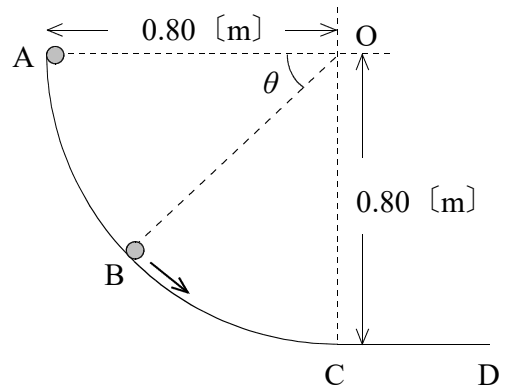


## 高校物理 専門問題例

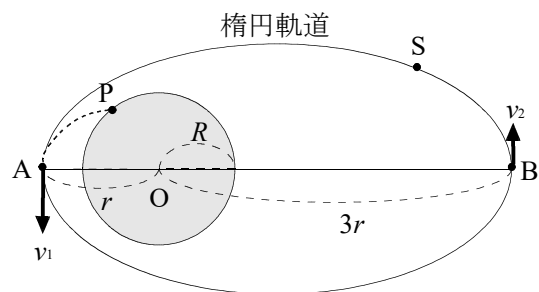
**例 1** 右図のように、水平面CDより0.80 [m] の高さの点Oを中心とする円筒面ACが点Cで水平面CDと接続している。点Oと同じ高さの点Aから質量0.50 [kg] の小球を静かに放した。円筒面ACと水平面CDはいずれもなめらかである。重力加速度の大きさを10 [m/s<sup>2</sup>] として、次の(1)～(5)の問いに答えなさい。なお、点Bの例のように、運動中の物体の位置は図の角  $\theta$  で表す。また、重力による位置エネルギーの基準の高さは水平面CDとする。



- (1) 小球が点Aで静止しているときの重力による位置エネルギーを求めなさい。
- (2)  $\theta = 30^\circ$  を通過する瞬間の小球の運動エネルギーを求めなさい。
- (3)  $\theta = 30^\circ$  を通過する瞬間の円筒面ACが小球に及ぼす垂直抗力の大きさを求めなさい。
- (4)  $\theta = 90^\circ$  (点C) を通過する瞬間の小球の速さを求めなさい。
- (5) 円筒面ACや水平面CDが小球に及ぼす垂直抗力  $N$  の大きさと角  $\theta$  の関係を表すグラフを示しなさい。ただし、グラフは小球が点Aから点Dに至るまでの概形でよい。また、縦軸には適当な数値を入れなさい。

(令和元年度)

**例 2** 右図のように、地球の中心Oを一つの焦点とする楕円軌道を運動する人工衛星Sがある。Sの近地点をA、遠地点をBとする。OA= $r$ , OB= $3r$ , A点における人工衛星の速さを $v_1$ , 地球の質量を $M$ , その半径を $R$ , 人工衛星の質量を $m$ , 万有引力定数を $G$ とし、地球の自転及び空気の抵抗の影響を無視する。万有引力による位置エネルギーの基準点を無限遠方として、次の(1)～(4)の問いに答えなさい。



- (1) 地表での重力加速度の大きさ  $g$  を  $G$ ,  $R$ ,  $M$  を用いて表しなさい。
- (2) 近地点Aで人工衛星の速さが $v_1$ になるためには、地表面Pから打ち出す時の運動エネルギーはいくらでなければならないか。PA間の軌道修正に必要なエネルギーは無視できるものとして示しなさい。
- (3) 楕円軌道上のB点を通るときの速さを $v_2$ として、A点とB点について、次の(a)・(b)の問いに答えなさい。
  - (a) 面積速度一定の関係式を示しなさい。
  - (b) 力学的エネルギー保存の関係式を示しなさい。
- (4) (3)で示した2式から、人工衛星がB点を通るときの運動エネルギーは、そのときの万有引力による位置エネルギーの絶対値の何倍になるか、求めなさい。

(令和元年度)

