

太陽からの粒子

(大問点数: 10)

太陽の表面からやってくる光子と太陽の中心からやってくるニュートリノを調べると太陽の表面温度が推定できる。さらには太陽の輝きの起源が、核反応によるものであることがわかる。

この問題では、太陽の質量を $M_{\odot} = 2.00 \times 10^{30}$ kg、半径を $R_{\odot} = 7.00 \times 10^8$ m、輝度(単位時間当たりの放射エネルギー)を $L_{\odot} = 3.85 \times 10^{26}$ W、太陽と地球の距離を $d_{\odot} = 1.50 \times 10^{11}$ m とせよ。必要ならば次の積分公式を用いよ。

$$(i) \int x e^{ax} dx = \left(\frac{x}{a} - \frac{1}{a^2} \right) e^{ax} + (\text{積分定数})$$

$$(ii) \int x^2 e^{ax} dx = \left(\frac{x^2}{a} - \frac{2x}{a^2} + \frac{2}{a^3} \right) e^{ax} + (\text{積分定数})$$

$$(iii) \int x^3 e^{ax} dx = \left(\frac{x^3}{a} - \frac{3x^2}{a^2} + \frac{6x}{a^3} - \frac{6}{a^4} \right) e^{ax} + (\text{積分定数})$$

A 太陽からの放射:

A1	太陽がほぼ完全な黒体放射をしていると仮定する。太陽の表面温度 T_s を求めよ。	0.3
----	--------------------------------------------	-----

太陽からの放射スペクトルはウィーンの公式で近似することができる。これによると地表面に到達する単位時間、単位周波数あたりの光(放射)のエネルギー $u(\nu)$ は、

$$u(\nu) = A \frac{R_{\odot}^2}{d_{\odot}^2} \frac{2\pi h}{c^2} \nu^3 \exp(-h\nu/k_B T_s),$$

で与えられる。ここで ν は周波数、 A は入射光に垂直な入射面の面積である。

半導体でできた薄い円盤形の太陽電池を考える。太陽電池の面積を A とし、太陽電池は太陽からの入射光に対して垂直におかれているとする。

A2	ウィーンの公式を用いて、太陽電池の表面に単位時間あたりに入射する太陽光の放射エネルギー P_{in} を $A, R_{\odot}, d_{\odot}, T_s$ と物理定数 c, h, k_B を用いて書き表せ。	0.3
A3	太陽電池に入射する単位時間、単位周波数あたりの光子数 $n(\nu)$ を $A, R_{\odot}, d_{\odot}, T_s, \nu$ と物理定数 c, h, k_B を用いて書き表せ。	0.2

太陽電池を構成する半導体中で電子を励起するには「バンドギャップ」 E_g より大きなエネルギーが必要である。このような太陽電池のモデルとして以下を仮定する。すなわち太陽電池に入射する光子のうちエネルギー $E \geq E_g$ を持つものだけが電子を励起できる。また電子の受け取ったエネルギーのうち E_g が太陽電池の出力(エネルギー)として利用できるだけで、余ったエネルギーは熱となって散逸する(つまり太陽電池の出力として利用できない)。

A4	$E_g = h\nu_g$ とし、 $x_g = h\nu_g/k_B T_s$ とする。太陽電池から単位時間あたりに出力されるエネルギー P_{out} を $x_g, A, R_{\odot}, d_{\odot}, T_s$ と物理定数 c, h, k_B を用いて書き表せ。	1.0
A5	太陽電池の効率 η を x_g を用いて書き表せ。	0.2
A6	x_g に対する η のグラフの概形を書け。とくに $x_g = 0$ と $x_g \rightarrow \infty$ での値をグラフに書き入れることと。 $x_g = 0$ と $x_g \rightarrow \infty$ での $\eta(x_g)$ の傾きを求めよ。	1.0
A7	η が最大となるような x_g を x_0 とする。 x_0 を与える 3 次方程式を求めよ。 x_0 の数値を ± 0.25 の精度で求め、 $\eta(x_0)$ を計算せよ。	1.0
A8	シリコンのバンドギャップを $E_g = 1.11$ eV とする。この値を用いてシリコン太陽電池の効率 η_{Si}	0.2

