

物 理

I にあてはまる最も適当な数値をマークすること。分数形で解答する場合は、既約分数(それ以上約分できない分数)で答えよ。 サ , セ , ソ , タ , チ , ニ には対応する解答群の中から最も適当なものの一つずつ選べ。

α を $\alpha = 9.8$ で与えられる単位を持たない数値とする。重力加速度の大きさを $g = \alpha \text{ m/s}^2$ として以下の問題に答えよ。

- (1) 図1のような $\cos \theta = \frac{4}{5}$ を満たす、水平面に対する傾斜角 θ の斜面上の O 点から、物体を初速度 $v_0 = \alpha \text{ m/s}$ で斜面に沿って滑り上がらせた。この時刻を $t = 0 \text{ s}$ とする。物体が受ける空気抵抗は無視する。

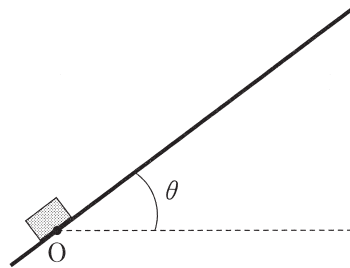


図 1

- (a) まず、物体と斜面の間の摩擦力が無視できる場合を考える。物体が斜面上の最高点に達する時刻を t_1 [s]、この最高点の O 点からの高さを h_1 [m] とすると、 $t_1 = \frac{\text{ア}}{\text{イ}} \text{ s}$ 、 $h_1 = \frac{\text{ウ}}{\text{エ}} \alpha \text{ m}$ となる。

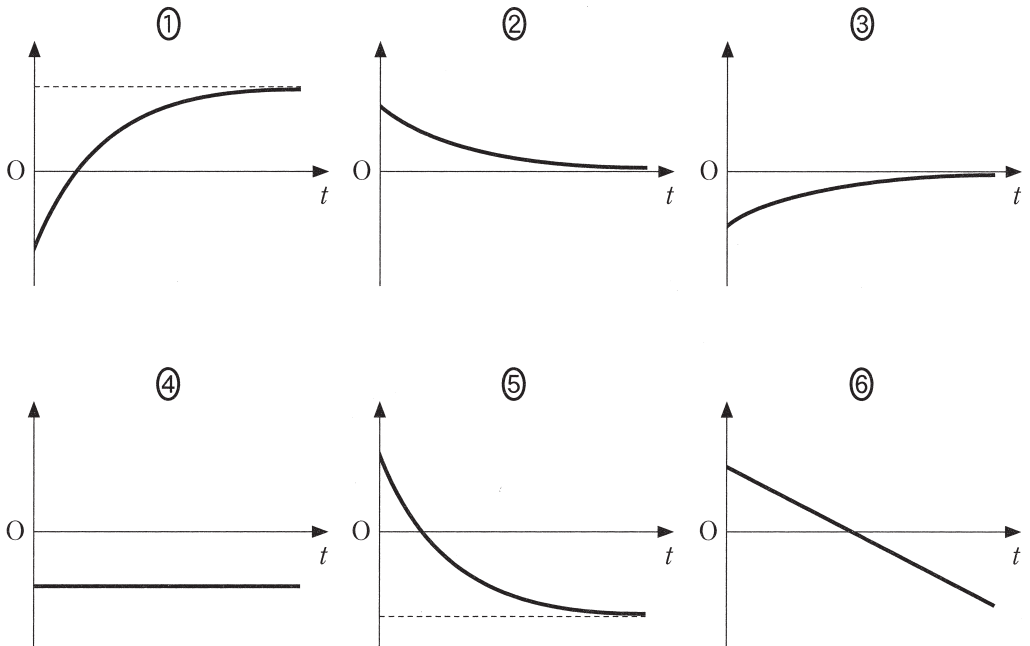
- (b) 次に、物体と斜面の間に、静止摩擦係数 μ 、動摩擦係数 $\mu' = \frac{1}{4}$ の摩擦力がはたらく場合を考える。物体が斜面上の最高点に達する時刻を t_2 [s]、この最高点の O 点からの高さを h_2 [m] とすると、 $t_2 = \frac{\text{オ}}{\text{カ}} \text{ s}$ 、 $h_2 = \frac{\text{キ}}{\text{ク}} \alpha \text{ m}$ である。物体は最高点に達した後、再び O 点に戻ってきた。O 点を通過するときの速さを v_1 [m/s] とすると、 $v_1^2 = \frac{\text{ケ}}{\text{コ}} v_0^2$ である。また、物体は最高点に達した後、滑り落ちたので、 μ サ シ ス が成り立つ。

