平成23年度

前期日程

理科問題

〔注　意〕

1. 問題冊子及び解答用冊子は，試験開始の合図があるまで開いてはいけない。
2. 問題冊子は，物理，化学，生物の順序で1冊にまとめてある。

   問題は { **物理**　2ページから11ページ / **化学**　12ページから19ページ / **生物**　20ページから32ページ } にある。

   ページの脱落があれば直ちに申し出ること。
3. 解答用紙は，物理3枚，化学4枚，生物4枚が一緒に折り込まれている。受験する科目の解答用紙をミシン目に従って切り離すこと。
4. **受験番号は，受験する科目の解答用紙の受験番号欄に1枚ずつ正確に記入すること。**
5. 解答は，1ページの「**理科の解答についての注意**」の指示に従い，解答用紙の指定されたところに記入すること。
6. 問題冊子の余白は，適宜下書きに使用してもよい。
7. 配付した解答用紙は持ち帰ってはいけない。
8. 問題冊子は持ち帰ること。

「理科の解答についての注意」

理学部志願者

○ **数学科，化学科，生物科学科生物科学コース**を志望する者は，物理，化学，生物の３科目のうちから２科目を選んで解答すること。

○ **物理学科**を志望する者は，物理を必須科目とし，そのほかに化学または生物のうちから１科目を選んで解答すること(計２科目)。

○ **生物科学科生命理学コース**を志望する者は，物理と化学の２科目を解答すること。

医学部医学科・医学部保健学科(放射線技術科学専攻・検査技術科学専攻)・歯学部・薬学部志願者

物理，化学，生物の３科目のうちから２科目を選んで解答すること。

医学部保健学科(看護学専攻)志願者

物理，化学，生物の３科目のうちから１科目を選んで解答すること。

工学部・基礎工学部志願者

物理を必須科目とし，そのほかに化学または生物のうちから１科目を選んで解答すること(計２科目)。

物　理　問　題

（解答はすべて物理解答用紙に記入すること）

〔**1**〕 図1のように，円弧状のすべり面を持つすべり台Aを固定した台車が水平な床に置かれている。ただし，台車の上面は床に平行である。すべり台Aの左端と右端の高さはそれぞれHとhであり，その円弧の半径は$H-h$で，その表面はなめらかである。このすべり台A上に置かれた質量mの小物体Pの運動を考えよう。以下の設問では，重力加速度の大きさをgとし，すべての運動は紙面内に限るとする。また，すべり台Aの右端で台車上面の点をOとする。

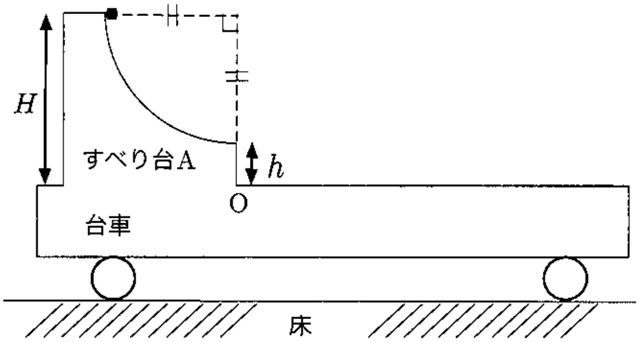


図1

I. まず，台車が床に固定されている場合について考える。小物体Pをすべり台Aの円弧上，台車から高さHの点に置き，静かに手をはなすと，小物体Pは摩擦力を受けることなく円弧上をすべり落ち，すべり台Aから水平に飛び出し，台車上に落下した。

問 1 すべり台Aから飛び出す瞬間の小物体Pの速さv_0を求めよ。

問 2 小物体Pが台車上面に落下した点のOからの距離をm, g, H, hの中から必要なものを使って表せ。

Ⅱ. 図2のように，質量 M, 長さ ℓ, 高さ h の台Bをすべり台Aに接して置く。ただし，台Bの上面は水平である。この場合も台車は床に固定されている。台Bの上面と下面のなめらかさは大きく異なり，台Bの上面と小物体Pとの間の動摩擦係数は μ_1，台Bの下面と台車との間の動摩擦係数は μ_2 で静止摩擦係数は μ_0 とする。小物体Pをすべり台Aの円弧上，台車から高さ H の点に置き，静かに手をはなすと，小物体Pはすべり台A上を摩擦力を受けることなくすべり落ちた後，台B上を摩擦力を受けながらすべり，台B上の右端から飛び出した。また，台Bも小物体Pとの間の摩擦力により右に動き出した。

