理　科

（1～49ページ）

注　意

1．試験開始の合図があるまで，問題用紙を開いてはいけません。
2．この問題用紙には，次の３科目の問題が収められています。
　物　　理（1～15ページ）
　化　　学（16～29ページ）
　生　　物（30～49ページ）
3．３科目の中から，医学部出願者は２科目，その他の出願者は１科目を選択し，解答は解答用紙にマークしなさい。解答用紙は３科目共通です。
4．解答用紙に受験番号・氏名・選択科目を記入しなさい。
　受験番号と選択科目は，下記の「受験番号欄記入例」「選択科目欄記入例」に従って正確にマークしなさい。
5．試験時間は **60分（２科目受験者は１科目につき60分）** です。
6．試験開始後，問題用紙に不備(ページのふぞろい・印刷不鮮明など)があったら申し出なさい。
7．中途退出は認めません。試験終了後，問題用紙は持ち帰りなさい。

受験番号欄記入例・選択科目欄記入例

受	験	番	号	欄
H	5	7	0	9
Ⓐ	⓪	⓪	●	⓪
Ⓑ	①	①	①	①
Ⓒ	②	②	②	②
Ⓓ	③	③	③	③
Ⓔ	④	④	④	④
Ⓕ	●	⑤	⑤	⑤
Ⓖ	⑥	⑥	⑥	⑥
●	⑦	●	⑦	⑦
Ⓙ	⑧	⑧	⑧	⑧
Ⓚ	⑨	⑨	⑨	●
Ⓛ				
Ⓜ				
Ⓝ				
Ⓟ				
Ⓡ				
Ⓢ				
Ⓣ				
Ⓤ				
Ⓥ				
Ⓦ				
Ⓧ				

アルファベットと数字の位置に注意してマークしなさい
（アルファベットのI・O・Qはありません）

「物理」を選択した場合

選	択	科	目	欄
●	物			理
○	化			学
○	生			物

↑
解答する１科目に
必ずマークしなさい

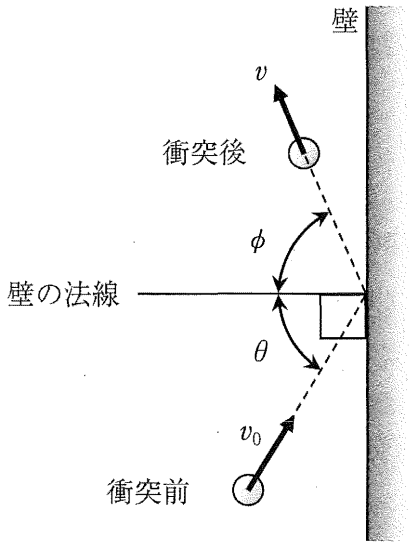
マーク式解答欄記入上の注意

1．解答は，ＨＢの黒鉛筆を使用して丁寧にマークしなさい。
《マーク例》
　良い例 ●
　悪い例 ◍ ◔ ⊗ ◌ ○
2．訂正する場合は，プラスチック消しゴムで，きれいにマークを消し取りなさい。
3．所定の記入欄以外には，何も記入してはいけません。
4．解答用紙を汚したり，折り曲げたりしてはいけません。

物　　理

この問題はⅠからⅤまであります。解答用紙には問題番号が 1 から 50 までですが，**解答に使用する問題番号は 1 から 25 までです。**

Ⅰ　なめらかな水平面上を運動する小球を壁と衝突させた場合のはねかえり方について考える。下図は衝突の様子を上から見たものである。小球の質量を m，衝突前の小球の速さを v_0，衝突後の小球の速さを v，衝突前の小球の進行方向が壁の法線となす角を θ，衝突後の小球の進行方向が壁の法線となす角を ϕ とする。また，小球と壁との間のはねかえり係数を e とし，空気抵抗および水平面と小球の間の摩擦は無視できるものとする。



次の各問いについて，それぞれの**解答群**の中から最も適切なものを一つ選び，解答欄の数字にマークしなさい。

はじめに，小球と壁の間に働く摩擦力を無視できる場合について考える。この場合，小球の速度の壁に対して平行な成分は向きも大きさも変化しないが，壁に対して垂直な成分は向きが逆向きになり，大きさが e 倍となる。

