TMPS医学館　過去問解説図書館

物　理

近畿大学医学部　2025年度型
そっくり類題セット

※ これは近畿大学の入試問題ではありません。
2025年度の出題形式（大問の数・設問の構成・解答形式）をもとに、
TMPS医学館が題材や数値・設定を変えて作成したオリジナル問題です。

試験時間の目安：60分（本番は理科2科目で120分。見直し4分を含む）

大問	ページ	時間配分の目安
Ⅰ ばねでつながれた小物体と薄い膜の振動	2	30分
Ⅱ 質量分析器	6	26分

注意事項

1. 問題は大問Ⅰ・Ⅱの全2題。空欄は，大問Ⅰが 1〜17，大問Ⅱが 1〜12 とあ〜え（記号を選ぶ）。もっとも適切な式・数値・記号を書き入れる（途中の計算は書かず，結果だけを答える）。
2. 特に指示のない限り，空気抵抗・摩擦・重力の影響は無視してよい。
3. 解答・解説は，解説ページ（TMPS医学館の過去問解説図書館）に掲載している。

Ⅰ 以下の設問A，B，Cの文章を読み，空欄 1 〜 17 にもっとも適切な式を記入せよ。

- 空欄 1 〜 17 （大問Ⅱは 1 〜 12 と あ 〜 え ）には，もっとも適切な式または数値・記号を記入する。本番と同じく，途中の計算は書かず，結果だけを答える形式で練習する。
- 特に指示のない限り，空気抵抗・摩擦・重力の影響は無視してよい。

Ⅰ-A　図1のように，xy 平面にあるなめらかな床の上に，大きさの無視できる質量 m の3つの小物体（小物体1，2，3）を，それぞれ x 軸上の点 $\mathrm{P}(x_1, 0)$，$\mathrm{Q}(x_2, 0)$，$\mathrm{R}(x_3, 0)$ $(x_1 < x_2 < x_3)$ に固定する。小物体1と2をばね定数 k，自然長 l の軽いばね（ばね1）で，小物体2と3をばね定数 k，自然長 $2l$ の軽いばね（ばね2）でつなぐ。このとき，2つのばねはともに自然長に比べて伸びている。ばねはフックの法則が成立する範囲で伸び縮みするものとする。

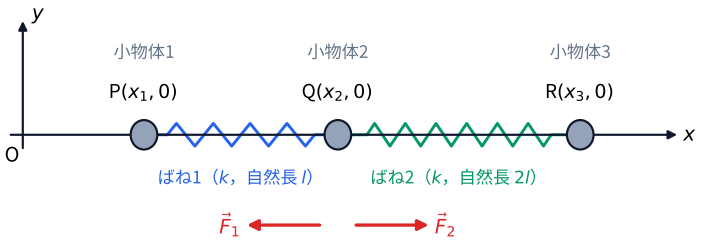


図1において，小物体2がばね1から受ける弾性力 $\vec{F}_1$ の x 成分の大きさは，m，k，l，x_1，x_2，x_3 の中から必要なものを用いて 1 と表せる。同様に，ばね2から受ける弾性力 $\vec{F}_2$ の x 成分の大きさは 2 と表せる。これらより，小物体2が両側のばねから受ける弾性力の合力 $\vec{F}_1 + \vec{F}_2$ の x 成分は

$$k(x_1 + x_3) - (\boxed{3})$$

に等しい。

Ⅰ-B　図2のように，xy 平面にあるなめらかな床の上に，大きさの無視できる質量 m の3つの小物体（小物体1，2，3）を，それぞれ点 $\mathrm{P}(x_1, y_1)$，$\mathrm{Q}(0, y_2)$，$\mathrm{R}(x_3, y_3)$ に固定し，小物体同士を，ばね定数 k，自然長 l の軽いばね（ばね1）と，ばね定数 k，自然長 $2l$ の軽いばね（ばね2）でつなぐ。このとき，2つのばねはともに自然長に比べて伸びている。Oを原点，O′ を y 軸上の点としたとき，∠OPQ と ∠O′RQ は直角であり，∠POQ を θ_1 [rad] $\left(0 < \theta_1 < \dfrac{\pi}{2}\right)$，∠RO′Q を θ_2 [rad] $\left(0 < \theta_2 < \dfrac{\pi}{2}\right)$ とする。

