

物 理

(問 題)

2024年度

〈2024 R 06180015 (物理)〉

注 意 事 項

1. 試験開始の指示があるまで、問題冊子および解答用紙には手を触れないこと。
2. 問題は2～11ページに記載されている。試験中に問題冊子の印刷不鮮明、ページの落丁・乱丁及び解答用紙の汚損等に気付いた場合は、手を挙げて監督員に知らせること。
3. 解答はすべて、HBの黒鉛筆またはHBのシャープペンシルで記入すること。
4. 記述解答用紙記入上の注意
 - (1) 記述解答用紙の所定欄（2カ所）に、氏名および受験番号を正確に丁寧に記入すること。
 - (2) 所定欄以外に受験番号・氏名を記入した解答用紙は採点の対象外となる場合がある。
 - (3) 受験番号の記入にあたっては、次の数字見本にしたがい、読みやすいように、正確に丁寧に記入すること。

数 字 見 本	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
---------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

5. 解答はすべて所定の解答欄に記入すること。所定欄以外に何かを記入した解答用紙は採点の対象外となる場合がある。
6. 問題冊子の余白等は適宜利用してよいが、どのページも切り離さないこと。
7. 試験終了の指示が出たら、すぐに解答をやめ、筆記用具を置き解答用紙を裏返しにすること。
8. いかなる場合でも、解答用紙は必ず提出すること。
9. 試験終了後、問題冊子は持ち帰ること。

[I] 図 I - 1 のように、長さ L 、質量 M で密度が一様な棒を、一人でゆっくりと垂直に立てることを考える。この人は、常に棒の端を棒に対して垂直な力で押す。また、棒の他端は頑丈な壁の隅に常に触れている。棒と床との角度を θ とし、棒の太さは無視し、棒に接するすべての部分の摩擦は無いものとする。重力加速度の大きさを g として、次の設問に答えよ。必要であれば、 $\Delta\theta$ が非常に小さいときは、近似式 $\cos \Delta\theta = 1$ 、 $\sin \Delta\theta = \Delta\theta$ を用いなさい。

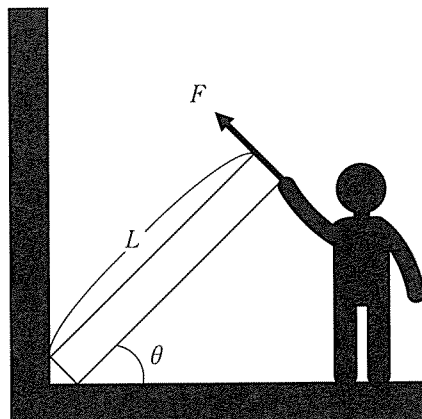


図 I - 1

問 1 棒と床との角度が θ で静止しているとき、人が棒を垂直に押す力 F を、 L 、 M 、 g 、 θ の中から必要な記号を用いて表せ。

問 2 問 1 の状態から、非常に小さな角度 $\Delta\theta$ だけ動かした。このとき人が棒にした仕事 ΔW を $\boxed{} \times \cos \theta$ と表すとき、 $\boxed{}$ の中に入る式を $\Delta\theta$ 、 L 、 M 、 g の中から必要な記号を用いて表せ。

問 3 棒が床に置かれている状態から垂直に立てるまでに、人がした仕事を、 L 、 M 、 g の中から必要な記号を用いて表せ。

次に、図 I - 2 および図 I - 3 のように、長さ $2L$ 、質量 $2M$ で密度が一様な棒を、一人でゆっくりと垂直に立てることを考える。この人は、地面から高さ H のところを棒に対して垂直な力 F' で押しながら、壁に向かって近づいている。また、棒の端は頑丈な壁の隅に常に触れている。棒の壁に接している端を A、他端を B とし、棒の太さは無視する。棒に接するすべての部分の摩擦は無いものとする。重力加速度の大きさを g として、次の設問に答えよ。