を計算せよ。

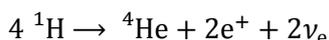
19 世紀後半にケルビン(Kelvin)とヘルムホルツ(Helmholtz)(KH)は、太陽が輝くメカニズムに関して次のような仮説を立てた。最初、大きなガスの固まりがあり、その密度は十分に低く、全質量は M_{\odot} とする。これが次第に中心部分に落ち込んで行く際、重力の位置エネルギーが解放され、太陽から光(エネルギー)が放射される、とするものである。

A9	太陽内部の物質の密度は一定であるとする。現在の太陽の重力の位置エネルギー Ω を G, M_{\odot} と R_{\odot} を用いて書き表せ。	0.3
A10	KH の仮説に従って、太陽が輝き続けることのできる寿命 τ_{KH} を年単位で概算せよ。但し、太陽の輝度はつねに一定であると仮定する。	0.5

上で見積もった寿命 τ_{KH} は、隕石からわかっている太陽系の寿命と合わない。これは太陽のエネルギーが重力だけでは説明できないことを示している。

B 太陽からやってくるニュートリノ :

1938 年にハンス・ベータは、太陽内部で起こる水素からヘリウムへの核融合が太陽のエネルギーを生み出していると考えた。正味の核反応は



と書くことができる。(反応で生じる「電子ニュートリノ」 ν_e の質量は 0 であるとしてよく、またこの問題では、ニュートリノが運び去るエネルギーは無視してよい。) 太陽から放射された電子ニュートリノを検出することで、太陽内部で核融合が起こっていることの検証が可能である。

B1	地球に届くニュートリノについて単位時間あたりに単位面積を通過する粒子数 Φ_{ν} (単位は $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$) を計算せよ。ただし、上記の核融合反応で放出されるエネルギーは $\Delta E = 4.0 \times 10^{-12}\text{J}$ である。また、太陽から放射されるエネルギーは、すべてこの核融合反応によるものであることを仮定せよ。	0.6
----	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

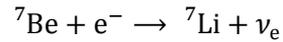
太陽の中心から地球に届くまでの間に、電子ニュートリノ ν_e は別の種類のニュートリノ ν_x へ変換される。 ν_x の検出効率(検出する割合)は、電子ニュートリノ ν_e の検出効率の 1/6 である。もしニュートリノの変換がなければ、1 年間に平均で N_1 個のニュートリノが検出されるはずである。しかし実際にはこの変換のせいで ν_e と ν_x 合わせて年間に平均で N_2 個のニュートリノが検出される。

B2	ν_e のうち ν_x に変換されたものの割合を f として、これを N_1 と N_2 を用いて表わせ。	0.4
----	---------------------------------------------------------------------	-----

ニュートリノの検出では、水で満たされた大きな検出器が用いられる。ニュートリノと物質の相互作用はとても弱い、ごくまれにニュートリノが検出器内の水分子と衝突して電子を叩き出す。この電子は大きな運動エネルギーをもち、水中を高速で通過する際、円錐状に電磁波を放出する。この電磁波放射をチェレンコフ放射という。チェレンコフ放射は、電子の速さが水中(屈折率を n とする)の光速を超えている間だけ起こる。

B3	ニュートリノに叩き出された電子は、水中を通過する際、単位時間当たり α の一定の割合でエネルギーを失うものとする。チェレンコフ放射が時間 Δt の間だけ起こるとして、ニュートリノから電子に与えられるエネルギー E_{imparted} を $\alpha, \Delta t, n, m_e, c$ で表せ(ニュートリノに叩き出されるまで電子は静止しているとする)。	2.0
----	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

水素原子 H からヘリウム原子 He への核融合は段階的に起きる。これらの中間過程で ${}^7\text{Be}$ 原子核(静止質量 m_{Be})が生成する。次いでこの ${}^7\text{Be}$ 原子核は、電子を吸収して ${}^7\text{Li}$ 原子核(静止質量 $m_{\text{Li}} < m_{\text{Be}}$)にかかわると同時に ν_e を放出する。この原子核反応は以下のように書ける。



