

4 3 4 4 4 5 【理 学 部】

理 科 問 題

2020(令和2)年度

【注意事項】

1. 受験区分により解答する科目数および試験時間が異なるので注意すること。

受験区分	解答科目数	試験時間
A方式	2科目	180分
B方式	1科目	90分

2. 試験開始の合図まで, この問題冊子を開いてはいけない。ただし, 表紙はあらかじめよく読んでおくこと。
3. この問題冊子の印刷は1ページから20ページまであり, 解答用紙は問題冊子中央に9枚はさみこんである。

科 目	問 題	解答用紙
物 理	1ページから7ページ	3枚 (43-1, 43-2, 43-3)
化 学	8ページから12ページ	3枚 (44-1, 44-2, 44-3)
生 物	13ページから20ページ	3枚 (45-1, 45-2, 45-3)

4. 問題冊子に落丁, 乱丁, 印刷不鮮明な箇所等があった場合および解答用紙が不足している場合は, 手をあげて監督者に申し出ること。
5. 試験開始後, 解答する科目の解答用紙の所定欄に, 受験番号と氏名を記入すること (1枚につき受験番号は2箇所, 氏名は1箇所)。
6. 解答は必ず解答用紙の指定された箇所に記入すること。解答用紙の裏面に記入してはいけない。
7. 解答する科目の問題番号に対応した解答用紙に解答していない場合は, 採点されない場合もあるので注意すること。
8. 解答する字数に指定がある場合は, 句読点も1字として数えること。英数字を記入する場合は, 1字分のマス目に2文字まで記入してよい。
9. 解答用紙を切り離したり, 持ち帰ってはいけない。解答しない科目の解答用紙も提出すること (提出方法については, 試験終了後の指示に従うこと)。
10. 問題冊子の中の白紙部分は下書き等に使用してよい。
11. 試験終了時刻まで退室を認めない。試験中の気分不快やトイレ等, やむを得ない場合には, 手をあげて監督者を呼び, 指示に従うこと。
12. 試験終了後は問題冊子を持ち帰ること。

43 物理

1 ページから 7 ページ

〔 I 〕 図のように、地球(半径 R 、質量 M の一様な球)の中心 O から距離 $2R$ の円軌道上を宇宙船が一定の速さで飛行している。万有引力定数を G として以下の問いに答えなさい。

(1) 中心 O から距離 $2R$ の円軌道上の宇宙船の速さ V_0 を求めなさい。

(2) 宇宙船が中心 O から距離 $2R$ の円軌道を一周する周期 T_0 を求めなさい。

〔1回目の噴射〕図のように、この宇宙船が円軌道上で固体燃料を燃焼させ、進行方向と逆向きに燃焼ガスをジェットガスとして一瞬噴射させて速度を変化させる。噴射されたジェットガスの質量と噴射後の宇宙船の質量の比は $p_1 : (1 - p_1)$ である。また、噴射されたジェットガスの速度は、宇宙船の進行方向に対して逆向きで、大きさは噴射後の宇宙船から見て $q_1 V_0$ である。

(3) 噴射直後の宇宙船の速さ V_1 は、 V_0 の何倍か答えなさい。

(4) 噴射直後の宇宙船と噴射されたガスの運動エネルギーの総和 E_1 と、噴射前の宇宙船の運動エネルギー E_0 の比を求めなさい。また、 E_0 と E_1 の大小関係を答えなさい。

