

2020年度

慶應義塾大学入学試験問題

医 学 部

理 科

注意事項

1. 受験番号と氏名は解答用紙の所定の記入欄にそれぞれ記入してください。
2. 受験番号は所定欄の枠の中に1字1字記入してください。
3. 解答は、必ず解答用紙の所定の欄に記入してください。
4. この問題冊子の余白および2, 3ページは計算および下書きに自由に用いてください。
5. この問題冊子の総ページ数は32ページです。試験開始の合図とともにすべてのページが揃っているかどうか確認してください。ページの脱落や重複があったら直ちに監督者に申し出てください。
6. この問題冊子は、試験終了後に持ち帰ってください。

— 下書き計算用 —

— 下書き計算用 —

物理

解答は解答用紙の所定の欄に記入すること。

I

問1 慶應義塾大学日吉キャンパスには、いたる所に家庭用と同じ交流 100 V の電源コンセントがある。この電圧 V を時間 t の関数として、 $V(t) = A \sin(2\pi ft)$ と表すとき、 A と f の値を単位を付けて答えよ。 π は円周率である。

問2 (a) 地球の第2宇宙速度は 11 km/s である。月の質量を地球の質量の $\frac{1}{81}$ 、月の半径を地球の半径の $\frac{1}{4.0}$ として、月における第2宇宙速度に相当する速さを求めよ。

(b) 温度 300 K において気体分子 (モル質量 20 g/mol) の熱運動における2乗平均速度を求めよ。気体定数を 8 J/(mol·K) とする。

問3 空気抵抗を受けながら落下する物体について考えよう。重力加速度は下向きで大きさは一定値 g とする。

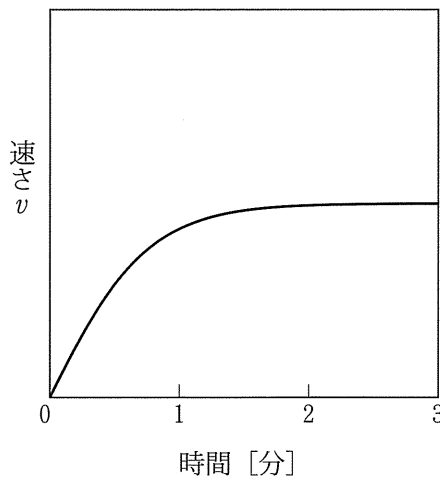


図1

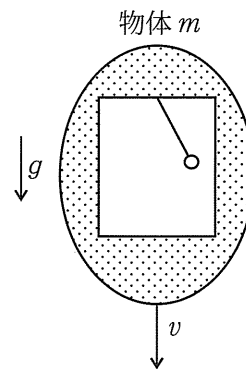
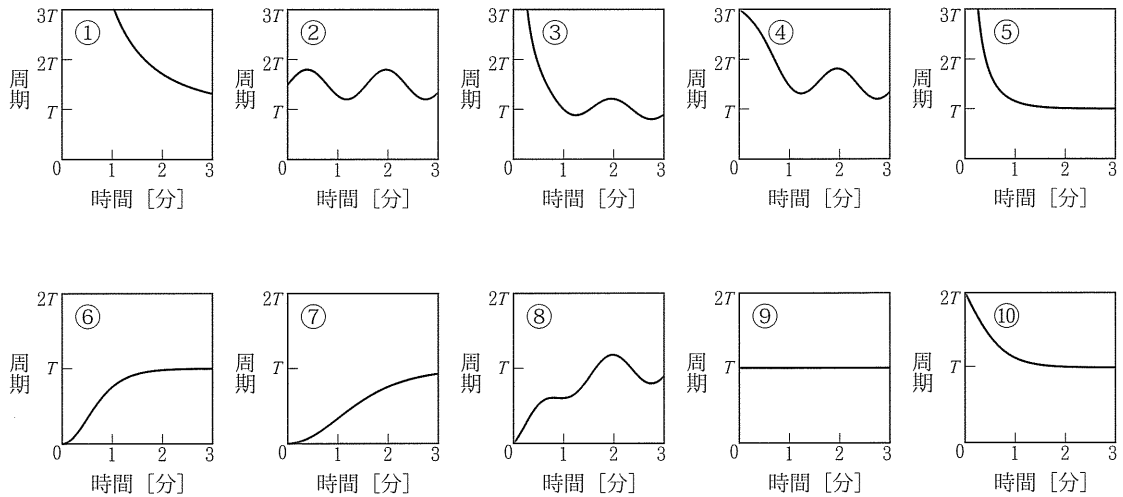


