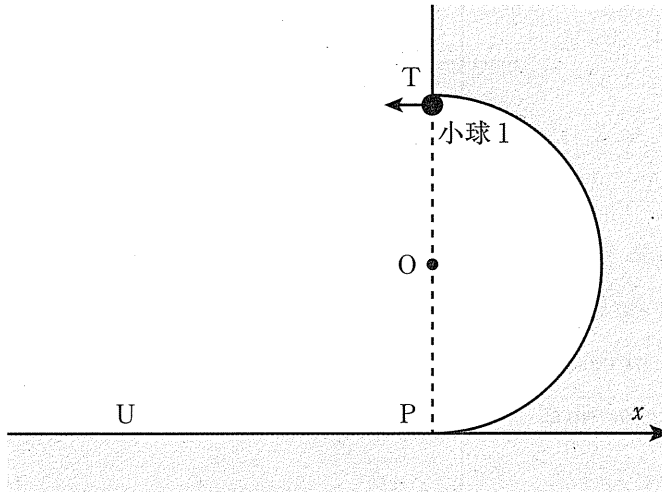


図1-4

(8)の解答群

- ① r ② $\sqrt{2}r$ ③ $\sqrt{3}r$ ④ $2r$ ⑤ $\sqrt{5}r$
 ⑥ \sqrt{gr} ⑦ $\sqrt{2gr}$ ⑧ $\sqrt{3gr}$ ⑨ $2\sqrt{gr}$ ⑩ $\sqrt{5gr}$

問1 (IV)において、点Tを通過して小球2に衝突するまでの、小球1の運動の軌跡を解答用紙(その2)の図1-5に記入せよ。マス目内に収まる範囲のみ記入すること。

<余 白>

2

以下の文章を読み、空欄(9)~(16)にあてはまる最も適切な式または数を解答群から選び、解答用紙(その1)の解答欄の該当する記号をマークせよ。問1~問4の答は解答用紙(その3)の解答欄に記入せよ。

十分大きな面積を持つ薄い4枚の同じ形状の金属板が、真空中に等間隔で平行に並べられている。それぞれの金属板は中央に小さな穴が空いており、これらの小穴は金属板に垂直な同一直線上に位置している。また、最初金属板は帯電しておらず、接続に用いる導線の抵抗は無視できる。

小穴の中心を通り、金属板に垂直な方向に x 軸をとる。図2-1に x 軸を含む平面での断面図を示した。図示したように、小穴を左から順番にA, B, C, Dと名付ける。また、金属板の間隔を L とする。金属板は端子a, b, c, dを介して図2-1のように、抵抗値が R または $R/2$ の抵抗器で接続する。以下で考察する荷電粒子に働く重力は無視でき、荷電粒子は x 軸上を運動する。穴は十分に小さく、金属板間にかかる電場に影響を与えることはないが、荷電粒子は穴を通過することができる。