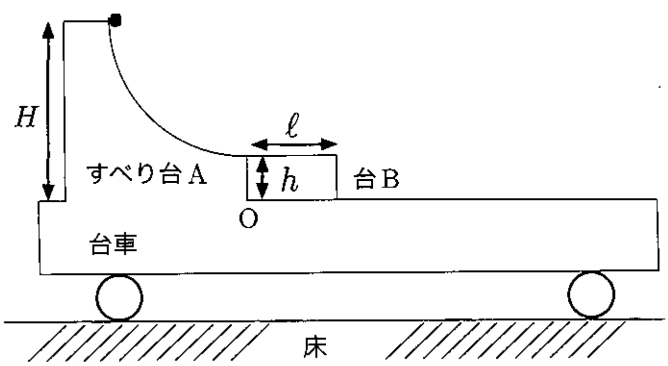


図2

問 3 台Bが動き出すための静止摩擦係数 μ_0 の満たすべき条件，および動き出した直後の台Bの加速度 a の大きさを求めよ。

問 4 小物体Pが台Bからはなれる瞬間の台Bに対する速さ v_1 を μ_1, g, a, v_0, ℓ の中から必要なものを使って表せ。ただし，v_0 は問1で求めた速さ v_0 である。

問 5 小物体Pが台Bに乗り移ってから台Bをはなれるまでの時間 T を μ_1, g, a, v_0, ℓ の中から必要なものを使って表せ。

Ⅲ. 次に，図3のように台Bを取りのぞき，台車を右向きに一定の加速度αで動かしている場合を考える。

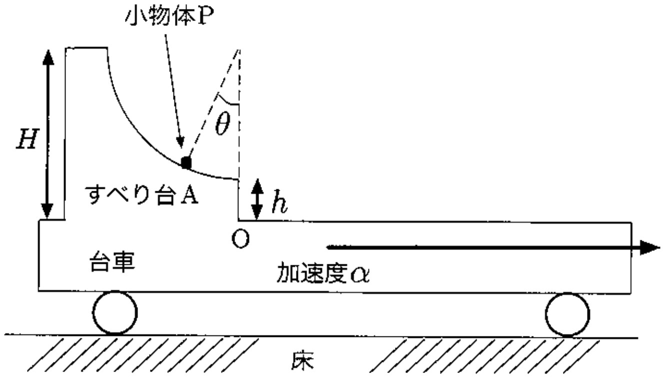


図3

問 6 小物体Pを，すべり台Aの円弧上で鉛直となす角θの位置にそっと置いたところ，小物体Pは置かれた位置ですべり台Aに対して静止したままであった。このとき，加速度αの大きさを求めよ。

問 7 小物体Pを，すべり台Aの円弧上で台車からの高さHの点ですべり台Aに対して静止するように置いてそっとはなした。すると，小物体Pは円弧上をすべり落ちた後，すべり台Aから水平に飛び出した。すべり台Aから飛び出す瞬間の台車に対する小物体Pの速さVをm, H, h, g, θの中から必要なものを使って表せ。

問 8 すべり台Aの円弧上のある位置で，小物体Pをすべり台Aに対して静止するように置きそっとはなした。すると，小物体Pは円弧上をすべり落ちた後，台車に対する速さV_0ですべり台Aから水平に飛び出した。その後，小物体Pは台車上面で1回はね，すべり台Aから飛び出した位置に再び戻ってきた。このときのV_0と，小物体Pがすべり台A上に戻ってきたときの台車に対する速さV_1をそれぞれm, h, g, αの中から必要なものを使って表せ。ただし，小物体Pと台車上面との間のはね返り係数は1とする。

〔**2**〕 電池を用いて，その電圧より高い電圧を発生する回路を考案しよう。この回路では，まず並列に接続した2個のコンデンサーを電池から充電した後に，これらを直列につなぎかえる。次に，コイルの誘導起電力を利用することにより，電池より高い電圧を発生することができる。次の文章の $\boxed{}$ に適切な式を，指定されたなかから必要なものを使って，解答欄に記入せよ。ただし，(3) については，適切なものを選択し，その記号を解答欄に記入せよ。

