受験番号	学部　　　　　番

A — 1

物 理 解 答 用 紙

（標準的な正答例であり，この他にも正解となる解答はあります。）

1

評点

問 1

〔説明と計算式〕

物体は半径R，角速度ωの等速円運動をしているので，速さは$R\,\omega$である。

垂直抗力は等速円運動の向心力を与え，遠心力とつりあう。遠心力の大きさは$m\,R\,\omega^2$だから，垂直抗力の大きさも$m\,R\,\omega^2$である。

答　速さ：　$R\,\omega$　　垂直抗力：　$m\,R\,\omega^2$

問 2

〔説明と計算式〕

前問の垂直抗力が重力の大きさ$m\,g$と等しくなるときなので，$m\,R\,\omega^2 = m\,g$を解いて，

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{R}}$$

を得る。

答　$\sqrt{\frac{g}{R}}$

問 3

(1)〔説明と計算式〕

力積が与えられる前の運動量の向きは円の接線方向であり，大きさは$p_{\mathrm{t}} = m\,R\,\omega$である。軸方向の力積が与えられたことで軸方向の運動量成分が生じ，その大きさをp_{n}とすると，接線方向と軸方向は垂直であるため，

$$\frac{p_{\mathrm{n}}}{p_{\mathrm{t}}} = \tan\theta$$

が成り立つ。与えられた力積pはp_{n}に等しく，ゆえにpは

$$p = p_{\mathrm{n}} = p_{\mathrm{t}}\tan\theta = m\,R\,\omega\tan\theta$$

である。

答　$m\,R\,\omega\tan\theta$

(2)〔説明と計算式〕

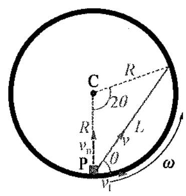
物体は管から離れた後に等速直線運動する。軌道は斜辺の長さR，底角$\frac{\pi}{2}-\theta$の二等辺三角形の底辺であるから，動く距離は

$$L = 2R\sin\theta$$

である。また，速さは$v = \frac{p_{\mathrm{t}}}{m\cos\theta} = \frac{R\,\omega}{\cos\theta}$であるから，かかる時間は

$$T = \frac{L}{v} = \frac{\sin 2\theta}{\omega}$$

である。（右図で$v_{\mathrm{n}} = \frac{p_{\mathrm{n}}}{m}, v_{\mathrm{t}} = \frac{p_{\mathrm{t}}}{m}$）



答　距離：　$2R\sin\theta$　　時間：　$\frac{\sin 2\theta}{\omega}$

(3)〔理由〕

管の軸Cを中心として，物体が管を離れる位置と，管と衝突する位置のなす角は2θである。一方，物体が離れてから時間Tが経過する間に点Pは軸Cを中心に角度$\omega\,T = \sin 2\theta$だけ回転する。これらの角を比較すると，$2\theta > \sin 2\theta$であるので，物体は点Pが衝突位置に到達するより前に管に衝突することがわかる。

また，極限を考えると，力積が小さく$\theta \to 0$となる場合に点Pと衝突位置は一致し，力積が大きく$\theta \to \frac{\pi}{2}$となる場合に点Pと衝突位置は対極（Cを挟んだ円周上の向かい側）の関係になる。

以上より，点Pは（イ）の範囲にあることが結論される。

答　（イ）

小計

受験番号	学部　　　　番

A — 2

物　理　解　答　用　紙

（標準的な正答例であり，この他にも正解となる解答はあります。）

2

(1)

$n_a > n_b$（あるいは，媒質 a の屈折率が媒質 b の屈折率より大きい）

問1

(2) [説明と計算式]

屈折角を θ_b とすると，屈折の法則より $n_a \sin\theta_a = n_b \sin\theta_b$ の関係が成り立つ。いま $n_a > n_b$ なので左辺の最大値は $\sin\theta_b=1$ の時でありその時 $n_a \sin\theta_a = n_b$ である。

変形すると $\sin\theta_a = n_b/n_a$ となり，この時の θ_a より大きければ全反射が起きる。

答　θ_a が $\sin\theta_a \geqq n_b/n_a$ を満たすとき（>でも可）

問2

[説明と計算式]

媒質 1 から媒質 2 への入射角は θ_1，屈折角は θ_2 であり，媒質 2 から媒質 3 への入射角は θ_3，屈折角は θ_4 であるから，屈折の法則より以下の 2 式が成り立つ。

$n_1\sin\theta_1 = n_2\sin\theta_2$

$n_2\sin\theta_3 = n_3\sin\theta_4$

ここで $\theta_2 = \theta_3$（∵ 錯角）なので，

$n_1\sin\theta_1 = n_3\sin\theta_4$

となる。

答　$n_1\sin\theta_1 = n_3\sin\theta_4$

問3

[説明と計算式]もれずに光が進むためには全反射条件を満たす必要がある。

n_2 と n_1 の境界面で全反射が起こる場合，全反射の臨界角を θ_c とおくと，

$n_2 \sin\theta_c = n_1 \sin 90^\circ$ であり，よって $\sin\theta_c = n_1/n_2$。一方，空気から円柱への屈折角は $90^\circ - \theta_c$ となるから，

$1 \cdot \sin\theta = n_2 \sin(90^\circ - \theta_c)$ となる。（1 式）

ここで $\sin(90^\circ - \theta_c) = \cos\theta_c = \sqrt{1-sin^2\theta_c} = \sqrt{1-\frac{n_1^2}{n_2^2}} = \frac{1}{n_2}\sqrt{n_2^2-n_1^2}$