ジェットガス噴射後、図のように、宇宙船は楕円軌道上を飛行した。地球の中心 O から楕円軌道の最遠方の点までの距離は $6R$ であった。

(5) 最遠方の点での宇宙船の速さ V_1' は V_1 の何倍か答えなさい。

(6) p_1 と q_1 の積 $p_1 q_1$ を求めなさい。

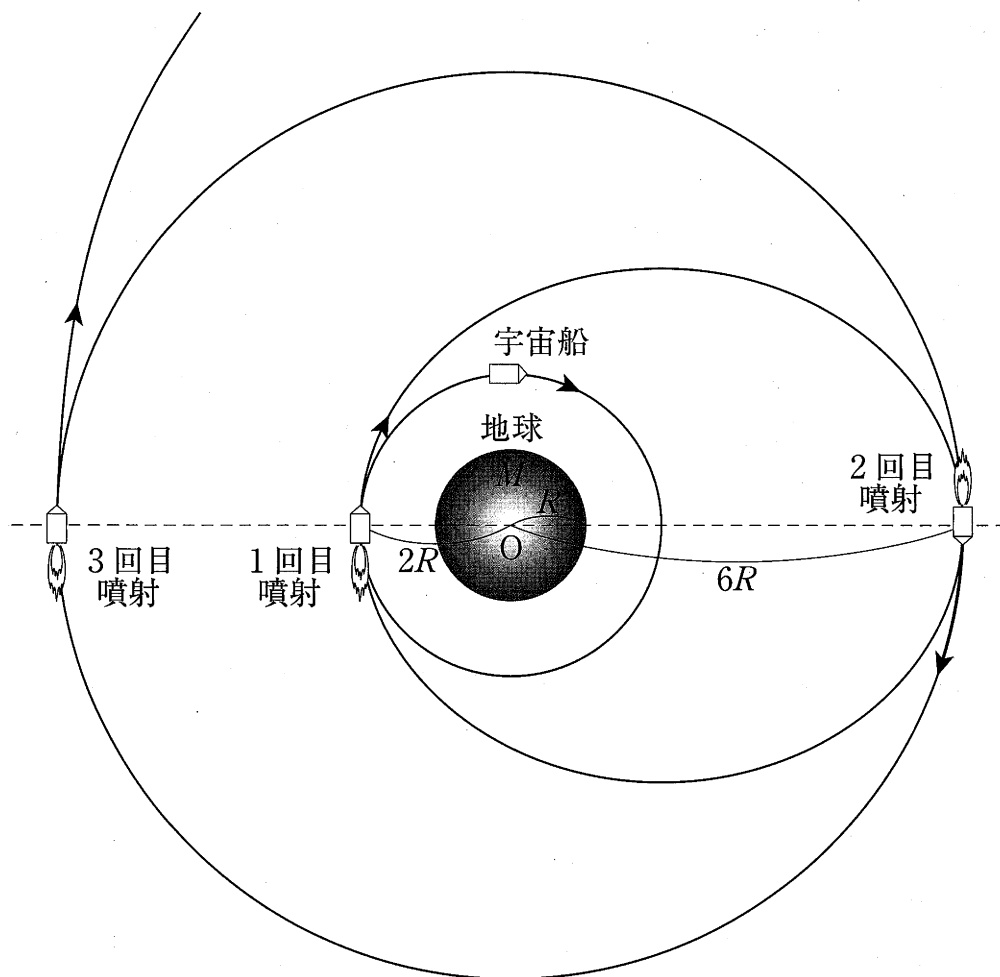
(7) この楕円軌道飛行の周期は T_0 の何倍か答えなさい。

〔2回目の噴射〕図のように、楕円軌道上を飛行する宇宙船が最遠方の点でさらに進行方向と逆向きにジェットガスを噴射して、地球の中心 O からの距離が $6R$ の円軌道に乗るようにしたい。この噴射において、噴射されたガスの質量と噴射後の宇宙船の質量の比は、 $p_2 : (1 - p_2)$ とし、噴射されたジェットガスの速さは、噴射後の宇宙船から見て $q_2 V_1'$ とする。

(8) $p_2 q_2$ を求めなさい。

【3回目の噴射】図のように，地球の中心 O から距離 $6R$ の円軌道上を飛行するようになった宇宙船が，さらに進行方向と逆向きにジェットガスを噴射し，地球から無限遠までの飛行を目指す。この噴射において，噴射されたガスの質量と噴射後の宇宙船の質量の比は， $p_3 : (1 - p_3)$ とし，噴射されたジェットガスの速さは，噴射後の宇宙船から見て，噴射前の宇宙船の速さの q_3 倍とする。

