

物理

解答は解答用紙の所定の欄に記入すること。

I

- 問1 つま先を体重計に乗せ腕立て伏せの静止姿勢をとった(図1)。①肩の真下, ②肩の前方, ③肩の後方, に手をついて体重を支えた。図中の小さな○は重心位置, 縦の破線は手をつく位置を示している。体重計の読みが一番大きいのは①～③のどれか。

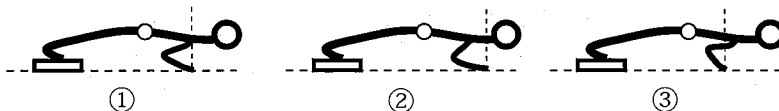


図1

- 問2 $1.0 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ の圧縮圧力まで耐えられるコンクリートで作った円柱がある(図2)。この円柱が自重で破壊しない最大の高さを求めよ。コンクリートの密度を $2.0 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$, 重力加速度は高さに関係なく 10 m/s^2 とする。

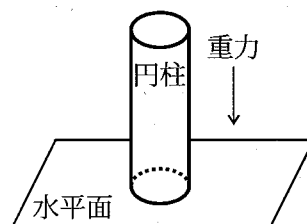


図2

- 問3 水平面上に物体を置き, 初速度 v を与えたところ, 物体は水平面との摩擦力により, 距離 L 進んだところで停止した(図3)。物体が最大の大きさの加速度を受けるのは, 以下の①～④のどれか。ただし, 物体と水平面との摩擦係数は両者の相対速度に依存し, 図4のようにになっている。

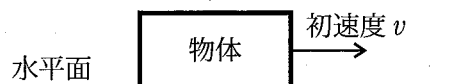


図3

- ① 初速度 v で動き始めた直後 ② 速度が $v/2$ になったとき
③ 静止する直前 ④ 移動距離が $L/2$ のとき

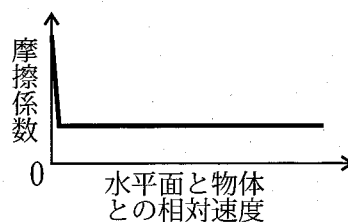


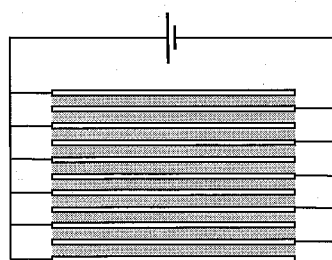
図4

- 問4 以下の①～⑥の記述の中から間違っただけのものを選び, その理由を述べよ。

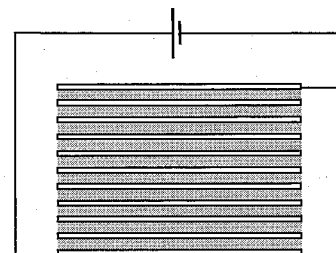
- ① $^{22}_{11}\text{Na}$ が崩壊して $^{22}_{10}\text{Ne}$ となるときに放出されるのは陽電子である。
② 陽電子は電子と対消滅して光子を発生する。
③ β 線は電荷を持った粒子である。
④ β 線が金属に衝突すると X 線や紫外線などの電磁波が発生する。
⑤ $^{235}_{92}\text{U}$ と $^{238}_{92}\text{U}$ は互いに同位体とよばれ質量数は異なるが化学的性質は同じである。
⑥ $^{235}_{92}\text{U}$ の臨界状態とは 1 原子の核分裂で生成した複数電子のうちの 1 個が次の核分裂を引き起こす状態をさす。

Ⅱ 厚み一定の誘電体フィルムと金属極板を交互に重ね、極板を1つおきにまとめて導線に接続したものをA型コンデンサー、一番上と一番下の極板のみに導線を接続したものをB型コンデンサーとよぶことにする。極板の端の効果は無視できるものとする(図1)。(1 nm = 10^{-9} m, 1 μ m = 10^{-6} m)