内部抵抗の無視できる起電力 V の3個の電池があり、以下の設問(I)~(III)のように端子a~dに接続する。

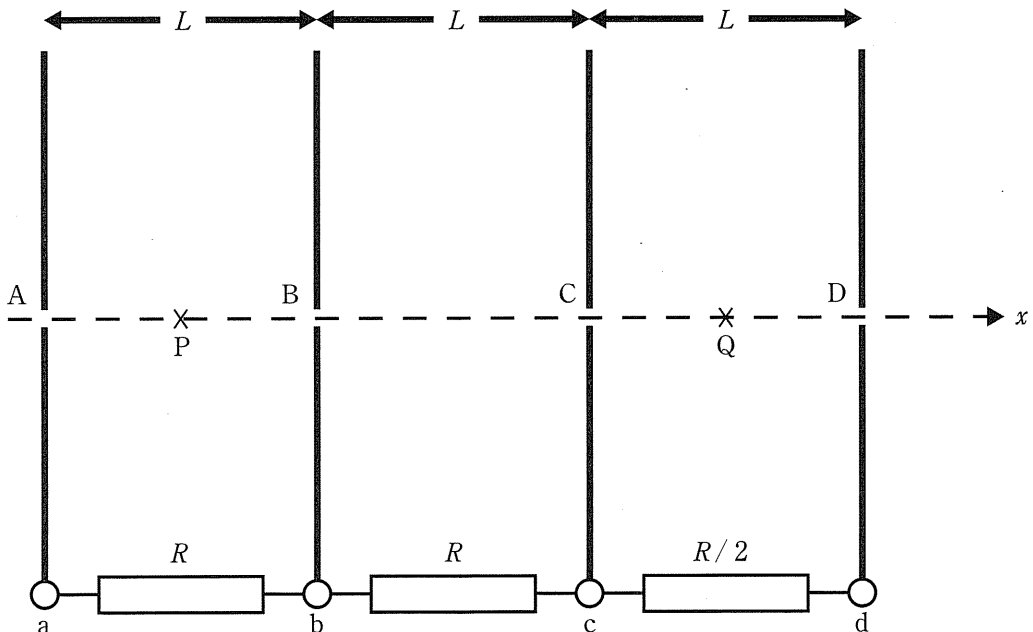


図2-1

<余 白>

(I) 1個の電池を図2-2 aのように接続した。

(ア) 金属板間の x 軸上, AB の中点 P における電場の x 成分は (9) である。

(イ) 小穴 A の中心に電荷 $q (> 0)$, 質量 m の荷電粒子をそっと置いたところ, 点 P の方向に動き出した。この時刻を $t = 0$ とする。荷電粒子が点 P に達した時の荷電粒子の加速度の x 成分を α とおくと, $m\alpha =$ (10) と表される。

(ウ) AP 間を荷電粒子が通過する間に電場が荷電粒子にした仕事は (11) である。

(エ) 荷電粒子が小穴 B に達した時刻は (12) となる。

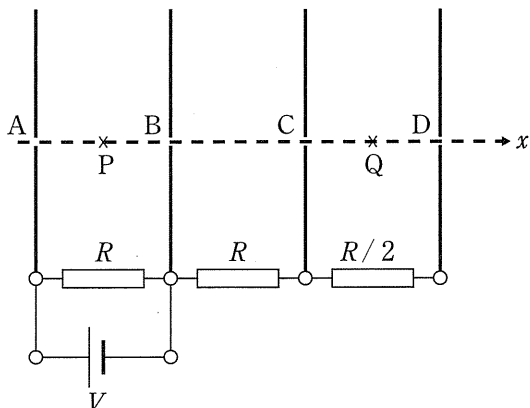


図2-2 a

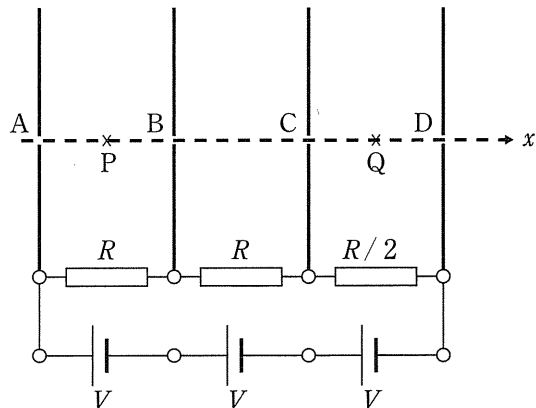


図2-2 b

(II) 次に、図 2—2 b のように 3 個の電池を接続した。

(a) CD の中点 Q における電場の x 成分は (13) である。

(b) 再び電荷 $q (> 0)$ 、質量 m の荷電粒子を小穴 A の中心にそっと置いたところ、荷電粒子は点 P の方向に動き出した。CQ 間を荷電粒子が通過する間に電場が荷電粒子にした仕事は (14) である。

(c) 小穴 D を出た直後の荷電粒子の速さは (15) となる。

(9) (13) の解答群

- | | | | |
|-------------------------|--------------------------|--------------------|------------------|
| ① $\frac{L}{V}$ | ② $\frac{5L}{3V}$ | ③ $\frac{3V}{5L}$ | ④ $\frac{V}{L}$ |
| ⑤ $\sqrt{\frac{2V}{L}}$ | ⑥ $\frac{2V}{L}$ | ⑦ $-\frac{3V}{5L}$ | ⑧ $-\frac{V}{L}$ |
| ⑨ $-\frac{2V}{L}$ | ⑩ $-\sqrt{\frac{2V}{L}}$ | | |