(9) $p_3 q_3$ はどのような条件を満たさなければならないか答えなさい。



〔Ⅱ〕 電流が循環する系を電気回路と呼ぶのに対し、磁束が循環する系を磁気回路と呼ぶ。電気回路の電流と磁気回路の磁束を対応させると、2つの回路の間には類似の関係が成り立つことが知られている。この関係に基づいて、磁気回路と等価な電気回路を考え、磁気回路に生じる磁束あるいは磁場の強さを電気回路の法則を用いて計算することができる。

最初に、単純な磁気回路として、図1のような一辺の長さが L の正方形の鉄心に巻き数 N のコイルが一樣に巻かれた磁気回路Aと局所的に巻かれた磁気回路Bを考える。それぞれの回路に巻かれたコイルには一定の電流 I が矢印の向きに流れている。以下、全ての磁気回路の鉄心の断面積はどこでも一定であり、その値を S とする。鉄心の透磁率(磁束密度 = 透磁率 $\times$ 磁場)を μ_i とする。磁束は鉄心の外側に漏れないとする。

- (1) 磁気回路Aに関して、鉄心の中に生じる磁場の強さ H_1 は、鉄心に巻かれたコイルの単位長さあたりの巻き数とコイルに流れている電流の積である。 H_1 を求めなさい。また、その向き(時計回りか反時計回りか)を答えなさい。
- (2) 磁気回路AとBにおいてコイルの巻き数 N とコイルに流れている電流 I が等しいとき、それぞれの回路に生じる磁場の強さは等しい。磁気回路Bに生じる磁束 Φ_1 を求めなさい。

磁気回路Bに等価な電気回路Cを考える。磁気回路Bの磁束 Φ_1 を電気回路Cの電流に対応させる。また、磁気回路Bのコイルの巻き数 N とコイルに流れる電流 I の積 NI を電気回路Cの起電力 V に対応させる。この対応に基づいて電気回路Cにおけるオームの法則と類似な関係を磁気回路Bに適用すると、電気回路Cの電気抵抗 R に対応する磁気抵抗と呼ばれる量を磁気回路Bにおいて定めることができる。

- (3) 磁気回路Bの磁気抵抗 $\widetilde{R}$ を、鉄心の長さ、断面積、および透磁率を用いて表しなさい。

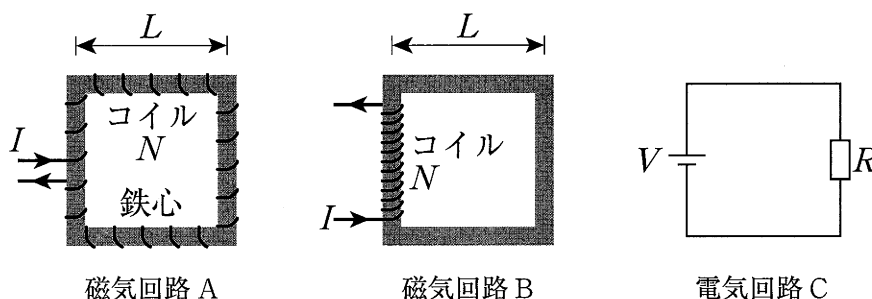


図1

次に、図2に示すように、一辺の長さ L の正方形の鉄心の一部が切れ、長さ d の狭い空隙 (くうげき) がある磁気回路 D を考える。磁気回路 D には巻き数 N のコイルが巻かれており、コイルには一定の電流 I が矢印の向きに流れている。空隙の部分では、鉄心内に生じた磁束が鉄心の端から出て、再び鉄心の他端に入る。空隙の長さ d は十分短いため、空隙部分での磁束の断面積は鉄心部分と同じ S である。空隙部分の透磁率は μ_a とする。

