

1 以下の文章の空欄 1 ~ 8 に、つぎの指示にしたがい答えなさい。
1 ~ 3 は数式で、4 ~ 6, 8 は数値で解答欄に答えなさい。また、7 については、解答欄の図にマークしなさい。なお、計算で必要な場合には、円周率は $\pi = 3.14$ としてよい。

図1は、平均風速 V の風を受けて、翼直径 D の発電風車が回転している様子を示している。

図2は、風車翼の回転面 B に流れ込む空気のもつエネルギーを考察するための模式図である。面 A に流入した空気は単位時間に面 B まで移動し、風車翼に作用し、風車軸を回転させる。

ここで、空気の密度 ρ 、平均風速 V 、風車翼の直径 D の記号を用いると、風車翼の回転面 B を通過する単位時間当たりの空気の質量 m は、

$$m = \boxed{1}$$

で与えられる。したがって、回転面 B を通過する空気の単位時間当たりの運動エネルギー U は、

$$U = \boxed{2}$$

となる。この U の単位は [W] であり、通常 [kW] が用いられる。風車ではこの空気の運動エネルギー U の一部が変換されて、風車の発電出力 P になっている。これを $P = \alpha U$ とおくと、 α は出力係数 ($0 < \alpha < 1$) と呼ばれる。

以上から、風車に要求される発電出力 P が与えられたとき、風車の翼直径の大きさ D を計算する公式は、

$$D = \boxed{3}$$

となる。

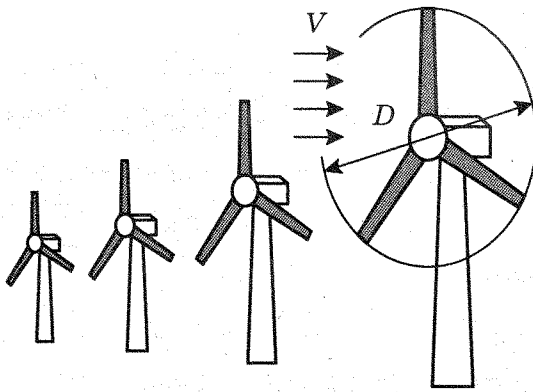


図 1

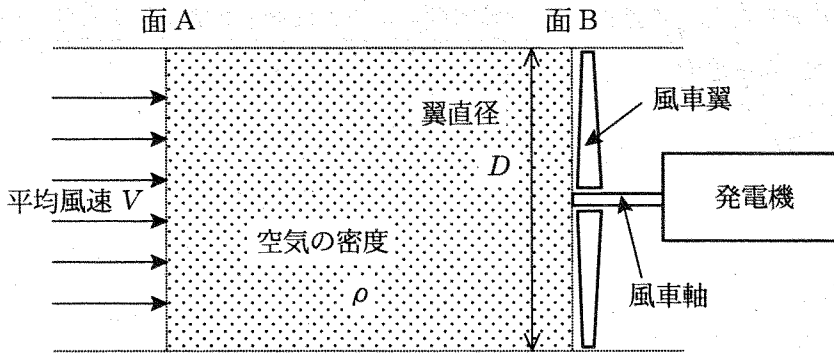
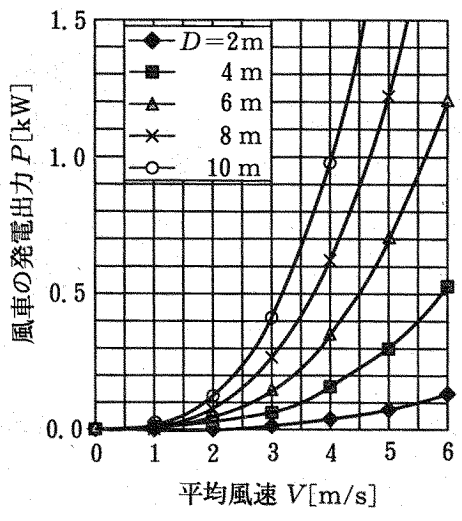
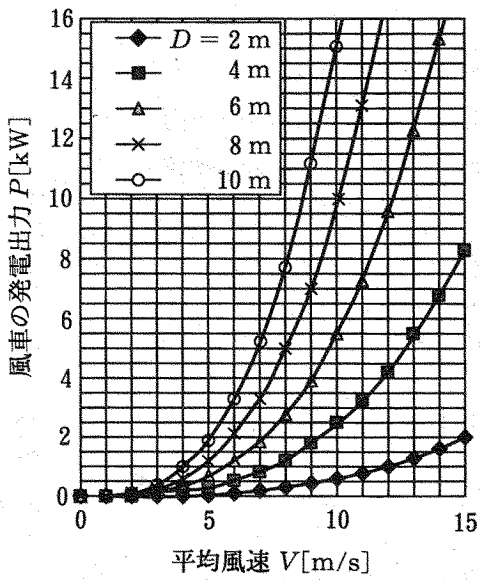