静止している Be 原子核($m_{\text{Be}} = 11.65 \times 10^{-27} \text{ kg}$) が静止している電子を吸収するとき、エネルギー $E_\nu = 1.44 \times 10^{-13} \text{ J}$ のニュートリノが放出される。しかし実際には太陽中心の温度 T_c のため、Be 原子核はランダムな熱運動をしている。このため、放出されたニュートリノには、二乗平均速度に比例する量 ΔE_{rms} だけのエネルギー揺らぎがある。

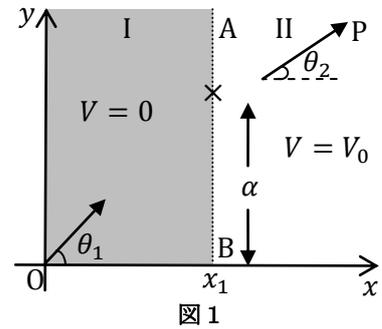
B4	$\Delta E_{rms} = 5.54 \times 10^{-17} \text{ J}$ とする。Be 原子核の速さの二乗平均 V_{Be} と T_c を計算せよ(ヒント: ΔE_{rms} は速度の視線方向成分の二乗平均値に依存することに注意せよ)。	2.0
----	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------

極値の原理

(大問得点: 10)

A 力学における極値の原理

摩擦のない水平面 ($x-y$ 平面) が直線 AB ($x = x_1$) によって2つの領域 I, IIに分けられている(図1)。領域 I で質量 m の質点の位置エネルギーは $V = 0$ 、領域 II では $V = V_0$ とする。いま、質点が原点 O から x 軸となす角が θ_1 の方向に初速 v_1 で打ち出された。その後、質点は領域 II 内において x 軸となす角 θ_2 の方向に速さ v_2 の直線運動を続け、点 P に達した。以下、課題 T-2 全体にわたって重力と相対論的效果は無視せよ。



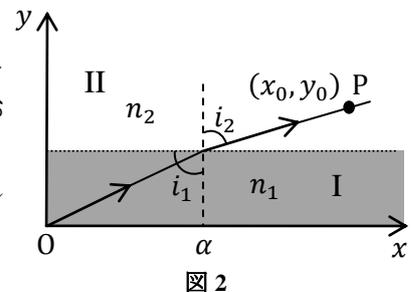
A1	m, v_1, V_0 を用いて v_2 を表せ。	0.2
A2	v_1, θ_1, θ_2 を用いて v_2 を表せ。	0.3

作用 A と呼ばれる量を式 $A = m \int v(s) ds$ により定義する。ここで ds は質点の軌跡に沿った微小な移動距離を表し、 m は質点の質量、 $v(s)$ は質点の速さである。積分は質点の軌跡にそって行われる。例えば、半径 R の等速円運動 (速さ v) では、1回転につき作用は $A = 2\pi m R v$ となる。質点のエネルギー E が一定の場合、固定された2点を結ぶあらゆる軌跡の中で実際に質点がたどる軌跡は、作用 A が極値(極大・極小)となるものであることが証明できる。従来これは「最小作用の原理 (PLA)」として知られている。

A3	最小作用の原理によれば、位置エネルギーが一定の領域において固定された2点をつなぐ質点の軌跡は直線となることが予想される。2つの固定点を図1の原点 O (0,0)と点 P(x_0, y_0)に選び、領域 I と II の境界で粒子が通過する点の座標を (x_1, α) とする。ここで x_1 は定数であり、作用は座標 α のみに依存することに注意する。作用 $A(\alpha)$ の表式を求めよ。また最小作用の原理から v_1/v_2 とこれらの座標の間に成り立つ関係式を導け。	1.0
----	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

B 光学における極値の原理

光線が媒質 I (屈折率 n_1) から媒質 II (屈折率 n_2) に入射する状況を考える。2つの媒質は x 軸に平行な直線によって区切られており、光線が y 軸となす角を媒質 I で i_1 、媒質 II で i_2 とする(図2)。光線の軌跡を調べるために「フェルマーの最小時間の原理」として知られるもうひとつの極値(極大・極小)の原理を用いる。



B1	フェルマーの原理とは、固定された2点間を進む光は、所要時間が最短(極小)となる軌跡をたどる、というものである。フェルマーの原理を用いて $\sin i_1$ と $\sin i_2$ の間に成り立つ関係式を導け。	0.5
----	------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

