奈良県立医科大学　後期

平　成　26　年　度

試　験　問　題

理　　　　科

（9時 ～ 12時）

【注　意】

1. **試験開始の合図があるまで，この問題冊子の中をみてはならない．**
2. 試験科目，ページ，解答用紙数および選択方法は下表のとおりである．

科　目	ページ	解答用紙数	選　択　方　法
化　学	1 ～ 14	2　枚	左の**3科目のうちから2科目**を選択せよ．
生　物	15 ～ 32	3　枚	
物　理	33 ～ 44	3　枚	

3. **監督者の指示**に従って，選択しない科目を含む**全解答用紙**（8枚）に受験番号と選択科目を記入せよ．

① **受験番号欄**に**受験番号**を記入せよ．

② **選択科目記入欄**に**選択する2科目**を○印で示せ．

上記①，②の記入がないものおよび3科目を選択または1科目のみを選択した場合は**答案全部を無効**とする．

4. 解答はすべて解答用紙の対応する場所に記入せよ．
5. **物理**を選択するものは，必要な計算等を解答用紙中の**計算用余白**で行え．採点の参考にする．
6. 試験開始後，問題冊子の印刷不鮮明，ページの落丁・乱丁および解答用紙の汚れ等に気づいた場合は，手を挙げて監督者に知らせよ．
7. 解答用紙はいずれのページも**切り離してはならない．**
8. **解答用紙は持ち帰ってはならない．**問題冊子は持ち帰ってよい．

◇M5（739—103）

物　　　理

【1】 以下の $\boxed{}$ の中に適当な数または式を記入せよ.

図1のように，水平な床の上に，傾斜角 θ〔rad〕の斜面をもつ台Aがあり，その上に質量 m〔kg〕の小さな物体Bが置かれている．最初，台Aと物体Bは静止しており，物体Bは斜面の下端にあるとする．水平方向に大きさ a〔$\mathrm{m/s^2}$〕の一定の加速度で台Aを動かしたところ，物体Bが斜面を昇り始めた．

重力加速度の大きさを g〔$\mathrm{m/s^2}$〕とし，台Aの斜面と物体Bの間に摩擦はないものとする．

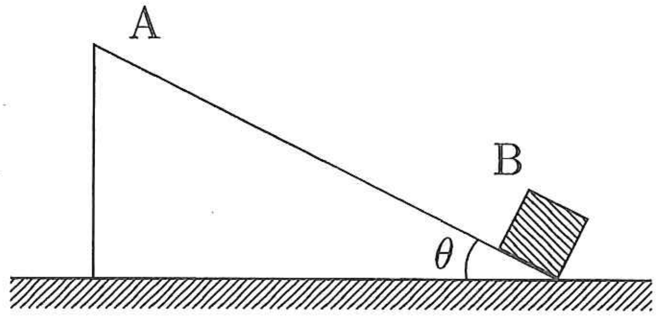

図1　台Aおよび物体B.