図2

(a) 質量 m の物体を落下させたところ、図1に示すように地上に対する物体の速さ v が変化する、十分に時間が経過した後、一定になった。この一定になった速さを求めよ。ただし、物体に対する空気抵抗の大きさは k を比例定数として、 kv^2 とする。

(b) 図2に示すように、物体は密閉容器になっており、地上での周期 T の単振り子を内部に取り付け、図2の状態から(a)と同様に落下させた。落下開始後における単振り子の周期を示す図として最も適切なものを解答群から選び、番号で答えよ。ただし、物体の質量は単振り子の質量より十分に大きく、落下の加速度変化は十分に緩やかとする。

解答群



問4 以下の文章の ①, ④, ⑤ に適切な数値, ② に元素記号, ③ に数式を答えよ。

^{210}Po 原子核は半減期138日で α 崩壊し、 Pb 原子核になる。この Pb 原子核の質量数は ① で、 α 粒子の正体は ② 原子核である。

α 粒子の運動エネルギー E , α 粒子の質量 m , Pb 原子核の質量 M を用いると、 α 崩壊後の Pb 原子核の運動エネルギーは ③ である。ただし、 ^{210}Po は静止した状態で崩壊し、崩壊後の α 粒子と Pb 原子核の運動量の和はゼロであり、各原子核の質量の比は質量数の比とする。 α 粒子の運動エネルギーを5.3MeVとすると、③は ④ MeVとなる。

1.0GBqの ^{210}Po を厚さ0.20cmで質量12gのステンレス容器内に密閉した。この容器の温度は、3600秒間に ⑤ K上昇する。ただし、電気素量を $1.6 \times 10^{-19}\text{C}$, ステンレスの比熱を $0.60\text{ J}/(\text{g}\cdot\text{K})$, ^{210}Po 自身の熱容量は無視し、ステンレス容器の周囲は断熱されている。

II 図1のように, 間隔 L で平行に向かい合って置かれた2つの壁の間を, 質量 m の粒子が壁に対して垂直に往復運動している。粒子の質量は壁の質量より十分に小さく, 壁と粒子との衝突における反発係数は1 (弾性衝突) とし, 重力は無視する。

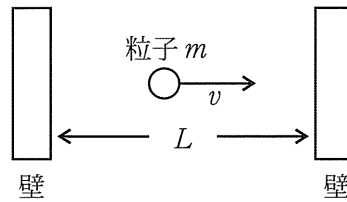


図1

- (a) 粒子の速さが v のとき, 時間 Δt の間に一方の壁に粒子が衝突する回数を求めよ。ただし, Δt の間の衝突回数は十分に多いとする。
- (b) (a) において, 粒子の衝突により壁が受ける平均の力の大きさを, L と粒子の運動エネルギー E を用いて表せ。

壁の間隔 L , 粒子の速さ v の状態から始めて, 時間 Δt の間, 一方の壁を速さ w ($w > 0$) でゆっくりと他方の壁に $\Delta L = w\Delta t$ だけ近づけ, 壁の間隔を L から $L - \Delta L$ とする。この過程について解析する。ただし, w は v より十分に小さく, ΔL は L よりも十分に小さい。

- (c) 速さ v で動く粒子が速さ w で動く壁に衝突した。この1回の衝突後における粒子の速さを求めよ。
- (d) 時間 Δt の間に動いている壁に衝突する回数を近似的に (a) で求めた回数として, Δt 後の粒子の運動エネルギーの増加量 ΔE を ΔL , L , および速さ v の粒子の運動エネルギー E を用いて表せ。 w は十分に小さいとして w^2 の項は無視せよ。

