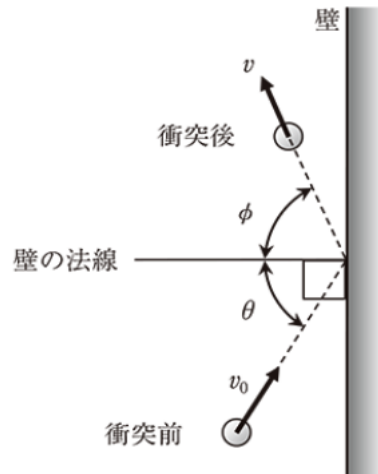


- I なめらかな水平面上を運動する小球を壁と衝突させた場合のはねかえり方について考える。下図は衝突の様子を上から見たものである。小球の質量を m ，衝突前の小球の速さを v_0 ，衝突後の小球の速さを v ，衝突前の小球の進行方向が壁の法線となす角を θ ，衝突後の小球の進行方向が壁の法線となす角を ϕ とする。また，小球と壁との間のはねかえり係数を e とし，空気抵抗および水平面と小球の間の摩擦は無視できるものとする。



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 $v_{\parallel}$ と，壁に対して垂直な成分の大きさ $v_{\perp}$ の組み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 $v_{\parallel} = v_0 \sin \theta$, $v_{\perp} = ev_0 \cos \theta$ | ② $v_{\parallel} = v_0 \cos \theta$, $v_{\perp} = ev_0 \sin \theta$ |
| ③ $v_{\parallel} = v_0 \sin \theta$, $v_{\perp} = \frac{1}{e} v_0 \cos \theta$ | ④ $v_{\parallel} = v_0 \cos \theta$, $v_{\perp} = \frac{1}{e} v_0 \sin \theta$ |
| ⑤ $v_{\parallel} = \frac{1}{e} v_0 \sin \theta$, $v_{\perp} = v_0 \cos \theta$ | ⑥ $v_{\parallel} = \frac{1}{e} v_0 \cos \theta$, $v_{\perp} = v_0 \sin \theta$ |

(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 $\frac{1}{e} \sin \theta$ | ⑤ $\frac{1}{e} \cos \theta$ | ⑥ $\frac{1}{e} \tan \theta$ |

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 $\frac{1}{2}$ 倍になるとする。また、 $\theta = 45^\circ$ 、はねかえり係数を $e = \frac{1}{2}$ 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 $\frac{\sqrt{2}}{8} mv_0$ | ② $\frac{\sqrt{2}}{4} mv_0$ | ③ $\frac{1}{2} mv_0$ |
| ④ $\frac{3\sqrt{2}}{8} mv_0$ | ⑤ $\frac{3\sqrt{2}}{4} mv_0$ | ⑥ $\frac{3}{2} mv_0$ |

(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 $v_{\parallel}$ を求めよ。 4

4 の解答群

- | | | |
|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| ① $\frac{\sqrt{2}}{8} v_0$ | ② $\frac{1}{4} v_0$ | ③ $\frac{3}{8} v_0$ |
| ④ $\frac{1}{2} v_0$ | ⑤ $\frac{3\sqrt{2}}{8} v_0$ | ⑥ $\frac{5\sqrt{2}}{8} v_0$ |

(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。

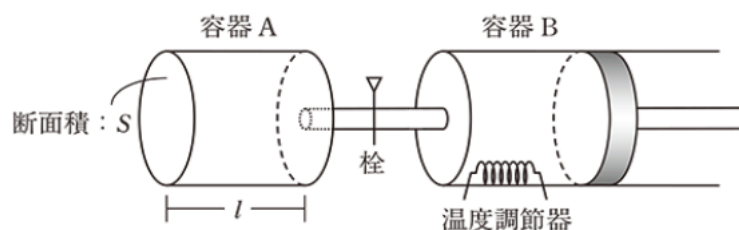


図 1

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 $\frac{p_0 Sl}{4RT_0}$ | ② $\frac{p_0 Sl}{2RT_0}$ | ③ $\frac{p_0 Sl}{RT_0}$ |
| ④ $\frac{3p_0 Sl}{2RT_0}$ | ⑤ $\frac{2p_0 Sl}{RT_0}$ | ⑥ $\frac{5p_0 Sl}{2RT_0}$ |