I. 図1の回路を考えよう。この回路では，起電力 V_0 の電池 $\mathrm{V_0}$，抵抗値 R の抵抗 R，静電容量 C_1 の2個のコンデンサー $\mathrm{C_1}$，静電容量 C_2 のコンデンサー $\mathrm{C_2}$，自己インダクタンス L のコイル L が接続されている。点 E を電位の基準とし，この基準点に対する点 B, F, G の電位をそれぞれ $V_{\mathrm{B}}, V_{\mathrm{F}}, V_{\mathrm{G}}$ とする。スイッチ $\mathrm{S_1}$ は電池の接続を開閉する。2個のスイッチ $\mathrm{S_2}$ により，2個のコンデンサー $\mathrm{C_1}$ は並列接続か直列接続かに切りかえることができる。

はじめ，スイッチ $\mathrm{S_1}$ は開いていて，全てのコンデンサーにたくわえられている電気量は0である。2個のスイッチ $\mathrm{S_2}$ は両方とも c-a 間をつなぐ位置にあるので，2個のコンデンサー $\mathrm{C_1}$ は並列に接続されている。

まず，スイッチ $\mathrm{S_1}$ を閉じて，電池を接続する。時間がたつにつれ，2個のコンデンサー $\mathrm{C_1}$ は充電される。充電の途中で，2個のコンデンサー $\mathrm{C_1}$ それぞれに電気量 Q がたくわえられた瞬間を考える。このとき，$V_{\mathrm{B}} = \dfrac{Q}{C_1}$ に留意して，キルヒホッフの法則から，抵抗 R を流れる電流は，V_0, R, Q, C_1 を用いて，$\boxed{\quad(1)\quad}$ のように表される。ただし，抵抗 R を流れる電流の向きは，A から B に流れる方向を正とする。この電流はコンデンサーにたくわえられる電気量を増加させるので，V_B は上昇する。微小時間 Δt の間に，V_{B} が $\dfrac{Q}{C_1}$ から $\dfrac{Q}{C_1} + \Delta V_{\mathrm{B}}$ まで変化するとき，V_{B} の変化率 $\dfrac{\Delta V_{\mathrm{B}}}{\Delta t}$ は，V_0, R, Q, C_1 を用いて，$\boxed{\quad(2)\quad}$ と表される。ただし，微小時間 Δt の間，電流は一定と見なすことができるものとする。これらを考慮すると，V_{B} の時間変化は，図2の $\boxed{\text{(3)\ \ [a], [b], [c]}}$ のようになる。充分に時間がたつと，$V_{\mathrm{B}} = V_0$ となり，2個のコンデンサー $\mathrm{C_1}$ には，1個あたり C_1V_0 の電気量がたくわえられる。このように充電が完了した後，スイッチ $\mathrm{S_1}$ を開く。