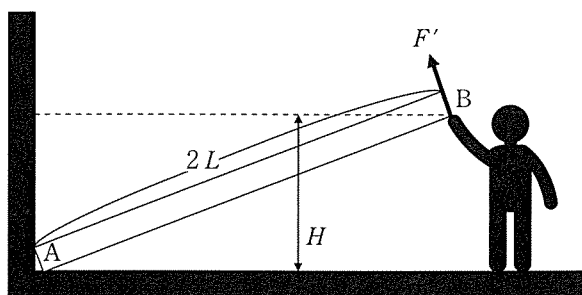


図 I - 2

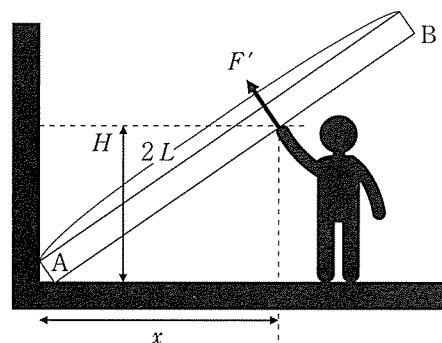


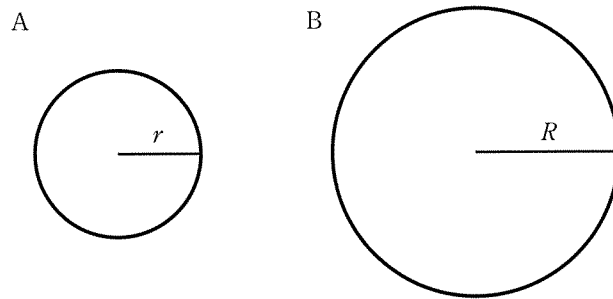
図 I - 3

問 4 図 I - 2 のように、棒の端 B を棒に対して垂直に力 F' で押し静止させた。この時の力 F' の大きさと、他端 A が壁から受ける力 F_w の大きさを、それぞれ H , L , M , g の中から必要な記号を用いて表せ。

問 5 図 I - 3 のように、人が棒を押す点と壁との距離を x とする。このとき人が棒を押す力 F' を、 x , H , L , M , g の中から必要な記号を用いて表せ。

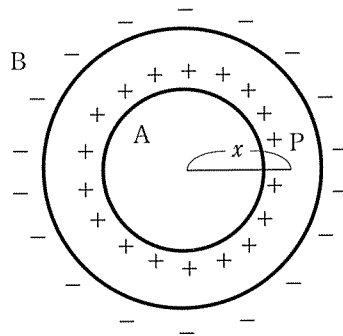
問 6 人が押す力 F' の最大値および、そのときの x を、 H , L , M , g の中から必要な記号を用いて表せ。

[II] 図Ⅱ－１のような薄い金属板で作られた中空の金属球が２つある。金属球 A は半径 r ，金属球 B は半径 R とする ($R > r$)。真空中でこれらの金属球を使用して次の操作を行った。真空の誘電率を ϵ_0 ，円周率を π とし，電位の基準は無限遠として，次の設問に答えよ。



図Ⅱ－１

図Ⅱ－２のように，金属球 B の中に，金属球 A を球の中心が一致するように入れ，金属球 A には $+Q$ ，金属球 B には $-Q$ の電荷を与え帯電させた。それぞれの金属球の電荷の分布は一様であるとする。