図 2

図3は、発電出力 P と平均風速 V との関係を示している($P-V-D$ 関係)。ここで、 α は V や D に関係せず一定であるとしている。簡単な数値例を取り上げると、空気の密度 $\rho = 1.3 \text{ kg/m}^3$ 、平均風速 12.0 m/s 、翼直径 $D = 6.0 \text{ m}$ の場合、 $U = \boxed{4} \text{ kW}$ となる。ここで α の大きさをグラフから求めると、 $\alpha = \boxed{5}$ である(小数点以下第1位まで求めなさい)。

さて、一般家庭の1か月当たりの消費電力量が 480 kWh であるとき、これを風力発電で得るために必要な風車の翼直径 D を求める。ただし、風車の翼位置での平均風速 V は、常時 4.0 m/s であるとする。上記の1か月当たりの消費電力量から必要な風車の発電出力は、 $P = \boxed{6} \text{ kW}$ と算出される。ただし1か月は30日とする。この結果を図3のグラフにマークすれば、翼直径 D の概略値を読み取ることができる $\boxed{7}$ (解答欄のグラフに●としてマークしなさい)。
グラフからその大きさは、 $D = \text{約} \boxed{8} \text{ m}$ であることがわかる。



(左図の拡大)

図 3

2

図に示すように、水平面に対して傾き 30° のなめらかな斜面とその下端から連続する水平な床がある。斜面上の高さ h のところから質量 m の物体 A を静かに放したところ、物体 A は斜面をすべり落ち、斜面下端 P から右側に l だけ離れた水平面上の点 O に置かれていた質量 M の物体 B と最初の衝突を起こした。このときのはね返り係数を e ($0 < e < 1$)、重力加速度を g 、物体 A、B と斜面および床面との摩擦は無視できるものとして、以下の問い(問 1～5)に答えなさい。ただし、右方向を正の向きとし、 $h < l$ とする。

問 1 物体 B と最初に衝突する直前の物体 A の速度 v はいくらか。 g 、 h を用いて答えなさい。

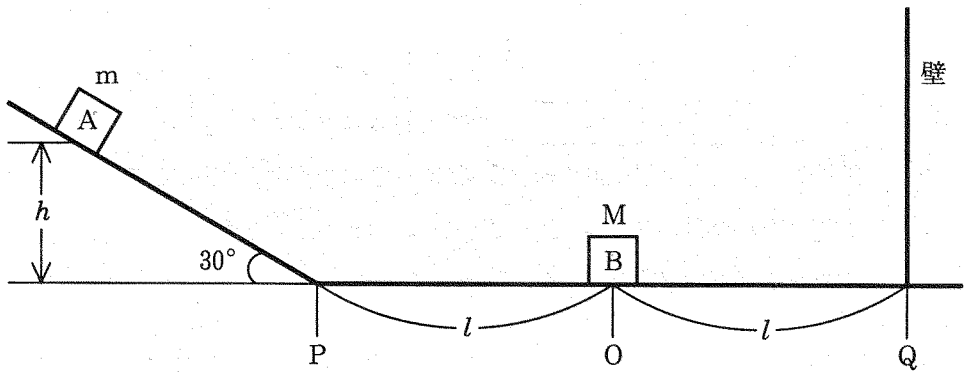
問 2 最初の衝突直後の物体 A、B の速度 v_A 、 v_B はそれぞれいくらか。 g 、 e 、 m 、 M 、 h を用いて答えなさい。

物体 B の質量は物体 A の質量の 4 倍 ($M = 4m$) であり、 $e = 0.5$ のとき、最初の衝突後、物体 A は左向きに進み、斜面を高さ H までのぼり、そこで向きを変えて再び斜面をすべり落ちた。一方、物体 B は右向きに進み、 l だけ離れた位置 Q にある鉛直な壁と完全弾性衝突して向きを変えた。その後、物体 A と物体 B は再び衝突した。

問 3 最初の衝突直後、物体 A が斜面上で達する最高点の高さ H はいくらか。 h を用いて答えなさい。また、物体 A が最初の衝突から斜面上で最高点に達するまでの時間 T_1 はいくらか。 g 、 h 、 l を用いて答えなさい。

問 4 問 3 で物体 A が斜面上で最高点に達してから物体 B と 2 回目の衝突を起こすまでの時間 T_2 はいくらか。 g 、 h 、 l を用いて答えなさい。結果だけでなく、導出の過程を整理し、解答欄に記載しなさい。

