令和２年度　入学試験問題

理　　　　科

I 物　理・II 化　学・III 生　物・IV 地　学

2月25日(火)(情—自然)　　　13：45—15：00

(情—コン・理・医・工・農)　　　13：45—16：15

注　意　事　項

1. 試験開始の合図まで，この問題冊子と答案冊子を開いてはいけない。
2. 問題冊子のページ数は，68ページである。
3. 問題冊子とは別に，答案冊子中の答案紙が理学部志望者と情報学部自然情報学科とコンピュータ科学科志望者には18枚(物理3枚，化学5枚，生物4枚，地学6枚)，医学部志望者と農学部志望者には12枚(物理3枚，化学5枚，生物4枚)，工学部志望者には8枚(物理3枚，化学5枚)ある。
4. 落丁，乱丁，印刷不鮮明の箇所などがあったら，ただちに申し出よ。
5. 情報学部自然情報学科志望者は，物理，化学，生物，地学のうち1科目を選択して解答せよ。

   情報学部コンピュータ科学科志望者は，物理，化学，生物，地学のうち2科目を選択して解答せよ。ただし，物理を必ず含むこと。

   理学部志望者は，物理，化学，生物，地学のうち2科目を選択して解答せよ。ただし，物理，化学のいずれかを必ず含むこと。

   医学部志望者と農学部志望者は，物理，化学，生物のうち2科目を選択して解答せよ。

   工学部志望者は，物理と化学の2科目を解答せよ。
6. 解答にかかる前に，答案冊子左端の折り目をていねいに切り離し，自分が選択する科目の答案紙の，それぞれの所定の2箇所に受験番号を記入せよ。選択しない科目の答案紙には，大きく斜線を引け。
7. 解答は答案紙の所定の欄に記入せよ。所定の欄以外に書いた解答は無効である。
8. 答案紙の右寄りに引かれた縦線より右の部分には，受験番号のほかは記入してはいけない。
9. 問題冊子の余白は草稿用として使用してもよい。
10. 試験終了後退室の許可があるまでは，退室してはいけない。
11. 答案冊子および答案紙は持ち帰ってはいけない。問題冊子は持ち帰ってもよい。

I　物　理

問題は次のページから書かれていて，Ⅰ，Ⅱ，Ⅲの３題ある。３題すべてに解答せよ。

解答は，答案紙の所定の欄の中に書け。計算欄には，答えにいたるまでの過程について，法則，関係式，論理，計算，図などの中から適宜選んで簡潔に書け。文字や記号は，まぎらわしくないようはっきり記せ。

物理　問題 I

図1のように，高さの異なる三つの均質な変形しない直方体ブロックA，B，Cが床面に置かれている。それぞれの質量は順にM，$2M$，M，かつ高さは順にH，$3H$，$4H$である。すべてのブロックの上面中央にばねが取りつけられている。ブロックAにのみ二つのばねが直列につながれている。各ブロックにつながれたばねの上端は一つの棒に取りつけられている。棒は均質であり，その質量はMである。ブロックに取りつけられた合計四つのばねは，すべて自然長が$2H$，ばね定数がkである。ばねの向きは常に鉛直方向であり，それらは鉛直上向きもしくは鉛直下向きにしか伸び縮みしない。ブロックBに取りつけられたばねは，棒の重心位置に接続されている。ブロックAとブロックCに取りつけられたばねは，棒の重心位置から左側に距離P，右側に距離Qの位置にそれぞれ接続されている。棒はばねだけで支持されており，床面から高さSの位置で水平を保ったまま静止している。ばねの質量，および空気抵抗は無視できる。棒はたわまないものとし，その太さは無視できる。重力加速度の大きさをgとして，以下の設問に答えよ。