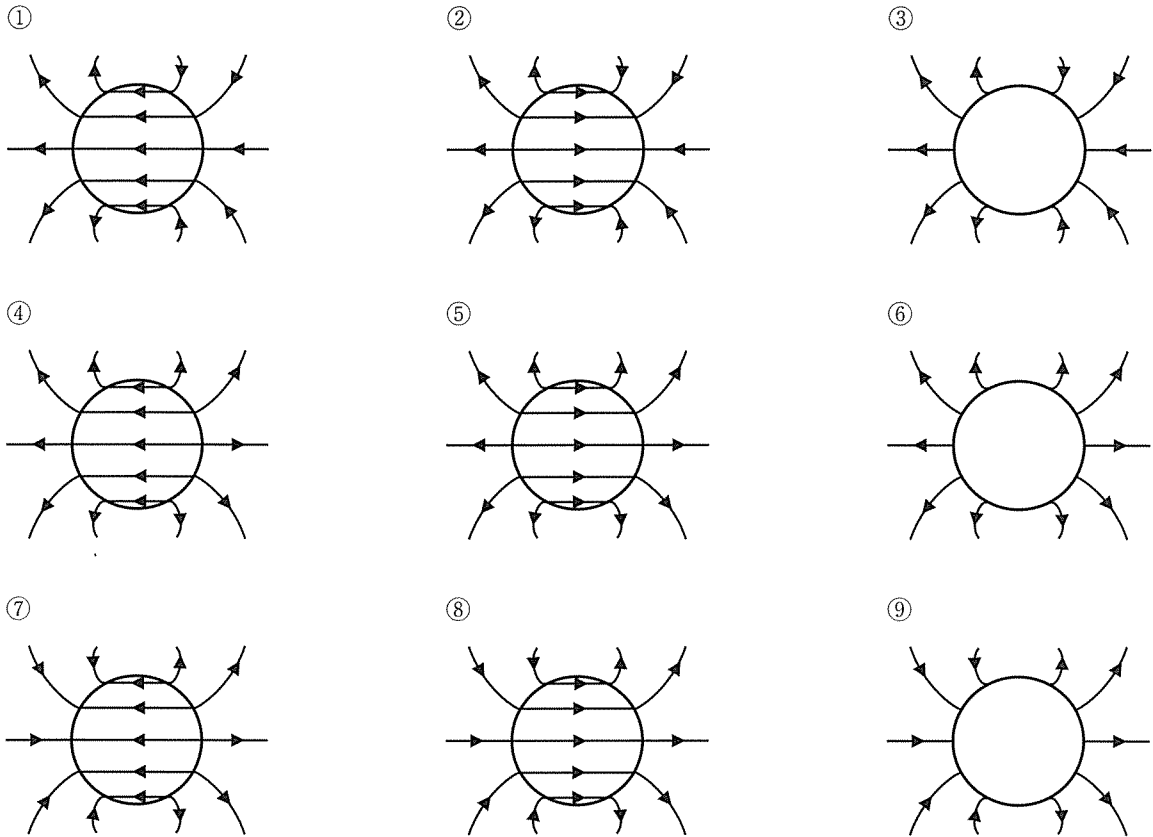
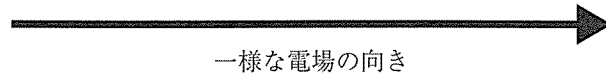


図Ⅱ－２

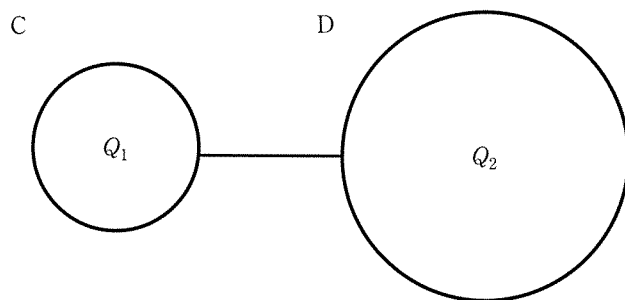
問１ 中心からの距離が x ($r < x < R$) の点 P での電場の強さ E はいくらか。 Q ， R ， r ， x ， ϵ_0 の中から必要な記号を用いて答えよ。

問２ ２つの金属球の電気容量はいくらか。 Q ， R ， r ， ϵ_0 の中から必要な記号を用いて答えよ。ただし，金属球の表面の電荷が球の外側に作る電位は，金属球の中心に電荷が集中したときと等しいものとする。

問3 真空中で、左から右に向かう一様な電場の中に、帯電していない中空の金属球を置くと、一様な電場と中空の金属球の表面に現れた電荷が作った電場が合成される。中空の金属球の表面に現れた電荷が作る電場の様子を、下の①～⑨の中から最もよく表している図をひとつ選べ。