（1） 衝突後の小球の速度の壁に対して平行な成分の大きさ $v_{/\!/}$ と，壁に対して垂直な成分の大きさ $v_{\perp}$ の組合わせとして最も適当なものを一つ選べ。 1

1 の解答群

① $v_{/\!/} = v_0 \sin\theta$，$v_{\perp} = ev_0 \cos\theta$　　② $v_{/\!/} = v_0 \cos\theta$，$v_{\perp} = ev_0 \sin\theta$

③ $v_{/\!/} = v_0 \sin\theta$，$v_{\perp} = \dfrac{1}{e} v_0 \cos\theta$　　④ $v_{/\!/} = v_0 \cos\theta$，$v_{\perp} = \dfrac{1}{e} v_0 \sin\theta$

⑤ $v_{/\!/} = \dfrac{1}{e} v_0 \sin\theta$，$v_{\perp} = v_0 \cos\theta$　　⑥ $v_{/\!/} = \dfrac{1}{e} v_0 \cos\theta$，$v_{\perp} = v_0 \sin\theta$

（2） 摩擦力を無視できる場合の $\tan\phi$ を求めよ。 2

2 の解答群

① $e \sin\theta$　　② $e \cos\theta$　　③ $e \tan\theta$

④ $\dfrac{1}{e} \sin\theta$　　⑤ $\dfrac{1}{e} \cos\theta$　　⑥ $\dfrac{1}{e} \tan\theta$

次に，小球と壁の間に働く摩擦力が無視できない場合について考える。この場合，衝突時に壁に対して平行な方向に摩擦力が働くため，小球の速度の壁に対して平行な成分の大きさも変化する。ここで，衝突時に小球が壁から受ける，壁に対して平行な方向の力積の大きさは，壁に対して垂直な方向の力積の大きさの $\dfrac{1}{2}$ 倍になるとする。また，$\theta = 45°$，はねかえり係数を $e = \dfrac{1}{2}$ とする。

（3） 衝突時に小球が壁から受ける，壁に対して垂直な方向の力積の大きさを求めよ。 3

3 の解答群

① $\dfrac{\sqrt{2}}{8} mv_0$　　② $\dfrac{\sqrt{2}}{4} mv_0$　　③ $\dfrac{1}{2} mv_0$

④ $\dfrac{3\sqrt{2}}{8} mv_0$　　⑤ $\dfrac{3\sqrt{2}}{4} mv_0$　　⑥ $\dfrac{3}{2} mv_0$

（4） 衝突後の小球の速度の壁に対して平行な成分の大きさ $v_{/\!/}$ を求めよ。 4

4 の解答群

① $\dfrac{\sqrt{2}}{8} v_0$　　② $\dfrac{1}{4} v_0$　　③ $\dfrac{3}{8} v_0$

④ $\dfrac{1}{2} v_0$　　⑤ $\dfrac{3\sqrt{2}}{8} v_0$　　⑥ $\dfrac{5\sqrt{2}}{8} v_0$

（5） 摩擦力が無視できない場合の $\tan\phi$ の値を求めよ。 5

5 の解答群

① $\frac{1}{4}$　② $\frac{\sqrt{2}}{4}$　③ $\frac{1}{2}$

④ $\frac{\sqrt{2}}{2}$　⑤ $\frac{3}{4}$　⑥ $\frac{3}{2}$

Ⅱ　図1のように，断面積 S，長さ l の容器Aと，なめらかに動くピストンによって容積を自由に変えることができる断面積 S の容器Bが細い管で接続されている。細い管には自由に開閉できる栓が設けてあり，容器，ピストン，細い管および栓は断熱材でできている。また容器Bには大きさおよび熱容量の無視できる温度調節器が取り付けられていて，内部の気体に熱を加えることができる。ただし，細い管の体積は無視できるものとし，栓が閉じている場合，容器Aおよび容器Bの気体はお互いに影響を与えないものとする。温度調節器はピストンの動きを妨げないものとする。ピストンの右側は一定の圧力 p_0 の外気に接している。また，気体定数を R とし，実験に使用する理想気体の定積モル比熱を $\frac{3}{2}R$ とする。