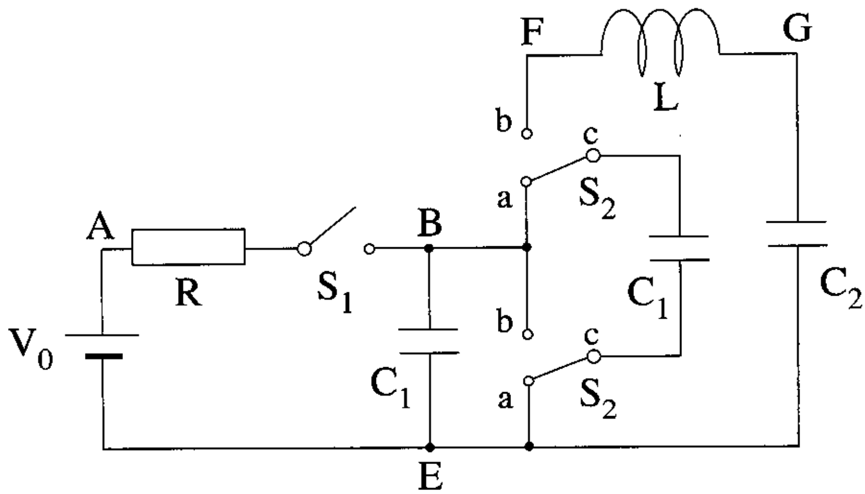


図1

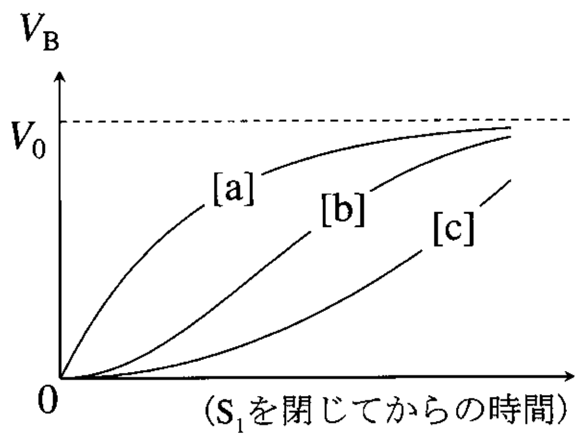


図2

Ⅱ. 次に，図3のように，2個のスイッチ S_2 を同時に切りかえ c-b 間をつなぐと，2個のコンデンサー C_1 は直列に接続され，$V_F = 2V_0$ となる。2個のコンデンサー C_1 にたくわえられていた電気量はコイル L を通してコンデンサー C_2 に移動するが，回路にたくわえられている電気エネルギーは一定に保たれるので，コンデンサーが失う電気エネルギーはコイルにたくわえられる。すなわち，電気エネルギーはコンデンサーとコイルの間で行き来し，それにともなってコイル L を流れる電流 I は，経過時間 t とともに図4のように振動する。ただし，2個のスイッチ S_2 を c-b 間をつなぐ位置に切りかえた時刻を $t = 0$ とする。また，電流 I の向きは，F から G へ流れる方向を正とする。ここでは，この振動の様子を，図4を見ながら考察しよう。

時刻 $t = 0$ には電流 I は0で，その後しだいに増加する。微小時間 Δt の間に，電流 I が0から ΔI まで変化するとき，I の変化率 $\dfrac{\Delta I}{\Delta t}$ は，V_0, L を用いて，$\dfrac{\Delta I}{\Delta t} = \boxed{\quad (4) \quad}$ と表される。ただし，$V_F = 2V_0$ に留意し，微小時間 Δt の間，コイルの誘導起電力は一定と見なすことができるものとする。

一方，この電流により，2個のコンデンサー C_1 にたくわえられた電気量はコンデンサー C_2 に移動する。これにともなって，V_F は $2V_0$ から下降し，V_G は0

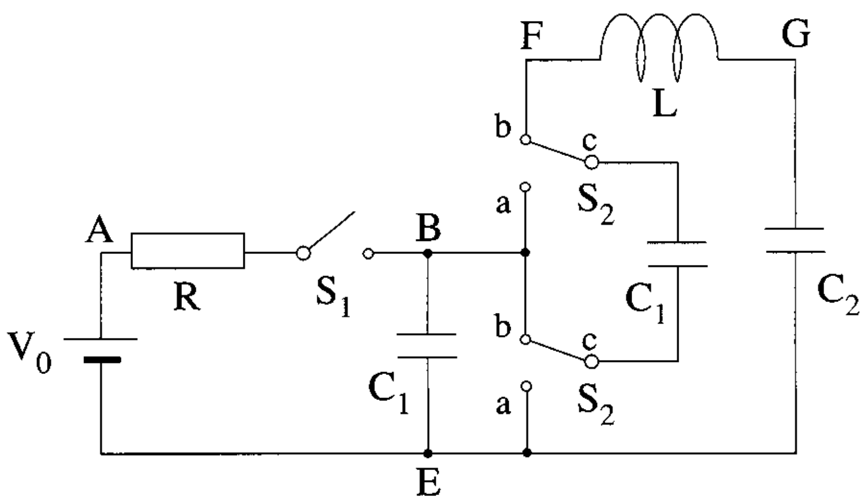


図3

から上昇して行き，時刻$t=t_1$にV_FとV_Gは等しくなった。この時のV_GをV_1とすると，時刻$t=0$から$t=t_1$までにコンデンサーC_2に流れてきた電気量C_2V_1に留意して，V_1は，C_1, C_2, V_0を用いて，$V_1=$ $\boxed{\quad(5)\quad}$ と得られる。このとき，$V_G=V_F$なので誘導起電力は0で，したがって電流の変化率も0であり，電流Iは最大値I_{max}となった。$V_G=V_F=V_1$のとき，コンデンサーにたくわえられている全電気エネルギーは，C_1, C_2, V_1を用いて $\boxed{\quad(6)\quad}$ となる。コイルにたくわえられる電気エネルギーが$\frac{1}{2}LI^2$であることと，電気エネルギーが保存することから，最大電流I_{max}は，C_1, C_2, L, V_0を用いて，$I_{max}=$ $\boxed{\quad(7)\quad}$ と求められる。