サ の解答群

- ① < ② = ③ > ④ ≦ ⑤ ≧

(2) 重力の他に、速さとともに増加する空気抵抗がはたらく場合の落下運動を考える。地上から h_0 の高さにある A 点から、物体を初速度 $v_0 = a \text{ m/s}$ で真上に投げ上げた。この時刻を $t = 0 \text{ s}$ とする。上向きを正の方向としたときの速度と加速度の時間的変化の様子を表すグラフは、それぞれ、 と である。ただし、 h_0 は十分大きいとする。 $t = 0 \text{ s}$ の物体の加速度の大きさを $a \text{ (m/s}^2\text{)}$ とすると、 a g である。最高点の A 点からの高さを $h_3 \text{ (m)}$ とすると、問題1(a)の h_1 との間には h_3 h_1 という関係がある。

, の解答群



, の解答群

① < ② = ③ >

(3) 図2のように、長さ L [m]、質量 M [kg] の棒の部分と、質量 $2M$ [kg]、半径 $R = \frac{L}{4}$ [m]、長さ d [m] の円筒部分からなる剛体がある。棒の延長線は円筒の重心を通る。剛体は左端に取り付けられた軽いひもによって水平方向に引かれ、棒の部分が床と θ の角度をなして静止している。 $\cos \theta = \frac{4}{5}$ 、剛体と床の間の静止摩擦係数を μ として以下の問題に答えよ。

この剛体の重心は円筒の中心軸から $\frac{\text{ツ}}{\text{テ}}$ L [m] だけ離れた位置にある。ひもの張力は $\frac{\text{ト}}{\text{ナ}}$ Mg [N] である。また、 $\mu \frac{\text{ニ}}{\text{ネ}}$ が成り立つ。

$\frac{\text{ニ}}{\text{ネ}}$ の解答群

- ① $<$ ② $=$ ③ \leq ④ \geq

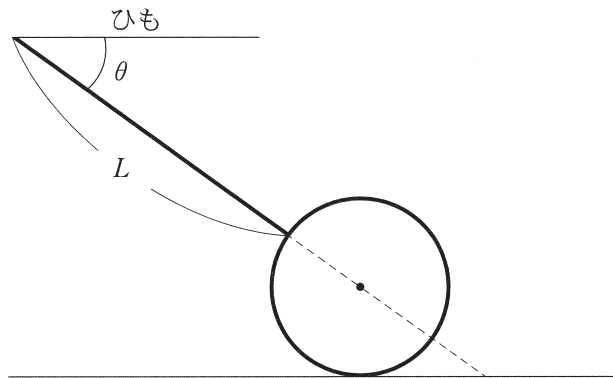


図2

II にあてはまる最も適当なものを対応する解答群の中から一つずつ選べ。

半導体には、電子がキャリア(電気の担い手)となる n 型半導体と、正孔(ホール)がキャリアとなる p 型半導体がある。n 型と p 型の半導体を接合した半導体ダイオードでは、接合面における電子と正孔の再結合に伴い、電流が流れる。

図 1 のように、一定の大きさ B [T] の磁束密度が z 軸正の方向に一様にかけられた空間内に、厚さ h [m]、幅 d [m]、長さ ℓ [m] の直方体状の n 型と p 型の半導体を接合したダイオード D と、同じ形状の金属 M が置かれている。ダイオード D は、 x 軸に平行な 2 本のレールと導線で接続されており、n 型と p 型それぞれの半導体から接合面にキャリアが供給された場合にのみ電流が流れるものとする。導体でできた 2 本のレールは xy 平面上にあり、その間隔は L [m] で、半導体の接合面はこれらのレールから等距離に位置している。金属 M はレールの端点 P, Q と導線で接続され、固定されている。電子の電荷は $-e$ [C]、半導体内のキャリアの移動によって発生する磁場は他のキャリアに影響を及ぼさないものとして、以下の問題に答えよ。