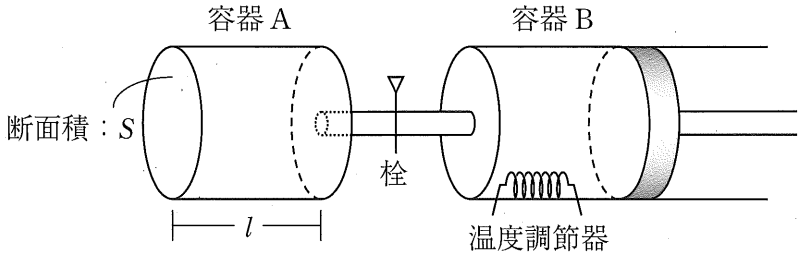


図1

次の各問いについて，それぞれの**解答群**の中から最も適切なものを一つ選び，解答欄の数字にマークしなさい。

はじめに，容器Aに圧力が p_0，温度が T_0 の理想気体を封入し栓を閉じる。その後，容器Bの内部を真空にして，容積が Sl となる位置でピストンを固定する。その状態で栓を開き十分に時間が経過すると，気体は容器Aと容器B全体に均一にひろがった。この状態を状態Ⅰとする。

（1）　状態Ⅰにおける，気体の温度を求めよ。 6

6 の解答群

① $\frac{1}{4}T_0$　② $\frac{1}{2}T_0$　③ T_0

④ $\frac{3}{2}T_0$　⑤ $2T_0$　⑥ $\frac{5}{2}T_0$

（2）　状態Ⅰにおいて，容器Bに存在する気体の物質量を求めよ。 7

7 の解答群

① $\frac{p_0Sl}{4RT_0}$　② $\frac{p_0Sl}{2RT_0}$　③ $\frac{p_0Sl}{RT_0}$

④ $\frac{3p_0Sl}{2RT_0}$　⑤ $\frac{2p_0Sl}{RT_0}$　⑥ $\frac{5p_0Sl}{2RT_0}$

次に，状態Ⅰから細い管に取り付けられた栓を閉じた後，ピストンを固定したまま温度調節器で容器Bに存在する気体の圧力がp_0になるまで加熱した。この状態を状態Ⅱとする。続いて，ピストンを自由に動けるようにしてから，図2のように容器Bの容積が$2Sl$となる位置まで容器Bの気体を温度調節器で加熱し，その後ピストンを固定した。この状態を状態Ⅲとする。