設問(1)：ブロックAにつながれた二つのばねを一つのばねと見なしたときのばね定数(合成ばね定数)を答えよ。

設問(2)：高さSをg，M，H，kから必要なものを用いて表せ。

設問(3)：距離Pをg，M，H，k，Qから必要なものを用いて表せ。

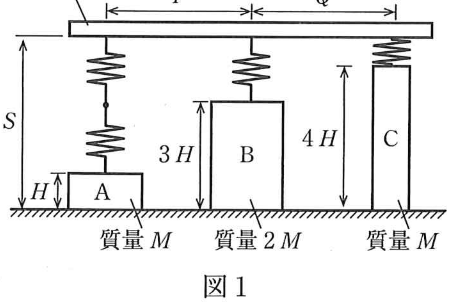


図1

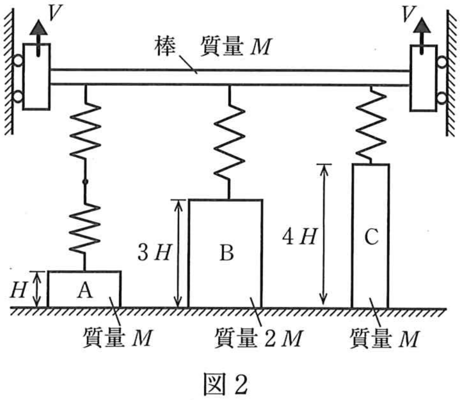


図2

次に図2に示すように，棒をその両端で支持して一定の速さ V で鉛直上向きに引き上げる。その際，棒は常に水平を保つようにする。ブロックAとブロックCは床面と接着されている。ブロックAのばねから受ける上向きの力が N_A を超えた時点で，接着は一瞬で剥がれブロックAは床面から離れるものとする。同様にブロックCのばねから受ける上向きの力が N_C を超えた時点で，接着は一瞬で剥がれブロックCは床面から離れる。ブロックBは床面に接着されていない。時間を t で表し，ブロックBに取りつけられたばねが自然長となる時刻を $t = 0$ とする。ブロックA，B，Cが床面から離れる時刻をそれぞれ t_A，t_B，t_C とする。ただし $t_A < t_C$ である。また，速さ V は十分に小さく，ブロックBは床面から離れた直後に速さ V で等速直線運動するものとする。さらに，ブロックAとブロックCは，床面から離れた瞬間に，鉛直上向きに速さ V で動き出すものとする。以下の設問に答えよ。

設問(4)：t_A，t_B，t_C を g，M，H，k，V，N_A，N_C から必要なものを用いてそれぞれ表せ。

設問(5)：t_A と t_B の大小関係について正しいものを以下のア〜ウの中からひとつ選べ。

ア：$t_A > t_B$　　イ：$t_A < t_B$　　ウ：$t_A = t_B$

設問(6)：ブロックBの重心の床面からの高さを z とする。$t_A < t < t_C$ の間における z を g，M，H，k，V，N_A，N_C，t から必要なものを用いて表せ。

以下の設問においては，$N_A = 3Mg$，$N_C = 6Mg$ とする。

設問(7)：$t_A < t < t_C$ の間に棒を引き上げるのに必要な鉛直上向きの力は以下のように表される。

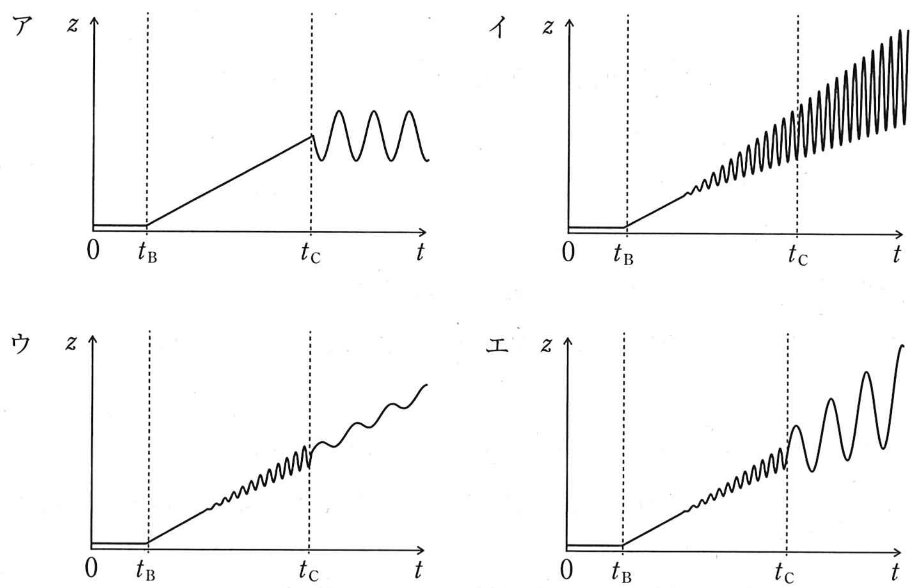
$$\boxed{\text{(あ)}}\, g + \boxed{\text{(い)}} \sin\left(\boxed{\text{(う)}}\right) + k\left(\boxed{\text{(え)}}\right)$$

