

令和3年度

理工学群物理学類
私費外国人留学生入試

小論文
試験問題

注意事項

- ① 問題1および問題2は別々の解答用紙に日本語で解答すること。下書き用紙は採点しません。
- ② 試験時間は90分です。

問題 1

火星の有人探査はこれまでに複数の計画が立てられてきた。その実現のために対処しなければならない問題の一つは、現在の技術では長期間、地球外に人が滞在しなければならない、そして地球表面とは大きく異なる重力が長期間人間に働くと悪影響を及ぼすことである。この問題に関する以下の問いに答えよ。

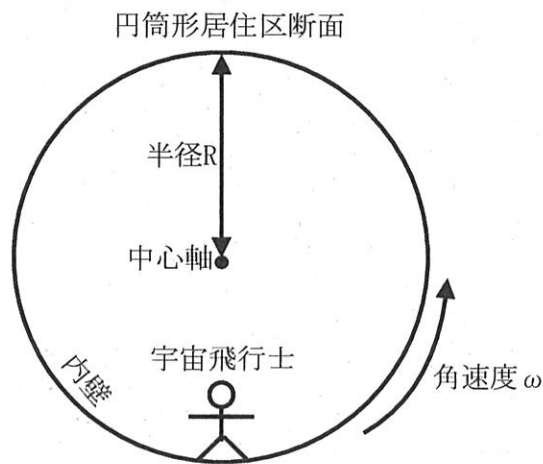


図 1

- (A) 巨大な円筒形の居住区を宇宙船に設け、この内壁上で地球表面と同じ重力に相当する力を宇宙で宇宙飛行士に働かせるために、その円筒の中心軸の回りで、一定の角速度で回転させることを考える。図 1 に円筒形の居住区の断面の模式図を示す。宇宙船は無重力の宇宙にあって、等速直線運動をしている。居住区の円筒の内壁上には宇宙飛行士がいるとする。円筒形の半径を R 、角速度を ω として以下の問いに答えよ。但し、居住区の大気の影響は無視できるとし、宇宙飛行士やバネの大きさは半径 R に比べて十分小さいものとする。

問 1 力の大きさを計測する機器としてバネを用いる。このバネは地球表面で質量 m の物体を吊り下げると L だけ伸びた。このバネを宇宙船の居住区に持ち込んだ。この円筒の内壁上で質量 m の物体を吊り下げて地球表面と同じ長さ L だけバネを伸ばすのに必要な角速度 ω を地表の重力加速度 g と m 、 R の中で必要なものを用いて表せ。

以下の問2から問5まで、問1で求めた角速度で居住区は回転しているとする。

問2 内壁上の宇宙飛行士が質量 m の物体を吊るしたこのバネを持ち、図1に示された面内において、内壁に沿って一定の速度 v で運動した時、バネの伸び L_v が変化する。この時の速度 v は、回転による内壁の運動方向と同じ向きを向いている場合で正値をとり、逆向きでは負値を取るとする。 $0 \leq L_v \leq 4L$ の範囲で、 v と L_v の関係をグラフに示して説明せよ。またこのグラフ中で、 $L_v = 0$ の時の速度 v を m 、 L 、 R 、 ω のうち必要なものを用いて表せ。

問3 宇宙飛行士が質量 m の物体を吊るしたこのバネを持って、内壁に固定され中心軸へ垂直に伸びる梯子をゆっくり登っていく。内壁上から測って高さ H の時のバネの伸び L_H を、 $0 \leq H < R$ の範囲で H の関数としてグラフに示して説明せよ。またこのグラフ中で、 $H = R/2$ の時のバネの伸び L_H を L を用いて表せ。

問4 高さ $H = R/2$ で梯子に静止した宇宙飛行士の持つバネから、質量 m の物体が静かに外れた。その後、質量 $2m$ の予備の物体をバネにつけたが、すぐにまたバネから静かに外れた。この外れた2つの物体は居住区外で宇宙船と同じ速度で等速直線運動をする別の宇宙飛行士から見て、内壁に衝突するまでにそれぞれどのような運動を行うか。解答用紙に図1のような円筒形の居住区断面図と2つの物体の運動の軌道を描き、その理由も説明せよ。

問5 内壁上の宇宙飛行士が内壁に印を描き、その印の位置で中心軸に向けて内壁に対して垂直に飛び上がった。その後時間が経つとこの宇宙飛行士は内壁上に着地したが、その着地点は、以下の3つのうちどれか。また、その理由も説明せよ。

- (1) 回転による内壁の運動方向にずれた地点
- (2) 回転による内壁の運動方向と逆方向にずれた地点
- (3) 印の位置の地点

(B) 地球表面で 80 kg の体重の宇宙飛行士が 50 cm の高さまで垂直に飛び上がれるとする。この宇宙飛行士が地球表面で測った重量 120 kg の宇宙服を装備して火星表面に着陸したとする。以下の問いに答えよ。但し、地球と火星は一様で完全な球と考え、火星の半径は地球の半径の 0.53 倍、火星の質量は地球の質量の 0.11 倍、火星の自転周期は地球と同じであると近似して考えよ。また問 8 以外の問題では地球と火星の遠心力は無視でき、地球と火星の大気の影響はすべての問題で無視できるとする。解答には途中の計算も記せ。