**例 3** 定常波に関する次の文章を読んで、(1)～(3)の問いに答えなさい。

振幅 $A$ 、周期 $T$ 、波長 $\lambda$ が同じで、 $x$  軸に沿って互いに逆向きに伝わる 2 つの正弦波 $y_1$ 、 $y_2$ がある。両波ともに減衰は無視できるものとする。各々が単独に伝わる時、位置 $x$  の媒質の時刻 $t$  における変位は、

$$y_1 = A \sin 2\pi \left( \frac{t}{T} + \frac{x}{\lambda} \right) \cdots \textcircled{1}, \quad y_2 = A \sin 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right) \cdots \textcircled{2}$$

で与えられるものとする。これらの波が同時に伝わる時、媒質の変位 $y$  は重ね合わせの原理により、 $\sin a + \sin b = 2 \cos \frac{a-b}{2} \sin \frac{a+b}{2}$  を用いると、

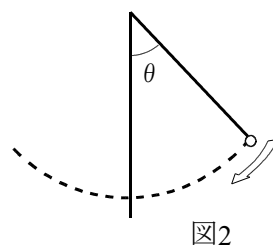
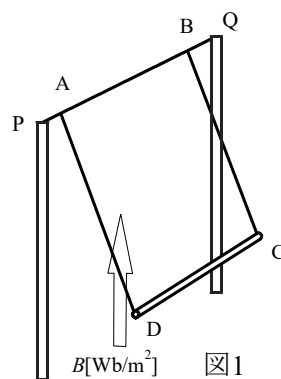
$$y = y_1 + y_2 = \boxed{\textcircled{ア}} \times \sin 2\pi \frac{t}{T} \cdots \textcircled{3}$$

と表せる。 $\boxed{\textcircled{ア}}$ を振幅項と考えた場合、この合成波は位置 $x$  によって振幅が決定しており、定常波と呼ばれる。媒質が静止したまま動かない位置を節と呼び、その $x$  座標は、整数を $m$ として、 $x = \boxed{\textcircled{イ}}$ と表される。したがって、その間隔は $\boxed{\textcircled{ウ}}$ である。また、媒質が最大の振幅 $2A$ で振動する位置を腹と呼び、その $x$  座標は、整数を $m$ として、 $x = \boxed{\textcircled{エ}}$ と表される。よって、隣り合う腹の間隔も $\boxed{\textcircled{ウ}}$ である。

- (1)  $x$  軸負の方向に進む波は $y_1$ 、 $y_2$ のいずれか、答えなさい。また、その波の $x=0$ の点における媒質の変位を時刻 $t$  のグラフとして概形を描きなさい。
- (2) 上の文中の $\boxed{\textcircled{ア}}$ ～ $\boxed{\textcircled{エ}}$ に入る適当な数式を示しなさい。ただし、同じ記号には同じ数式が入るものとする。
- (3) ①～③式を考察し、定常波の振動数とその定常波を作り出す進行波の振動数の関係を簡単に説明しなさい。

(令和 2 年度)

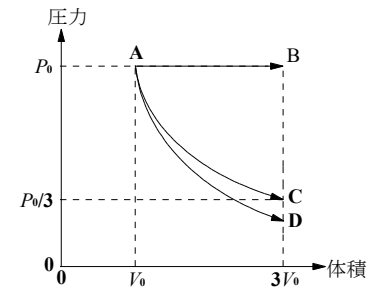
**例 4** 図1のように質量 $m$  [kg]、長さ $d$  [m]、抵抗 $r$  [ $\Omega$ ]の金属棒CDを質量の無視できる細い導線AD、BCを用いて水平な金属棒PQにつり下げ、長さ $l$  [m]、間隔 $d$  [m]の長方形のブランコをつくった。鉛直上向きに磁束密度 $B$  [Wb/m<sup>2</sup>]の一樣な磁場をかけた後、ブランコを傾けて静かに放した。P側から見た場合、ブランコが図2のように矢印の方向に運動している場面を考える。角度が $\theta$  [rad]  $\left( 0 < \theta < \frac{\pi}{2} \right)$ になった瞬間の角速度は $\omega$  [rad/s]であった。重力加速度の大きさを $g$  [m/s<sup>2</sup>]、CD以外の部分の電気抵抗やPQと導線AD、BCの接触部分の摩擦及び空気抵抗は無視できるものとする。次の(1)～(5)の問いに答えなさい。