次に, 粒子の物質波としての振る舞いが顕著になるような状況で, 壁の間に閉じ込められた粒子について考えよう。

- (e) 光に粒子としての性質があることを提唱した人物, および電子など質量を持つ粒子に波動性があることを提唱した人物の名前を答えよ。
- (f) 粒子の質量 m , 速さ v , プランク定数 h を用いて, 粒子の物質波の波長 λ を答えよ。

- (g) この粒子の物質波は、壁に対して垂直な向きに伝わる波として振る舞い、壁の面で節となるような定在波をつくる。定在波の腹の数を $n (= 1, 2, 3, \dots)$ として、 λ を n, L を用いて表せ。以後、 n を量子数とよぶ。
- (h) 粒子の物質波としての振る舞いが顕著なときにおいても、粒子の運動エネルギーは速さ v を用いて、 $\frac{1}{2}mv^2$ である。量子数 n の状態における粒子の運動エネルギー E_n を n, m, L, h を用いて表せ。
- (i) 壁の間隔をゆっくりと変化させる場合、動かす前の量子数の状態を保ち、量子数の異なる状態には移らない。外から力を加えて壁の間隔をゆっくりと変えたときの外力による仕事が全て粒子の運動エネルギーになるとして、量子数 n の状態において粒子が壁に及ぼす力 f_n の大きさを E_n, L を用いて表せ。 x が実数で u の大きさが 1 より十分に小さいとき成立する近似式、 $(1 + u)^x \doteq 1 + ux$ を用いよ。

III

問1 帯電した単体の導体における電場と電位の特徴について簡潔に述べよ。

平行板コンデンサーと同様に単体の導体は電荷を蓄えるが、外部に電場を作るので導体に接触していなくても周囲の物体の影響を受けて電位や電荷分布が変化する。以下の問では周囲の物体の影響を無視する。また、導体の電位は無限遠を基準とした値で定義し、接地点の電位をゼロ、真空の誘電率を $\epsilon_0 = 9.0 \times 10^{-12} \text{ F/m}$ とする。

問2 (a) 以下の文章の空欄に入る適切な数式を解答群から選び番号で答えよ。

真空中において、半径 R の導体球に正電荷 Q を蓄えたとき、球の中心から $r (r \geq R)$ の位置に生じる電場は、導体球の代わりに導体球の中心位置に電荷量 Q の点電荷がある場合に等しく、この電場の大きさは ㉞ であり、導体球の電位 V は ㉝ である。 Q と V の関係を $Q = CV$ として表すと、 $C = \text{㉟}$ となる。 C を導体球の電気容量とよぶ。

解答群

- ① $\frac{Qr}{4\pi\epsilon_0}$ ② $\frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r}$ ③ $\frac{Q}{4\pi\epsilon_0 Rr}$ ④ $\frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$ ⑤ $\frac{QR}{4\pi\epsilon_0}$
 ⑥ $\frac{Q}{4\pi\epsilon_0 R}$ ⑦ $\frac{Q}{4\pi\epsilon_0 R^2}$ ⑧ $4\pi\epsilon_0 R^2$ ⑨ $4\pi\epsilon_0 R$ ⑩ $\frac{1}{4\pi\epsilon_0 R}$

(b) 以下の空欄に入る数値を有効数字2桁で答えよ。

半径 0.40 m の導体球の電気容量は ㉚ pF (p:ピコ) であり、この導体球の電位 V が 5000 V のとき、導体球に蓄積される電荷は ㉛ C、導体球の静電エネルギー ($= \frac{1}{2} CV^2$) は ㉜ J である。