Ⅰ）まず，一定の加速度 a で動く台Aの上の観測者から見た物体Bの運動を考える．台Aの上の観測者から見ると，物体Bには大きさ

$$\boxed{\quad (1\cdot 1) \quad}\ \text{〔N〕}$$

の見かけの力がはたらいている．斜面に垂直な方向の力のつりあいを考えると，物体Bにはたらく垂直抗力の大きさ N〔N〕は

$$N = \boxed{\quad (1\cdot 2) \quad}$$

である．斜面と平行な方向の物体Bの運動方程式より，台Aに対する物体Bの加速度の大きさ α〔$\mathrm{m/s^2}$〕は

$$\alpha = \boxed{\quad (1\cdot 3) \quad}$$

となる．これより，物体Bが斜面を昇り始める条件として，a, g, θ の間には，

$$\boxed{\quad (1・4) \quad}$$

の関係が成り立つことがわかる（(1・4)には，関係式を記入する）．

また，物体Bが動き始めてから，斜面の上を距離 L〔m〕だけ移動するのに要する時間 T〔s〕は，a, g, θ を用いて，

$$T = \boxed{\quad (1・5) \quad}$$

である（(1・5)には，α を用いない）．

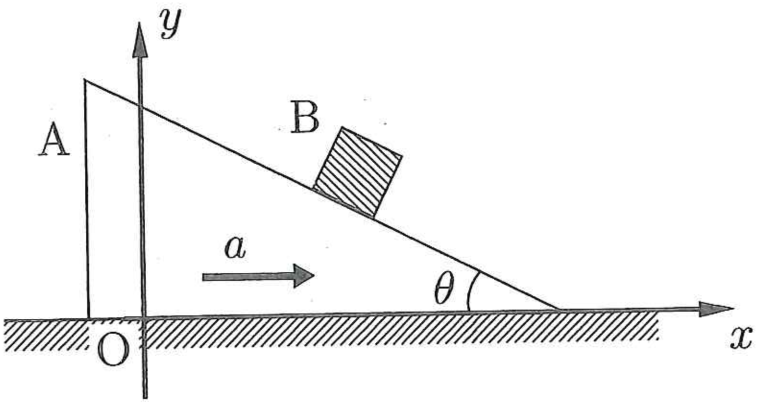

図2　原点O，x 軸および y 軸．

II）次に，床の上の観測者から見た物体Bの運動を考える．物体Bの最初の位置を原点Oとし，**図2**のように，水平方向に x 軸，鉛直方向に y 軸をとる．

一定の加速度 a で動く台Aの上の観測者から見た台Aに対する物体Bの加速度の大きさは α なので，床から見た物体Bの加速度の x 成分は，α を用いて，

$$\boxed{\quad (1・6) \quad} \text{〔m/s}^2\text{〕}$$

であり，床から見た物体Bの加速度の y 成分は，α を用いて，

$$\boxed{\quad (1・7) \quad} \text{〔m/s}^2\text{〕}$$

である．

これ以降，α を用いてはならない．物体 B が斜面の上を距離 L だけ移動したとき，物体 B の位置の x 座標 x_1〔m〕は，T を用いて，

$$x_1 = \boxed{\quad (1 \cdot 8) \quad}$$

である．物体 B の位置の y 座標 y_1〔m〕も同様であるが，(1・5)を用いれば，

$$y_1 = \boxed{\quad (1 \cdot 9) \quad}$$

となる((1・9)には，T を用いない)．これらより，物体 B の運動の軌跡は a, g, θ を用いた x と y の関係式

$$\boxed{\quad (1 \cdot 10) \quad}$$

によって表される((1・10)には，関係式を記入する)．ここで，a が g に比べて十分大きい場合を考え，g/a は非常に小さいとして，これを無視すると，物体 B の運動の軌跡を表す式は

$$\boxed{\quad (1 \cdot 11) \quad}$$

となる((1・11)には，関係式を記入する)．

床の上の観測者から見た物体 B の力学的エネルギー E〔J〕を考えよう．物体 B が斜面の上を距離 L だけ移動したとき，物体 B の重力の位置エネルギー U〔J〕は，原点 O を基準として，

$$U = \boxed{\quad (1 \cdot 12) \quad}$$

である．一方，物体 B の運動エネルギー K〔J〕は，時間 T を用いて，

$$K = \boxed{\quad (1 \cdot 13) \quad}$$

と表される．これらより，物体 B の力学的エネルギー

$$E = K + U$$

を求めることができるが，位置エネルギー U も時間 T を用いて表されるので，力学的エネルギー E についても，時間 T を用いて，

$$E = \boxed{\quad (1 \cdot 14) \quad}$$

と表される．これより，物体Bが台Aから受ける大きさNの力のx成分がする仕事およびy成分がする仕事を加えたものが力学的エネルギーEに等しい，すなわち，Eは，N, x_1, y_1, θを用いて，