- (1) 図2の状態の時、長方形ABCDを上向きに貫く磁束を求めなさい。
- (2) 図2の状態の時、CD間に生じる誘導起電力の大きさを求めなさい。また、高電位になるのはC、D端のどちらか、答えなさい。
- (3) 図2の状態の時、金属棒CDが磁場から受ける力の大きさを求めなさい。
- (4) (3)で求めた力の仕事率を求めなさい。
- (5) 手を離れた後、ブランコの振れは徐々に減衰し、やがて静止する。その理由をエネルギーの観点から説明しなさい。

(令和 2 年度)

**例 5** 右図の〈圧力-体積〉のグラフは、圧力 $P_0$ 、体積 $V_0$ 、絶対温度 $T_0$ の状態Aにある単原子分子理想気体1モルを、定圧変化、等温変化、断熱変化の3通りの方法で体積 $3V_0$ まで変化させたものである。気体定数を $R$ として、次の(1)～(5)の問いに答えなさい。



- (1) 状態変化 $A \rightarrow B$ は定圧変化である。 $A \rightarrow C$ 、 $A \rightarrow D$ は、それぞれ等温変化、断熱変化のどの変化に対応するか、答えなさい。
- (2) 状態B、C、Dの温度を、それぞれ $T_B$ 、 $T_C$ 、 $T_D$ とする。このうち、定圧変化の場合の温度 $T_B$ を計算した上で、それぞれの温度の大小関係を不等号を用いて示しなさい。
- (3) 状態変化 $A \rightarrow B$ 、 $A \rightarrow C$ 、 $A \rightarrow D$ について、気体が外部にする仕事を $W_B$ 、 $W_C$ 、 $W_D$ とする。それぞれの仕事の大小関係を不等号を用いて示しなさい。
- (4) 状態変化 $A \rightarrow B$ において、気体が外部から得た熱量を $Q_B$ とする。この時、気体が外部にした仕事 $W_B$ と $Q_B$ を、それぞれ $R$ 、 $T_0$ を用いて表しなさい。
- (5) 1モルの気体に熱 $Q$ を与えて温度が $\Delta T$ 上昇するとき、 $Q$ と $\Delta T$ の比をモル比熱という。定積モル比熱 $C_V$ は体積一定の場合の比熱で、定圧モル比熱 $C_P$ は圧力一定の場合の比熱である。(4)の結果を用いて、定圧モル比熱 $C_P$ を求めなさい。また、 $C_V$ 、 $C_P$ 、 $R$ の関係を示しなさい。

(令和3年度)

**例 6** 図1に示すように、X線発生管内で熱陰極から初速度0で放出された電子を、加速電圧 $V$ で加速して陽極(ターゲット)に衝突させると、図2のスペクトルを持つX線が発生した。このX線は、連続X線と波長 $\lambda_1$ および $\lambda_2$  ( $\lambda_1 < \lambda_2$ ) の特性X線(固有X線)からなる。このX線を、図1に示すように真空中に置かれた結晶に入射する。電子の質量を $m$ 、電子の電荷を $-e$ 、プランク定数を $h$ 、真空中の光の速さを $c$ として、次の(1)～(4)の問いに答えなさい。

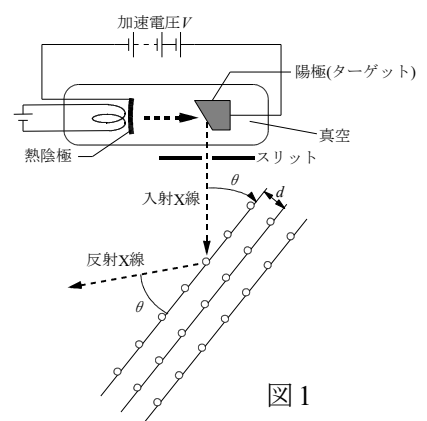


図1

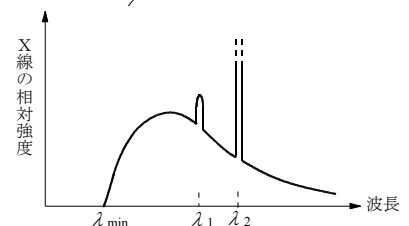
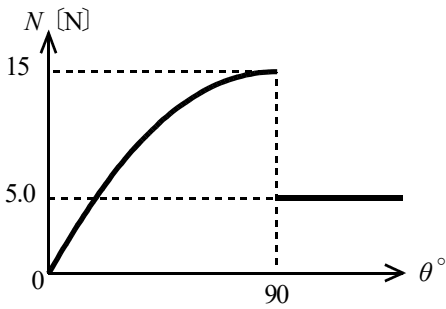