帯電している物体の尖った部分から放電が起きやすいことを説明するために、図Ⅱ－3のように、真空中で半径 r の小さな金属球 C と遠く離れた半径 R の大きな金属球 D ($r < R$) を細い導線で接続したモデルを考える。両球に合計で Q の電荷を与えたところ、金属球 C には電荷 Q_1 、金属球 D には電荷 Q_2 がそれぞれ一様に帯電したとする ($Q = Q_1 + Q_2$)。導線の太さは無視できるものとして、次の設問に答えよ。



図Ⅱ－3

問4 金属球 C の表面の電荷の密度を ρ_1 、金属球 D の表面の電荷の密度を ρ_2 とする。 ρ_1 と ρ_2 を、 Q 、 R 、 r 、 ϵ_0 の中から必要な記号を用いて表せ。

問5 金属球 C の表面の電場の強さを E_1 とし、金属球 D の表面の電場の強さを E_2 とする。 E_1 と E_2 を、 Q 、 R 、 r 、 ϵ_0 の中から必要な記号を用いて表せ。

以上の電場の大きさの関係から、尖った部分（金属球 C に対応）から放電が起きやすいことがわかる。

[Ⅲ] 理化学研究所（仁科加速器科学研究センター）では、2003年から2012年にわたり実験を積み重ねた結果、原子番号113の元素を合成することに成功した。この成果により、2015年に国際純正・応用化学連合（IUPAC）は113番元素の命名権を日本に認め、2016年に研究チームにより、113番元素はニホニウム（元素記号Nh）と命名された。

原子核に関する以下の設問に答えよ。ただし、電気素量を e 、プランク定数を h とし、必要に応じて図Ⅲ－1の元素周期表を用いること。なお、元素周期表の数字は原子番号を表し、記号は元素記号である。また、以下で β^- 崩壊を β 崩壊と書いている。

問1 ニホニウムNhの合成は、加速器で質量数70の亜鉛原子核（以降 ^{70}Zn と書く）を加速してビームを作り、質量数209のビスマス原子核（以降 ^{209}Bi と書く）に照射して行われた。次の核反応式はそれを示している。Nhの質量数[ア]を答えよ。さらに[イ]に入る粒子名とその個数を答えよ。ただし、合成されたNh原子核の中性子数は165である。



問2 真空中で静止しているイオン化された亜鉛原子（原子核として ^{70}Zn をもち、電子を k 個失ってイオン化していて質量が M である亜鉛原子）に電圧 V をかけて加速し、静止している ^{209}Bi に衝突させることを考える。イオン化された亜鉛原子がもつ衝突直前の運動エネルギーを、 k 、 M 、 V 、 e 、 h の中から必要な記号を用いて表せ。また、そのド・ブロイ波（物質波）の波長を、 k 、 M 、 V 、 e 、 h の中から必要な記号を用いて表せ。ただし、加速中に亜鉛原子のイオン化の状況は変化しないとする。

問3 原子核 ^{70}Zn の結合エネルギーはいくらか。単位はMeVで示せ。ただし、統一原子質量単位を u として、下記の数値を用いよ。結果は、計算の最後に四捨五入し、有効数字2桁で 1.2×10^3 のように答えよ。