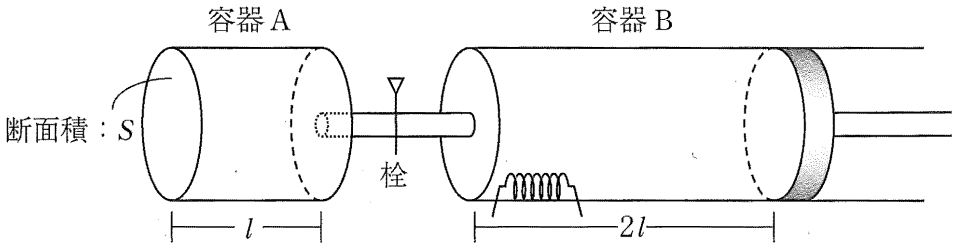


図2

（3） 状態Ⅰから状態Ⅱまでの間に容器Bに存在する気体が吸収した熱量を求めよ。 8

8 の解答群

① $\frac{1}{2}p_0Sl$　② $\frac{3}{4}p_0Sl$　③ p_0Sl

④ $\frac{5}{4}p_0Sl$　⑤ $\frac{3}{2}p_0Sl$　⑥ $\frac{5}{2}p_0Sl$

（4） 状態Ⅲにおいて，容器Bに存在する気体の温度を求めよ。 9

9 の解答群

① $\frac{1}{2}T_0$　② T_0　③ $\frac{3}{2}T_0$

④ $2T_0$　⑤ $\frac{5}{2}T_0$　⑥ $4T_0$

次に，状態Ⅲから細い管に取り付けられた栓を開き十分に時間が経過すると，気体は容器Aと容器B全体に均一にひろがった。この状態を状態Ⅳとする。

（5） 状態Ⅳにおける，気体の温度を求めよ。 10

10 の解答群

① $\frac{1}{2}T_0$　② T_0　③ $\frac{3}{2}T_0$

④ $2T_0$　⑤ $\frac{5}{2}T_0$　⑥ $4T_0$

Ⅲ　図1のように，一方が平面で他方が半径 R の球面の一部になっている平凹レンズを水平な床の上に置き，少量の液体を入れた。レンズ中央における液体の深さを d とする。図2は液面付近を拡大したものである。レンズの上方から空気中の波長 λ の単色光を液面に対して垂直に入射させ，レンズの上方から観察すると，液面で反射する光とレンズの上面で反射する光が干渉して，レンズの中央付近が暗点となり，暗点を中心とする同心円状の明環，暗環が見られた。空気の屈折率は1.0，レンズの屈折率は1.7，液体の屈折率は1.5とする。また，R は d に比べて十分大きいとし，液体の表面張力はなく，液面は完全に水平を保つものとする。

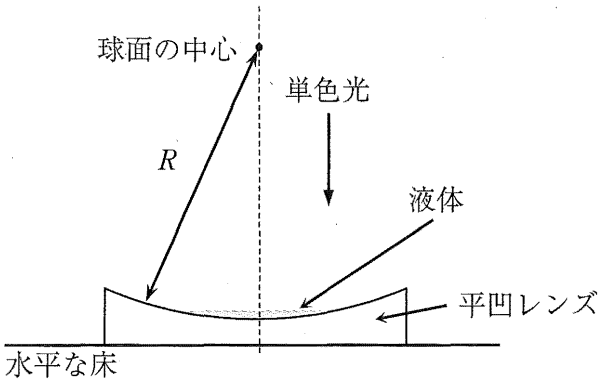


図1

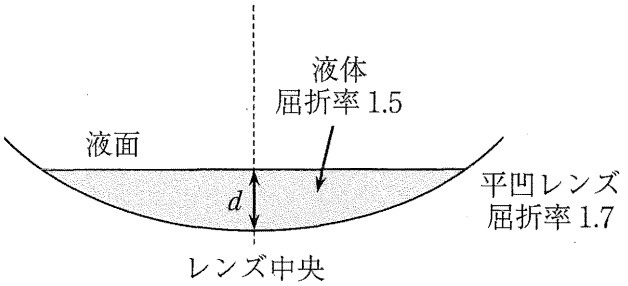


図2

次の各問いについて，それぞれの**解答群**の中から最も適切なものを一つ選び，解答欄の数字にマークしなさい。

（1）　レンズ中央付近において，液面で反射する光とレンズの上面で反射する光の光路差を求めよ。 11

11 の解答群

① d　　② $1.5d$　　③ $1.7d$

④ $2d$　　⑤ $3d$　　⑥ $3.4d$

（2） レンズ中央付近が暗点となることから，自然数 m を用いて，レンズ中央における液体の深さ d が満たす条件を求めよ。 12

12 の解答群

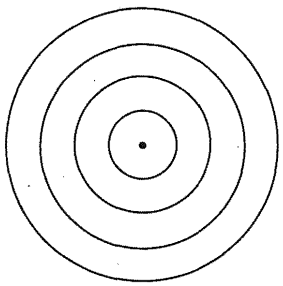
① $d = \left(m - \frac{1}{2}\right)\frac{\lambda}{3}$　② $d = \left(m - \frac{1}{2}\right)\frac{2\lambda}{3}$　③ $d = \left(m - \frac{1}{2}\right)\lambda$

④ $d = m\frac{\lambda}{3}$　⑤ $d = m\frac{2\lambda}{3}$　⑥ $d = m\lambda$

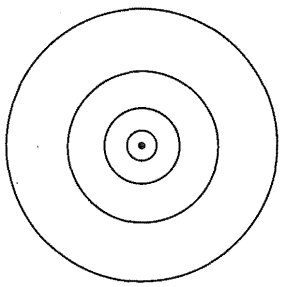
（3） レンズの上から見たときに，液面上に現れる暗点とレンズ中央に近い４つの暗環の様子を表した図として最も適当なものを一つ選べ。 13