$$E = \boxed{\quad (1 \cdot 15) \quad}$$

と表されることがわかる．

【2】 以下の $\boxed{}$ の中に適当な数または式を記入せよ．

I）電流や電気抵抗について，導体（金属）中の自由電子の運動から説明してみよう．**図3**のように，断面積 S〔$\mathbf{m^2}$〕，長さ ℓ〔m〕の導体に，電荷 $-e$〔C〕の自由電子が存在している．ただし，$e>0$ であり，単位体積中の自由電子数を n〔**個/m³**〕とする．導体の両端に電圧 V〔V〕をかけると，自由電子は電場から F_1〔N〕の大きさの力を受けて動き始めるが，動くと導体中の陽イオンなどから抵抗力も受ける．この抵抗力の大きさ F_2〔N〕は自由電子の速さ v〔m/s〕に比例し，比例定数を k〔N·s/m〕として，

$$F_2 = kv$$

で表されるとする．やがて F_1 と F_2 の力がつり合い，一定の速さ v_c〔m/s〕で自由電子は移動するようになり，その速さ v_c は

$$v_c = \boxed{\quad (2\cdot1) \quad}$$

となる（(2・1)には，F_1, F_2 を用いない）．導体中の全自由電子は平均としてこの v_c で運動すると考えることができ，導体を流れる電流 I〔A〕は，v_c を用いて，

$$I = \boxed{\quad (2\cdot2) \quad}$$

と表される．これより，オームの法則が成り立つことがわかり，電気抵抗 R〔Ω〕は，S, ℓ を用いて，

$$R = \boxed{\quad (2\cdot3) \quad}$$

と表される．

単位時間に自由電子1個が電場からされる仕事，すなわち，その仕事率は

$$\boxed{\quad (2\cdot4) \quad}\ \text{〔W〕}$$

であり，導体中の全自由電子が電場からされる仕事の仕事率は

$$\boxed{\quad (2\cdot5) \quad}\ \text{〔W〕}$$

となる（(2・4)，(2・5)には，F_1, F_2 を用いない）．この導体中の全自由電子についての仕事率は，I, R を用いて，

$$\boxed{\quad (2・6) \quad} \ \text{〔W〕}$$

と表され，自由電子が電場からされる仕事は最終的にはジュール熱に変わることがわかる．

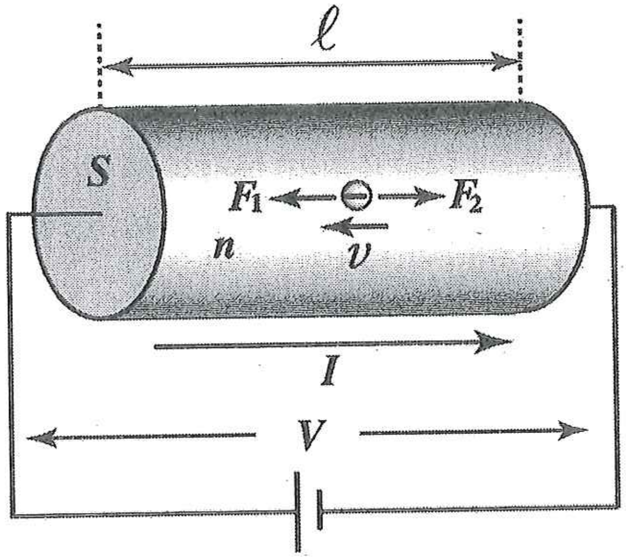

図 3　導体の中を移動する自由電子のモデル．

II）電気抵抗（これ以降，単に抵抗とする）と電池を接続した回路を考えよう．電池の内部抵抗および回路の導線の抵抗は，指定しないかぎり，無視できるとする．

まず，抵抗値が R_1〔Ω〕，R_2〔Ω〕の抵抗と起電力が E_1〔V〕，E_2〔V〕の電池を**図 4a** のように接続した回路を考える．ただし，$E_1 > E_2 > 0$ であり，この回路を流れる電流を，**図 4a** の矢印の向きを正として，I_0〔A〕とすると，