鉄心部分と空隙部分の磁場の強さをそれぞれ H_i と H_a とし、鉄心部分の長さ $4L - d$ と空隙部分の長さ d を用いると、

$$NI = H_i(4L - d) + H_a d \quad \dots (*)$$

の関係が成り立つ。これは、電気回路におけるキルヒホッフの第2法則、すなわち、「回路中の任意の閉じた経路に沿って1周するとき、起電力の総和は、抵抗による電圧降下の総和に等しい」に類似する。つまり、磁気回路 D に対し等価な電気回路 E を考え、磁気回路 D の鉄心部分と空隙部分の磁気抵抗をそれぞれ電気回路 E の電気抵抗 R_i と R_a に対応させると、式 (*) は、「鉄心部分と空隙部分の磁場の強さと長さの積が、電気回路 E の電気抵抗 R_i と R_a におけるそれぞれの電圧降下と対応する」ことを示している。

(4) 磁気回路 D に生じる磁束 Φ_2 を求めなさい。ただし、 H_i 、 H_a を用いずに答えなさい。

(5) 鉄心部分の磁気抵抗 $\widetilde{R}_i$ と空隙部分の磁気抵抗 $\widetilde{R}_a$ をそれぞれ求めなさい。

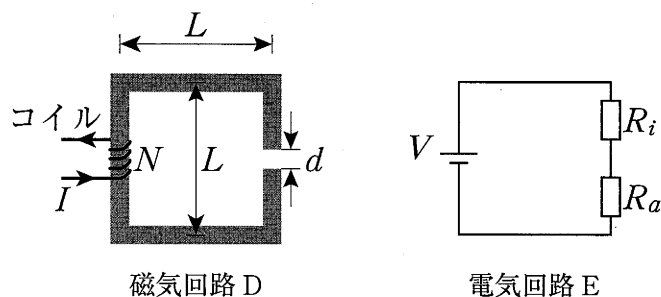


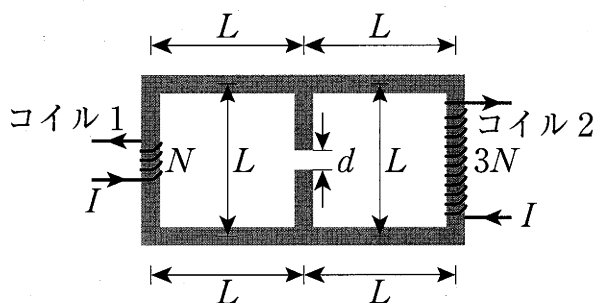
図2

最後に、図3のような長さ d の空隙をもつ鉄心に2つのコイル1, 2が巻かれた磁気回路Fを考える。コイル1の巻き数は N であり、コイル2の巻き数は $3N$ である。コイル1とコイル2にはともに電流 I が矢印の向きに流れている。

(6) 3種類の電気抵抗 (R_1 : 長さ L の鉄心の磁気抵抗に等価な電気抵抗, R_2 : 長さ $L - d$ の鉄心の磁気抵抗に等価な電気抵抗, R_3 : 長さ d の空隙の磁気抵抗に等価な電気抵抗) とコイル1, 2の巻き数と電流の積に対応する2つの起電力 V , $3V$ を組み合わせて、磁気回路Fと等価な電気回路を図示しなさい。電気回路図の中のすべての電気抵抗および起電力には R_1 , R_2 , R_3 , V , $3V$ のいずれかを明記すること。

(7) 電気回路におけるキルヒホッフの第1法則および第2法則に関して、磁気回路においても類似の関係が成り立つ。コイル1が巻かれた鉄心内に生じる磁束を Φ_3 , コイル2が巻かれた鉄心内に生じる磁束を Φ_4 とおく。 $\Phi_3 + \Phi_4$ を求めなさい。