空欄(あ)〜(え)に当てはまるものを g，M，H，k，V，t，π から必要な記号を用いて表せ。

設問(8)：ブロックAが床面から離れるまでの間($0 \leqq t \leqq t_A$)に，棒に鉛直上向きに加えた力がする仕事を g，M，H，k，V から必要なものを用いて求めよ。

設問(9)：以下の文章中の空欄(お)に当てはまる式を g，M，H，k から必要なものを用いて表せ。また，空欄(か)に当てはまる最も適当な図を下記のア〜エの中からひとつ選べ。

図2の棒をひもに交換し，棒の場合と同様にその両端を支持して一定の速さ V で引き上げる。ひもの両端を水平方向に強く引っ張って支持するため，鉛直方向のひものたわみは十分に小さく，ブロックBの床面からの高さには影響しないものとする。ブロックBは床面から離れた後に，共振によって鉛直方向に上下に振動する。その角振動数は $\boxed{\text{(お)}}$ である。図 $\boxed{\text{(か)}}$ はブロックBの床面からの高さ z を時間 t に対して測定した結果である。



草　稿　用　紙

（切りはなしてはならない）

物理　問題Ⅱ

図1のように水平面内に距離 d を隔てて平行に配置された2本の導体レールがある。レールの一端には，スイッチ S_1，S_2，起電力 E の内部抵抗のない直流電源，抵抗値 R の電気抵抗器が取り付けられている。レールの他端は開放されている。このレールの上に，質量 M の一巻きの正方形コイルが，その対角線方向とレールとが直交し，コイル面が水平になるように置かれている。正方形コイルは，形を変えたり傾いたりすることなく，この向きを保ちながら二つの頂点PとQがレールと電気的に接触してレールの上を摩擦なしに動くことができる。正方形コイルの一つの頂点Dには質量の無視できる軽い伸び縮みしない絶縁性の糸が取り付けられ，定滑車を介して質量 M の非磁性体のおもりとつながれている。レールと平行な方向を x 軸，水平面内でレールに垂直な方向を y 軸，鉛直方向を z 軸にとると，定滑車は糸の水平部分が x 軸と平行になるように固定されている。レール，正方形コイル，回路の導線の電気抵抗，空気抵抗は無視し，重力加速度の大きさを g とする。スイッチ，電源，電気抵抗器などの大きさ，レール，正方形コイル，導線などの太さ，回路を流れる電流による磁場の影響は無視する。糸がたるむことはなく，レールは十分に長く正方形コイルがレールから落ちることはない。いま，全てのスイッチ S_1，S_2 が開かれた状態で正方形コイルを固定し，磁束密度 B の大きさの磁場を鉛直上向きに加える。

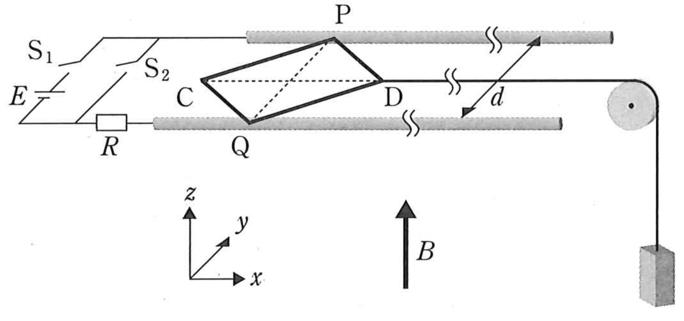


図1

設問(1)：スイッチ S_1 を閉じて正方形コイルの固定を静かに外すと，正方形コイルは止まったまま動かなかった。正方形コイルの一辺を流れる電流の大きさ，コイル全体が磁場から受ける力の大きさをそれぞれ R，E，B，d，g のうち必要なものを用いて表せ。また，おもりの質量 M を R，E，B，d，g のうち必要なものを用いて表せ。

設問(2)：スイッチ S_1 を開き，同時にスイッチ S_2 を閉じると，正方形コイルは動きはじめた。正方形コイルの動く速さが v のとき，経路 P–S_2–Q–C–P と経路 P–S_2–Q–D–P に生じる誘導起電力を考えて，正方形コイルの辺 PC および辺 PD を流れる電流の大きさをそれぞれ v，R，E，B，d のうち必要なものを用いて表せ。また，辺 PC を流れる電流の向きを以下のア，イからひとつ選べ。