陽子の質量：1.0073 u

中性子の質量：1.0087 u

^{70}Zn の質量： 6.9909×10 u

$1\text{ }u = 1.66 \times 10^{-27}$ kg

真空中の光速： 3.00×10^8 m/s

電気素量： 1.60×10^{-19} C

元素周期表

1 H 水素																	2 He ヘリウム
3 Li リチウム	4 Be ベリリウム											5 B ホウ素	6 C 炭素	7 N 窒素	8 O 酸素	9 F フッ素	10 Ne ネオン
11 Na ナトリウム	12 Mg マグネシウム											13 Al アルミニウム	14 Si ケイ素	15 P リン	16 S 硫黄	17 Cl 塩素	18 Ar アルゴン
19 K カリウム	20 Ca カルシウム	21 Sc スカンジウム	22 Ti チタン	23 V バナジウム	24 Cr クロム	25 Mn マンガン	26 Fe 鉄	27 Co コバルト	28 Ni ニッケル	29 Cu 銅	30 Zn 亜鉛	31 Ga ガリウム	32 Ge ゲルマニウム	33 As ヒ素	34 Se セレン	35 Br 臭素	36 Kr クリプトン
37 Rb ルビジウム	38 Sr ストロンチウム	39 Y イットリウム	40 Zr ジルコニウム	41 Nb ニオブ	42 Mo モリブデン	43 Tc テクネチウム	44 Ru ルテニウム	45 Rh ロジウム	46 Pd パラジウム	47 Ag 銀	48 Cd カドミウム	49 In インジウム	50 Sn スズ	51 Sb アンチモン	52 Te テルル	53 I ヨウ素	54 Xe キセノン
55 Cs セシウム	56 Ba バリウム	57～71 ランタノイド	72 Hf ハフニウム	73 Ta タンタル	74 W タングステン	75 Re レニウム	76 Os オスミウム	77 Ir イリジウム	78 Pt 白金	79 Au 金	80 Hg 水銀	81 Tl タリウム	82 Pb 鉛	83 Bi ビスマス	84 Po ポロニウム	85 At アスタチン	86 Rn ラドン
87 Fr フランシウム	88 Ra ラジウム	89～103 アクチノイド	104 Rf ラザホージウム	105 Db ドブニウム	106 Sg シーボーギウム	107 Bh ボーリウム	108 Hs ハッシウム	109 Mt マイトネリウム	110 Ds ダームスタチウム	111 Rg レントゲニウム	112 Cn コペルニシウム	113 Nh ニホニウム	114 Fl フレロビウム	115 Mc モスコビウム	116 Lv リバモリウム	117 Ts テネシン	118 Og オガネソン

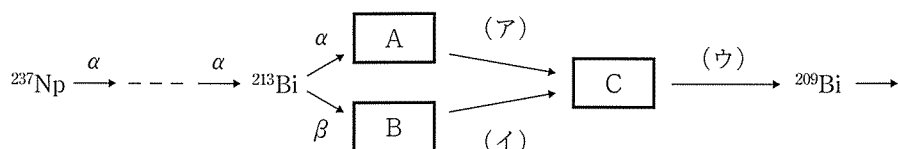
1 H
水素

← 原子番号，元素記号

← 元素名

57～71 ランタノイド	57 La ランタン	58 Ce セリウム	59 Pr プラセオジウム	60 Nd ネオジウム	61 Pm プロメチウム	62 Sm サマリウム	63 Eu ユウロピウム	64 Gd ガドリニウム	65 Tb テルビウム	66 Dy ジスプロシウム	67 Ho ホルミウム	68 Er エルビウム	69 Tm ツリウム	70 Yb イットルビウム	71 Lu ルテチウム
89～103 アクチノイド	89 Ac アクチニウム	90 Th トリウム	91 Pa プロトアクチニウム	92 U ウラン	93 Np ネプツニウム	94 Pu プルトニウム	95 Am アメリシウム	96 Cm キュリウム	97 Bk バークリウム	98 Cf カリホルニウム	99 Es アインスタイニウム	100 Fm フェルミウム	101 Md メンデレビウム	102 No ノーベリウム	103 Lr ローレンシウム

問 4 崩壊系列のひとつであるネプツニウム系列では、 ^{237}Np が α 崩壊、 β 崩壊、 γ 崩壊を繰り返してタリウム ^{205}Tl になる。その過程で質量数 213 のビスマス原子核 ^{213}Bi と質量数 209 のビスマス原子核 ^{209}Bi が生成される。 ^{213}Bi は 2 % の確率で α 崩壊、98 % の確率で β 崩壊をする。下図のように崩壊の流れを示すとき、 ^{213}Bi 原子核から ^{209}Bi 原子核に至るまでに生成される原子核を A , B , C にそれぞれ一つ書け。ただし、 ^{70}Zn のように質量数と元素記号で書くこと。さらに、 α 崩壊か β 崩壊か、その種類を (ア)、(イ)、(ウ) にそれぞれ α か β で書け。