図3は、砂糖水に水平に入射した光線の軌跡の模式図である。砂糖水の濃度は (y 軸に沿って) 上に行くほど薄く、下に行くほど濃い。このため溶液の屈折率も上に行くほど小さく、下に行くほど大きくなる。

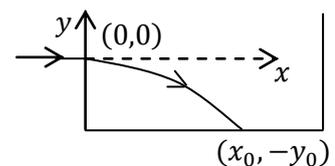


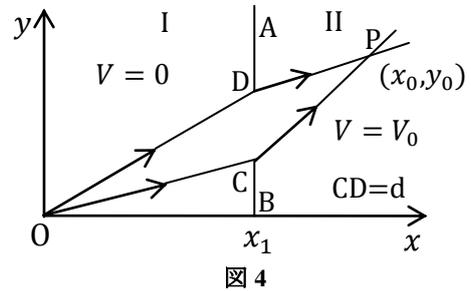
図3: 砂糖水の容器

B2	屈折率 $n(y)$ は高さ y のみに依存すると仮定する。B1 で得られた関係式を用いて光の軌跡の傾き dy/dx を n_0 ($y=0$ での屈折率) と $n(y)$ を用いて表せ。	1.5
B3	レーザー光が砂糖水容器の原点 $(0,0)$ から水平に入射する。容器の底から原点までの高さを y_0 とする(図 3)。屈折率が $n(y) = n_0 - ky$ (ただし n_0 と k は正定数) と書ける時、光がたどる軌跡について x を y などを用いて表せ。 必要ならば次の公式を用いて良い。 $\int \sec \theta d\theta = \ln(\sec \theta + \tan \theta) + (\text{積分定数})$ ここで $\sec \theta = 1/\cos \theta$ $\int \frac{dx}{\sqrt{x^2 - 1}} = \ln(x + \sqrt{x^2 - 1}) + (\text{積分定数})$	1.2
B4	$y_0 = 10.0 \text{ cm}$, $n_0 = 1.50$, $k = 0.050 \text{ cm}^{-1}$ ($1 \text{ cm} = 10^{-2} \text{ m}$) の時の、ビームが容器の底に到達する位置 x_0 の値を求めよ。	0.8

C 物質の波動性における極値の原理

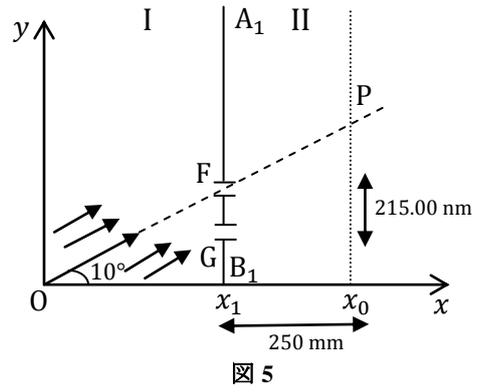
ここからは運動する粒子の波動性と最小作用の原理の関係性を考察していく。まず、粒子は原点 O から点 P へたどりうるすべての経路を取る事ができると仮定する。その上で、ド・ブroy波が干渉して強め合う経路を求めよう。

C1	ある経路にそった微小長さ Δs の運動を考える。その間に生じるド・ブroy波の位相変化 $\Delta\phi$ を、同じ微小な経路で生じる作用の変化 ΔA とプランク定数を用いて表せ。	0.6
C2	問題 A で考察した粒子 (質点) が原点 O から点 P まで移動する状況を考える(図 4)。2つの領域の間の境界線 AB には波動を通さない壁が置かれており、壁には小さなスリット CD (幅 d は $d \ll (x_0 - x_1)$ かつ $d \ll x_1$ を満たす) が開いている。 経路 OCP と ODP を考える。ただし、経路 OCP は問題 A で導いた古典的な経路である。それぞれの経路を通った場合の位相差 $\Delta\phi_{CD}$ を一次近似の範囲で求めよ。	1.2