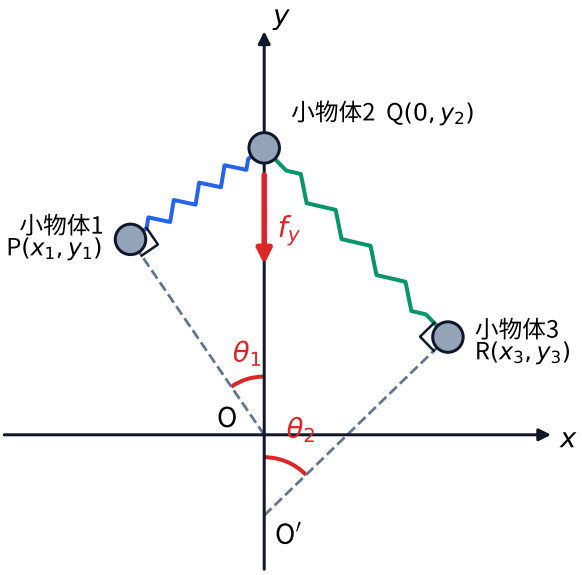


図2において，小物体2が両側のばね1とばね2から受ける弾性力の合力の y 成分 f_y は，

$$f_y = k(y_1 + y_3) - \left(\boxed{4}\right) + kl\left(\boxed{5}\right) \qquad (1)$$

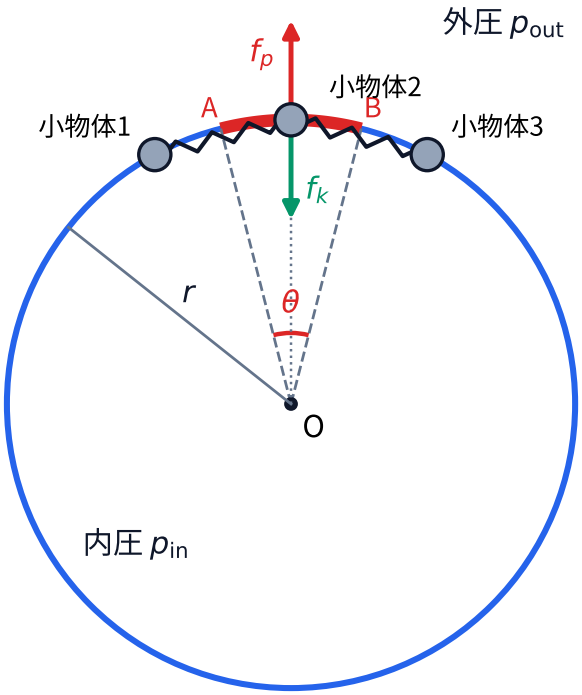
と表せる。ただし，$\boxed{5}$ は θ_1 と θ_2 を用いて表すものとする。2つのばねが自然長に比べて十分に長く伸びているとき，式(1)の右辺第三項は無視できるため，

$$f_y = k(y_1 + y_3) - \left(\boxed{4}\right) \qquad (2)$$

と表せる。

I-C 図3のように，両端が閉じられた，半径に比べて十分に長い円筒状のゴム膜が，一様な大気中に置かれている。膜は長さ方向には伸び縮みしないが，円周方向にだけ伸び縮みできるため，半径が変化できる。膜の内部に，大気圧より高い圧力の単原子分子理想気体を封入すると，膜の半径は封入前より大きくなって静止した。この静止状態から膜を半径方向にわずかにずらして静かに放すと，膜は円筒形を保ったまま，半径だけが時間変化した。この間，大気圧は変化せず，膜の内側の気体は外部と熱をやりとりしない（**断熱変化**）ものとする。