13 の解答群

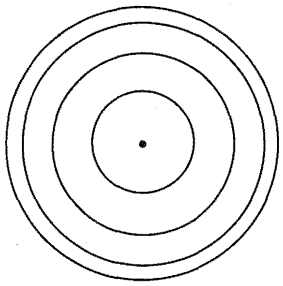
①



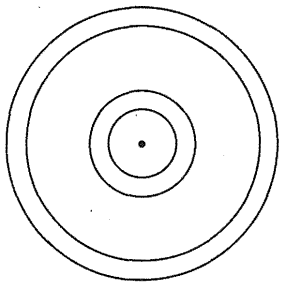
②



③



④



（4） レンズ中央の暗点を０番目として，外側に向かって１番目，２番目，… と暗環を数える場合，k 番目の暗環の半径を求めよ。ただし，必要であれば $|x|$ が１より十分小さいときに成り立つ近似式 $(1 + x)^n \fallingdotseq 1 + nx$ を用いてよい。 14

14 の解答群

① $\sqrt{\left(k - \frac{1}{2}\right)R\lambda}$　② $\sqrt{kR\lambda}$　③ $\sqrt{\left(k - \frac{1}{2}\right)\frac{2}{3}R\lambda}$

④ $\sqrt{\frac{2}{3}kR\lambda}$　⑤ $\sqrt{\left(k - \frac{1}{2}\right)3R\lambda}$　⑥ $\sqrt{3kR\lambda}$

（5） 液体を少しずつ追加していくと，液面上に暗環が5つになった。このときのレンズ中央における液体の深さ d' が満たすべき条件として最も適当なものを一つ選べ。 15

15 の解答群

① $\frac{3}{2}\lambda < d' \leqq \frac{11}{6}\lambda$　② $\frac{9}{4}\lambda < d' \leqq \frac{11}{4}\lambda$　③ $\frac{9}{2}\lambda < d' \leqq \frac{11}{2}\lambda$

④ $\frac{5}{3}\lambda < d' \leqq 2\lambda$　⑤ $\frac{5}{2}\lambda < d' \leqq 3\lambda$　⑥ $5\lambda < d' \leqq 6\lambda$

物理の試験問題は次へ続きます。

Ⅳ　図1のように鉛直下向き(紙面の表側から裏側の向き)で磁束密度の大きさが B の一様な磁場(磁界)中で，水平面上に十分長い2本の導体のレールが間隔 l で平行に置かれている。そのレールの左端には抵抗値 R の抵抗がつながれている。このレールの上におかれた質量 m の導体棒の運動について考える。導体棒は2本のレールに対して常に垂直を保ちながら，その上を左右になめらかに動くことができる。ここで，導体棒とレールの接点を図のようにP，Qとし，電流は導体棒をP→Qの向きに流れる場合を正とし，速度，加速度は水平右向きを正とする。また，導体棒とレールの間の摩擦，空気抵抗およびレールと導体棒の電気抵抗は無視できるものとし，棒とレールに流れる電流が作る磁場の磁束密度の大きさは B に比べ十分小さく無視できるものとする。