このように時刻$t=t_1$には電流Iは最大であるから，コンデンサーC_2の充電は，この時点ではまだ止まらず，この後もV_GはV_1を超えて上昇し続ける。一方，電流Iはしだいに減少し，時刻$t=t_2$で0にもどった。このとき，コンデンサー間の電気量の移動はなくなり，V_Gは最大となる。このV_Gの最大値をV_2とすると，時刻$t=0$から$t=t_2$までにコンデンサーC_2に流れてきた電気量C_2V_2に留意して，時刻$t=t_2$でコンデンサーC_1 1個あたりにたくわえられる電気量は，V_0, V_2, C_1, C_2を用いて $\boxed{\quad(8)\quad}$ である。電気エネルギーの保存則から，V_2は，C_1, C_2, V_0を用いて，$V_2=$ $\boxed{\quad(9)\quad}$ と得られる。この時刻で，スイッチS_2をc-a間をつなぐ位置に切りかえてコンデンサーC_2を切り離せば，V_Gは最大値V_2を保持する。この場合，C_2がC_1よりも充分小さい条件では，$V_G \fallingdotseq 4V_0$が得られることがわかる。

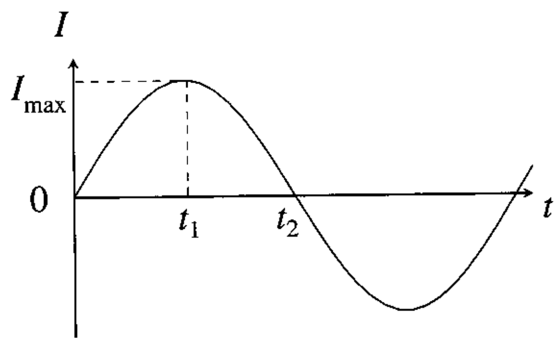
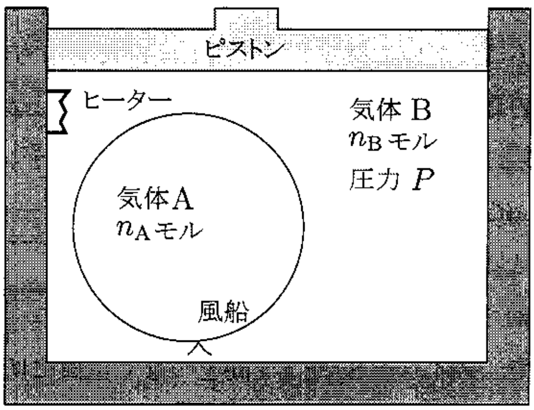


図4

〔**3**〕 風船では，ゴムが縮もうとする力によって内部の圧力が外部の圧力より高くなる。このような風船に単原子分子理想気体Aを n_A モル入れ，それを図のように n_B モルの単原子分子理想気体Bの入ったピストン付きのシリンダーに入れた。このシリンダーとピストンは外部との熱の出入りがないような断熱材でできている。シリンダーは風船に対して十分大きいとする。このシリンダーにはヒーターが取り付けられている。ピストンはなめらかに動き，風船外部の気体Bの圧力は常に一定で P であるとする。

以下で考える風船は熱をよく通し，風船外部と風船内部の温度は同じである。風船は気体を通すことはない。風船を作っているゴムの質量，厚み，および熱容量は無視できるとする。以下，気体定数を R とする。



I. まず，風船内部の気体Aの圧力 P_A が風船外部の気体Bの圧力 P によって

$$P_A = P + a$$

と与えられる風船の場合を考える。ここで a は正の定数である。気体Aと気体Bの温度がともに T のとき，気体Aの体積は V_A，気体Bの体積は V_B であった。以下の文中の $\boxed{}$ に入る適切な式を a, R, P, V_A のうち必要なものを用いて解答欄に記入せよ。