長さ方向に垂直な平面に，膜の円の中心を原点Oとする xy 平面をとる。単位長さの膜の半径 r の時間変化を，I-Bと同じ，ばね定数 k，自然長 l の軽いばねでつないだ小物体で表すことを考える。半径 r の円周を N (> 3) 等分し，中心角 $\theta = \dfrac{2\pi}{N}$ [rad] の円弧を，長さ1だけ z 方向にのばした円筒面の一部分を N 個考える。それぞれの中心に，一部分の質量 m に等しい質量の小物体を1個ずつ置く。図3のように，円筒面の一部分CDEFを小物体2，その両隣を小物体1，3とみなし，隣り合う小物体を軽いばねでつなぐ。小物体2は y 軸上にあり，小物体1，3は y 軸に関して対称である。面CDEFの円弧ABの中心角は θ に等しい。膜の外側の気体の圧力（外圧）を p_{out}，内側の気体の圧力（内圧）を p_{in} とする。圧力は膜の面に垂直にはたらき，外圧は一定，内圧は半径 r とともに変化する。面CDEFにはたらく圧力による力は，小物体2にのみはたらくものとする。



小物体2の y 軸方向の運動方程式は，ばねの力の y 成分 f_k と圧力による力の y 成分 f_p を用いて

$$ma_y = f_k + f_p \qquad (3)$$

と表せる。小物体1，2，3の y 座標は $y_1 =$ $\boxed{6}$ $\times \cos\theta$，$y_2 =$ $\boxed{7}$，$y_3 =$ $\boxed{6}$ $\times \cos\theta$ であり，f_k は，Ⅰ-Bの式(2)の右辺で表されるものと仮定すると，

$$f_k = \left(\boxed{8}\right) \times (1 - \cos\theta) \qquad (4)$$

と表せる。ただし，$\boxed{6}$，$\boxed{7}$，$\boxed{8}$には，それぞれ r，k の中から必要なものを用いて表すものとする。

次に，N が十分大きく，θ が十分小さい場合を考える。このとき，面CDEFにはたらく圧力による力の y 成分は，内圧と外圧の差と面CDEFの面積の積に等しい。したがって f_p は，$\boxed{9}$ に r，p_{in}，p_{out} を用いて

$$f_p = \left(\boxed{9}\right) \times \theta \qquad (5)$$

と表せる。小物体2が受ける力の合力が0であり，膜が静止したつり合いの状態における円の半径を r_0，内圧を p_{in0} $(p_{\text{in0}} > p_{\text{out}})$ とすると，ばね定数 k は，関係式

$$\frac{k(1-\cos\theta)}{m} = \left(\boxed{10}\right) \times \frac{\theta}{m} \qquad (6)$$

を満たす。ただし，$\boxed{10}$は r_0，p_{in0}，p_{out} の中から必要なものを用いて表すものとする。また，半径 r を r_0 と，r_0 からの微小な変化量 Δr $(|\Delta r| \ll r_0)$ を用いて

$$r = r_0 + \Delta r \qquad (7)$$

と表す。実数 α，n について，$|\alpha|$ が1に比べて十分に小さいときに成り立つ近似式 $(1+\alpha)^n \approx 1 + n\alpha$ から，$\dfrac{r_0}{r}$ は，r_0 と Δr の中から必要なものを用いて

$$\frac{r_0}{r} \approx 1 - \frac{\Delta r}{\boxed{11}} \qquad (8)$$

と表せる。ただし，式(8)において $\left(\dfrac{\Delta r}{r_0}\right)^2$ は $\left|\dfrac{\Delta r}{r_0}\right|$ に比べて十分に小さく，無視できるものとする。膜の半径は十分ゆっくり変化するため，内部の理想気体の変化は断熱変化とみなせ，単位長さあたりの膜に対して，内圧 p_{in} と円の面積の $\dfrac{5}{3}$ 乗の積が一定という関係式が成り立つ。したがって，p_{in} は r_0，r，p_{in0} を用いて