問 5 問 1 で示したように生成されたニホニウム原子核は何回かの崩壊を続けて、質量数 254 のメンデレビウム ^{254}Md になった。 ^{254}Md になるまでに α 崩壊と β 崩壊をそれぞれ何回行うか。また、このニホニウムからメンデレビウムまで続く崩壊過程で、 ^{254}Md の二つ前に生成される原子核は何か。 ^{70}Zn のように質量数と元素記号で書け。

問 6 一般的に、半減期が T の原子核が崩壊するとき、ある時刻 t での存在量 N は、

$$N = N_0 \left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{t}{T}} \quad (\text{式 1})$$

と書くことができる。ただし、 N_0 は時刻 $t = 0$ のときの原子核の数である。一方、ある短い時間 Δt の間に崩壊する数 ΔN 、つまり時刻 $t + \Delta t$ のときと時刻 t のときの N の差は、時刻 t のときの存在数 N と Δt の積に比例することも分かっている。つまり、

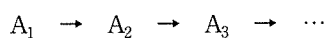
$$\Delta N = -\lambda N \Delta t \quad (\text{式 2})$$

と書くことができる。ただし、 λ は原子核ごとに異なる比例定数で、崩壊によって原子核の数は減少するので負号が付いている。(式 1) を用いて ΔN と N の関係を求めると、次の (式 3) を得る。 a , b , d に入る整数と c に入る式を答えよ。

$$\Delta N = N \left\{ \left(\frac{\text{a}}{\text{b}} \right)^{\text{c}} - \text{d} \right\} \quad (\text{式 3})$$

次に x が小さいときは、 $A^x = 1 + x \log A$ と近似してよい。ここで $\log A$ は A の自然対数である。この近似式を用い、かつ半減期 T を使うと、(式 2) の λ は e と表すことができる。 e を求めよ。