問 5 この 2 回目の衝突は O 点の左右どちら側で起こるか。また、O 点との距離 L はいくらか。 h 、 l を用いて答えなさい。



3 斜め方向に進む音源のドップラー効果を調べるために次の実験をした。以下の問い(問1～5)に答えなさい。

問1 次の ～ に数式で答えなさい。

右図に示すように xy 座標の原点 O に一定の振動数 f [Hz] の音をだす音源がついた車が音速 340 m/s より遅い速度 v [m/s] で原点をとおり x 軸からの傾き θ の直線上を移動する。原点からスタートして1秒後の車の位置座標 $B(x, y)$ は v と θ を使って $x =$ [m], $y =$ [m] となる。観測する A 点は x 軸上であって、その位置を $(340 \text{ m}, 0 \text{ m})$ とすると、 A 点と B 点の間の距離 L は v, θ をもちいて $L =$ [m] となる。これより B 点から発した音が A 点に達する時間は、 $t = \frac{L}{340}$ [s] となる。車がスタートした時点で発せられた音が A 点に届き、その後、 t [s] 後までに A 点に届く波の数は f である。この間 A 点に届く音の振動数が一定であるとすると、 A 点に届く音の振動数は [Hz] となる。

問2 問1で $v = 20$ m/s, $f = 1000$ Hz の時、車が動く方向が $\theta = 0, \pi$ [rad] としたときの A 点に届く音の振動数を小数点以下を四捨五入して求めなさい。

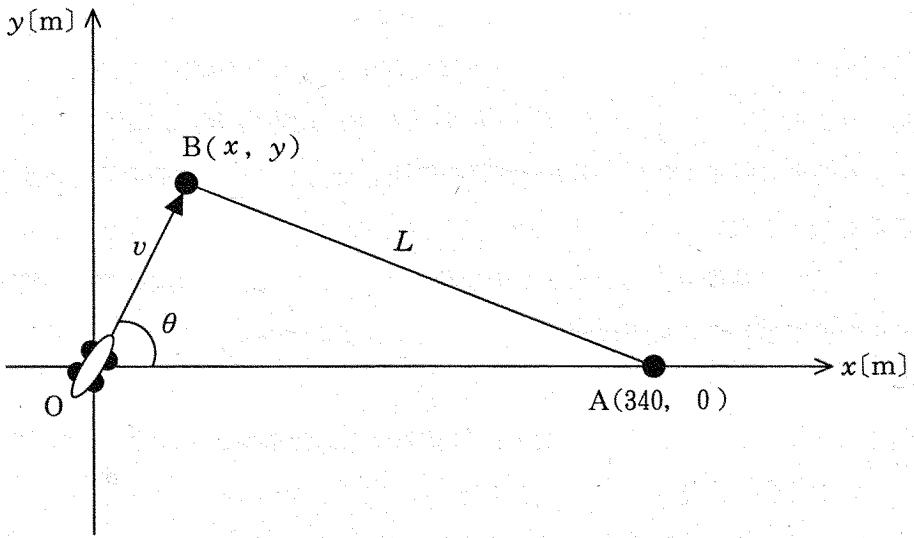
問3 問1で $v = 20$ m/s, $f = 1000$ Hz の時、 A 点での振動数が 1000 Hz となる $\cos\theta$ を求めなさい。

問4 次の文章を読んで()の中の適切な番号を選びなさい。

問1では A 点に届く音の振動数を一定として導いたが、 $v = 20$ m/s, $\theta = \frac{2}{3}\pi$ では、原点からスタートしてからの1秒の間で、時間とともに A 点に届く音の振動数は

(1. 減少する 2. 変化しない 3. 増加する 4. 増減する)

問5 原点から車が $v = 20$ m/s で等速運動をするとき、 A 点に届く音の振動数に時間変化がない運動がある。(1)その運動のはじめの1秒間の軌跡を描きなさい。また、(2)その軌跡はどのようになるか60字以内で説明しなさい。



4

長さ l を一辺とする正方形極板 2 枚を距離 d 離して作成した平行板コンデンサー A および B がある。それぞれの電気容量を真空中で測定したところ C_0 であった。真空中で、コンデンサー A および B, 起電力 V_0 の電池, スイッチ S を導線を用いて連結し, 図 1 の回路を構成した。ここで, 導線の抵抗は無視できるものとする。

スイッチ S を閉じ, 二つのコンデンサー A および B を十分に充電した後, スイッチ S を開いた。以下の問い(問 1 ~ 7)に答えなさい。

問 1 コンデンサー A に蓄えられた電気量 Q_A はいくらか。

問 2 2 つのコンデンサー A および B に蓄えられた静電エネルギーの和 W_0 はいくらか。

問 3 比誘電率 2 の誘電体(外形: 厚さ d , 長さとお行きとも l の直方体)をコンデンサー A に静かに全て挿入した。このとき, コンデンサー A の極板間の電位差 V_A はいくらか。