$$p_{\mathrm{in}} = \boxed{12} \qquad (9)$$

と表せる。式(5)の f_p は，式中の p_{in} に式(9)を代入し，式(8)を用いて整理すると，

$$f_p = \left\{\left(\boxed{13}\right) \times p_{\mathrm{in0}} - \left(\boxed{14}\right) \times p_{\mathrm{out}}\right\} \times \theta \qquad (10)$$

と表せる。ただし，$\boxed{13}$ は r_0 と Δr を用い，$\boxed{14}$ は r を用いて表すものとする。

以上より，式(3)に式(4)の f_k と式(10)の f_p を代入して整理すると，つり合いの位置からの微小な変化量 Δr についての運動方程式は，$\boxed{15}$ には k，$\boxed{16}$ には p_{in0} と p_{out} を用いて，

$$ma_{\Delta r} = \left\{\left(\boxed{15}\right) \times (1 - \cos\theta) + \left(\boxed{16}\right) \times \theta\right\}\Delta r \qquad (11)$$

と表せる。ここで，$a_{\Delta r}$ は，つり合いの位置 r_0 から半径方向に座標軸をとり，円の中心から外向きを正の向きとしたときの小物体2の加速度を表す。

式(11)は，単位長さ1 rad あたりの膜の質量に対応する $\Delta m = \dfrac{m}{\theta}$ と，Δr によらない定数 $\tilde{k}$ を用いて

$$\Delta m\, a_{\Delta r} = -\tilde{k}\,\Delta r \qquad (12)$$

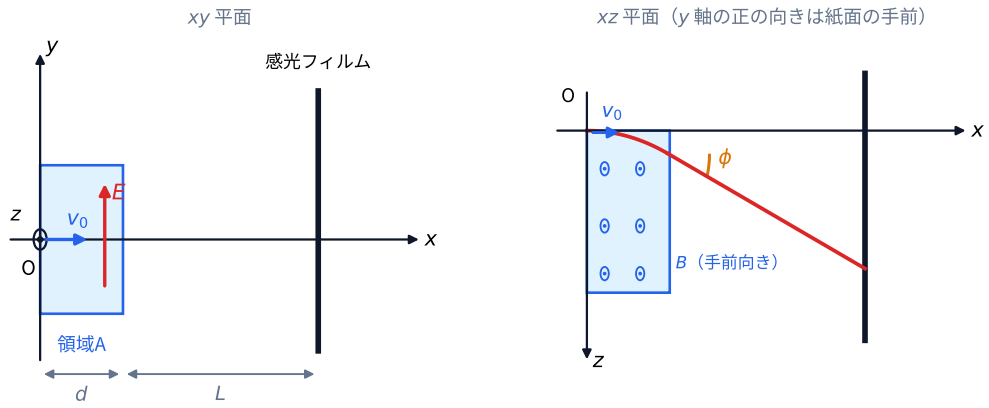
と表せ，単振動の運動方程式となる。式(6)を用いると，$\tilde{k}$ は，p_{in0} を用いて