D 物質波の干渉

電子銃が原点 O に設置されており、平行な電子線が放出されているとする。位置 $x = x_1$ に設置された物質波の通れない壁 A_1B_1 には細いスリット F があり、経路 OFP は一直線上にあると仮定する。ここで P は $x = x_0$ に設置されたスクリーン上の点である(図 5)。領域 I での電子の速さは $v_1 = 2.0000 \times 10^7 \text{ m s}^{-1}$ であり、電子線と x 軸となす角は $\theta = 10.0000^\circ$ である。領域 II に射した電子の速さが $v_2 = 1.9900 \times 10^7 \text{ m s}^{-1}$ になるように、電位が設定されている。 $x_0 - x_1$ 間の距離は 250.00 mm ($1 \text{ mm} = 10^{-3} \text{ m}$) である。以下の問では電子間の相互作用は無視してよい。



D1	原点 O から放出される電子は、静止した状態から加速されたとする。必要な加速電圧 U_1 を求めよ。	0.3
D2	A_1B_1 上のスリット F の 215.00 nm ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$) 下に、スリット F と同一の幅を持つスリット G を新たに設置する(図 5)。スリット F と G のそれぞれを通過して点 P に到達したド・ブroy波に対して、それらの位相差を $2\pi\beta$ と書いた時の β を求めよ。	0.8

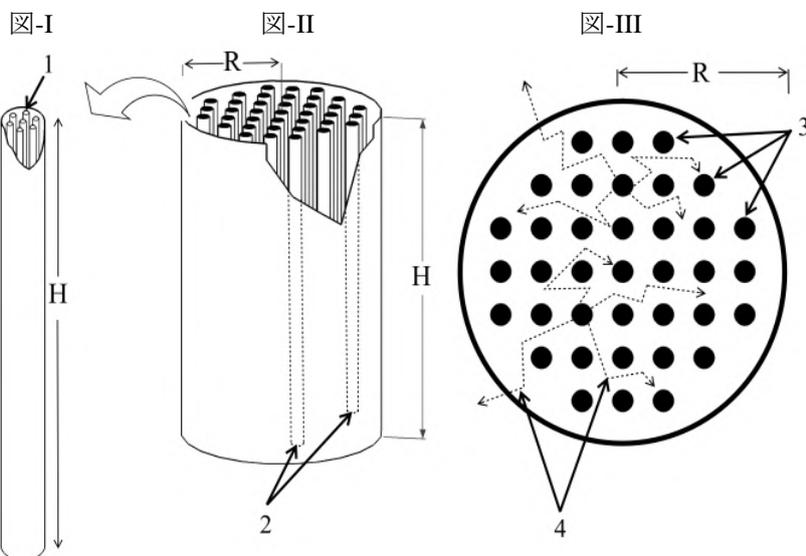
D3	スクリーン上で電子の検出数が 0 になるような点のうち、点 P に最も近いものと点 P との距離 Δy を求めよ。(注意: 近似式 $\sin(\theta + \Delta\theta) \approx \sin\theta + \Delta\theta \cos\theta$ を用いても良い)	1.2
D4	電子線の断面は $500\text{nm} \times 500\text{nm}$ の正方形であるとし、装置の長さを 2m と仮定する。この時、各時刻に平均して少なくともひとつの電子が実験装置内に存在するような最小の電子線の密度 I_{\min} (ビームに直交する単位面積を単位時間に横切る電子の数) を求めよ。	0.4

原子炉の設計

(合計得点: 10)

ウランは UO_2 の形で自然界に存在し、原子炉で使える ^{235}U を 0.720% だけ含む。核分裂は中性子が ^{235}U の原子核に衝突する際に発生し、その際に副産物として 2 個か 3 個の高エネルギー中性子が放出される。一方、中性子の衝突による核分裂は、中性子の運動エネルギーが小さいほど高い確率で起こる。したがって、核分裂副産物の中性子を減速することができれば、 ^{235}U 核分裂の連鎖反応を引き起こすことができる。この連鎖反応を利用するのが原子力発電である。