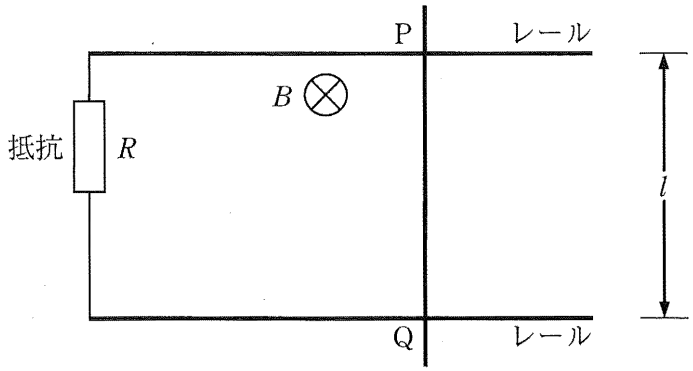


図1

次の各問いについて，それぞれの**解答群**の中から最も適切なものを一つ選び，解答欄の数字にマークしなさい。

はじめに，導体棒に水平右向きに一定の大きさ F の力を加えると，導体棒はレール上をすべりだし，しばらくして一定の速度 v_1 になった。

(1)　導体棒が一定の速度 v_1 で運動しているときに導体棒に流れる電流を求めよ。 16

16 の解答群

① $-\dfrac{v_1 B}{lR}$　② $-\dfrac{v_1 l}{BR}$　③ $-\dfrac{v_1 Bl}{R}$

④ $\dfrac{v_1 B}{lR}$　⑤ $\dfrac{v_1 l}{BR}$　⑥ $\dfrac{v_1 Bl}{R}$

(2)　速度 v_1 を求めよ。 17

17 の解答群

① $\dfrac{FBl}{R}$　② $\dfrac{FBl^2}{R}$　③ $\dfrac{FB^2l^2}{R}$

④ $\dfrac{FR}{Bl}$　⑤ $\dfrac{FR}{Bl^2}$　⑥ $\dfrac{FR}{B^2l^2}$

次に図2のように，導体棒をレールから取り除き，レールの左端の抵抗値 R の抵抗に，電気量 Q_0（$Q_0 > 0$）に帯電した電気容量 C のコンデンサーを直列に接続する。その後，導体棒をレールに対して常に垂直になるように静かに置くと導体棒はレール上をすべりだし，しばらくして一定の速度 v_2 になった。ただし，コンデンサーに蓄えられた電荷は，抵抗側につながれた極板を正とする。

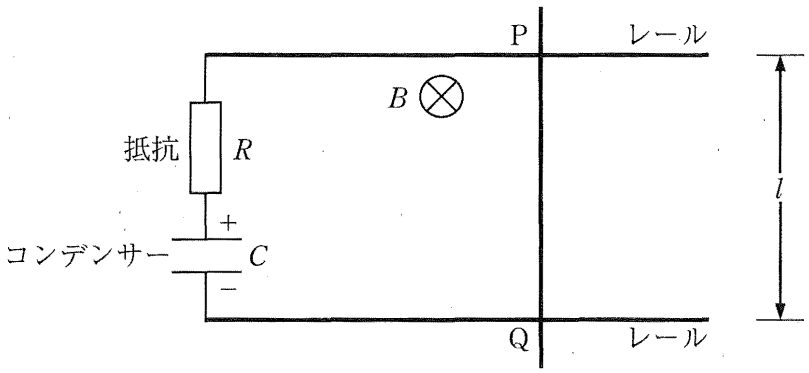


図2

（3） 導体棒が一定の速度 v_2 で運動しているときにコンデンサーに蓄えられている電気量 Q を求めよ。 18

18 の解答群

① 0　② $\dfrac{v_2Bl}{C}$　③ $\dfrac{v_2l}{CB}$

④ $\dfrac{C}{v_2Bl}$　⑤ $\dfrac{CB}{v_2l}$　⑥ Cv_2Bl

（4） 時間 Δt の間に，コンデンサーの電気量が ΔQ だけ変化した場合，導体棒を流れる電流は $I = -\dfrac{\Delta Q}{\Delta t}$ と表せる。また，導体棒の加速度を a とすると，導体棒の速度の変化量 Δv を用いて $a = \dfrac{\Delta v}{\Delta t}$ と表せる。導体棒の運動方程式とこれらの式を用いて，導体棒の速度が v_2 となるまでの，導体棒の速度の変化量 Δv あたりのコンデンサーの電気量の減少量 $-\dfrac{\Delta Q}{\Delta v}$ を求めよ。 19

19 の解答群

① $\dfrac{1}{mBl}$　② $\dfrac{B}{ml}$　③ $\dfrac{m}{Bl}$

④ $\dfrac{ml}{B}$　⑤ $\dfrac{Bl}{m}$　⑥ mBl

（5） 速度 v_2 を求めよ。 [20]

[20] の解答群

① $\dfrac{mBlQ_0}{1 + CB^2l^2}$　② $\dfrac{BlQ_0}{m + CB^2l^2}$　③ $\dfrac{mlQ_0}{B + mCBl^2}$

④ $\dfrac{BQ_0}{ml + CB^2l^2}$　⑤ $\dfrac{mQ_0}{(1 + mC)Bl}$　⑥ $\dfrac{Q_0}{(m + C)Bl}$