問 4 問 3 の状態のとき, 2 つのコンデンサー A および B に蓄えられた静電エネルギーの和 W_1 はいくらか。

問 5 誘電体挿入前と挿入後の 2 つのコンデンサー A および B に蓄えられた全静電エネルギーの変化量 $\Delta W = W_1 - W_0$ はいくらか。

問 6 問 5 において, 静電エネルギーが増加したならその理由を, 減少したならその理由を 100 字以内で説明しなさい。必要ならば図を用いてもよい。

問 7 コンデンサー A に誘電体を挿入する操作を示したのが図 2 である。コンデンサーの左端を原点 0 とし, 左端から挿入した距離を x とする。このとき回路中のコンデンサー A の極板間の電位差 V_A を x ($0 \leq x \leq l$) の関数として表しなさい。ただし, 誘電体を距離 x だけ挿入したときのコンデンサー A の容量は挿入部分の容量 C_x と残りの真空部分の容量 C_x' を合成したものである。結果だけでなく, 導出の過程を整理し, 解答用紙所定の欄に記しなさい。

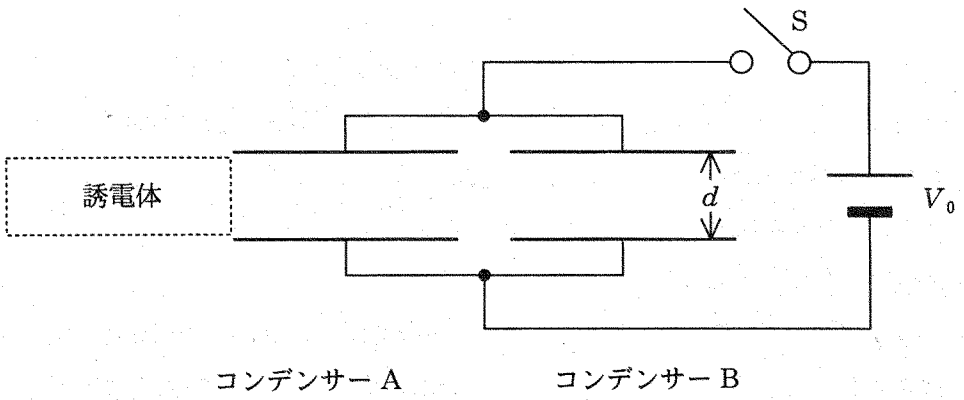


図 1

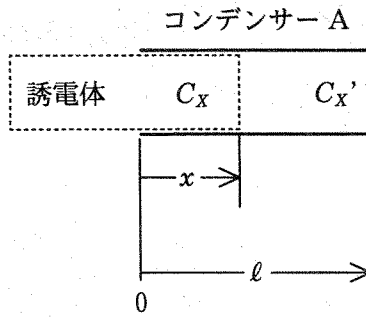


図 2

5

図1のように、起電力 E (V)の電池、自己インダクタンス L_1 (H)のコイル、電気容量 C_1 (F)のコンデンサーならびに電流計 A、スイッチ S_1 および S_2 からなる電気回路がある。ただし、コンデンサーは絶縁性の材質でできた「ちょうつがい」により、2枚の導体板を平行にして形成されている。また、導線ならびに各回路部品の抵抗は無視できるものとする。

スイッチ S_2 を開いたままスイッチ S_1 を閉じると、電流計の針が振れた。しばらくして針が再び0を指したことを確認してから、スイッチ S_1 を開いた。以下の問い(問1～3)に答えなさい。

問1 コンデンサーに蓄えられたエネルギーはいくらか。

問2 スwitch S_2 を閉じた。このとき電流計が示す電流値の時間変化のグラフが図2である。グラフ中の定数 I_0 および T_0 を数式で表しなさい。

問3 問2において、コンデンサーおよびコイルに蓄えられるエネルギーは、どのような時間変化をするか。それぞれのエネルギー変化の概略を描きなさい。目盛りには I_0 および T_0 を利用すること。