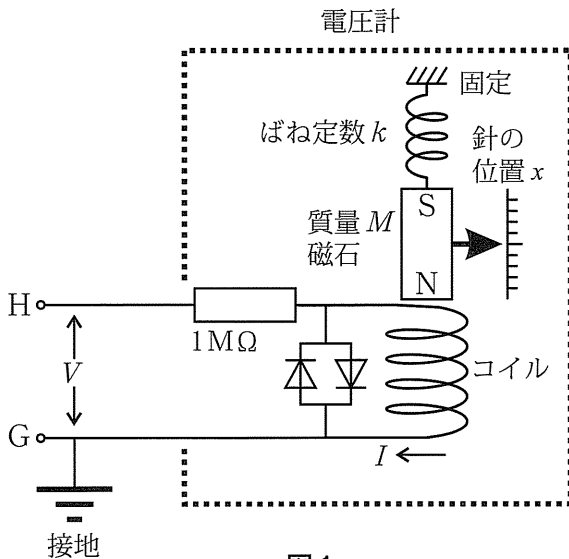


図1

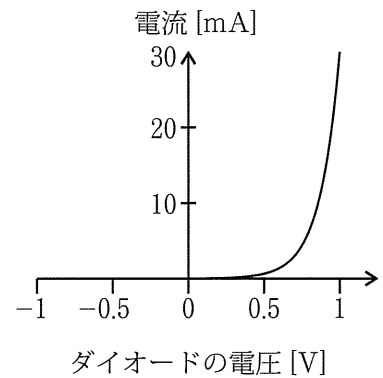


図2

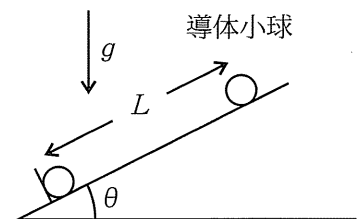


図3

問3 乾燥した冬にセーターを脱いだ後、ドアノブなどの導体に触れると火花が飛ぶことがある。

- (a) 乾燥した場所でセーターを脱ぐことにより人体に電荷が蓄積する理由について簡潔に述べよ。

以下では、人体を半径0.40mの導体球で近似して、人体の電位測定を検討する。

- (b) 図1の点線で囲んだ電圧計について考える。この電圧計の測定値を示す針は磁石に取り付けてあり、銅線を巻いたコイル（直流抵抗1kΩ、コイル電流 I を求めるとき自己インダクタンスは無視）に電流 I を流した時に生じる磁場が磁石に作用する力と、磁石に取り付けたばね（ばね定数 k ）の復元力が釣り合う位置 x で針が空気抵抗により静止し、 a を比例定数とすると、 $x = aI$ の関係がある。コイルに1MΩの抵抗を直列に接続し、測定電圧を V とすれば、 $x \doteq a \frac{V[\text{V}]}{1 \times 10^6 [\Omega]}$ となり、 x から V が求まる。ただし、磁石を含め可動部質量 $M = 0.001 \text{ kg}$ 、 $k = 1 \text{ N/m}$ 、 $a = 10 \text{ m/A}$ 、コイルにはダイオード（特性は図2参照）が接続され、電流 I が1mAまでコイルは破損しない。

この方法で、乾電池（1.5V程度、H-G間に接続）の電圧測定は可能である。このような電圧計を用いた人体の電位測定について考察せよ。ただし、人体の電位は5000V程度を想定する。

ヒント：人体の代わりに、人体と同じ電気容量の平行板コンデンサーを人体の電位と同じ電圧で充電し、H-G間に接続した場合と同等。

- (c) 図3に示す別な方法で人体の電位を測定しよう。2個の導体小球（半径 r 、質量 m ）を角度 θ の斜面の上と下に置き、固定した。電位 V の人がそれぞれの導体小球に触れたところ、両球とも人体と同電位になった。その後、上の導体小球の固定を解除したところ、ゆっくりと斜面を下り、2球の中心間距離が L のところまで静止した。 V 、 m 、 r 、 ε_0 、 θ 、および重力加速度 g を使って L を表せ。ただし、 L は r より十分に大きく、 r は0.4mより十分に小さく、斜面に摩擦は無く、斜面は電荷や電場に影響を与えない。また、導体小球が外部に作る電場や、外部からの電場により受ける力を求める際には導体小球が持つ電荷と同じ電荷量の点電荷が導体小球の中心にあるとみなす。

- (d) $m = 6.3 \times 10^{-6} \text{ kg}$ 、 $r = 5.0 \text{ mm}$ 、 $\theta = 30^\circ$ 、 $V = 5000 \text{ V}$ 、 $g = 9.0 \text{ m/s}^2$ として、 L の値を求めよ。