$$\tilde{k} = \boxed{17} \qquad (13)$$

と表せる。

II　以下の設問A，Bの文章を読み，空欄 1 〜 12 にもっとも適切な式または数値，空欄 あ 〜 え にもっとも適切な記号を記入せよ。

II-A　質量分析器を用いてマグネシウムの同位体を調べる。図1は質量分析器の概念図である。原点Oにおいて，電気量 $2q$ [C] $(q>0)$，質量 m [kg] の陽イオン（2価の陽イオン $^{26}Mg^{2+}$）を，x 軸の正の向きに速さ v_0 [m/s] で直方体の形をもつ領域Aに入射させる。領域Aの x 軸に沿った長さは d [m]，z 軸（紙面裏から表の向きを正の向きとする）に沿った長さは D [m] で，領域Aには y 軸の正の向きに，強さ E [N/C] の一様な電場，または磁束密度の大きさ B [N/A·m] の一様な磁場をかけることができる。領域A以外には電場も磁場もない。陽イオンは，$x=d$ の位置に到達するまで領域A内を運動し，領域Aを出たあとは，$x=d+L$ [m] の位置にある感光フィルムまで直進して，フィルムを感光させる。



まず，領域A全体に電場だけをかけた場合を考える。領域Aを通過中に陽イオンが受ける力の x 成分は 1 [N]，y 成分は 2 [N]，z 成分は 3 [N] と表せる。$x=d$ の位置における陽イオンの速度と x 軸のなす角を θ [rad] $\left(0<\theta<\dfrac{\pi}{2}\right)$ とする。$\tan\theta$ は，q, m, E, B, v_0, d の中から必要なものを用いて，

$$\tan\theta = \boxed{4} \qquad (1)$$

と表せる。

次に，領域A全体に磁場だけをかけた場合を考える。陽イオンは xz 平面内で半径 R [m] の円弧を描く。R は，q, m, E, B, v_0 の中から必要なものを用いて表すと 5 である。$0 \leqq x \leqq d$ の範囲で陽イオンが描く円弧の長さを l [m] とする。$x=d$ の位置における速度ベクトルと x 軸のなす角を ϕ [rad] $\left(0<\phi<\dfrac{\pi}{2}\right)$ とおくと，円弧の中心角も ϕ に等しい。ϕ は，q, m, E, B, v_0, l の中から必要なものを用いて，

$$\phi = \boxed{6} \qquad (2)$$

と表せる。

最後に，領域A全体に電場と磁場の両方をかけた場合を考える。$x=d$ の位置における速度の x 成分を v_x，y 成分を v_y，z 成分を v_z とし，$\dfrac{v_y}{v_x}=\tan\theta'$，$\dfrac{v_z}{v_x}=\tan\phi'$ となるように，θ' $\left(0<\theta'<\dfrac{\pi}{2}\right)$，$\phi'$ $\left(0<\phi'<\dfrac{\pi}{2}\right)$ を定義する。

まず，陽イオンが原点Oから感光フィルムに到達するまでに z 軸方向に進む距離を考える。領域A内で x 軸方向と z 軸方向の運動を考えるとき，y 軸方向の運動に関わる電場の力の効果は無視できる。したがって，y 軸負の向きにみると，$x=d$ の位置に到達するまでに，陽

イオンは xz 平面内で半径 R で長さ l の円弧を描くため，$\phi' =$ 6 となる。このことから，$x = d + L$ の位置にある感光フィルムにおける陽イオンの z 座標は，7 には $l,\ L$ の中から，8 には $q,\ m,\ E,\ B,\ v_0$ の中から必要なものを用いて，

$$z = \left(\boxed{7}\right) \times \tan\phi' + \left(\boxed{8}\right) \times (1 - \cos\phi') \qquad (3)$$

と表せる。

次に，陽イオンが原点Oを出発してから感光フィルムに到達するまでに y 軸方向に進む距離を考える。y 軸負の向きにみると，陽イオンは xz 平面内で等速円運動を行うようにみえるため，領域Aに入射してから $x = d$ の位置に到達するまでの時間は $\dfrac{l}{v_0}$ に等しい。この間，陽イオンは y 軸方向に等加速度運動を行うため，$x = d + L$ の位置にある感光フィルムにおける陽イオンの y 座標は，9，10 には $q,\ m,\ E,\ v_0,\ L$ の中から必要なものを用いて，

$$y = \left(\boxed{9}\right) \times \frac{l}{\cos\phi'} + \left(\boxed{10}\right) \times l^2 \qquad (4)$$