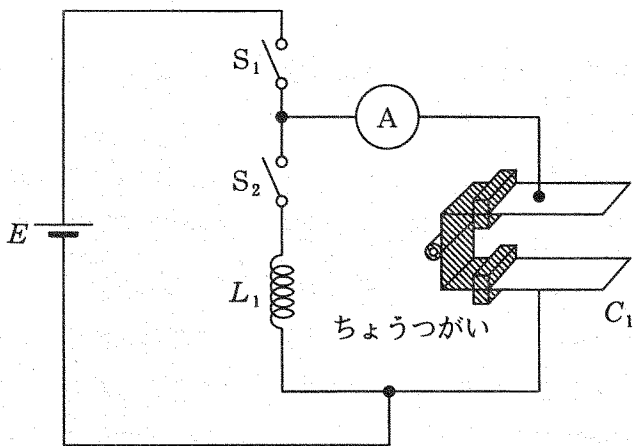


図 1

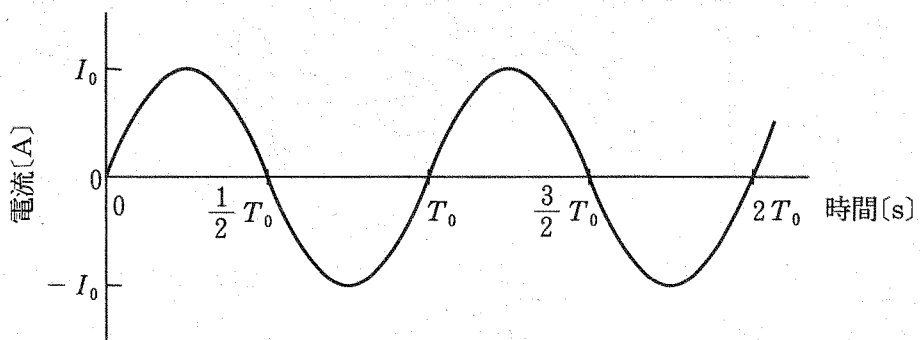


図 2

再び初めと同じ手続きでコンデンサーを充電した。次に、スイッチ S_1 および S_2 を開いたまま、図 3 に示すように 2 枚の導体板のなす角を 180 度に開いた。以下の問い(問 4～6)に答えなさい。

問 4 スイッチ S_2 を閉じたところ、電流の時間変化は図 4 となった。電流が時間とともに減衰した理由を、40 字以内で述べなさい。

問 5 2 枚の導体板のつくる平面から垂直方向に離れた場所に、図 5 のような平面ループ状の導体を設置する。スイッチ S_2 を閉じる時に、この導体の端子間に発生する電圧を最大にするには、ループ平面の向きはどうすれば良いか。50 字以内で述べなさい。

問 6 図 6 のような自己インダクタンス $L_2 = 0.5 \text{ mH}$ のコイル、電気容量 $C_2 \text{ (F)}$ のコンデンサーおよび電圧計 V からなる回路を構成した。この回路の 2 つの端子と図 5 のループ状導体の 2 つの端子をそれぞれ導線で結んだ。電圧計 V が最も強く振れるときの電気容量 C_2 を有効数字 2 桁で答えなさい。