となる。これを 1 式に代入し，

$\sin\theta \leqq \sqrt{n_2^2-n_1^2}$ が得られる。

n_1 と空気の境界面で全反射が起きる場合，上記と同様に算出すると，

$\sin\theta \leqq \sqrt{n_2^2-1}$ が得られる。

$n_1>1$ なので $\sqrt{n_2^2-n_1^2} < \sqrt{n_2^2-1}$ であり，答えは $\sin\theta \leqq \sqrt{n_2^2-1}$ となる。

答　$0 \leqq \sin\theta \leqq \sqrt{n_2^2-1}$（$0 \leqq \sin\theta < \sqrt{n_2^2-1}$ でも正解とする）

小計	

受験番号	学部　　　　番

A－3

物　理　解　答　用　紙

（標準的な正答例であり，この他にも正解となる解答はあります。）

3

問 1

[説明と計算式]

誘電体が挿入されていないときのコンデンサーの容量 C_0 は $C_0 = \varepsilon_0 \dfrac{ab}{d}$ である

から、求める電荷量 Q_0 は $Q_0 = C_0 V = \dfrac{\varepsilon_0 abV}{d}$

答　$\dfrac{\varepsilon_0 abV}{d}$

問 2

[説明と計算式]

電荷量 Q_0 が電位差 V を移動したことになるので、求める仕事 W_0 は

$W_0 = Q_0 V = \dfrac{\varepsilon_0 abV^2}{d}$

答　$\dfrac{\varepsilon_0 abV^2}{d}$

問 3

[説明と計算式]

電池がした仕事とコンデンサーに蓄えられた静電エネルギーの差が抵抗で消費されたエネルギーである。コンデンサーに蓄えられた静電エネルギー U は $U = \dfrac{1}{2}C_0V^2 = \dfrac{\varepsilon_0 abV^2}{2d}$ となるので、抵抗で消費されたエネルギー J は $J = W_0 - U = \dfrac{\varepsilon_0 abV^2}{d} - \dfrac{\varepsilon_0 abV^2}{2d} = \dfrac{\varepsilon_0 abV^2}{2d}$

答　$\dfrac{\varepsilon_0 abV^2}{2d}$

問 4

[理由]

仕事が負なので、**加える力の向きと移動の向きが逆向き**であることがわかる。移動の向きはコンデンサーに押し込む向きなので、外から加える力の向きはコンデンサーから引き出す向きである。

答　（イ）

問 5

[説明と計算式]

右半分は、極板間が空気の電気容量 C_1 のコンデンサーと、誘電体が挿入された電気容量 C_2 のコンデンサーの二つのコンデンサーが直列接続されたものと見なせる。極板面積および極板間距離は共にそれぞれ $ab/2$、$d/2$ であるから $C_1 = \varepsilon_0 \dfrac{ab/2}{d/2} = \varepsilon_0 \dfrac{ab}{d}$, $C_2 = \varepsilon \dfrac{ab/2}{d/2} = \varepsilon \dfrac{ab}{d}$ となり、右半分の電気容量 C_R は

$C_R = \dfrac{1}{1/C_1 + 1/C_2} = \dfrac{C_1C_2}{C_1 + C_2} = \dfrac{\varepsilon_0\varepsilon}{\varepsilon_0 + \varepsilon}\dfrac{ab}{d}$

答　$\dfrac{\varepsilon_0\varepsilon}{\varepsilon_0 + \varepsilon}\dfrac{ab}{d}$

問 6

[説明と計算式]

左半分は極板面積 $ab/2$、極板間距離 d なので電気容量 C_L は $C_L = \varepsilon_0 \dfrac{ab/2}{d} = \varepsilon_0 \dfrac{ab}{2d}$ となる。左半分と右半分が並列接続されているとみなせるので、全電気容量 C は $C = C_L + C_R = \varepsilon_0 \dfrac{ab}{2d} + \dfrac{\varepsilon_0\varepsilon}{\varepsilon_0 + \varepsilon}\dfrac{ab}{d} =$
$\varepsilon_0 \left(\dfrac{1}{2} + \dfrac{\varepsilon}{\varepsilon_0 + \varepsilon}\right)\dfrac{ab}{d} = \dfrac{\varepsilon_0(\varepsilon_0 + 3\varepsilon)}{2(\varepsilon_0 + \varepsilon)}\dfrac{ab}{d}$

答　$\dfrac{\varepsilon_0(\varepsilon_0 + 3\varepsilon)}{2(\varepsilon_0 + \varepsilon)}\dfrac{ab}{d}$

問 7

[説明と計算式]

コンデンサーに蓄えられた電荷量は Q_0 から変化していないので、求める電圧を V' とおくと

$V' = \dfrac{Q_0}{C} = \dfrac{\varepsilon_0 abV}{d}\dfrac{2(\varepsilon_0 + \varepsilon)}{\varepsilon_0(\varepsilon_0 + 3\varepsilon)}\dfrac{d}{ab} = \dfrac{2(\varepsilon_0 + \varepsilon)}{\varepsilon_0 + 3\varepsilon}V$

答　$\dfrac{2(\varepsilon_0 + \varepsilon)}{\varepsilon_0 + 3\varepsilon}V$

小計	