(10) の解答群

- | | | | |
|---------------------|----------------------------|-------------------|-------------------|
| ① $\frac{mV^2}{2L}$ | ② $\frac{mV^2}{L}$ | ③ $\frac{qV}{L}$ | ④ qV |
| ⑤ mV | ⑥ $\frac{L}{qV}$ | ⑦ $-\frac{L}{qV}$ | ⑧ $-\frac{qV}{L}$ |
| ⑨ $-\frac{mV^2}{L}$ | ⑩ $-\sqrt{\frac{qV^2}{L}}$ | | |

(11) (14) の解答群

- | | | | | |
|---------------------|---------------------|--------------------|-------------------|------------------|
| ① $\frac{3qV}{10L}$ | ② $\frac{3qV}{10}$ | ③ $\frac{qV}{2L}$ | ④ $\frac{qV}{2}$ | ⑤ qV |
| ⑥ $\frac{3qVL}{10}$ | ⑦ $-\frac{3qV}{10}$ | ⑧ $-\frac{qVL}{2}$ | ⑨ $-\frac{qV}{2}$ | ⑩ $\frac{qV}{L}$ |

(12) の解答群

- | | | | | |
|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| ① $2\sqrt{\frac{L}{\alpha}}$ | ② $\sqrt{\frac{3L}{5\alpha}}$ | ③ $\frac{L}{\alpha}$ | ④ $\sqrt{\frac{L}{\alpha}}$ | ⑤ $\frac{5L}{3\alpha}$ |
| ⑥ $\sqrt{\frac{3L}{2\alpha}}$ | ⑦ $\frac{2L}{\alpha}$ | ⑧ $\sqrt{\frac{2L}{\alpha}}$ | ⑨ $\frac{3L}{2\alpha}$ | ⑩ $\sqrt{\frac{3L}{\alpha}}$ |

(15)の解答群

① $\frac{6qV}{m}$

② $\sqrt{\frac{6qV}{m}}$

③ $\frac{5qVL}{m}$

④ $\sqrt{\frac{5qVL}{m}}$

⑤ $\frac{4qV}{m}$

⑥ $2\sqrt{\frac{qV}{m}}$

⑦ $\frac{6qVL}{m}$

⑧ $\sqrt{\frac{6qVL}{m}}$

⑨ $\frac{2qV}{m}$

⑩ $\sqrt{\frac{2qV}{m}}$

(Ⅲ) 今度は、図2-2cのように電池を接続し、電荷 $-q$ (ただし $q > 0$)、質量 m の荷電粒子を、初速度 $u (> 0)$ で小穴Aから x 軸の正の向きに入射する場合を考える。

(ク) $u = u_0 (> 0)$ のとき、荷電粒子は小穴Aから入射後、しばらくして小穴Aから x 軸の負の向きに出てきた。このとき、荷電粒子が小穴Aから出た直後の速さは (16) となる。

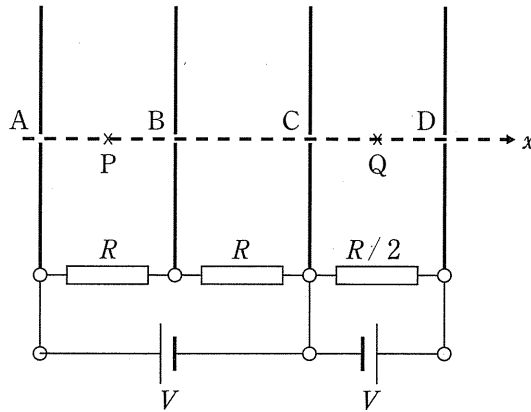


図2-2c

(16)の解答群

- ① $2u_0$ ② $u_0 + \sqrt{\frac{2qV}{m}}$ ③ $u_0 + \sqrt{\frac{2qVL}{m}}$
④ $\frac{1}{\sqrt{2}}u_0$ ⑤ $\sqrt{2}u_0$ ⑥ u_0
⑦ $u_0 - \sqrt{\frac{2qV}{m}}$ ⑧ $u_0 - \sqrt{\frac{2qVL}{m}}$ ⑨ $\frac{1}{2}u_0$
⑩ 0

