



2020 年度 杏林大学

【 講 評 】

どれも基本的な問題である。例年より典型的で易しい問題が多くなり、かなりの高得点争いとなったことが予想される。

ⅠⅡは小問集合。どれも非常に基本的であり、落とせない。数値的な計算が多いので、気をつけて計算しなければならない。

Ⅲは力学の総合的な問題。やや設定が入り組んでいるが、要素に分解すると一つ一つは単純である。定性的な議論も用いて素早く解答したい。

Ⅳはコイルの性質と回路中のコイルに関する問題。面倒な計算もなく、典型的。

【 解 答 ・ 解 説 】

Ⅰ

解答

ア	2	イ	0	ウ	1	エ	7	オ	4
カ	2	キ	7	ク	5	ケ	1	コ	5
サ	2	シ	2	ス	3	セ	0	ソ	5

解説

(1) 鉛直上方向に地面を基準にして y 軸をとると、 y 方向の初速は $9.8 \sin 30^\circ = 4.9$ [m/s] だから、時間 t に対して $y = 9.8 + 4.9t - 4.9t^2$ [m] である。 $y = 0$ を $t > 0$ の条件の下で解くと、落下する時刻は $t = 2.0$ [s] である。また、水平方向には初速 $9.8 \cos 30^\circ = 4.9\sqrt{3}$ [m/s] で等速運動するので、落下するまでに $4.9\sqrt{3} \times 2.0 \doteq 17$ [m] 移動する。最高点に達したとき、時刻は $t = 0.5$ [s] であるから、そこまでの水平移動距離は $4.9\sqrt{3} \times 0.5 \doteq 4.2$ [m] である。

(2) (a) 温度変化によって、アルミの容器が失った熱量と水が得た熱量が等しいという式を立てると、最終的な温度が t [°C] であるとして、

$$4200 \times 0.90 \times (80 - t) = 90 \times 4.2 \times (t - 20)$$

より、 $t \doteq 75$ [°C] である。

(b) 1 [K] で 1.7×10^{-5} の割合だけ伸びるから、30 [m] の銅の棒の温度を 30 [K] だけ上昇させれば、 $30 \times 30 \times 1.7 \times 10^{-5} \doteq 1.5 \times 10^{-2}$ [m] だけ伸びる。

(3) 点 O から x だけ離れた位置での隙間の厚さは $\frac{D}{L} x$ である。よって経路差はその 2 倍の $\frac{2D}{L} x$ である。反射による位相のずれも考慮すると、0 以上の整数 m を用いて、明線条件は $\frac{2D}{L} x = \left(m + \frac{1}{2}\right) \lambda$ となる。よって、

明線間隔は $\frac{L\lambda}{2D}$ であり、これに問題文の値を代入すると、 $D = 3.0 \times 10^{-5}$ [m] となる。

II

解答

ア	2	イ	7	ウ	3	エ	1	オ	4
カ	3	キ	1	ク	8	ケ	2	コ	2
サ	4	シ	1	ス	0	セ	2	ソ	6
タ	3	チ	1	ツ	4	テ	0		

解説

(1) 点 O では、点 P, Q からそれぞれ $k_0 \frac{q}{r^2}$ の右向き方向の電場が加わるので、 $2k_0 \frac{q}{r^2} = 2.7 \times 10^3 [\text{N/C}]$ の電場が生じる。点 A では、点 P, Q からの距離が $\frac{5}{4}$ 倍になり、(y 成分は打ち消し合って)x 成分を取り出すと電場は全体の大きさの $\frac{4}{5}$ 倍になることから、 $\frac{2.7 \times 10^3}{(1.25)^2} \times 0.8 \approx 1.4 \times 10^3 [\text{N/C}]$ となる。

また、 $V = k_0 \frac{q}{r}$ によって点 B, O にできる電位を考えると、点 P からの寄与は変わらないが、点 Q からの寄与が点 B では ($r = 0.60 [\text{m}]$ より) $9.0 \times 10 [\text{V}]$ 、点 B では ($r = 0.20 [\text{m}]$ より) $2.7 \times 10^2 [\text{V}]$ であるから、その差は $1.8 \times 10^2 [\text{V}]$ である。

(2) 電子波の波長は $\frac{h}{mv} \approx 2.4 \times 10^{-10} [\text{m}]$ である。

また、この加速に必要なエネルギーは、 $\frac{1}{2} mv^2 \approx 26 [\text{eV}]$ だから、必要な加速電圧は $26 [\text{V}]$ である。

(3) 反応の前後で質量数の和と原子番号の和は保存するから、質量数は 3、原子番号は 1 である。また、重水素の結合を切るときには、核子が 4 個であるから $1.1 \times 4 = 4.4 [\text{MeV}]$ 必要であり、X の結合により $2.8 \times 3 = 8.4 [\text{MeV}]$ が放出されるから、差し引き $4.0 [\text{MeV}]$ が放出される。