$$I_0 = \boxed{\quad (2・7) \quad}$$

である．また，回路中の点 B に対する点 A の電圧を V_0〔V〕とすると，

$$V_0 = \boxed{\quad (2・8) \quad}$$

である（(2・8)には，I_0 を用いない）．

図 4a の回路中の点 A と点 B に，抵抗値が R_3〔Ω〕の抵抗を接続して，**図 4b** の回路をつくる．抵抗 R_1, R_2, R_3 を流れる電流を，**図 4b** の矢印の向きを正として，それぞれ，I_1〔A〕，I_2〔A〕，I_3〔A〕とすると，キルヒホッフの法則より，I_1, I_2, I_3 の連立方程式が得られる．連立方程式を解いて，I_1, I_2, I_3 を求めると，

$I_1 =$ （2・9）

$I_2 =$ （2・10）

となる（I_3 は解答しない）．

これら I_1, I_2, I_3 を別の方法で求めてみよう．**図 4b** の回路から電池 E_2 を除くと，**図 4c** の回路となり，この回路での抵抗 R_1, R_2, R_3 を流れる電流を，**図 4c** の矢印の向きを正として，それぞれ，I_1'〔A〕，I_2'〔A〕，I_3'〔A〕とする．この回路は電池 E_1 と抵抗だけの回路であり，I_1', I_2', I_3' を求めると，

$I_1' =$ （2・11）

$I_2' =$ （2・12）

となる（I_3' は解答しない）．同様に，**図 4b** の回路から電池 E_1 を除くと，**図 4d** の回路となり，この回路での抵抗 R_1, R_2, R_3 を流れる電流を，**図 4d** の矢印の向きを正として，それぞれ，I_1''〔A〕，I_2''〔A〕，I_3''〔A〕とする．この回路も電池 E_2 と抵抗だけの回路であり，I_1'', I_2'', I_3'' を求めることができる．これら I_1', I_2', I_3' および I_1'', I_2'', I_3'' は I_1, I_2, I_3 と関係しており，I_1 については，I_1', I_1'' を用いて，

（2・13）

と表される（（2・13）には，I_1 の関係式を記入する）．I_2, I_3 も同様である．

さらに，I_3 を別の方法で求めてみよう．**図 4a** の回路を 1 つの電池とし，この電池の端子 A と端子 B に抵抗 R_3 を接続した回路が **図 4b** の回路であると考える．この電池の起電力は V_0 であり，この電池には内部抵抗 r〔Ω〕があるとすれば，

$$I_3 = \frac{V_0}{R_3 + r}$$

である．ここで，(2・8)のV_0および上で求めたI_3より，

$$r = \boxed{\quad (2 \cdot 14) \quad}$$

となり，内部抵抗の求め方がわかる．このような考え方に従い，**図 4b** の回路を 1 つの電池とし，この電池に抵抗値がR_4〔Ω〕の抵抗を接続した回路が**図 4e** の回路であると考えよう．この電池の起電力は**図 4b** の抵抗R_3の両端の電圧