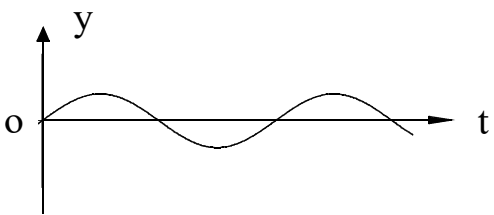
図2

- (1) 陽極に衝突する直前の電子の速さ $v_0$ と、物質波としての電子の波長 $\lambda_0$ を $V$ 、 $m$ 、 $e$ 、 $h$ 、 $c$ のうち必要なものを用いて表しなさい。
- (2) 加速電圧 $V$ を2倍にしたとき、次の(a)・(b)に示すX線の波長はどうなるか、説明しなさい。ただし、変化する場合は何倍になるかを示すこと。
  - (a) 連続X線の最短波長 $\lambda_{\min}$
  - (b) 特性X線の波長 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$
- (3) 加速電圧 $V$ で発生したX線を、図1に示すようにスリットを通して面間隔 $d$ の格子面に対して角度 $\theta$ で入射する。 $\theta$ を $0^\circ$ から徐々に大きくするとき、反射X線の強度が先に極大になるのは、波長 $\lambda_1$ と $\lambda_2$ の特性X線のどちらか、答えなさい。
- (4) (3)で示した回折実験を波長 $\lambda = 7.1 \times 10^{-11}$  [m]の特性X線を用いて行った。ある結晶格子面にこの特性X線を入射する。 $\theta$ を $0^\circ$ から徐々に大きくすると、 $\theta = 30^\circ$ で初めて強い反射X線が観測された。この結晶格子面の間隔 $d$ を求めなさい。

(令和3年度)

高校物理 正答例

問題番号		正 答 例	
例 1	(1)	4 . 0      [ J ]	
	(2)	2 . 0      [ J ]	
	(3)	7 . 5      [ N ]	
	(4)	4 . 0      [ m/s ]	
	(5)		
例 2	(1)	$G \frac{M}{R^2}$	
	(2)	$\frac{1}{2}mv_1^2 + GMm \left( \frac{1}{R} - \frac{1}{r} \right)$	
	(3)	(a)	$\frac{1}{2}rv_1 = \frac{1}{2}3rv_2$
		(b)	$\frac{1}{2}mv_1^2 - G \frac{Mm}{r} = \frac{1}{2}mv_2^2 - G \frac{Mm}{3r}$
	(4)	$\frac{1}{4}$ 倍	

問題番号		正 答 例
例 3	(1)	$y_1$
		
	(2)	(ア) $2A \cos 2\pi \frac{x}{\lambda}$
		(イ) $\left(m + \frac{1}{2}\right) \frac{\lambda}{2}$
		(ウ) $\frac{\lambda}{2}$
		(エ) $m \frac{\lambda}{2}$
	(3)	振動項より，この定常波の振動数は $\frac{1}{T}$ であり，これは 2 つの進行波の振動数と一致している。
例 4	(1)	$Bld \sin \theta$ [Wb]
	(2)	誘導起電力： $Bld \omega \cos \theta$ [V]
		高電位： C
	(3)	$\frac{B^2 d^2 l \omega \cos \theta}{r}$ [N]
	(4)	$-\frac{(Bdl \omega \cos \theta)^2}{r}$ [W]
	(5)	ブランコの力学的エネルギーは，抵抗でジュール熱として消費され，減少するから。

問題番号		正 答 例
例 5	(1)	A→C : 等温変化 A→D : 断熱変化
	(2)	$T_B = 3T_0$
		大小関係 : $T_B > T_C > T_D$
	(3)	大小関係 : $W_B > W_C > W_D$
	(4)	$W_B = 2RT_0$
		$Q_B = 5RT_0$
	(5)	$C_P = \frac{5}{2}R$
		$C_P - C_V = R$
例 6	(1)	$v_0 = \sqrt{\frac{2eV}{m}}$
		$\lambda_0 = \frac{h}{\sqrt{2meV}}$
	(2)	(a) $\frac{1}{2}$ 倍になる
		(b) とともに変化しない
	(3)	波長 $\lambda_1$ の特性 X 線
	(4)	$d = 7.1 \times 10^{-11} \text{ [m]}$