問1 誘電体フィルムが10枚の場合、A型コンデンサーの電気容量はB型コンデンサーの何倍となるか。



A型コンデンサー

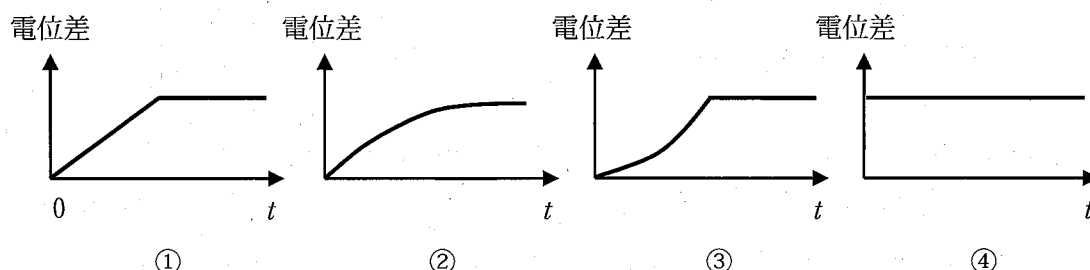


B型コンデンサー

図1

問2 解答欄に描かれたコンデンサーについて、誘電体フィルム内部の電界の向きを矢印で示せ。

問3 極板間の電位差が0 Vのコンデンサーに、内部抵抗をもつ電池を接続した。接続したときを時刻 $t = 0$ として、極板間の電位差の時間変化を適切に表しているものを下の図①～④の中から選べ。



問4 幅 h 、長さ L のアルミホイル1枚と、これと同じ形状の高分子ラップフィルム1枚を用意した。それぞれを幅 h 、長さ L/N の N 枚の長方形断片に切断した後、 $N-1$ 枚のラップフィルムと N 枚のアルミホイルを交互に重ねてA型コンデンサーを作った。真空の誘電率 ϵ_0 、ラップフィルムの比誘電率 ϵ_r 、厚み D として、このコンデンサーの電気容量 $C(N)$ を表す式を示せ。

また、 N を大きくしていくと $C(N)$ の値はある一定の値 $C(\infty)$ に近づく。その値は $N=2$ の場合の何倍になるか。

問5 $h = 10$ cm, $L = 20$ m, $D = 10$ μ m, $\epsilon_r = 2.0$ の場合について $C(\infty)$ の値を求めよ。真空の誘電率 $\epsilon_0 = 9.0 \times 10^{-12}$ F/m とする。

問6 問5で求めた電気容量をもつコンデンサーを10 Vで充電したときに蓄積される静電エネルギーを求めよ。

次に、図2(a)のように2枚の極板を電解質溶液に浸し電源に接続する。電源電圧が高い場合には、溶媒の電気分解などにより電流が流れるが、電圧が低い場合には、イオンの移動により極板間に電流がしばらく流れた後、電流はゼロとなる。このとき、陽極の表面近くには陰イオンが、陰極の近くには陽イオンが集合し、電荷が高濃度に蓄積される。このタイプのコンデンサーを電気2重層コンデンサーとよぶ。図2(b)は、電解質溶液中の電位が極板表面から距離 d までは直線的に変化するが、それ以上離れると一定となることを示している。値 d は、集合したイオンと極板との距離を表すような値である。極板表面には溶媒分子が薄く付着し絶縁膜の役目を果たすため、 d は溶媒分子の大きさ程度の小さな値となる。したがって、電気2重層コンデンサーの電気容量は $\frac{\epsilon_r \epsilon_0 S}{2d}$ で表されると考えてよい。ここで ϵ_r は溶媒の比誘電率、 S は極板の面積である。

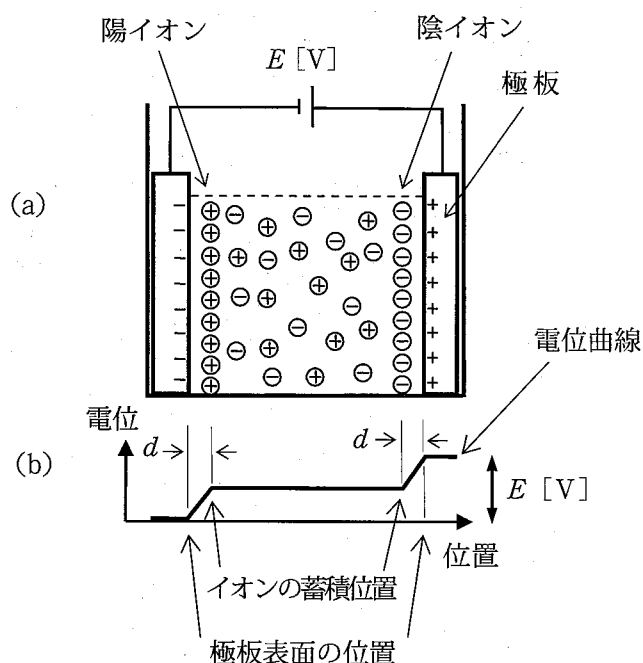


図2

極板の表面積を増大させる目的で、細長い導体円柱が表面に高密度に並んだものを作製した(図3(a))。これを高密度電極と呼ぶことにする。2枚の高密度電極を電解質溶液に浸し電源を接続すると、導体円柱の側面にも高濃度にイオンが集合し電気2重層コンデンサーが形成される。このため、高密度電極で作った電気2重層コンデンサーの極板面積は導体円柱の側面積の総和 S_s で近似できる。