問1 入射速度 u を少しずつ大きくしていくと、 u がしきい値 u_1 を超えたとき、荷電粒子は小穴 D から出た。 u_1 を求めよ。 V を用いた式で答えること。

問2 $u = \sqrt{2}u_1$ で荷電粒子を小穴 A から x 軸の正の向きに入射した。AP 間を荷電粒子が通過する間に電場が荷電粒子にした仕事を V を用いて表せ。

問3 $u = \sqrt{2}u_1$ のとき、AD 間における荷電粒子の運動エネルギーの最大値を K_m とする。 K_m を V を用いて表せ。

問4 $u = \sqrt{2}u_1$ のとき、AD 間における荷電粒子の運動エネルギー K を x の関数としてグラフに表せ。ただし、小穴 A の位置を x 軸の原点とする。答は解答用紙(その3)の図2-3に記せ。

光電効果を図3-2に示す実験によって確かめる。真空にしたガラス容器中に陰極と陽極を備え、両極間に電圧を加える。電極間に流れる電流は電流計で測定でき、電極間に印加する電圧は可変抵抗の値を変えることで変えられる。陰極に光をあてると、陰極から電子が飛び出し、陽極に達することで電極間に電流が流れる。光の振動数が一定のとき、電流 I と陽極電圧 V (陰極に対する陽極の電位) の関係は図3-3に示す結果が得られた(測定1)。次に光の振動数を変えずに光の強さを大きくしたところ、電流 I と陽極電圧 V の関係は図 (21) の実線で表される。さらに光の振動数を ν_1 から $\nu_2 (> \nu_1)$ に変えると、電流 I と陽極電圧 V の関係は図 (22) の実線で表される。陽極の負の電位を低くしていくと、電流は減少していき、ついには0となる。この時の電位を $V = -V_M (V_M > 0)$ とすると、最大の運動エネルギーをもって飛び出した直後の電子の速さは、 V_M 、電子の質量 m 、電気素量の大きさ e を用いて、 (23) と表される。