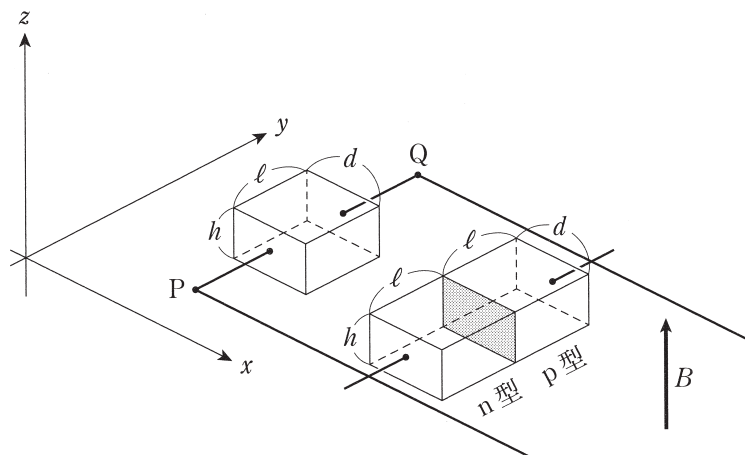


図 1

- (1) ダイオード D を x 軸正の方向に速さ v [m/s] で移動させると、n 型半導体内のキャリアとなる電子は ア に大きさ イ [N] のローレンツ力を受け、p 型半導体内の正孔は ウ に移動する。このとき、レールと金属 M、ダイオード D で構成される回路に発生する誘導起電力の大きさは エ [V] であり、金属 M 内の電流について正しい記述は オ である。ただし、 h, d, ℓ は L および回路の x 軸方向の長さより十分小さいとする。
- また、ダイオード D をいろいろな方向に動かしたとき、ダイオード D 内の電流について正しい記述は カ である。

ア , ウ の解答群

- ① x 軸正の方向 ② x 軸負の方向 ③ y 軸正の方向
④ y 軸負の方向 ⑤ z 軸正の方向 ⑥ z 軸負の方向

イ , エ の解答群

- ① eB ② vB ③ ehB ④ eLB ⑤ edB
⑥ evB ⑦ vLB ⑧ vhB ⑨ vdB

オ の解答群

- ① 金属 M 内を正孔が移動し、 y 軸正の方向に電流が流れる。
② 金属 M 内を正孔が移動し、 y 軸負の方向に電流が流れる。
③ 金属 M 内を電子が移動し、 y 軸正の方向に電流が流れる。
④ 金属 M 内を電子が移動し、 y 軸負の方向に電流が流れる。
⑤ 金属 M 内を電子と正孔が互いに逆方向に移動し、 y 軸正の方向に電流が流れる。
⑥ 金属 M 内を電子と正孔が互いに逆方向に移動し、 y 軸負の方向に電流が流れる。
⑦ 金属 M 内を電子と正孔が同じ方向に移動し、電流は流れない。
⑧ 金属 M 内は電子も正孔も移動せず、電流は流れない。

カ の解答群

- ① ダイオード D を x 軸正の方向に移動させた場合のみ電流が流れる。
② ダイオード D を x 軸負の方向に移動させた場合のみ電流が流れる。
③ ダイオード D を x 軸正の方向、負の方向のどちらに移動させても電流が流れる。
④ ダイオード D を x 軸正の方向、負の方向のどちらに移動させても電流は流れない。
⑤ n 型半導体は x 軸正の方向、 p 型半導体は x 軸負の方向に初速度を持つようダイオード D を小角回転させた場合のみ電流が流れる。
⑥ n 型半導体は x 軸負の方向、 p 型半導体は x 軸正の方向に初速度を持つようダイオード D を小角回転させた場合のみ電流が流れる。
⑦ n 型半導体と p 型半導体で、 x 軸に平行な互いに逆向きの初速度を持つような小角回転をさせれば、どちら向きにダイオード D を回転させても電流が流れる。
⑧ ダイオード D が静止している場合のみ電流が流れる。