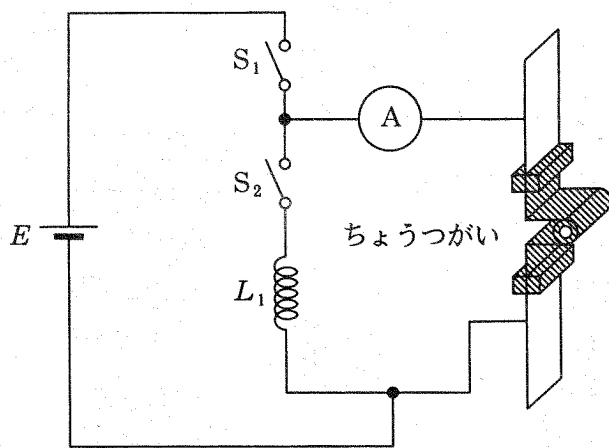


図 3

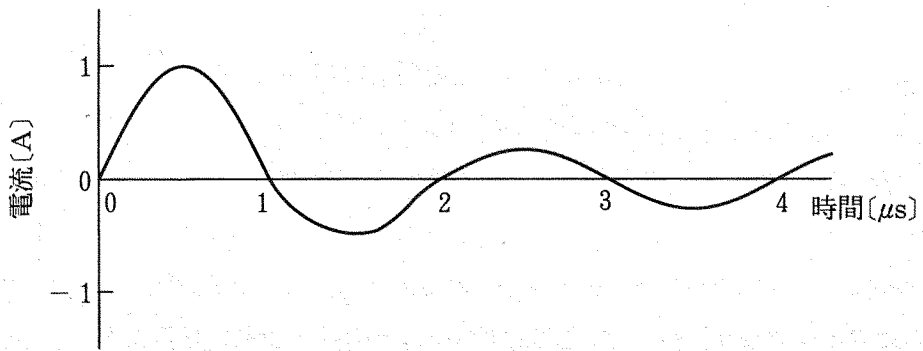


図 4

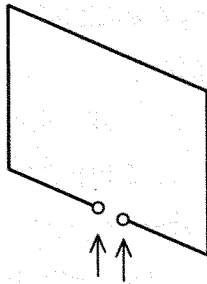


図 5

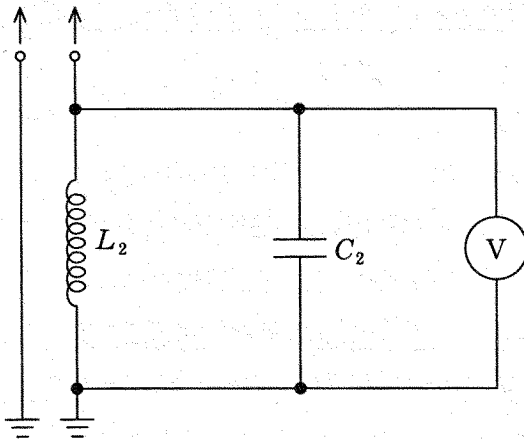


図 6

水素原子の定常状態のエネルギー準位を求めるための実験を行った。この実験について述べた以下の文章を読んで、下の問い(問1～6)に答えなさい。

図1に示すように、電子銃部分と反応槽からなる真空容器がある。電子銃の部分はフィラメント F とスリット S_1 及び S_2 からなっている。フィラメントは外部電源によって赤熱し熱電子が放出されるようになっている。スリット S_1 と F とは同電位であり、 S_1 と S_2 の間には電子を加速するために電源 E (出力電圧 V [V], V はアース電位に対して常に正)が接続されている。フィラメントで発生しスリット S_1 を通り抜けた電子は、加速されながらスリット S_2 を通り抜ける。^(a) 電子銃から放出される電子電流量は加速電圧 V にのみ依存し、それ以外の要因によって電流量は変わらない。電子銃で発生した電子は、反応槽と電子銃をつないでいる細いパイプを経て反応槽に導かれる。反応槽の電子銃に正対する位置に金属板電極 P が取り付けられており、金属板に電子が衝突すると電流として測定できる。この電流の測定にあたっては、電流値が安定するまで十分な時間待ってから行う。また、金属板電極 P には出力電圧 V_R [V] の電源 R が接続されており、金属板電極の電位をアース電位に対してゼロもしくは負にすることができるようになっている。電圧 V_R をゼロにした状態で、加速電圧 V を変化させて金属電極板 P に到達した電子による電流を測定したところ、図2に示す電流電圧特性が得られた。つぎに、金属電極板 P の電位をアースに対して負となるように V_R を有限の値とし、同じように加速電圧 V と電子電流量の関係を測定した。^(b)

以上の実験から装置の特性が分かったので、反応槽に低圧の水素原子を導入した。なお、導入した水素原子は反応槽内では水素分子にはならないものとする。 V_R をゼロにしたままで電子電流量の加速電圧特性を測定したところ、わずかに電流量が減少したが、図2に示す電流電圧特性とほとんど変わらなかった。また、加速電圧 V が + 10.2 V までは反応槽内に顕著な変化は生じなかったが、^(c) 加速電圧が + 10.2 V をこえると波長 $1.215 \times 10^{-7} \text{ m}$ の紫外線の発光が観測された。 つぎに、電源 R の出力電圧を調節して金属板電極のアースに対する電位^(d) を - 0.5 V とし、同じように電子電流量の加速電圧特性を測定した。