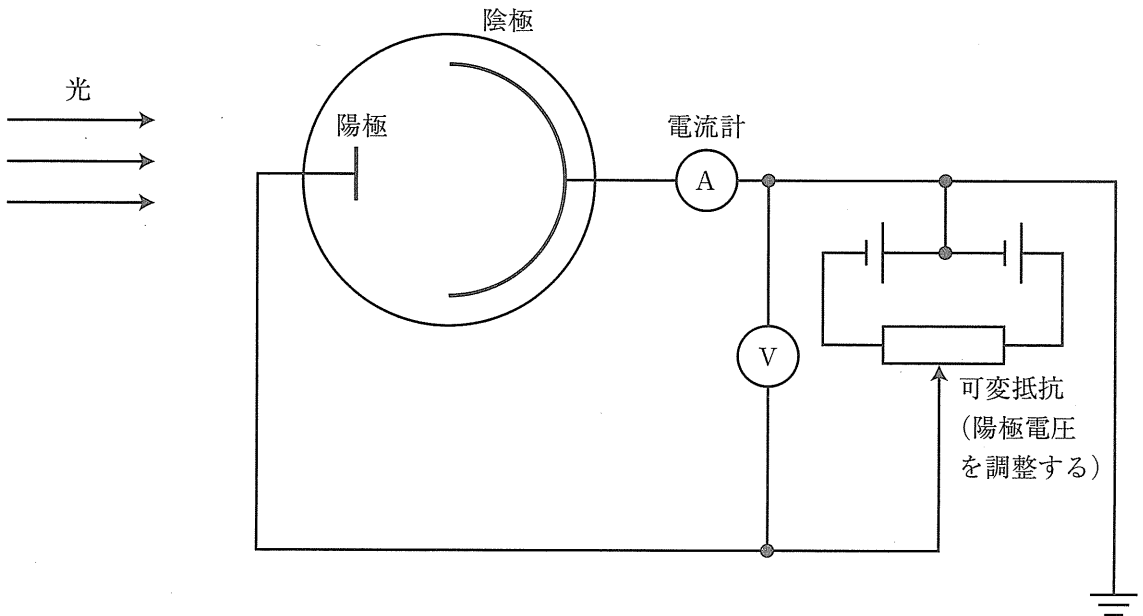


図3-2

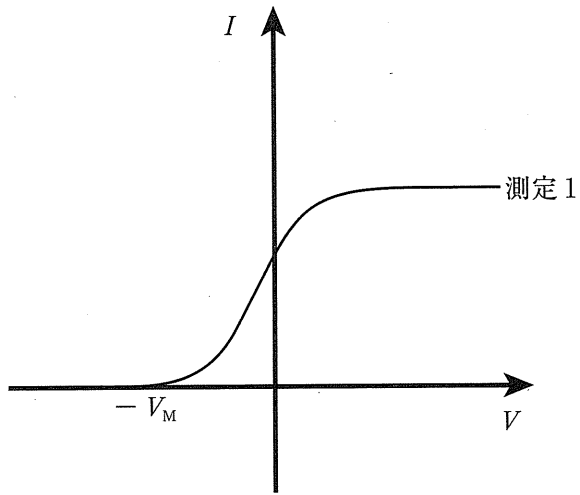
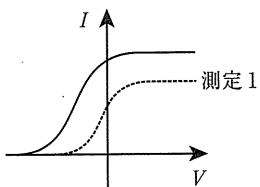
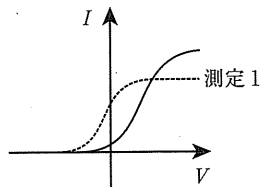


