解答速報 物理

医学部受験専門予備校 慧修会

2022 年度　東京医科大学

【 講 評 】

問題の内容自体は例年通り典型的なものが多いが、数値計算の量が減り、解きやすくなった。完答も可能な計算量であろう。8 割程度確保したい。

第 1 問 は斜面の関わる単振動の問題。愚直に運動方程式を書き下すと時間がかかってしまう。定性的な議論により素早く解答したい。

第 2 問 は摩擦のある斜面の問題。他の問題と比べると多少処理が面倒だが、内容自体は至ってシンプルである。

第 3 問 は磁場中の荷電粒子の問題。磁場のある領域に対して斜めに入射しているが、接線の性質と対称性を意識すれば面倒な処理なく完答できる。

第 4 問 は交流回路の問題。苦手意識を持っている受験生が多い分野だが、内容自体は難しくないので、差がついた問題だろう。

第 5 問 は光の屈折の問題。非常に典型的であり、落とせない。

第 6 問 は球状容器内の気体分子運動論。昭和大学で類題が出題されている。

第 7 問 は核反応の問題。数値計算がやや面倒だが、典型的。

【 解 答 ・ 解 説 】

第 1 問

解答

1　⑥　　2　⑭　　3　①　　4　⑦

解説

1　糸の張力 T、バネの伸びを x とすると、物体 A の斜面方向、B の鉛直方向それぞれの力のつりあいは、

$$Mg\sin\theta = T,$$
$$mg + kx = T.$$

これから T を消去して、$x = (M\sin\theta - m)g/k$ を得る。

2　物体 A と B を合わせた系について、質量は $M + m$ であり、ばね以外の外力は位置によって変化することがないため、角振動数は $\sqrt{k/(M+m)}$ である。

3　振幅は d であるから、求める速さの最大値はこれと角振動数の積であり、$d\sqrt{k/(M+m)}$ である。

4　斜面方向上向きの最大の加速度は、角振動数の二乗と振幅の積で $kd/(M+m)$ である。物体 A の運動方程式から、この加速度が生じるときの張力 T は、

$$T - Mg\sin\theta = M\cdot\frac{kd}{M+m},$$

を満たすことから、$T = Mg\sin\theta + kMd/(M+m)$ である。

第 2 問

解答

5 ⑥　6 ⑤　7 ⑨　8 ②　9 ⑦

解説

5　エネルギーと仕事の関係より、点 P でのエネルギーと点 O でのエネルギーの差が摩擦のした（負の）仕事であるので、垂直抗力が $mg\cos\theta$ であることに注意すると、

$$\left(\frac{1}{2}\,mv^2+mg\ell\sin\theta\right)-\frac{1}{2}\,mv_0^2=-\mu' mg\ell\cos\theta.$$

これより、$v=\sqrt{v_0^2-2g\ell(\sin\theta+\mu'\cos\theta)}$ である。

6　前問で $v\to 0$ および $\ell\to L$ の置き換えをすると、

$$L=\frac{v_0^2}{2g(\sin\theta+\mu'\cos\theta)}.$$

7　斜面方向の下向き加速度 a は、運動方程式より $a=g\sin\theta+\mu' g\cos\theta$ である。物体は加速度 a の等加速度運動をすることから、求める時間 t は $v_0=at$ を満たし、$t=v_0/g(\sin\theta+\mu'\cos\theta)$ である。

8　斜面方向の下向き加速度 a' は、運動方程式より $a'=g\sin\theta-\mu' g\cos\theta$ である。物体は加速度 a' の等加速度運動をすることから、求める時間 t' は $L=a't'^2/2$ を満たし、

$$t'=\sqrt{\frac{2L}{a'}}=\frac{v_0}{g\sqrt{\sin^2\theta-\mu'^2\cos^2\theta}}.$$

9　等加速度運動なので、求める速さは、

$$a't=\sqrt{\frac{\sin\theta-\mu'\cos\theta}{\sin\theta+\mu'\cos\theta}}\;v_0.$$

第 3 問

解答

10 ②　11 ⑩　12 ③　13 ④

解説

10　荷電粒子の入射速度の x,y 成分はそれぞれ $v_0\cos\theta,\ v_0\sin\theta$ であるから、ローレンツ力の x,y 成分はそれぞれ $qv_0B\sin\theta,\ -qv_0B\cos\theta$ である。