(2) PQ間に一定の電位差が生じるようダイオードDを適当に操作したところ、金属M内でy軸正の方向に一定の大きさの電流*I*が流れた。

金属M内の自由電子は、速さ*u* [m/s]で移動し、単位体積当たりの自由電子の密度が*n* [m⁻³]であるとすると、電流の大きさは*I* = [A]と表される。自由電子は に大きさ [N]のローレンツ力を受け、 を外向き法線とする面に集積する。電子の集積により に大きさ *E* [V/m]の電場が生じ、自由電子はこの電場から に大きさ [N]の力を受ける。

電場から受ける力とローレンツ力がつりあった段階で自由電子の集積がとまるので、この段階における電場の大きさは [V/m]であり、電子が集積した面とそれと向かい合わせた面の間には *V* = [V]の電位差が生じる。この電位差は、流れた電流*I*を用いて *V* = [V]と表される。

の解答群

- ① *nuhl* ② *nuhd* ③ *nuld* ④ *nul²*
 ⑤ *enuhl* ⑥ *enuhd* ⑦ *enuld* ⑧ *enul²*

, , , の解答群

- ① *x* 軸正の方向 ② *x* 軸負の方向 ③ *y* 軸正の方向
 ④ *y* 軸負の方向 ⑤ *z* 軸正の方向 ⑥ *z* 軸負の方向

, , の解答群

- ① *eB* ② *uB* ③ *ehB* ④ *elB* ⑤ *edB*
 ⑥ *euB* ⑦ *ulB* ⑧ *uhB* ⑨ *udB*

の解答群

- ① *eE* ② *uE* ③ *ehE* ④ *elE* ⑤ *edE*
 ⑥ *euE* ⑦ *ulE* ⑧ *uhE* ⑨ *udE*

の解答群

- ① $\frac{IB}{nl}$ ② $\frac{IB}{nd}$ ③ $\frac{IB}{nh}$ ④ $\frac{IB}{nl^2}$ ⑤ $\frac{IB}{enl}$
 ⑥ $\frac{IB}{end}$ ⑦ $\frac{IB}{enh}$ ⑧ $\frac{IBh}{endl}$ ⑨ $\frac{IBl}{enhd}$

III にあてはまる最も適当なものを対応する解答群の中から一つずつ選べ。

- (1) 半径 a の球形の容器内に、一定の速さ v で運動する質量 m の気体分子が N 個入っている。容器の内壁はなめらかで、これらの分子は容器の内壁と弾性衝突する。分子同士の衝突や重力は考えないものとする。

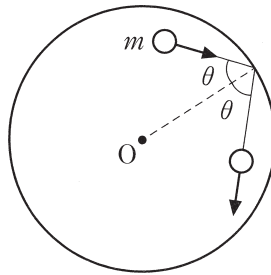


図 1

図 1 のように、容器の内壁の法線と角度 θ をなす方向から衝突する気体 1 分子を考えると、1 回の衝突でこの分子が内壁に与える力積は ア となる。また、この分子が再び容器の内壁に衝突するまでの時間は イ であるので、時間 t の間に、この分子が内壁と衝突する回数は ウ $\times t$ となる。よって、この間に気体 1 分子が容器の内壁に及ぼす平均の力の大きさは エ となる。

分子の個数 N は十分に大きく、また、特定の方向にかたよることなく運動しているとすると、これらの分子によって壁面に及ぼされる圧力は オ と表される。

ア の解答群

- ① mv ② $2mv$ ③ $mv \cos \theta$ ④ $2mv \cos \theta$ ⑤ $mv \sin \theta$
 ⑥ $2mv \sin \theta$ ⑦ $mv \tan \theta$ ⑧ $2mv \tan \theta$

イ の解答群

- ① $\frac{a}{v}$ ② $\frac{2a}{v}$ ③ $\frac{a \cos \theta}{v}$ ④ $\frac{a}{v \cos \theta}$ ⑤ $\frac{2a \cos \theta}{v}$
 ⑥ $\frac{2a}{v \cos \theta}$ ⑦ $\frac{2a \sin \theta}{v}$ ⑧ $\frac{2a}{v \sin \theta}$ ⑨ $\frac{2a}{v \tan \theta}$