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。

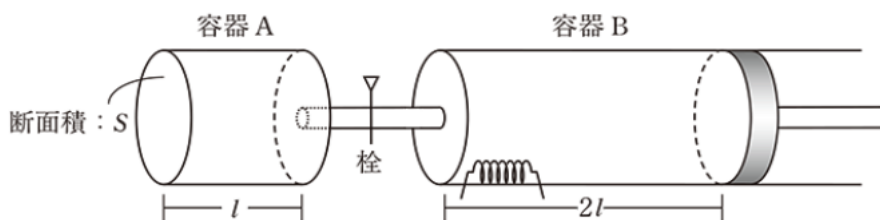


図 2

(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 $\frac{1}{2} p_0 Sl$ | ② $\frac{3}{4} p_0 Sl$ | ③ $p_0 Sl$ |
| ④ $\frac{5}{4} p_0 Sl$ | ⑤ $\frac{3}{2} p_0 Sl$ | ⑥ $\frac{5}{2} p_0 Sl$ |

(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。

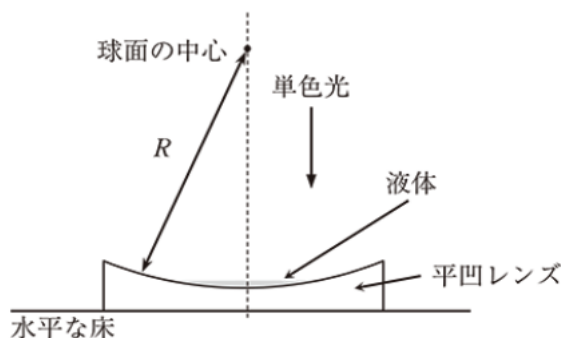


図 1

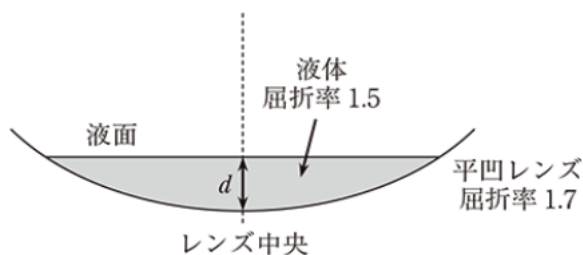


図 2

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 $3.4d$ |

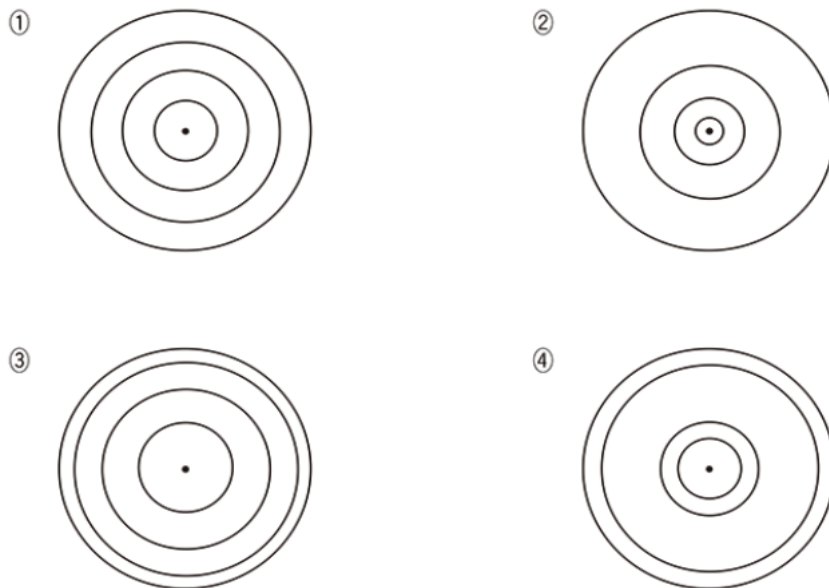
- (2) レンズ中央付近が暗点となることから、自然数 m を用いて、レンズ中央における液体の深さ d が満たす条件を求めよ。 12

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



- (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 $(1+x)^n \approx 1+nx$ 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 $\frac{3}{2}\lambda < d' \leq \frac{11}{6}\lambda$ ② $\frac{9}{4}\lambda < d' \leq \frac{11}{4}\lambda$ ③ $\frac{9}{2}\lambda < d' \leq \frac{11}{2}\lambda$
 ④ $\frac{5}{3}\lambda < d' \leq 2\lambda$ ⑤ $\frac{5}{2}\lambda < d' \leq 3\lambda$ ⑥ $5\lambda < d' \leq 6\lambda$

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 $P \rightarrow Q$ 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。