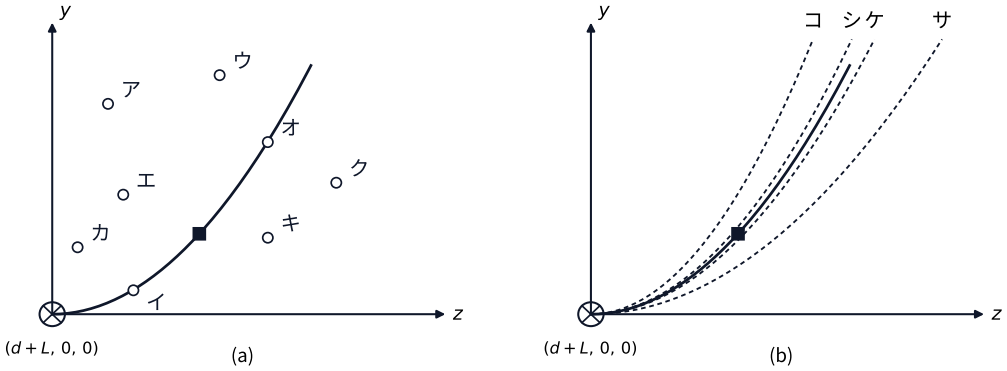
と表せる。

ここで，d が L に比べて十分小さく，$\theta',\ \phi'$ がそれぞれ十分小さい場合について考える。$\tan\phi' \approx \phi'$，$\cos\phi' \approx 1$，$l \approx d$ と近似でき，式(3)の右辺第2項と式(4)の右辺第2項は無視できる。これらを無視した式(3)および式(4)から v_0 を消去すると，感光フィルムにおける陽イオンの y 座標と z 座標の関係は，11 には $q,\ m,\ E,\ B$ の中から必要なものを用いて，

$$y = \frac{1}{dL} \times \boxed{11} \times z^2 \qquad (5)$$

と表せ，この式は yz 平面における放物線を表す。以上より，陽イオンは入射時の速さ v_0 に応じて，感光フィルム上のこの放物線上のある1点に到達することが分かる。

図1の質量分析器で，電気量 $2q$ の $^{26}\mathrm{Mg}^{2+}$ を速さ v [m/s] で入射すると，感光フィルム上では図3(a)，(b)の■の位置に像が得られた。同じ装置で，$^{26}\mathrm{Mg}^{2+}$ を速さ v' [m/s]（ただし $v' < v$）で入射させたとき，像の位置を○で示した図3(a)のアからクの中でもっとも適切なものは あ である。さらに，同じ装置に，電気量が $2q$ に等しい $^{24}\mathrm{Mg}^{2+}$ をさまざまな速さで入射させた。感光フィルム上で得られる像を結んでできる放物線を破線で表すと，図3(b)のケからシの中でもっとも適切なものは い である。

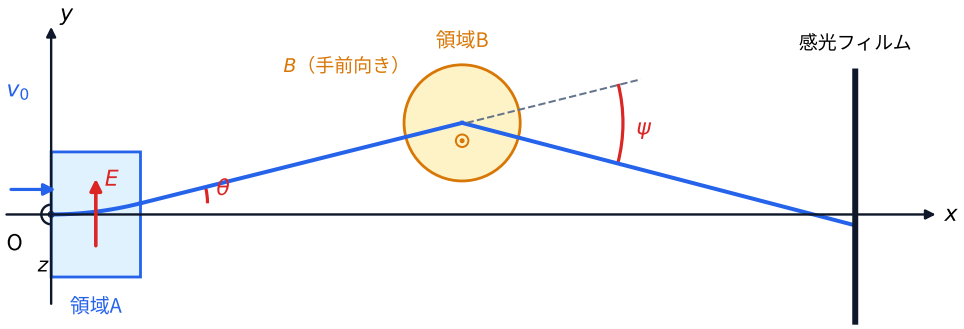


Ⅱ-B　Ⅱ-Aの質量分析器では，同じ陽イオンでも，領域Aへ入射する速さが異なると，感光フィルム上で像の位置が異なってしまう。そこで，電場と磁場による陽イオンの曲がる向きを互いに逆にすることで，速さによる位置の違いをなくすことを考える。図4はその概念図である。