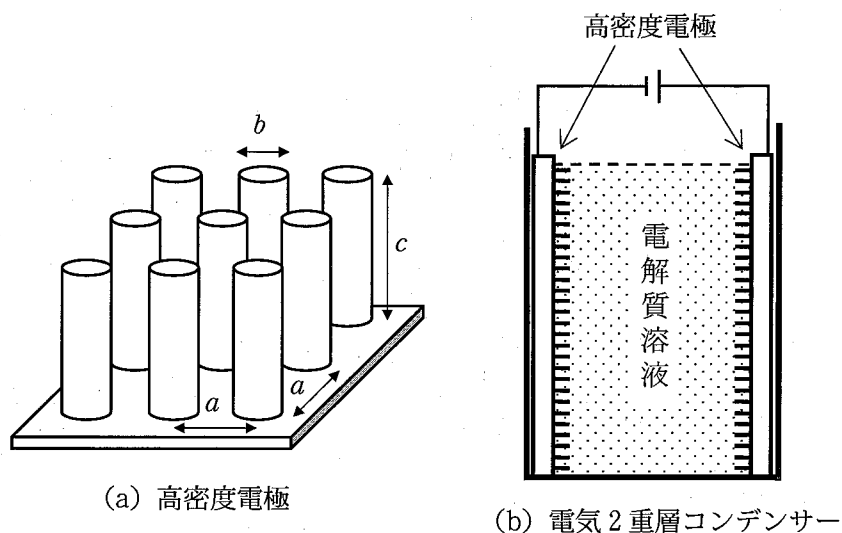


図3

問7 図3(a)のように、直径 b 、長さ c の導体円柱を、極板表面全面に等間隔 a で正方形格子状に並べた。面積 S_s は元の極板の面積 S の何倍になるか。 a 、 b 、 c および円周率 π を用いて表せ。 S は a^2 に比べて十分大きいものとする。

問8 $S = 100 \text{ cm}^2$ 、 $a = 10 \text{ nm}$ 、 $b = 5 \text{ nm}$ 、 $c = 100 \text{ }\mu\text{m}$ の高密度電極を2枚作製し、電解質溶液中に浸した(図3(b))。このコンデンサーの電気容量、および、3.0 Vで充電したときに蓄積される静電エネルギーを求めよ。また、この値は問6で求めた静電エネルギーの何倍か。
ただし、 $\epsilon_r = 10$ 、 $\epsilon_0 = 9.0 \times 10^{-12} \text{ F/m}$ 、 $d = 0.5 \text{ nm}$ とする。

問9 問8で用いた2枚の高密度電極と電解質溶液を使って1個 10 gの電気2重層コンデンサーを作製し、自動車の動力源として利用したい。ある自動車が、100 Nの抵抗を受けながら20 m/sの速さで1000秒間走行し続けた。この自動車が抵抗に抗してした仕事と同量の静電エネルギーを蓄積するには、3.0 Vで充電したこの電気2重層コンデンサーが何 kg 必要となるか。

Ⅲ 図 1 に示すように、平面と凸面からなる平凸レンズの凸面と平板ガラスを接触させ、単色光を垂直に照射した。レンズ凸面 A および平板ガラス面 B からの反射を観測したところ、同心円状の模様（ニュートンリング）が見られた（図 2）。レンズの厚みは、中心からの幾何学的距離を y とすると $L - \frac{y^2}{2R}$ で表される。ここで L はレンズの中心部分の厚み CC' 、 R は凸レンズの曲面の曲がりの大きさを表す定数である。実験は空気中で行い、空気の屈折率を 1.0、平凸レンズおよび平板ガラスの屈折率を n 、光の波長を λ とする。

問 1 レンズと平板ガラスの接点 C における反射光強度はどのようなになるか述べよ。

問 2 ニュートンリングは、面 A, B から反射した光の干渉により生じる。面 A と面 B が接触していなくても、両者の間隔が λ よりも十分に小さければ、反射光強度は両者が接触している場合とほぼ同じになる。このことから、ニュートンリングの中心（点 C の近傍）において、面 A から反射した光と面 B から反射した光の位相はどのような関係になっているといえるか。

問 3 ニュートンリング中心の暗い部分を $m = 0$ 、次の暗い部分である暗線を $m = 1$ とし、 m 番目の暗線の半径 y_m を R 、 λ 、 m を用いて表せ。

問 4 面 A, B のすきまを液体で満たし、反射光強度を測定した。液体の屈折率と、問 3 の y_m で求めた位置 y_0 および y_1 での反射光強度との関係を示すグラフとして適切なものを図 3 ①～⑤の中からそれぞれ一つ選べ。図 3 は $n = 1.5$ の場合である。