ア：P から C　　　　イ：C から P

設問(3)：設問(2)のとき，電気抵抗器で単位時間当たりに消費されるエネルギーを v，R，E，B，d のうち必要なものを用いて表せ。

設問(4)：設問(2)の後，十分な時間が経過すると正方形コイルの速さは一定値 v_0 となった。v_0 を R，E，B，d のうち必要なものを用いて表せ。

次に，全てのスイッチ S_1，S_2 を開いて磁場を加えるのをやめ，正方形コイルをはじめの位置に戻して固定した。その後，図2のようにおもりの代わりに質量 M_1 の細長い棒磁石を取り付けた。棒磁石は上側がN極，下側がS極となるように取り付けられており，N極，S極の磁気量はそれぞれ $+m$，$-m\,(m > 0)$ で，磁極間の距離は ℓ である。いま，この装置全体に鉛直上向きに，高さ z と共に変化する磁束密度 $B_1\,(B_1 > 0)$ の磁場を加える。磁束密度 B_1 の変化量 ΔB_1 は z の変化量 Δz に対して $\Delta B_1 = K\Delta z$ で与えられ，レールが固定されている水平面内で磁束密度 B_1 が B の値を持つように調整されている。ここで，勾配 K はゼロまたは正の値である。この装置が置かれている領域では加えた磁束密度の x 成分，y 成分は無視できるほど小さく，高さ z が等しい水平面内では B_1 の値は等しい。また，棒磁石の磁気量は磁場の強さに依存しない。空気の透磁率を μ とし，棒磁石がつくる磁場の影響は無視する。

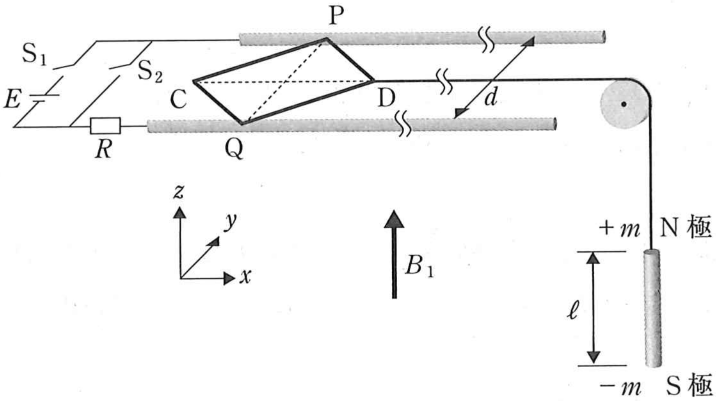


図2

設問(5)：$K = 0$ の場合に，スイッチ S_1 を閉じて正方形コイルの固定を静かに外すと，正方形コイルは止まったまま動かなかった。鉛直上向きの力を正として，棒磁石のN極，S極が磁場から受ける力をそれぞれ ℓ，m，B，g，μ のうち必要なものを用いて表せ。また，棒磁石の質量 M_1 を R，E，ℓ，m，B，d，g，μ のうち必要なものを用いて表せ。

設問(6)：$K = 0$のまま，スイッチ$\mathrm{S_1}$を開き，同時にスイッチ$\mathrm{S_2}$を閉じると正方形コイルは動きはじめ，十分な時間が経過すると一定の速さv_1となった。その後，時刻$t = t_1$で磁束密度の勾配Kを正の値K_0にしたところ，正方形コイルは減速をはじめ，やがて完全に停止した。K_0をR，E，ℓ，m，B，d，μのうち必要なものを用いて表せ。なお，この過程においても糸がたるむことはない。

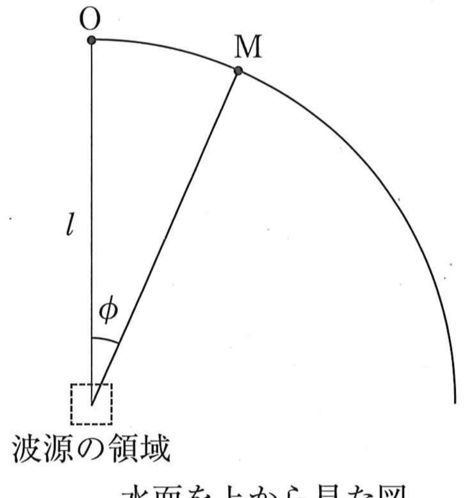
設問(7)：設問(6)のとき，質量Mの正方形コイルが減速をはじめてから完全に停止するまでに電気抵抗器で消費されるエネルギーをR，E，B，d，gを用いて表せ。