$$\boxed{\quad (2 \cdot 15) \quad} \ \text{〔V〕}$$

であり((2・15)には，I_1, I_2, I_3を用いない)，この電池の内部抵抗は

$$\boxed{\quad (2 \cdot 16) \quad} \ \text{〔Ω〕}$$

であることがわかる．これらより，抵抗R_4を流れる電流を求めることができる．

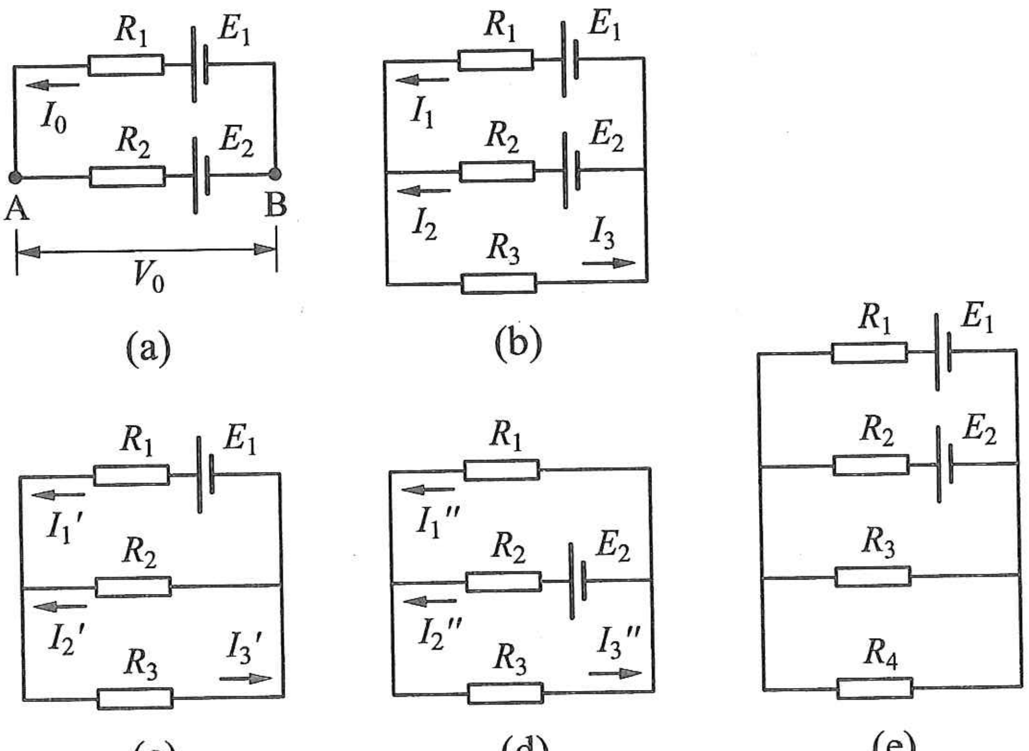

図 4　電気抵抗と電池からなる回路．

【3】 以下の $\boxed{}$ の中に適当な数，式，記号または語句を記入せよ．

I) **図5**のように，質量 m_{A}〔**kg**〕の天体 A と質量 m_{B}〔**kg**〕の天体 B が互いに引きあいながら，2 天体間のある点 O を中心に円運動をおこなっている．2 天体間の距離は一定に保たれているものとする．万有引力定数を G〔$\mathbf{N{\cdot}m^2/kg^2}$〕，円周率を π とする．

点 O と天体 A との距離を R_{A}〔**m**〕，点 O と天体 B との距離を R_{B}〔**m**〕，円運動の角速度を ω〔**rad/s**〕とすると，

$$m_{\mathrm{A}} R_{\mathrm{A}} \omega^2 = \boxed{\quad (3 \cdot 1) \quad}$$

$$m_{\mathrm{B}} R_{\mathrm{B}} \omega^2 = \boxed{\quad (3 \cdot 2) \quad}$$

が成り立つ．これらより，

$$\frac{R_{\mathrm{B}}}{R_{\mathrm{A}}} = \boxed{\quad (3 \cdot 3) \quad}$$

であり，点 O は 2 天体の

$$\boxed{\quad (3 \cdot 4) \quad}$$

であることがわかる（(3・4)には，適当な語句を記入する）．

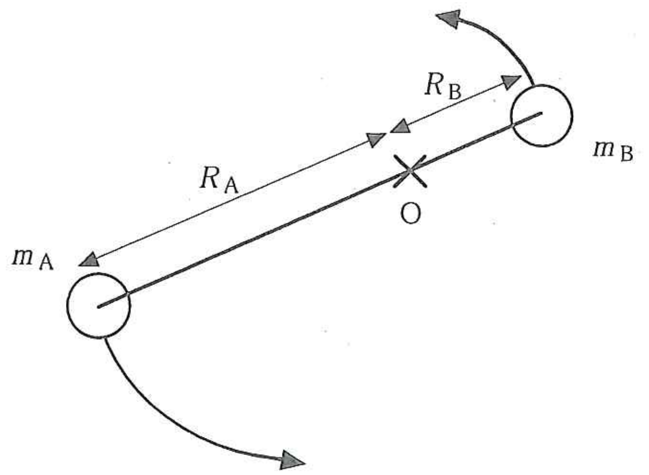

図5　天体 A と天体 B の運動.