電気量 $2q$，質量 m の陽イオンが，x 軸の正の向きに速さ v_0 で，直方体の形をもつ領域Aに $x = 0$ の位置で入射する。領域Aの x 軸に沿った長さは d である。領域A全体に大きさ E の一

様な電場が y 軸の正の向きにかけられており，領域Aに磁場はかけられていない。$x = d$ の位置における陽イオンの速度ベクトルと x 軸のなす角を θ [rad] $\left(0 < \theta < \dfrac{\pi}{2}\right)$ とすると，Ⅱ-Aと同様に，$\tan\theta$ は式(1)で表せる。

領域Aを出た陽イオンは，xy 平面上で円形の領域Bに入射する。図4のように，領域B全体に一様な磁場が z 軸の正の向きにかかっている。領域B中で陽イオンは磁場から力を受け，その軌跡は円弧を描く。円弧の半径は領域Bの半径より十分大きい。領域Bに入射する直前と，領域Bを出た直後の速度ベクトルのなす角 ψ [rad] $\left(0 < \psi < \dfrac{\pi}{2}\right)$ は十分小さいものとする。領域Bを出た陽イオンは感光フィルムまで直進する。ただし，領域Aから領域Bまでの距離，および領域Bから感光フィルムまでの距離は，領域Bの半径に比べてそれぞれ十分長いものとする。また，領域AとBを除く場所に電場と磁場はない。



以後，θ が十分小さい場合を考える。陽イオンが領域Aに入射する際の速さ v_0 がわずかに変化して $v_0 + \Delta v_0$ になったとき，θ は $\theta + \Delta\theta$ に，ψ は $\psi + \Delta\psi$ にそれぞれ変化した。$\Delta\theta$, $\Delta\psi$ がどのように表せるかを考えよう。

まず，θ が十分小さいので，式(1)において $\tan\theta \approx \theta$ と近似し，$\theta =$ [4] と表す。$\left|\dfrac{\Delta\theta}{\theta}\right|$ と $\left|\dfrac{\Delta v_0}{v_0}\right|$ が1より十分小さく，α と n が任意の実数で $|\alpha|$ が1より十分小さいとき，$(1+\alpha)^n \approx 1 + n\alpha$ が成り立つことから，$\Delta\theta$ は v_0, Δv_0, θ を用いて，

$$\frac{\Delta\theta}{\theta} = \boxed{12} \times \frac{\Delta v_0}{v_0} \qquad (6)$$

と表せる。ここで [12] は定数である。すなわち，$\Delta v_0 < 0$（速さが小さくなる）とすると，$\Delta\theta$ の符号は [う] である。ただし [う] には，以下の選択肢から適切なもの（AもしくはB）を選べ。

A　正　　B　負

また，$\Delta\psi$ は v_0, Δv_0, ψ を用いて，次のような式で表せることが知られている。

$$\frac{\Delta\psi}{\psi} = a \times \frac{\Delta v_0}{v_0} \qquad (7)$$

ここで，a は定数である。$\Delta v_0 > 0$ のとき，速さ v_0 で領域Aに入射した陽イオンと，速さ $v_0 + \Delta v_0$ で領域Aに入射した陽イオンは，適切な場所に感光フィルムを配置すると，どちらも感光フィルム上のある1点に集まるようになった。このとき，a は [え] の値である。ただし [え] には，以下の選択肢から適切なもの（AもしくはB）を選べ。

A　正　　B　負

—— 終 ——