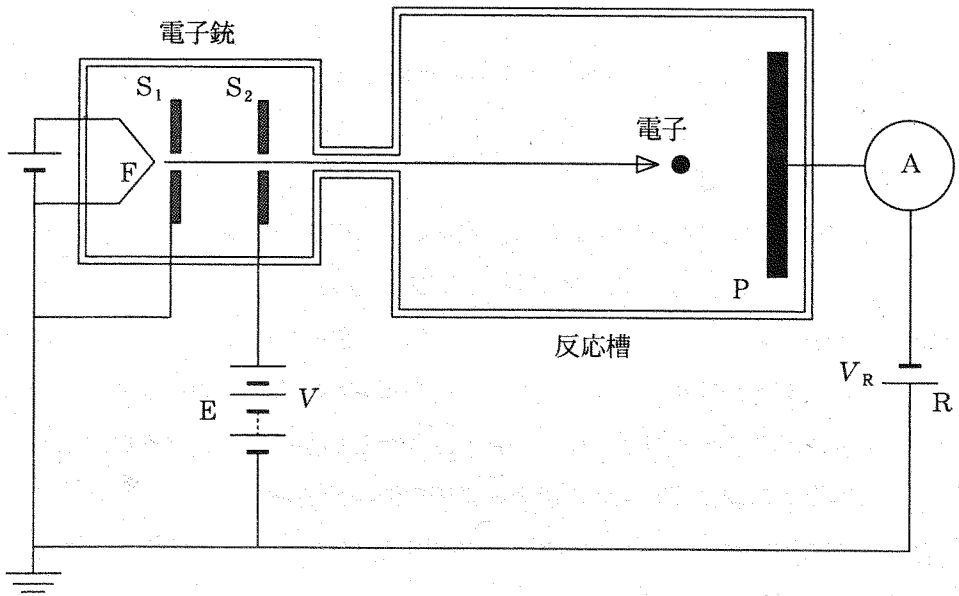


図1

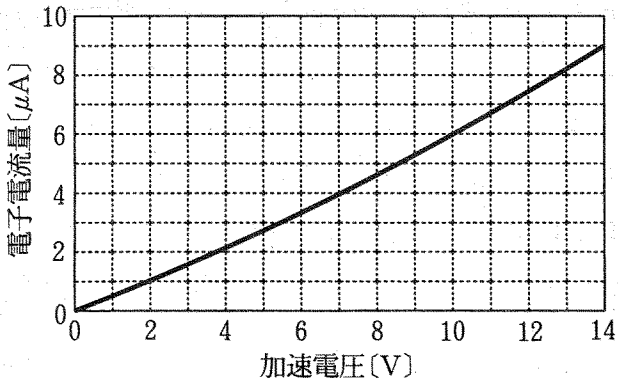
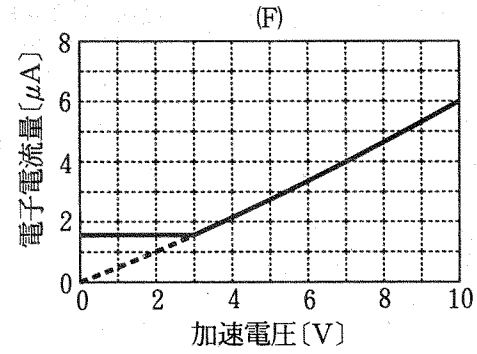
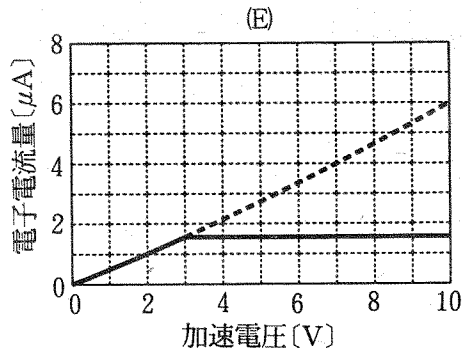
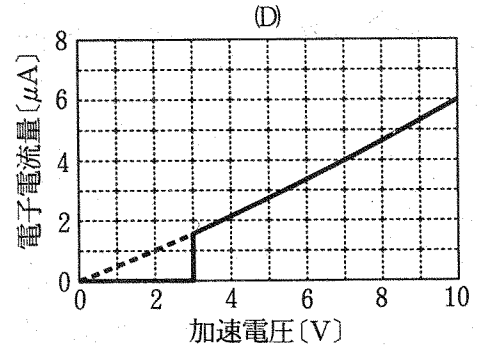
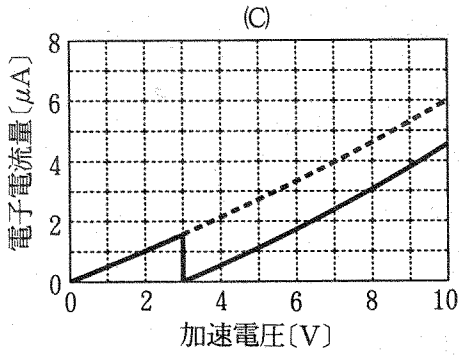
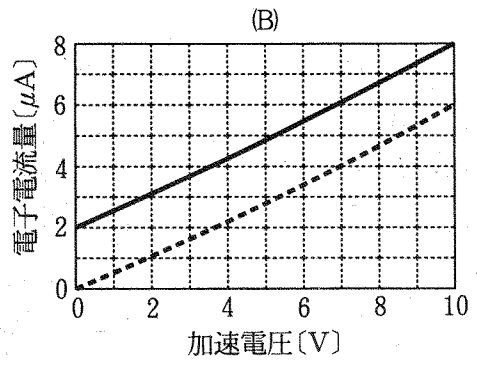
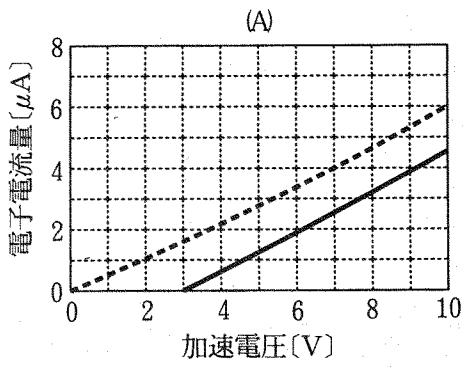