また，公転周期を T〔s〕とすると，

$$\frac{T^2}{(R_A+R_B)^3} = \boxed{\quad (3\cdot5) \quad}$$

が成り立つことがわかる((3・5)には，R_A, R_B を用いない)．ここで，天体 A の質量 m_A が天体 B の質量 m_B に比べて非常に小さい場合を考えると，

(イ) R_B は零に近づく

(ロ) R_B は R_A に比べて非常に小さい

(ハ) R_A は R_B と等しくなる

(ニ) R_A は R_B に比べて非常に小さい

のうち

$$\boxed{\quad (3\cdot6) \quad}$$

として良い((3・6)には，適当な選択肢の記号を記入する)．このとき，m_A/m_B などは 1 に比べて非常に小さいとして，これらを無視すると，(3・5)から

$$\frac{T^2}{R_A^3} = \boxed{\quad (3\cdot7) \quad}$$

が導かれる．この T と R_A の関係は

$$\boxed{\quad (3\cdot8) \quad}$$

と呼ばれる((3・8)には，適当な語句を記入する)．

II) 恒星 α のまわりを 1 つの惑星 (以後 β とする) が公転していることが予想されており，この惑星 β の存在を確認するためにおこなった観測の結果が**図 6**，**図 7** である．地球上の観測者は公転面上の十分遠方に静止していると考えて良い．計算は文中および図中に与えられた数値を用いて行い，-1.2 あるいは 3.4×10^{-5} のように，有効数字 2 桁で答えよ．ただし，$G=6.67\times10^{-11}\ \mathrm{N{\cdot}m^2/kg^2}$, $\pi=3.14$ とし，真空中の光速は $3.00\times10^8\ \mathrm{m/s}$ とする．

波源と観測者が相対運動しているときには，波源が実際に出す波の振動数と観測者が観測する波の振動数が異なってくる．音や光などの波におこるこの現象を

$$\boxed{\quad (3 \cdot 9) \quad}$$

という((3・9)には，適当な語句を記入する).

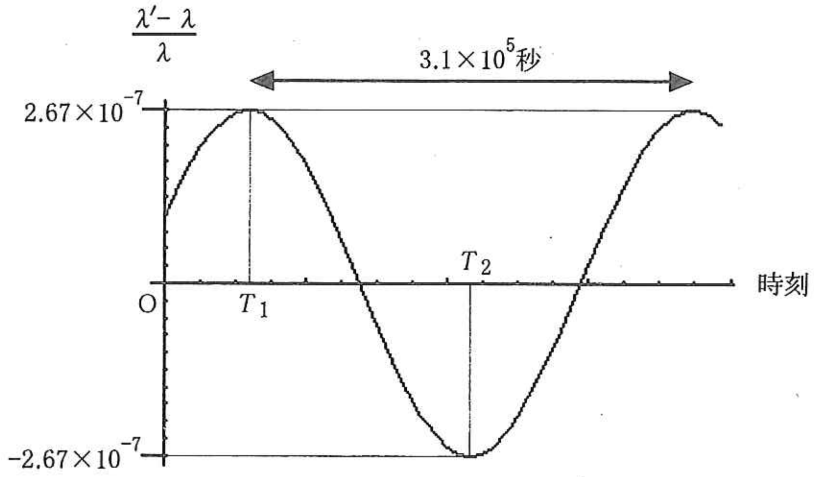

図 6　$\lambda = 5.0 \times 10^{-7}$ **m** の光についての波長の相対的なずれ.