物理の試験問題は次へ続きます。

V　ウランを核燃料とする原子力発電所の原理について述べた次の文章を読み，続く各問いについて，それぞれの**解答群**の中から最も適切なものを一つ選び，解答欄の数字にマークしなさい。

天然にわずかに存在するウラン($^{235}_{92}\mathrm{U}$)を濃縮し，これに遅い中性子($^{1}_{0}\mathrm{n}$)を衝突させると，中性子を取り込んだ1つのウラン原子核がいくつかの原子核に分かれる反応を起こす。この反応を核分裂という。

核分裂反応の例　$^{235}_{92}\mathrm{U} + {}^{1}_{0}\mathrm{n} \rightarrow {}^{92}_{36}\mathrm{Kr} + {}^{a}_{b}\mathrm{Ba} + 3{}^{1}_{0}\mathrm{n}$

上記の例のように核分裂により，新たに中性子が生成される。この中性子を再びウランに吸収させることにより，原子炉内で次々と核分裂が起こることを（　ア　）という。原子力発電では，原子炉内で核分裂により発生した（　イ　）を利用してタービンを回し発電する。

（1）　上記の文章中の（　ア　）と（　イ　）に当てはまる語句の組合せとして最も適当なものはどれか。 21

21 の解答群

	（　ア　）	（　イ　）
①	放射性崩壊	電子
②	放射性崩壊	熱
③	連鎖反応	電子
④	連鎖反応	熱
⑤	臨界	電子
⑥	臨界	熱

（2）　上記の核分裂反応の例に示された原子核反応式中の a，b に当てはまる数値の組合せとして正しいものを一つ選べ。 22

22 の解答群

	a	b
①	140	54
②	140	56
③	141	54
④	141	56
⑤	143	54
⑥	143	56

（3） ${}^{235}_{92}\mathrm{U}$ の質量が 234.9935 u，${}^{1}_{0}\mathrm{n}$ の質量が 1.0087 u，${}^{92}_{36}\mathrm{Kr}$ と ${}^{a}_{b}\mathrm{Ba}$ の質量の和が 232.7901 u と分かっている。ここで u は統一原子質量単位を表し，1 u の質量をエネルギーに換算した量は 930 MeV である。これより，上記の核分裂の例に示された反応により放出されるエネルギーを求めよ。 23 MeV

23 の解答群

① 157　② 173　③ 196
④ 206　⑤ 214　⑥ 221

（4） ある一基の原子炉で，核分裂によって作り出されたエネルギーの 30 % が 800 MW の電気エネルギーとして出力されているとする。一回の核分裂反応により平均 200 MeV のエネルギーが放出されると考えたとき，この原子炉内で単位時間（1 秒間）に起きる核分裂反応の回数を求めよ。ただし，$1\ \mathrm{eV} = 1.6 \times 10^{-19}\ \mathrm{J}$ とする。 24 回

24 の解答群

① 1.3×10^{18}　② 8.3×10^{18}　③ 7.5×10^{19}
④ 2.5×10^{19}　⑤ 8.3×10^{19}　⑥ 7.5×10^{20}

（5） 天然のウランは，原子炉で使われる ${}^{235}_{92}\mathrm{U}$ の他に，その同位体である ${}^{238}_{92}\mathrm{U}$ が存在する。半減期が 45 億年の ${}^{238}_{92}\mathrm{U}$ に対し，${}^{235}_{92}\mathrm{U}$ の半減期は 7 億年と短いため，現在の ${}^{238}_{92}\mathrm{U}$ に対する ${}^{235}_{92}\mathrm{U}$ の存在比は 0.007 倍であり，天然に存在するウランは ${}^{238}_{92}\mathrm{U}$ が圧倒的に多い。45 億年前の地球誕生時期における ${}^{238}_{92}\mathrm{U}$ に対する ${}^{235}_{92}\mathrm{U}$ の存在比を求めよ。ただし，必要であれば，$2^{\frac{45}{7}} \fallingdotseq 86.2$ であることを用いてよい。 25

25 の解答群

① 0.03　② 0.04　③ 0.06
④ 0.3　⑤ 0.4　⑥ 0.6

物理の問題はここまでです。