問 6 この火星表面で問 1 のバネに質量 m の物体を吊り下げると、バネの伸びは地球表面での伸び L に対して何倍か。最も近い数字を表 1 から選べ。

表 1

1	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1
---	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

問 7 この宇宙飛行士が垂直に飛び上がる時に、地球の地面と火星の地面を蹴る力積が相等しいとすれば、宇宙飛行士は火星表面からどれだけの高さ[cm]まで飛び上がることができるか。最も近い数字を表 2 から選べ。

表 2

100	90	80	70	60	50	40	30	20	10
-----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

問 8 地球赤道上での物体に働く遠心力の大きさは、地球の万有引力の大きさと比べると 0.34% と近似できる。火星赤道上での物体に働く遠心力の大きさは、火星の万有引力の大きさと比べると何%になるか。最も近い数字を表 1 から選べ。

問題 2

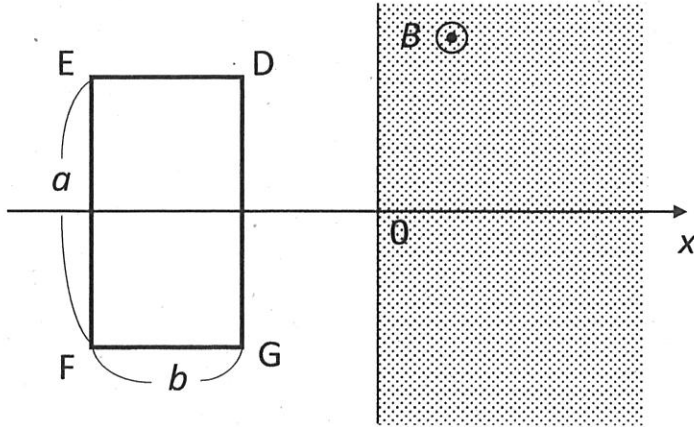


図 1

図 1 に示すように、 $x > 0$ の領域において、平面の裏から表に向けて、磁束密度 B の一様な磁場がある。この平面上で、抵抗値 R の抵抗を持つ辺の長さが a と b からなる長方形をした 1 巻のコイル DEFG を、 x 軸正の向きに一定の速さ v で移動させる。時刻 $t = 0$ において、コイルの右辺 DG が $x = 0$ を通過したとする。コイルの右辺 DG が $x = 0$ を通過してからコイルの左辺 EF が $x = 0$ に到達するまでの $0 < t < b/v$ を満たす時刻 t について、以下の問いに答えよ。

問 1. コイルに発生する誘導起電力の大きさを求めよ。

問 2. コイルに流れる電流の向きと大きさを求めよ。

問 3. コイルを一定の速さ v で移動させるために加える外力の向きと大きさを求めよ。

問 4. $0 < t < b/v$ の時間にコイルで発生するジュール熱を求めよ。

問 5. l をある決まった長さとして、 $a + b = l$ を満たす様々な辺の長さを持つ長方形のコイルを考える。このとき問 4 で求めたジュール熱が最大となる a の値を l を用いて表せ。またその時のジュール熱を求めよ。

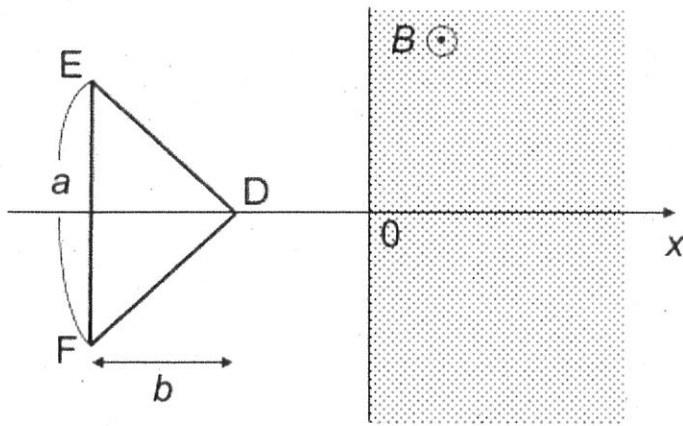


図 2

次に図 2 に示すように、図 1 と同じ平面上で、底辺が a で高さが b の二等辺三角形の 1 巻のコイル DEF を、 x 軸正の向きに一定の速さ v で移動させる場合を考える。辺 EF は常に x 軸と垂直であるとする。コイルは抵抗値 R の抵抗を持ち、時刻 $t=0$ にコイルの右端 D が $x=0$ を通過するものとする。時刻 $t=0$ からコイルの辺 EF が $x=0$ に到達する時刻 $t=b/v$ までの、 $0 < t < b/v$ を満たす時刻 t について、以下の問いに答えよ。

問 6. 時刻 t において、コイルを貫く磁束 Φ を求めよ。

問 7. 時刻 t における磁束と、時刻 $t+\Delta t$ における磁束を考え、磁束の変化量 $\Delta\Phi$ を求めよ。そして、時間の差 Δt が十分小さいとして、時刻 t における誘導起電力を求め、横軸を時刻 t 、縦軸を誘導起電力とするグラフの概略を描け。

問 8. コイルを一定の速さ v で動かすため、時刻 t において、コイルに加える力の大きさを求めよ。