ウ の解答群

- ① $\frac{v}{a}$ ② $\frac{v}{2a}$ ③ $\frac{v}{a \cos \theta}$ ④ $\frac{v \cos \theta}{a}$ ⑤ $\frac{v}{2a \cos \theta}$
⑥ $\frac{v \cos \theta}{2a}$ ⑦ $\frac{v}{2a \sin \theta}$ ⑧ $\frac{v \sin \theta}{2a}$ ⑨ $\frac{v \tan \theta}{2a}$

エ の解答群

- ① $\frac{mv^2}{2a}$ ② $\frac{mv^2}{a}$ ③ $\frac{2mv^2}{a}$ ④ $\frac{mv^2 \cos \theta}{a}$ ⑤ $\frac{mv^2}{a \cos \theta}$
⑥ $\frac{mv^2 \sin \theta}{a}$ ⑦ $\frac{mv^2}{a \sin \theta}$ ⑧ $\frac{mv^2 \tan \theta}{a}$ ⑨ $\frac{mv^2}{a \tan \theta}$

オ の解答群

- ① $\frac{mNv^2}{8a^3}$ ② $\frac{mNv^2}{4a^3}$ ③ $\frac{mNv^2}{8\pi a^3}$
④ $\frac{mNv^2}{4\pi a^3}$ ⑤ $\frac{mNv^2 \cos \theta}{8\pi a^3}$ ⑥ $\frac{mNv^2 \cos \theta}{4\pi a^3}$
⑦ $\frac{mNv^2 \sin \theta}{8\pi a^3}$ ⑧ $\frac{mNv^2 \sin \theta}{4\pi a^3}$ ⑨ $\frac{mNv^2 \tan \theta}{4\pi a^3}$

(2) 図2のように、屈折率 n_1 のガラス1を、屈折率 n_2 のガラス2でおおった、長さ L の円柱が空気中に置かれている。円柱の中心軸に垂直な端面に、中心軸と角度 θ_i をなす方向から光を入射させたところ、ガラス1に屈折角 θ_r で入り、その後、ガラス1とガラス2の境界上の点Aで、光の一部は屈折角 θ_s で屈折し、残りは反射した。空気の屈折率は1とし、光の減衰はないものとする。

このとき、点Aにおける屈折の法則より、 が成り立つ。

n_1 n_2 のとき、入射角 θ_i を変えると点Aで全反射が起こる。点Aにおける臨界角に対応する入射角 θ_i を θ_0 とすると、 が成り立つ。

入射角が $\theta_i \leq \theta_0$ を満たしていれば、ガラス1の左端から入射した光は全てガラス1の右端に伝わるが、入射角 θ_i によって左端から右端への到達時間 T が異なる。真空中の光速を c とすると、 T の最大値と最小値の差は $\times \frac{L}{c}$ となる。

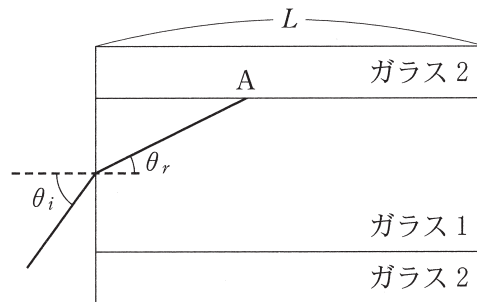


図2

カ の解答群

① $\sin \theta_r = \frac{n_2}{n_1} \sin \theta_s$

④ $\cos \theta_r = \frac{n_1}{n_2} \cos \theta_s$

⑦ $\sin \theta_r = \frac{n_2}{n_1} \cos \theta_s$

② $\sin \theta_r = \frac{n_1}{n_2} \sin \theta_s$

⑤ $\cos \theta_r = \frac{n_2}{n_1} \sin \theta_s$

⑧ $\sin \theta_r = \frac{n_1}{n_2} \cos \theta_s$

③ $\cos \theta_r = \frac{n_2}{n_1} \cos \theta_s$

⑥ $\cos \theta_r = \frac{n_1}{n_2} \sin \theta_s$

キ の解答群

① $>$

② $<$

③ $=$

ク の解答群

① $\sin \theta_0 = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$

④ $\cos \theta_0 = \sqrt{n_2^2 - n_1^2}$

⑦ $\cos \theta_0 = \sqrt{\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}}$