問7 下のように、原子核 A_1 が崩壊して原子核 A_2 となり、原子核 A_2 が崩壊して原子核 A_3 となるような、崩壊が連続する場合を考える。

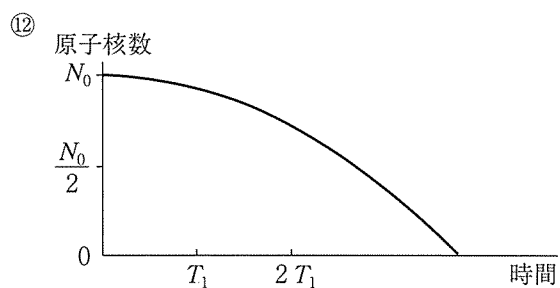
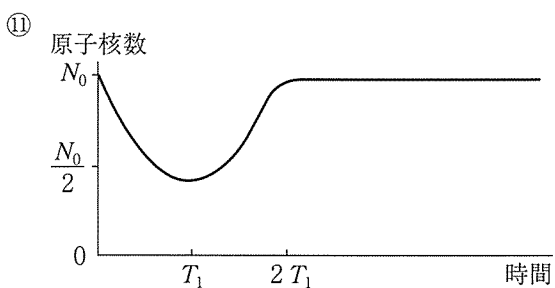
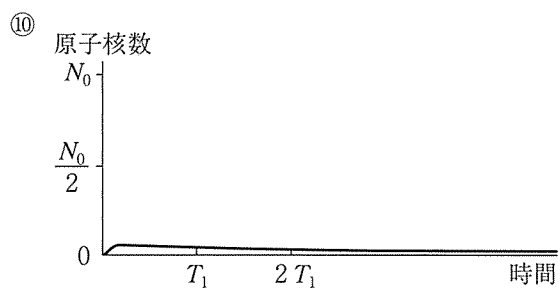
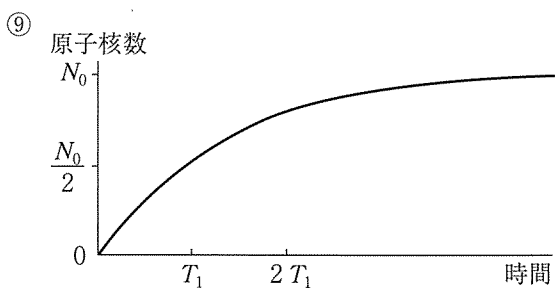
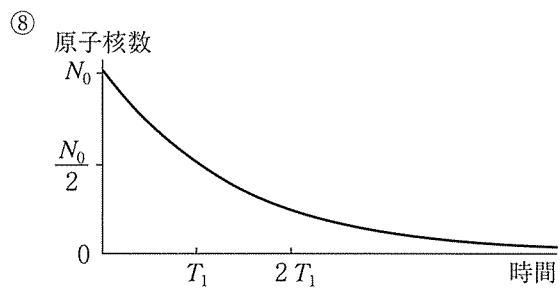
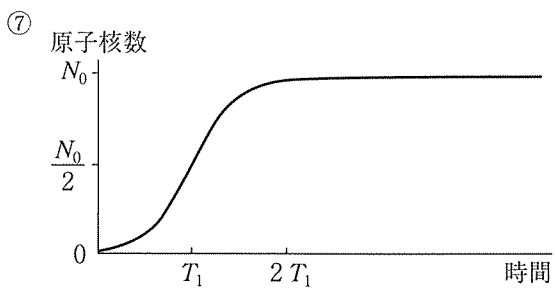
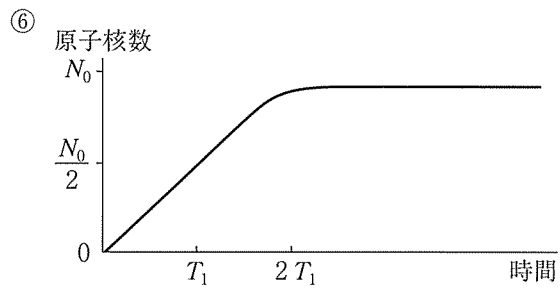
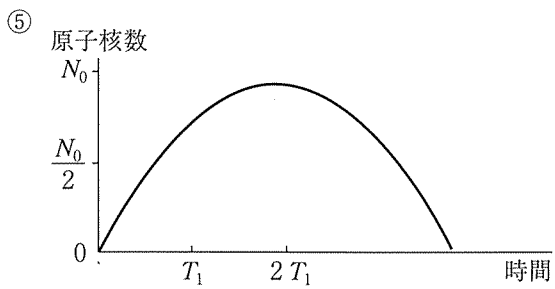
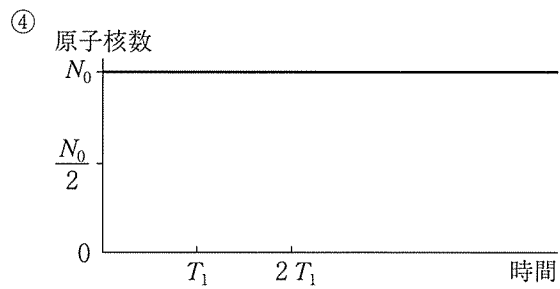
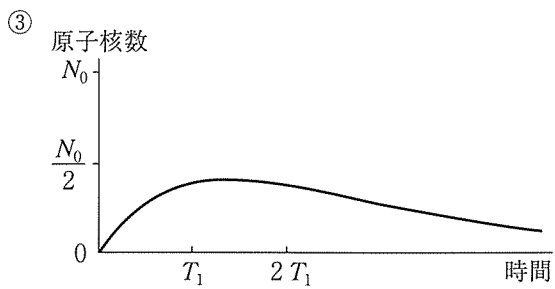
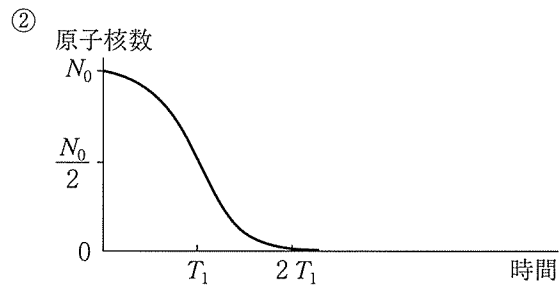
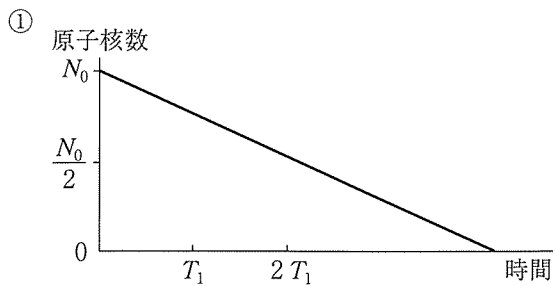