(8) 空隙部分の磁場の強さ H_3 を求めなさい。



磁気回路 F

図 3

- 〔Ⅲ〕 S_1, S_2 を波源とする 2 つの波が伝播する場合を考える。2 つの波の振幅, 周期, 真空中での波長は全て等しく, それぞれ a, T, λ である。また, 時刻 $t = 0$ における波源 S_1, S_2 での波の位相は同位相 φ である。 S_1, S_2 から点 P までの距離をそれぞれ l_1, l_2 とし, S_1P 間, S_2P 間の屈折率をそれぞれ n_1, n_2 とする。

- (1) 点 P における 2 つの波は,

$$y_1 = a \sin \left\{ 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{n_1 l_1}{\lambda} \right) + \varphi \right\}, \quad y_2 = a \sin \left\{ 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{n_2 l_2}{\lambda} \right) + \varphi \right\}$$

と表すことができる。点 P での合成波の振幅を求めなさい。

- (2) 2 つの波が点 P で強め合う条件を, m ($m = 0, 1, 2, \dots$) を用いて示しなさい。

図 1 のように, 空気中にある平らな薄膜(空気に対する屈折率 $n > 1$, 厚さ d) に対して, 入射角 θ_1 で入射する光を考える。点 E から点 C を見ると, 薄膜の上面で反射した光(経路 DCE の光)と薄膜の底面で反射した光(経路 $ABCE$ の光)が干渉する。

- (3) 入射光の波長を λ としたとき, 薄膜中における波長 λ' を求めなさい。また, 入射角 θ_1 と屈折角 θ_2 の関係を示しなさい。

- (4) 経路 DCE の光と経路 $ABCE$ の光の光路差を求めなさい。また, 干渉によってこれらの光が強め合う条件を, m ($m = 0, 1, 2, \dots$) を用いて示しなさい。

- (5) 図 2 は波長と色の関係を示している。厚さ $0.10 \mu\text{m}$, 屈折率 1.5 の薄膜に入射角 45° , 30° , 0° で光が入射したとき, 薄膜はそれぞれ何色に見えるか答えなさい。必要な場合, 次の数値を用いなさい。 $\sqrt{2} = 1.41$, $\sqrt{3} = 1.73$, $\sqrt{5} = 2.24$, $\sqrt{7} = 2.65$

- (6) 身近な薄膜の例にシャボン玉がある。太陽の下では, シャボン玉は色づいて見える。その理由を 50 字程度で述べなさい。

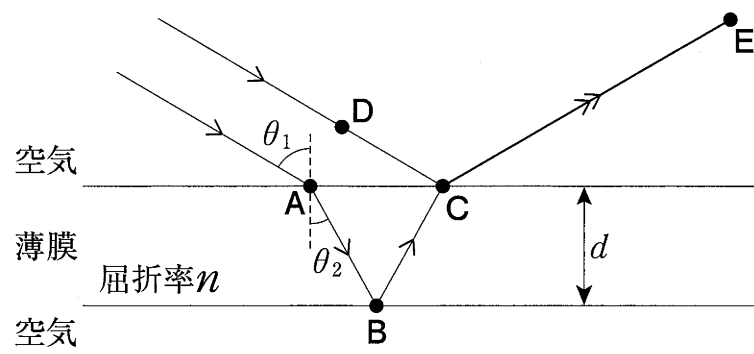


図 1

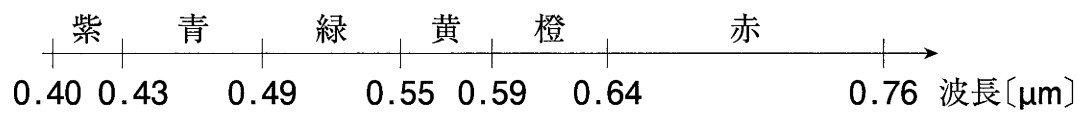


図 2
(理科年表 2018 より)