② $\sin \theta_0 = \sqrt{n_2^2 - n_1^2}$

⑤ $\sin \theta_0 = \sqrt{\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}}$

⑧ $\cos \theta_0 = \sqrt{\frac{1}{n_2^2} - \frac{1}{n_1^2}}$

③ $\cos \theta_0 = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$

⑥ $\sin \theta_0 = \sqrt{\frac{1}{n_2^2} - \frac{1}{n_1^2}}$

ケ の解答群

① $n_1 - n_2$

④ $\frac{n_2 - n_1}{n_1}$

② $n_2 - n_1$

⑤ $\frac{n_1(n_1 - n_2)}{n_2}$

③ $\frac{n_1 - n_2}{n_2}$

⑥ $\frac{n_2(n_2 - n_1)}{n_1}$

IV にあてはまる最も適当な数値をマークすること。ただし、 ア , コ ~ シ には、最も適当なものを対応する解答群の中から一つずつ選べ。電気素量を $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ 、プランク定数を $6.6 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$ 、真空中の光速を $3.0 \times 10^8 \text{ m/s}$ とする。

(1) 電極 P, Q からなる光電管, 電池 E, すべり抵抗 R, 電流計, 電圧計を用いて, 図 1 のような装置を作った。波長 $3.0 \times 10^{-7} \text{ m}$ の光を電極 Q に当てながら, 電極 Q に対する電極 P の電位 V_P を変化させると, 図 2 のように, $V_P = -2.0 \text{ V}$ のとき電流が流れ始め, 最大値が $48 \mu\text{A}$ ($1 \mu\text{A} = 1 \times 10^{-6} \text{ A}$) になる電流が流れた。電流は ア の向きに流れ, 電極 P に到達する光電子の数の最大値は, 毎秒 イ . ウ $\times 10^{\text{エオ}}$ 個である。また, 電極 Q の金属の仕事関数は カ . キ eV となる。

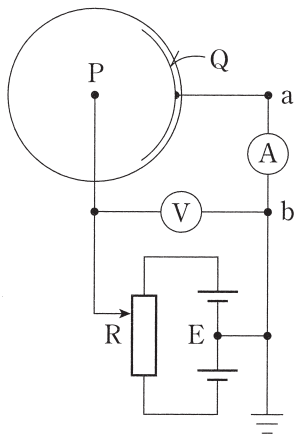


図 1

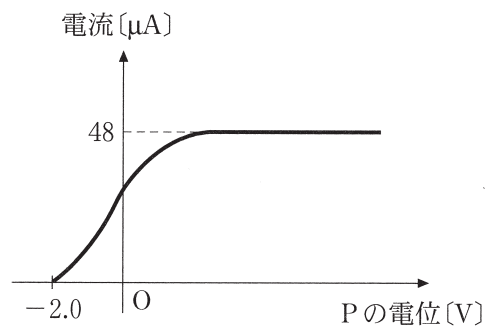


図 2

ア の解答群

- ① $V_P > 0$ のときは a から b, $V_P < 0$ のときは b から a
- ② $V_P > 0$ のときは b から a, $V_P < 0$ のときは a から b
- ③ V_P の正負によらず a から b
- ④ V_P の正負によらず b から a

(2) ラジウム ${}^{226}_{88}\text{Ra}$ は α 崩壊を 回, β 崩壊を 回行って, 安定な鉛の同位体 ${}^{208}_{82}\text{Pb}$ になる。

は, 磁界によって曲げられる。また, は, 薄い金属板で遮蔽できるが, を遮蔽するには, 厚い鉛板が必要である。

, , の解答群

- ① α 線 ② β 線 ③ γ 線 ④ α 線, β 線
⑤ β 線, γ 線 ⑥ α 線, γ 線 ⑦ α 線, β 線, γ 線