11　この円運動の半径 r は、円運動の運動方程式 $mv^2/r=qvB$ より、$r=mv_0/qB$ である。円運動の中心を C とおくと、OC と入射速度は直交するため、x 正方向と OC のなす角は $-(\pi/2-\theta)$ である。よって、求める射出位置の y 座標は、$-2r\sin(\pi/2-\theta)=-2mv_0\cos\theta/qB$ である。

12　対称性より、入射点と射出点で、速度の x 成分は反転、y 成分はそのままなので、それぞれの速度成分は $-v_0\cos\theta,\ v_0\sin\theta$ である。

13　位置の x 成分の最大値は $r(1+\cos(\pi/2-\theta))$ であるとわかる。これが d より大きくなる条件は、$r>d/(1+\sin\theta)$、すなわち $v_0>qBd/m(1+\sin\theta)$ である。

第 4 問

解答

14 ⑬　15 ③　16 ⑦　17 ④

解説

14　回路のインピーダンスは $\sqrt{R^2+(1/2\pi fC)^2}$ であるので、実効値についての回路方程式

$$E=\sqrt{R^2+\left(\frac{1}{2\pi fC}\right)^2}\,I,$$

より、$C=I/2\pi f\sqrt{E^2-R^2I^2}$ である。

15　この回路のうち、電力を消費するのは抵抗のみである。抵抗にかかる電圧の実効値は RI なので、消費電力の平均は RI^2 である。

16　コンデンサーが電圧 V_0 で充電されるので、電気量は CV_0 である。

17　この共振回路の周期は $2\pi\sqrt{LC}$ であるので、電流の大きさがはじめて最大になるまでの時間は周期の 1/4 で、$(\pi/2)\sqrt{LC}$ である。

第 5 問

解答

18 ⑯　19 ⑪　20 ⑧

解説

18　点 P での屈折角 φ とすると、屈折の法則より、

$$n_1\sin\theta_1=n_2\sin\varphi,$$
$$n_2\cos\varphi=n_3\sin\theta_2=n_1\sin\theta_3.$$

よって、φ を消去して、$\sin\theta_2=\sqrt{n_2^2-n_1^2\sin^2\theta_1}/n_3$ である。

19　屈折の法則の式に前問の答えを代入し、$\sin\theta_3=\sqrt{n_2^2-n_1^2\sin^2\theta_1}/n_1$ を得る。

20　$\sqrt{n_2^2-n_1^2\sin^2\theta_c}/n_1=1$ より、$\sin\theta_c=\sqrt{n_2^2-n_1^2}/n_1$ である。

第 6 問

解答

21 ⑮　22 ⑧　23 ①　24 ⑪

解説

21　分子の半径方向の運動量成分が $2mv\cos\theta$ だけ変わり、接線方向の成分は変化しないので、力積の大きさは $2mv\cos\theta$ である。

22　衝突点同士の距離は $2r\cos\theta$ であるから、衝突の時間間隔は $2r\cos\theta/v$ である。よって、単位時間あたりの衝突回数はその逆数で $v/2r\cos\theta$ である。

23　時間 t の間の衝突回数は $vt/2r\cos\theta$ であるから、与える力積の大きさの和は、一回の衝突で与える力積と衝突回数の積で mv^2t/r である。

24　単位時間あたりに容器が受ける力積の大きさの和は $Nm\overline{v^2}/r$ であり、これが容器が受ける力 $p\cdot4\pi r^2$ に等しい。よって、$\overline{v^2}=4\pi r^3p/mN$ である。

第 7 問

解答

25 ⑬　26 ⑫　27 ⑤

解説

25　$1\ \mathrm{u}=1.49\times10^{-10}\ \mathrm{J}=(1.49\times10^{-10})\times10^{-6}/(1.60\times10^{-19})\ \mathrm{MeV}\fallingdotseq 931\ \mathrm{MeV}$ である。
核反応式より、放出されたエネルギー ε とすると、単位 u で $13.99923+1.00866=13.99995+1.00728+\varepsilon$ であるから、$\varepsilon=0.00066\ \mathrm{u}\fallingdotseq 0.61\ \mathrm{MeV}$ である。

26　運動量保存則より、反応後の運動量の大きさは二粒子で一致する。運動エネルギーは (運動量の二乗)/(質量) に比例するので、反応後の運動エネルギーの比は質量の逆比となる。よって、水素の原子核の運動エネルギーは、$0.61\times14/15\fallingdotseq 0.57\ \mathrm{MeV}$ である。

27　半減期 T とすると、求める時間を t とすれば、$(1/2)^{t/T}=4/5$ であるので、$(t/T)\log_{10}(1/2)=\log_{10}(4/5)$ である。よって、$t=T/3=1.9\times10^3$ 年である。