物理　問題III

図1に示す水面上の破線で囲まれた領域において，複数の点に振動を与える。各波源からは，振幅H，波長λ，周期Tがそれぞれ等しい水面波(円形波)が発生する。この波の波面は円形である。ある波源から発生する波の時刻$t = 0$における位相(初期位相)をθ〔rad〕とし，時刻tにおける波源での変位は$H \sin\left(\dfrac{2\pi}{T}t + \theta\right)$で表されるものとする。波源の領域に中心を置き，波源の領域の大きさより十分に長い距離lを半径とする円弧上の地点で水面の振幅を観測した。ここで，角度ϕ〔rad〕を図1のように定義し，観測は$0 \leqq \phi \leqq \dfrac{\pi}{2}$の範囲で行った。

それぞれの波源から発生した波は独立性を保ちながら進み，互いに重なり合う。距離による波の減衰は無視でき，観測による波の反射も起こらないものとする。また，波源で波が発生し始めてから十分に時間が経って観測を行うものとして，以下の問いに答えよ。

補足：各波源から発生する波は正弦波で進み，その振幅Hは波長λや周期Tによらず一定とする。



水面を上から見た図

図1

設問(1)：以下の文章中の，空欄(あ)にあてはまる式をπ，d，λのうち必要なものを用いて，空欄(い)にあてはまる式をn，dのうち必要なものを用いて，空欄(う)にあてはまる式をm，dのうち必要なものを用いて，空欄(え)にあてはまる式をm，d，ϕのうち必要なものを用いて表せ。また，空欄(お)と(か)に最も適切なものを，それぞれの選択肢の中からひとつずつ選べ。

図2に示すように，波源の領域内において，距離 $d(>0)$ だけ離れた2点A，Bで波を発生させた。AとBを通る直線上には観測地点 $\mathrm{O}(\phi = 0)$ がある。2点で同位相の波を発生させた場合，点Bで発生した波による，時刻 t，位置Aにおける変位は $H\sin\left(\dfrac{2\pi}{T}t + \theta - \boxed{\text{(あ)}}\right)$ と表される。したがって，Oにおいて観測される水面の振幅が最大となる波長 λ は $n = 1, 2, 3, \ldots$ を用いて $\boxed{\text{(い)}}$ と表される。

次に，2点A，Bで逆位相の波を発生させた。点Aで発生する波の初期位相 θ を0，点Bで発生する波の初期位相 θ を π とすると，Oで水面の振幅が最大となる波長 λ は $m = 0, 1, 2, \ldots$ を用いて $\boxed{\text{(う)}}$ となる。$\lambda = \boxed{\text{(う)}}$ のとき，Oから円弧に沿って時計回りに角度 ϕ 移動した観測地点Mで水面の振幅を観察した。l は d よりも十分に大きいことから $\angle\mathrm{OAM} \fallingdotseq \angle\mathrm{OBM} \fallingdotseq \phi$ と近似でき，MからAまでの距離MAとMからBまでの距離MBとの差 $|\mathrm{MA} - \mathrm{MB}|$ は $\boxed{\text{(え)}}$ と表される。したがって，Mで波が強め合う条件は $a = 0, 1, 2, \ldots$ を用いて $\boxed{\text{(お)}}$ となる。$\boxed{\text{(お)}}$ において $m = 1$ のとき，Mにおける水面の振幅は，ϕ の値が0から増加するにつれて，減少したあと増加し，$\phi = \boxed{\text{(か)}}$ で最大値を示したあと，再び減少する。

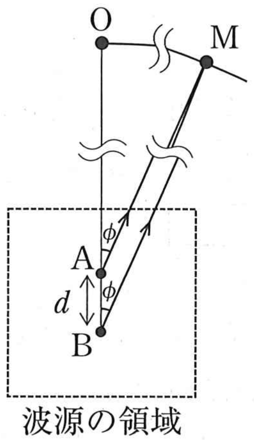


図2

空欄(お)の選択肢（$a = 0, 1, 2, \ldots$）

ア：$m\sin\phi = a$	イ：$m\cos\phi = a$
ウ：$2m\sin\phi = a$	エ：$2m\cos\phi = a$
オ：$2m\sin\phi = 2a + 1$	カ：$2m\cos\phi = 2a + 1$
キ：$(2m + 1)\sin\phi = 2a$	ク：$(2m + 1)\cos\phi = 2a$
ケ：$(2m + 1)\sin\phi = 2a + 1$	コ：$(2m + 1)\cos\phi = 2a + 1$