典型的な原子炉は、高さ H 、半径 R の円筒形のタンクである。原子炉の中には燃料チャンネルと呼ばれる管が正方格子状に並び、燃料チャンネルの中には、高さ H の固形状の天然 UO_2 で出来た燃料ピンの束が入る。燃料チャンネルの間には減速材と呼ばれる物質が満たされている。燃料ピン中の核分裂で生じた高エネルギー中性子は、燃料チャンネルから飛び出すと減速材と衝突して減速する。そして、再びいずれかの燃料チャンネルに到達する頃には十分に低エネルギーとなっており、核分裂を引き起こす(図 I-III)。核分裂で生じた熱は燃料チャンネルを流れる冷却液を介して取り出される。この問題で、(A) 燃料ピン、(B) 減速材、(C) 円筒形原子炉の形状設計について、それらの背後にある物理を理解しよう。



原子炉の模式図
 図-I: 燃料チャンネルの拡大図 (1 の矢印は燃料ピンを示す)
 図-II: 原子炉の概略図 (2 は燃料チャンネルを示す)
 図-III: 原子炉を上から見た図 (3 の黒丸は燃料チャンネルを示し、4 は中性子の典型的な飛跡を示す)
 注: 問題と関連する部分のみが描かれており、制御棒や冷却材等は省略している

A 燃料ピン

UO ₂ の性質	1. 分子量 $M_w = 0.270 \text{ kg mol}^{-1}$	2. 密度 $\rho = 1.060 \times 10^4 \text{ kg m}^{-3}$
	3. 融点 $T_m = 3.138 \times 10^3 \text{ K}$	4. 熱伝導率 $\lambda = 3.280 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$

A1	<p>静止した ^{235}U が静止した中性子を吸収し、次のような核分裂反応を起こしたとする。</p> $^{235}\text{U} + ^1_0\text{n} \rightarrow ^{94}\text{Zr} + ^{140}\text{Ce} + 2\ ^1_0\text{n} + \Delta E$ <p>この反応で生じた核分裂エネルギー ΔE を MeV 単位で見積もれ。ここで、各種の原子核の質量は次の通りである: $m(^{235}\text{U}) = 235.044 \text{ u}$, $m(^{94}\text{Zr}) = 93.9063 \text{ u}$, $m(^{140}\text{Ce}) = 139.905 \text{ u}$, $m(^1_0\text{n}) = 1.00867 \text{ u}$ であり、$1 \text{ u} = 931.502 \text{ MeV c}^{-2}$。核内で打ち消された電荷は無視せよ。</p>	0.8
A2	<p>天然の UO_2 に含まれる単位体積当たりの ^{235}U 原子の数 N を求めよ。</p>	0.5
A3	<p>中性子が一様な流束密度 $\phi = 2.000 \times 10^{18} \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ を持って燃料に入射していると仮定する。一方 ^{235}U 原子核は、断面積 (標的となる原子核の有効面積) $\sigma_f = 5.400 \times 10^{-26} \text{ m}^2$ の的に中性子が衝突するのと同じ割合で核分裂する。核分裂で放出されるエネルギーのうち 80.00% が熱として利用可能であるとして、単位体積あたり、単位時間あたりに燃料ピンに生じる熱 Q を W m^{-3} 単位で見積もれ。ただし、$1 \text{ MeV} = 1.602 \times 10^{-13} \text{ J}$ である。</p>	1.2

A4	定常状態における燃料ピンの中心温度 T_c と表面温度 T_s の差は、 $T_c - T_s = k F(Q, a, \lambda)$ と書ける。ここで $k = 1/4$ は無次元定数であり、 a は燃料ピンの半径である。次元解析により $F(Q, a, \lambda)$ を求めよ。ただし、 λ は UO_2 の熱伝導率である。	0.5
A5	冷却材の望ましい温度は $5.770 \times 10^2 \text{ K}$ 以下であることから、燃料ピンの半径 a の上限値 a_u を求めよ。	1.0

B 減速材

減速材の働きを理解するために、質量 1 u の中性子と減速材に含まれる質量 $A \text{ u}$ の原子の衝突を考えよう。衝突は平面内で起こり、弾性的であるとする。衝突前の減速材原子は実験室系 (LF) で静止しているものとする。また、実験室系における、衝突前後の中性子の速度をそれぞれ \vec{v}_b , \vec{v}_a 、中性子と減速材原子の重心の速度を \vec{v}_m とし、重心系における中性子の散乱角を θ とする。衝突に関わるすべての粒子の速度は光速に比べて十分遅く、非相対論で扱うことができるものとする。