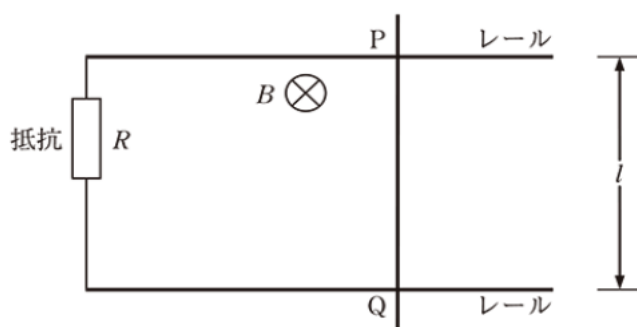


図1

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 $-\frac{v_1 B}{lR}$ ② $-\frac{v_1 l}{BR}$ ③ $-\frac{v_1 Bl}{R}$
 ④ $\frac{v_1 B}{lR}$ ⑤ $\frac{v_1 l}{BR}$ ⑥ $\frac{v_1 Bl}{R}$

(2) 速度 v_1 を求めよ。 17

17 の解答群

- | | | |
|-------------------|---------------------|-----------------------|
| ① $\frac{FBl}{R}$ | ② $\frac{FBl^2}{R}$ | ③ $\frac{FB^2l^2}{R}$ |
| ④ $\frac{FR}{Bl}$ | ⑤ $\frac{FR}{Bl^2}$ | ⑥ $\frac{FR}{B^2l^2}$ |

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。

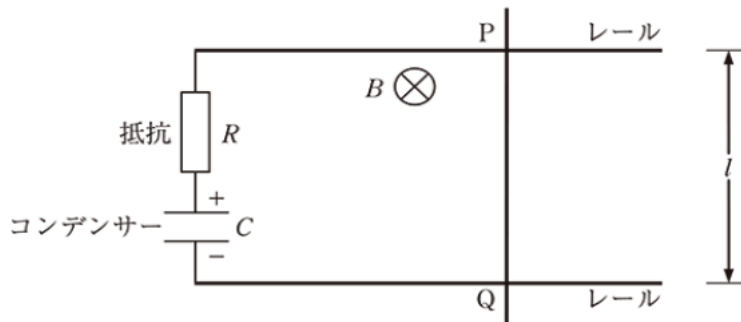


図2

(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 $\frac{v_2 Bl}{C}$ | ③ $\frac{v_2 l}{CB}$ |
| ④ $\frac{C}{v_2 Bl}$ | ⑤ $\frac{CB}{v_2 l}$ | ⑥ $Cv_2 Bl$ |

(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 $I = -\frac{\Delta Q}{\Delta t}$ 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 $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ 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 $-\frac{\Delta Q}{\Delta v}$ を求めよ。 19

19 の解答群

① $\frac{1}{mBl}$

② $\frac{B}{ml}$

③ $\frac{m}{Bl}$

④ $\frac{ml}{B}$

⑤ $\frac{Bl}{m}$

⑥ mBl

(5) 速度 v_2 を求めよ。 2020 の解答群

① $\frac{mBlQ_0}{1 + CB^2l^2}$

② $\frac{BlQ_0}{m + CB^2l^2}$

③ $\frac{mlQ_0}{B + mCB^2l^2}$

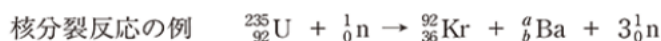
④ $\frac{BQ_0}{ml + CB^2l^2}$

⑤ $\frac{mQ_0}{(1 + mC)Bl}$

⑥ $\frac{Q_0}{(m + C)Bl}$

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($^{235}_{92}\text{U}$)を濃縮し、これに遅い中性子(^1_0n)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。



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切なものはどれか。 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) $^{235}_{92}\text{U}$ の質量が 234.9935 u, ^1_0n の質量が 1.0087 u, $^{92}_{36}\text{Kr}$ と $^{141}_{56}\text{Ba}$ 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、 $1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$ 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 $^{235}_{92}\text{U}$ の他に、その同位体である $^{238}_{92}\text{U}$ が存在する。半減期が 45 億年の $^{238}_{92}\text{U}$ に対し、 $^{235}_{92}\text{U}$ の半減期は 7 億年と短いため、現在の $^{238}_{92}\text{U}$ に対する $^{235}_{92}\text{U}$ の存在比は 0.007 倍であり、天然に存在するウランは $^{238}_{92}\text{U}$ が圧倒的に多い。45 億年前の地球誕生時期における $^{238}_{92}\text{U}$ に対する $^{235}_{92}\text{U}$ の存在比を求めよ。ただし、必要であれば、 $2^{45} \approx 86.2$ 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