空欄(か)の選択肢

ア：0.11π　　イ：0.17π

ウ：0.23π　　エ：0.25π

オ：0.27π　　カ：0.33π

キ：0.39π　　ク：0.5π

設問(2)：以下の文章中の，空欄(き)〜(こ)にあてはまる式を n，q のうち必要なものを用いて，空欄(さ)にあてはまる式を n，s のうち必要なものを用いて表せ。また，空欄(し)に最も適切なものを選択肢の中からひとつ選べ。

次に，図3に示すように，波源の領域内において4点A，B，C，Dで同位相の波を発生させた。隣り合う2点は互いに距離 $q(>0)$ だけ離れており，線分ABと線分ACは直角をなしている。また l は q よりも十分に大きいことから，観測地点とA，B，C，Dをそれぞれ結ぶ線は互いに平行とみなすことができ，$\angle\mathrm{OAM} \fallingdotseq \angle\mathrm{OBM} \fallingdotseq \angle\mathrm{OCM} \fallingdotseq \angle\mathrm{ODM} \fallingdotseq \phi$ と近似できる。いま，$\tan\phi = \dfrac{1}{2}$ となる観測地点Mで水面の振幅を観測した。MとA，B，C，Dとの距離を，それぞれMA，MB，MC，MDとすると，$|\mathrm{MB}-\mathrm{MD}| \fallingdotseq$ $\boxed{\text{(き)}}$，$|\mathrm{MB}-\mathrm{MA}| \fallingdotseq$ $\boxed{\text{(く)}}$，$|\mathrm{MB}-\mathrm{MC}| \fallingdotseq$ $\boxed{\text{(け)}}$ である。したがって，Mで水面の振幅が最大となる波長 λ は $n = 1，2，3，\ldots$ を用いて $\boxed{\text{(こ)}}$ となる。

その後，観測地点Mを $\tan\phi = \dfrac{1}{4}$ となる位置に移動し，波源の領域内で，図4の黒丸で示す，等しい間隔 $s(>0)$ で直交した直線の全ての交点で同位相の波を発生させた。観測地点とそれぞれの波源を結ぶ線は互いに平行とみなすことができる。観測の結果，Mで水面の振幅が最大となる波長 λ は $n = 1，2，3，\ldots$ を用いて $\boxed{\text{(さ)}}$ となった。また，図5に示すように直線で囲まれた一辺の長さが s の各正方形の中心に新たな波源を追加して，全ての黒丸の点で同位相の波を発生させたところ，$\tan\phi = \dfrac{1}{4}$ となるMで水面の振幅が最大となる波長 λ は，式 $\boxed{\text{(さ)}}$ において $n =$ $\boxed{\text{(し)}}$ の場合であることが分かった。すなわち，図4および図5に示す2つの異なる波源を用いた場合，$\tan\phi = \dfrac{1}{4}$ となるMで水面の振幅が最大となる波長は一部異なることがわかった。

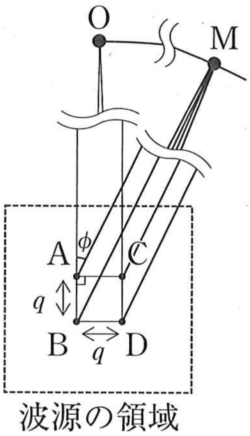


図 3

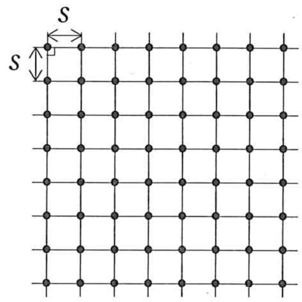


図 4

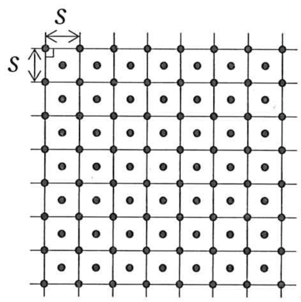


図 5

空欄(し)の選択肢

ア：1，3，5，7，9，…

イ：1，4，7，10，13，…

ウ：1，2，4，7，11，…

エ：2，4，6，8，10，…

オ：2，5，8，11，14，…

カ：2，3，5，8，12，…

草 稿 用 紙

（切りはなしてはならない）