III

解答

ア	1	イ	2	ウ	1	エ	9	オ	5
カ	8	キ	1	ク	4	ケ	2	コ	4
サ	3	シ	3	ス	3				

解説

(a) 一様な棒では、重心は中心の位置にあるので、重心と点 O の距離は $\frac{1}{2}L$ である。
 また、 T に垂直な方向における O への距離は $L \sin \theta$ であるから、張力による点 O の周りの力のモーメントは反時計回り方向に $TL \sin \theta$ である。棒が静止しているとき、重心の点 O の周りのモーメントの大きさは時計回り方向に $\frac{1}{2}Mg \cos \theta$ であるから、点 O まわりのモーメントのつり合いより、 $TL \sin \theta = \frac{1}{2}Mg \cos \theta$ となり、

$$T = \frac{1}{2 \tan \theta} Mg \text{ がわかる。}$$

(b) 台車及び棒は動かないので、初め小球が持っていた位置エネルギーはすべて小球の運動エネルギーとなる。点

P と点 A の高さの差は $h \cos \theta$ であるから、 $mgh \cos \theta = \frac{1}{2}mV_P^2$ となり、 $V_P = \sqrt{2gh \cos \theta}$ がわかる。

また、点 P での円運動の向心力は、円運動の運動方程式より $m \frac{V_P^2}{h}$ である。これが垂直抗力と重力の合力の中心方向成分に一致するから、

$$m \frac{V_P^2}{h} = 2mg \cos \theta = N - mg \cos \theta$$

となり、 $N = 3mg \cos \theta$ である。

台車が剛体棒を左に向かって押す力を F とすると、 $F = N \sin \theta = 3mg \cos \theta \sin \theta$ である。この力が最大となったときに、糸の張力は最小となる。 $\cos \theta \sin \theta = \frac{1}{2} \sin 2\theta$ だから、 F は $\theta = \frac{\pi}{4}$ で最大となる。

(c) 台車が動き始める前後で、水平方向には内力のみが働くので、水平方向の運動量は保存される。一方、非弾性衝突を起こしているので、力学的エネルギーは保存されない。

衝突の前後の運動量保存の式を立てると、 $mV_B = 4mV_D$ である。 $V_B = \sqrt{2gh}$ より、 $V_D = \frac{\sqrt{2}}{4} \sqrt{gh}$ である。

(d) 糸の張力 T は、(a),(b) の結果を用いて $T + F = \frac{1}{2 \tan \theta} Mg$ を満たす。 F の最大値は $\frac{3}{2} mg$ だから、

$\frac{3}{2} mg > \frac{1}{2 \tan \theta} Mg$ ならば糸がたるむ。よって、 $m_1 = 3 \tan \theta m$ である。

途中で糸がたるむと、台車が小球の反動を受けて動き、運動エネルギーを獲得する。よって、小球が獲得できる運動エネルギーが減るので、たるまなかった場合より点 B での速さは小さくなる。以上より、 $v_1 > v_2$ である。

IV

解答

ア	3	イ	8	ウ	6	エ	4	オ	1
カ	4	キ	3	ク	7	ケ	3	コ	7
サ	1	シ	3	ス	7	セ	9	ソ	7
タ	2	チ	5	ツ	8				

解説

(1) $d \gg a$ なるソレノイドであるから、内部の磁場は電流及び単位長さあたりの巻き数に比例し、 $H = \frac{N}{d} I$ である。

また、内部の磁束は $\mu_0 \frac{N}{d} \pi a^2 I$ であるから、自己インダクタンスは、 N 巻きであることより $\mu_0 \frac{N^2}{d} \pi a^2$ となる。

(2) 磁束密度 B は磁場に透磁率をかけたものであるから、 $B = \frac{\mu N_1}{d} I$ である。二次コイルを貫く磁束は $\frac{\mu N_1 S}{d} I$ であり、これと二次コイルの巻き数が N_2 であることから、相互インダクタンスは $\frac{\mu N_1 N_2 S}{d}$ である。

(3) (a) スイッチを閉じた直後は、コイルに電流は流れない。抵抗 R_1, R_2, R_3 を流れる電流を、時計回りを正の方向として I_1, I_2, I_3 とすると、キルヒホッフの法則より $I_1 + I_2 = I_3$ である。いま、 $I_1 = 0$ であることから、

$$I_2 = I_3 = E / (R + 3R) = \frac{E}{4R}$$

電流が一定になると、コイルにかかる電圧はゼロとなり、導線と同一視できる。このとき、 R_1, R_2 が並列であることから I_1, I_2 の電流は抵抗の逆比に比例し、 $I_1 = 3I_2$ である。これと $I_1 + I_2 = I_3$ および $RI_1 + RI_3 = E$

より、 $I_1 = \frac{3E}{7R}$ が得られる。点 b の電位は、 R_1 の電圧降下を考えれば、 $RI_1 = \frac{3}{7} E$ だけ点 c より高くなることが分かる。

(b) コイルに流れる電流は連続的に変化するので、スイッチを開いた直後に流れる電流は $\frac{3E}{7R}$ のままである。同

じ電流が抵抗 R_2 を点 c から点 b 方向に流れるので、その電圧降下を考えれば、点 b の電位は、 $\frac{9}{7} E$ だけ点 c より低くなることが分かる。

(c) コイルに流れる電流は連続的に変化する。 $t = 0$ で電流が 0 であり、そこから増加して、 $t = T$ から減衰することを考えればグラフは 5 番である。

また、コイルでは電流のグラフの傾きが電圧の大きさに比例することを考えれば、(向きに注意して) 電位差のグラフは 8 番である。

お問い合わせは ☎ 0120-302-872

<https://keishu-kai.jp/>