気体Bの圧力を P に保ちながら，ヒーターで熱量 ΔQ を加えた。すると，気体Aと気体Bの温度がともに上がって T から $T+\Delta T$ になった。またこのと

き，風船がふくらみ，ピストンが動いて，気体Aの体積が V_A から $V_A + \Delta V_A$ に，気体Bの体積が V_B から $V_B + \Delta V_B$ になった。変化の前後で気体Aの状態方程式を考えることにより，ΔV_A は

$$\Delta V_A = \boxed{\quad (1) \quad} n_A \Delta T$$

と表すことができる。

風船の内外の圧力が異なるため，この変化の間に風船内部の気体Aが風船にした仕事と，風船が気体Bに対してした仕事は異なる。したがって，その差は風船のゴムにエネルギーとしてたくわえられる。つまり，この変化でゴムにたくわえられているエネルギーは $\boxed{\quad (2) \quad}\Delta V_A$ だけ増加したことになる。

また，この変化でシリンダー内部の気体Bがピストンに対してした仕事 ΔW は

$$\Delta W = \boxed{\quad (3) \quad}\Delta V_B + \boxed{\quad (4) \quad}\Delta V_A$$

である。気体の内部エネルギーの増加，気体がピストンにした仕事，風船のゴムにたくわえられたエネルギーの増加を考慮することにより，加えた熱量 ΔQ は

$$\Delta Q = \boxed{\quad (5) \quad} n_B \Delta T + \boxed{\quad (6) \quad} n_A \Delta T$$

であることがわかる。ただし，単原子分子理想気体の定積モル比熱は $\frac{3}{2}R$ である。

II. 次に，風船内部の気体Aの圧力 P_A が風船外部の気体Bの圧力 P と気体Aの体積 V_A によって

$$P_A = P + b - cV_A$$

と与えられる風船の場合を考える。ここで b と c は正の定数である。以下では $b - 2cV_A > 0$ の場合を考える。気体Aと気体Bの温度がともに T のとき，気体Aの体積は V_A，気体Bの体積は V_B であった。以下の文中の $\boxed{\qquad}$ に

入る適切な式を b, c, R, P, V_{A} のうち必要なものを用いて解答欄に記入せよ。ただし (10) については，正しいものを選び，その記号を解答欄に記入せよ。

気体Bの圧力を P に保ちながら，ヒーターで微小な熱量 $\Delta Q'$ を加えた。すると，気体Aと気体Bの温度がともに微小量だけ上がって T から $T+\Delta T'$ になり，気体Aの体積が微小量だけ変化して V_{A} から $V_{\mathrm{A}}+\Delta V'_{\mathrm{A}}$ になった。以下では，$\Delta V'_{\mathrm{A}}$ は V_{A} に比べて非常に小さいので $(\Delta V'_{\mathrm{A}})^2$ は無視できるとする。変化の前後で気体Aの状態方程式を考えることにより，$\Delta T'$ は

$$\Delta T' = \frac{\boxed{\quad (7) \quad}}{n_{\mathrm{A}} R} \Delta V'_{\mathrm{A}}$$

と表すことができる。以下，$p_0 = \boxed{\quad (7) \quad}$ とおく。

Iの場合と同様にして，気体の内部エネルギーの増加，気体がピストンにした仕事，風船のゴムにたくわえられたエネルギーの増加を考慮することにより，加えた熱量 $\Delta Q'$ は

$$\Delta Q' = \boxed{\quad (8) \quad} n_{\mathrm{B}} \Delta T' + \left(\frac{3}{2} R + \frac{\boxed{\quad (9) \quad}}{p_0} \right) n_{\mathrm{A}} \Delta T'$$

であることがわかる。ここで p_0 は (7) で求めた p_0 である。

次に，この結果をIの結果と比較する。Iの場合の熱容量は $C_{\mathrm{I}} = \dfrac{\Delta Q}{\Delta T}$ で，IIの場合の熱容量は $C_{\mathrm{II}} = \dfrac{\Delta Q'}{\Delta T'}$ で与えられる。これらの二つの熱容量の間には $\boxed{(10) \quad (ア)\ C_{\mathrm{I}} < C_{\mathrm{II}}，(イ)\ C_{\mathrm{I}} = C_{\mathrm{II}}，(ウ)\ C_{\mathrm{I}} > C_{\mathrm{II}}}$ の関係がある。