光の振動数や波長は，(3・9)の現象により，波源と観測者では異なってくる. **図 6** は，恒星 α が出す波長 $\lambda = 5.0 \times 10^{-7}$ **m** の光について，地球上で観測された波長 λ'〔**m**〕の相対的なずれ $(\lambda' - \lambda)/\lambda$ である. **図 6** で T_1 とした時刻において，

(イ) 波長は赤いほうにずれており，恒星 α は遠ざかっている

(ロ) 波長は青いほうにずれており，恒星 α は遠ざかっている

(ハ) 波長は赤いほうにずれており，恒星 α は近づいている

(ニ) 波長は青いほうにずれており，恒星 α は近づいている

のうち

$$\boxed{\quad (3 \cdot 10) \quad}$$

であり，**図 6** で T_2 とした時刻においては，

$$\boxed{\quad (3 \cdot 11) \quad}$$

であるとわかる((3・10)，(3・11)には，適当な選択肢の記号を記入する). これらの時刻 T_1 および時刻 T_2 において，恒星 α は地球上の観測者に対して，速さ

(3・12)	m/s

で運動していることになる((3・12)には，有効数字2桁の数値を記入する).

恒星αと惑星βは，I)の2天体間についての議論のように，それぞれの星の中心を結ぶ線分上のある点のまわりを円運動していると考えられる．日食のような食の現象として，惑星βが恒星αの前を通過し始めたときの様子が，**図7**のように，地球上で観測された．惑星βの半径は8.3×10^7 **m**と推定される．惑星βの公転の速さは

(3・13)	m/s

であり，公転の軌道半径は

(3・14)	m

と計算される((3・13)，(3・14)には，有効数字2桁の数値を記入する)．また，恒星αの質量は惑星βの質量の

(3・15)	倍

であることがわかる((3・15)には，有効数字2桁の数値を記入する).

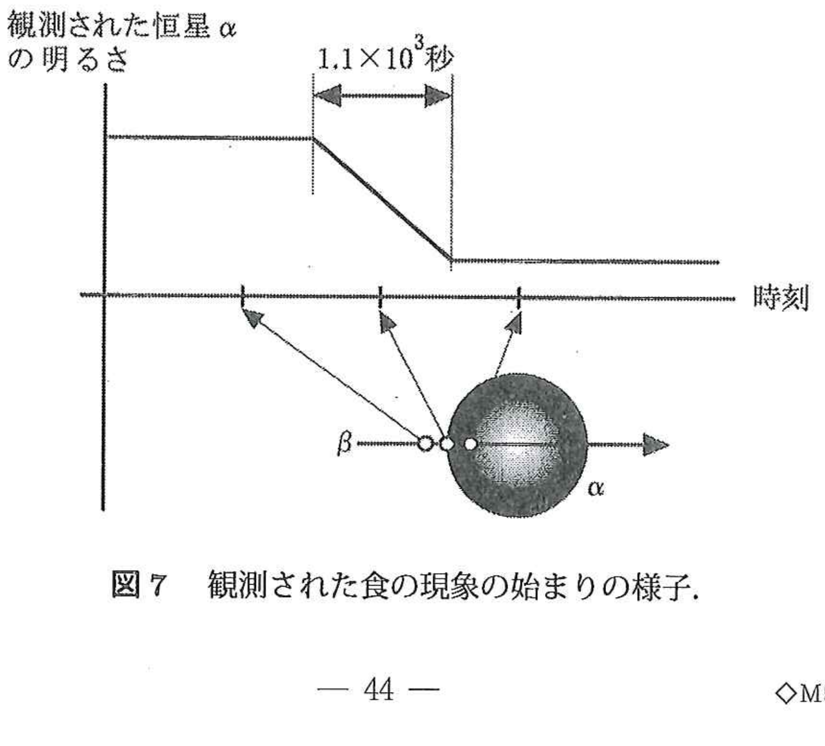

図7　観測された食の現象の始まりの様子.