問 3 で求めた y_m ($m = 0, 1, 2, \dots$) の位置に幅の狭い同心円状の光を通す部分（開口部）を持つ模様板を作製した（図 4）。中心の開口部を $m = 0$ 、次の開口部を $m = 1$ のように順に番号をつける。この模様板に単色光を垂直に照射したところ、開口部を通過した光の一部分は模様板の中心から距離 f の x 軸上の点 F に集光した（図 5）。模様板の厚みは無視してよいものとする。

問 5 光は波面上の各点を波源とする素元波が干渉により強めあう方向に伝搬する。光の伝搬に関するこの原理の名称をあげよ。

問 6 平面波を模様板全面に垂直に照射した。このとき、 m 番目の開口部（点 D）で発生した素元波に注目する。この素元波は半球状の波となり、一部分は x 軸上の点 F に到達する。この素元波の経路長 DF を m 、 R 、 λ 、 f を用いて表せ。

問7 m 番目の開口部からの素元波の経路長 DF と、 $m+1$ 番目の開口部（点 G）からの素元波の経路長 GF との差が m に関係なく一定値 λ になる f を求めよ。ただし、 f は y_m より十分に大きいとして、 h の絶対値が 1 よりも十分に小さいとき成り立つ近似式 $\sqrt{1+h} \doteq 1 + \frac{h}{2}$ を用いよ。

問8 模様板に垂直に入射した平面波が、問7で求めた点 F に集光する理由を述べよ。

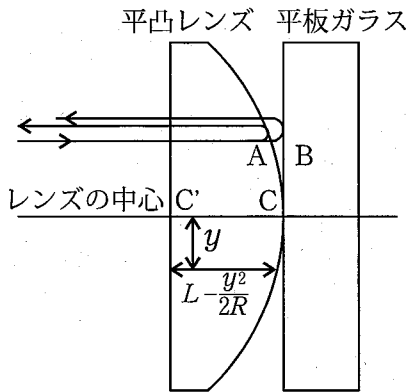


図 1

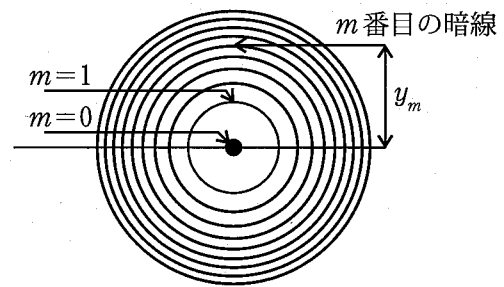


図 2

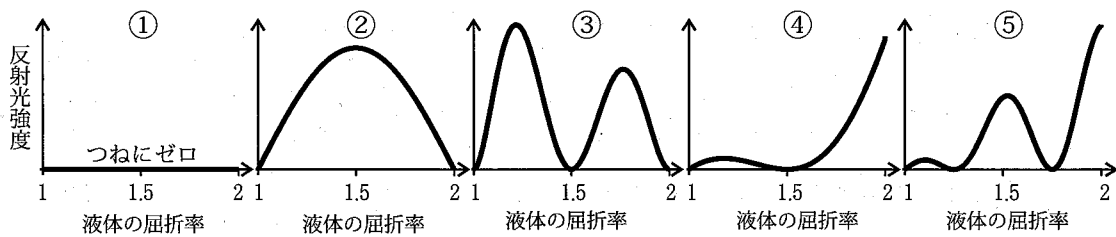


図 3 $n=1.5$ における液体の屈折率と反射光強度の関係

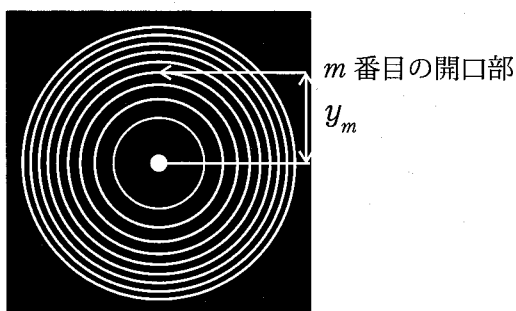


図 4 模様板

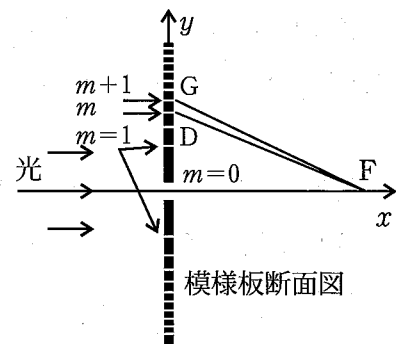


図 5