図2

- 問 1 下線部(a)に述べられている，スリット S_2 を通過した直後の電子の速さ v_i を，電子の質量を m ，電子の電荷の絶対値を e として，解答欄に記しなさい。
- 問 2 下線部(b)に述べられている状況で，金属電極板 P に到達する直前の電子の速さ v_f を，電子の質量を m ，電子の電荷の絶対値を e として，解答欄に記しなさい。但し， V_R の絶対値は V よりも小さいものとする。
- 問 3 金属板電極 P のアース電位に対する電位を -3 V とした場合，下線部(b)で測定した加速電圧と電子電流量の関係はどのようなものになるか，右に示した(A)から(F)のグラフの中から最もふさわしいものを選びなさい。なお，グラフ中の破線は $V_R = 0$ の場合の電圧電流特性を示す。
- 問 4 下線部(c)で述べられている，加速電圧が 10.2 V 以下では発光が見られない理由は何か，50 字以内で記しなさい。
- 問 5 下線部(d)で得られる加速電圧と電子電流量の関係はどのようになるか，解答欄のグラフにあらましを示しなさい。なお，グラフ中の破線は $V_R = 0$ の場合の電圧電流特性である。解答にあたっては，電子銃から反応槽内に入射した電子には，「水素原子と衝突しなかった電子」，「水素原子と衝突したがエネルギーを失わなかった電子」および「水素原子と衝突してエネルギーを失った電子」の 3 種類があることを考慮すること。
- 問 6 この実験から求められる水素原子を電離してイオンにするのに必要なエネルギー(イオン化エネルギー)を電子ボルト単位で求め，またその答えを導いた理由とともに解答欄に記しなさい。



7

次の文章を読み、以下の問い(問1～4)に答えなさい。

計算に必要なら、次の数値を用いなさい。なお、[u]は原子質量単位である。

$${}^{235}\text{U} \text{ の質量} = 235.0439[\text{u}] = 390.4079 \times 10^{-27} \text{ kg},$$

$${}^{141}\text{Ba} \text{ の質量} = 140.9139[\text{u}] = 234.0580 \times 10^{-27} \text{ kg},$$

$${}^{92}\text{Kr} \text{ の質量} = 91.897[\text{u}] = 152.6409 \times 10^{-27} \text{ kg},$$

$$n \text{ の質量} = 1.0087[\text{u}] = 1.6755 \times 10^{-27} \text{ kg},$$

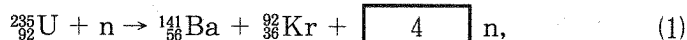
$$\text{光速 } c = 2.998 \times 10^8 \text{ m/s}, \text{ アボガドロ数 } N_A = 6.025 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1},$$

$$\text{プランク定数 } h = 6.625 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s},$$

$$\text{TNT 火薬の爆発エネルギー} = 4 \times 10^6 \text{ J/kg}$$

ウラン 235 ${}^{235}\text{U}$ は、ウラン 238 ${}^{238}\text{U}$ の であり、天然ウランの約 0.7%をしめている。ウラン 235 の原子核は 個の陽子と 個の中性子から構成されている。

ウラン 235 に低速の中性子 n をあてると中性子を吸収し、いくつかの中性子を放出して2つの原子核に分裂する。例えば



のような核反応が起こる。

臨界量以上の濃縮ウラン 235 においては、このようにして生じた中性子が、さらに他のウラン 235 に吸収されて、(1)式に示す核反応により 個の中性子を放出して核分裂を起こす。こうして核分裂が次々とネズミ算的に進行する。これを核分裂の という。

問 1 空欄 ～ を適当な言葉または数字で埋めなさい。

問 2 1回の(1)式に示す核反応の反応前と反応後での質量差はいくらか。キログラム単位で有効数字3桁まで求めなさい。

問 3 1個のウラン 235 が(1)式に示す核反応により核分裂を起こすとき放出されるエネルギーは何ジュールか。有効数字3桁まで求めなさい。

問 4 235 g のウラン 235 が(1)式に示す核反応で全て反応したときに放出されるエネルギーは何ジュールか。また、これは TNT 火薬何トンの爆発エネルギーに対応するか。それぞれ有効数字1桁まで求めなさい。