原子核 $A_1, A_2, A_3, \dots$ の半減期をそれぞれ $T_1, T_2, T_3, \dots$ とし、また、時刻 $t = 0$ で、原子核 A_1 の数は N_0 、原子核 A_2 以降の数はすべて 0 とする。次の (1) から (3) の場合に、原子核 A_1 と原子核 A_2 の数を時間の関数として表すとき、それぞれの関数のグラフの概形を最もよく示すグラフを、次の①～⑫の中から選び、あ ～か に入れよ。同じ番号を何度使っても良い。

(1) T_1 と比べて T_2 が非常に大きい場合、原子核 A_1 の数を表すグラフの概形は あ、原子核 A_2 の数を表すグラフの概形は い である。

(2) T_1 と比べて T_2 が非常に小さい場合、原子核 A_1 の数を表すグラフの概形は う、原子核 A_2 の数を表すグラフの概形は え である。

(3) T_1 と T_2 がほぼ同じ場合、原子核 A_1 の数を表すグラフの概形は お、原子核 A_2 の数を表すグラフの概形は か である。



[以下 余 白]

〈2024 R 06180015 (物理)〉

受験番号	万	千	百	十	一
氏名					

(注意) 所定欄以外に受験番号・氏名を記入してはならない。記入した解答用紙は採点の対象外となる場合がある。

問	[Ⅰ]		[Ⅱ]	
	1	2	1	2
採点欄				
問	[Ⅲ]			
	1	2	3	4
採点欄				

〈2024 R 06180015 (物理)〉

受験番号	万	千	百	十	一
氏名					

(注意) 所定欄以外に受験番号・氏名を記入してはならない。記入した解答用紙は採点の対象外となる場合がある。

- 注 意
1.

受験番号(算用数字)・氏名は指示に従ってただちに所定欄に記入し、それ以外に記入してはならない。
2.

解答はすべて所定の解答欄に記入すること。所定欄以外に何かを記入した解答用紙は採点の対象外となる場合がある。
3.

解答は黒鉛筆またはシャープペンシル（HB）で書くこと。
4.

試験終了時にこの解答用紙を裏返して机の上に置き、指示を待つこと。
5.

計算器は一切使用してはならない。

問	[Ⅰ]		[Ⅱ]	
	1	2	1	2
採点欄				
問	[Ⅲ]			
	1	2	3	4
採点欄				

物 理 (解 答 用 紙)

I

問 1

$F =$

問 2

$\Delta W =$

$\times \cos \theta$

問 3

仕事 =

問 4

$F' =$

$F_w =$

問 5

$F' =$

問 6

F' の最大値 =

$x =$

II

問 1

$E =$

問 2

問 3

問 4

$\rho_1 =$

$\rho_2 =$

問 5

$E_1 =$

$E_2 =$

III

問 1

[ア]

[イ] 粒子名

[イ] 個数

問 2

運動エネルギー =

波長 =

問 3

結合エネルギー =

・

$\times 10^{\quad}$

MeV

問 4

(A)

(B)

(C)

(ア)

(イ)

(ウ)

問 5

α 崩壊が

回

β 崩壊が

回

原子核

問 6

(a)

(b)

(c)

(d)

(e)

問 7

(あ)

(い)

(う)

(え)

(お)

(か)