図 3-3

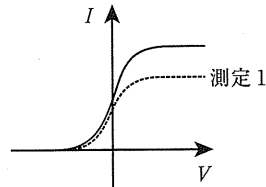
(21), (22)の解答群



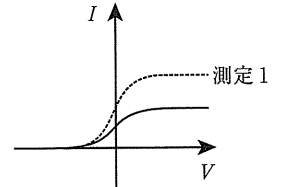
①



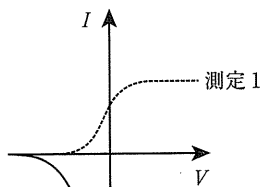
②



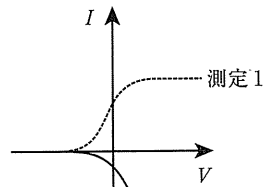
③



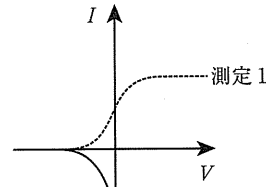
④



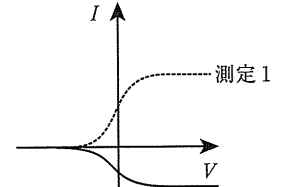
⑤



⑥



⑦



⑧

(23)の解答群

① $\sqrt{\frac{2mV_M}{e}}$

② $\sqrt{\frac{2e}{mV_M}}$

③ $\sqrt{\frac{e}{mV_M}}$

④ $\sqrt{\frac{2eV_M}{m}}$

⑤ $\sqrt{\frac{eV_M}{m}}$

⑥ $\sqrt{\frac{mV_M}{e}}$

⑦ $\frac{2e}{mV_M}$

⑧ $\frac{e}{mV_M}$

⑨ $\frac{2eV_M}{m}$

⑩ $\frac{eV_M}{m}$

アインシュタインは、1905年、光量子仮説により光電効果の説明に成功した。光量子仮説では、光はエネルギーをもつ粒子の流れであるとし、この粒子を (24) という。振動数 ν の光の (24) のエネルギーは (25) で表される。光電効果は、1個の (24) が、金属内部の1個の電子にエネルギーを与えて、金属外部へ飛び出させる現象と理解できる。また、金属内部の電子を飛び出させるには、ある大きさの仕事が必要である。その仕事は、金属の種類によって決まるもので仕事関数と呼ばれる。図3-4は、ある金属に振動数 ν の光をあてたとき、飛び出した電子の運動エネルギーの最大値 K_M と光の振動数 ν の関係を示したものである。この図からプランク定数はおよそ (26) と見積もられる。表3-1に4つの金属の仕事関数をジュール(J)と電子ボルト(eV)で示す。図3-4の金属は表3-1に示した金属のうちのひとつであることがわかっており、 (27) と考えられる。また、この金属の限界振動数は (28) となる。

その後、ボーアによって提唱された原子模型は、アインシュタインによる光量子仮説の考えを取り入れたものである。ボーアの原子模型によると、水素原子において、エネルギー -3.4 eV の定常状態にある原子内の電子が、エネルギー -13.6 eV の定常状態に移るときに放出する光の波長は (29) となる。

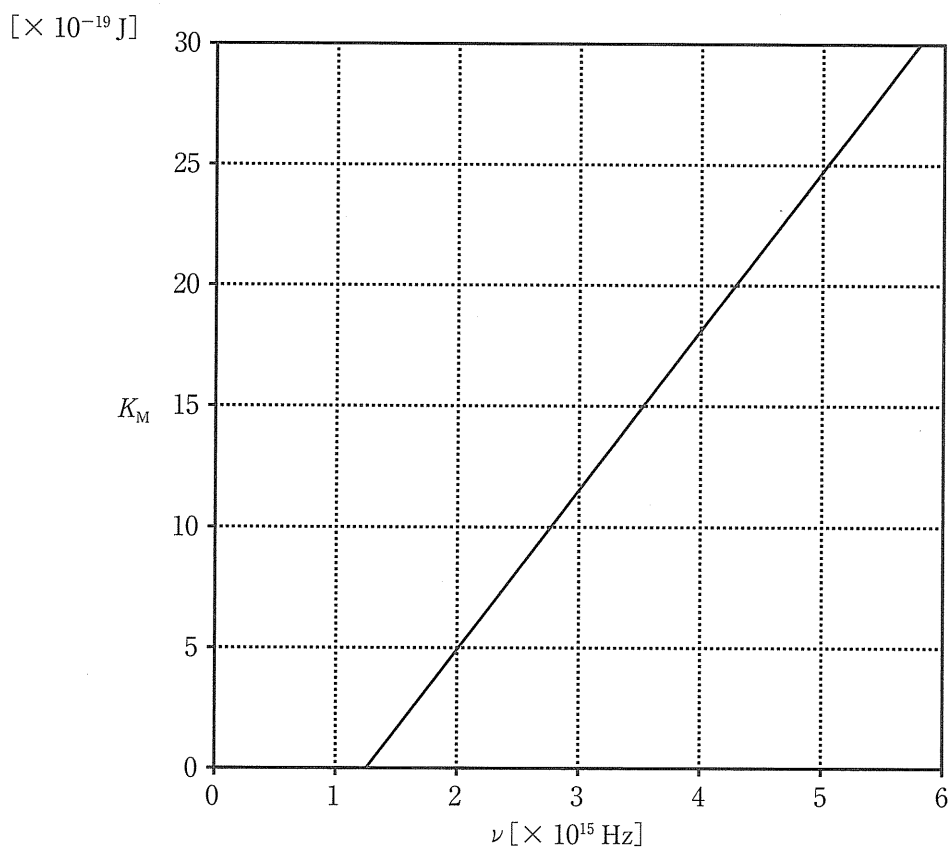


図 3—4

表 3—1

| 金属 | 仕事関数 | |
|-------|------------------------|------|
| | [$\times 10^{-19}$ J] | [eV] |
| ナトリウム | 3.8 | 2.4 |
| セリウム | 4.6 | 2.9 |
| 亜鉛 | 6.9 | 4.3 |
| ニッケル | 8.2 | 5.1 |

<余 白>

<余 白>

<余 白>