B1	<p>図-IV は、実験室系 (LF) における衝突の様子の模式図である。ここで、θ_L は散乱角である。重心 (CM) 系における衝突の模式図を描け。模式図には重心系における散乱角 θ と、\vec{v}_b, \vec{v}_a, \vec{v}_m で表した粒子の速度を書き込むこと。</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> <p style="text-align: center;">実験室系における衝突</p> <p>1: 衝突前の中性子</p> <p>2: 衝突後の中性子</p> </div>	1.0
B2	重心系における衝突後の中性子と減速材原子の速さ v , V を、 A と v_b で表せ。	1.0
B3	衝突前後に中性子が持つ(実験室系における)運動エネルギーの比 $G(\alpha, \theta) = E_a/E_b$ を求めよ。ここで、 E_b は衝突前の、 E_a は衝突後の中性子が持っている実験室系における運動エネルギーである。また、 $\alpha \equiv [(A-1)/(A+1)]^2$ である。	1.0
B4	ここまでの結果が重水分子 D_2O (質量は 20 u) を減速材としたときも成り立つとする。実験室系において、減速剤分子 D_2O との衝突によって中性子が失うエネルギーの入射エネルギーに対する比 $f_l \equiv \frac{E_b - E_a}{E_b}$ の最大値を求めよ。	0.5

C 原子炉の形状

一定の中性子流束密度 ψ を保つ定常状態で原子炉が稼働しているとき、原子炉から漏れる中性子と原子炉中で生成される余剰な中性子がつりあっている。円筒形の原子炉では、原子炉の単位体積あたり、単位時間あたりに原子炉から漏出する中性子の数は、 $k_1 [(2.405/R)^2 + (\pi/H)^2] \psi$ で与えられる。また、単位体積あたり、単位時間あたりに原子炉で生成する余剰な中性子の数は $k_2 \psi$ で与えられる。ここで、定数 k_1, k_2 は原子炉を構成する物質に依存するパラメータである。

C1	パラメータ $k_1 = 1.021 \times 10^{-2} \text{ m}$, $k_2 = 8.787 \times 10^{-3} \text{ m}^{-1}$ をもつ原子炉を考える。原子炉の体積が同じであれば、中性子の漏出を最小化することで燃料の利用効率を最大化できる。定常状態における効率が最大となる原子炉の大きさのパラメータを求めよ。	1.5
C2	燃料チャンネルは図-III に示したように正方格子状に配列されている。隣接する燃料チャンネルの中心間の距離が 0.286 m 、燃料チャンネルの有効半径 (チャンネル内に燃料が詰まっているとみなしたときの半径) が $3.617 \times 10^{-2} \text{ m}$ であるとする。このとき、原子炉内にある燃料チャンネルの数 F_n と、原子炉を定常状態に保つのに必要な UO_2 の質量 M を見積もれ。	1.0

問題	解答欄	得点
A1	$T_s =$	0.3
A2	$P_{in} =$	0.3
A3	$n_\gamma(v) =$	0.2
A4	$P_{out} =$	1.0
A5	$\eta =$	0.2
A6	<p>η の x_g に対するプロットの概形</p> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 20px;">  </div> <div> <p>$x_g = 0$ における傾き: _____</p> <p>$x_g \rightarrow \infty$ における傾き: _____</p> </div> </div>	1.0
A7	$x_0 =$ $\eta(x_0) =$	1.0
A8	$\eta_{Si} =$	0.2
A9	$\Omega =$	0.3
A10	$\tau_{KH} =$	0.5

Contestant
Code

--	--	--	--	--	--

A T-1



Page No. 2 of 2

B1	$\Phi_\nu =$	0.6
B2	$f =$	0.4
B3	$E_{\text{imparted}} =$	2.0
B4	$V_{\text{Be}} =$ $T_c =$	2.0

問題	解答欄	得点
A1	$v_2 =$	0.2
A2	$v_2 =$	0.3
A3	$A(\alpha) =$ $v_1/v_2 =$	1.0
B1		0.5
B2	$dy/dx =$	1.5
B3	$x =$	1.2
B4	$x_0 =$	0.8
C1	$\Delta\varphi =$	0.6
C2	$\Delta\varphi_{CD} =$	1.2

Contestant
Code

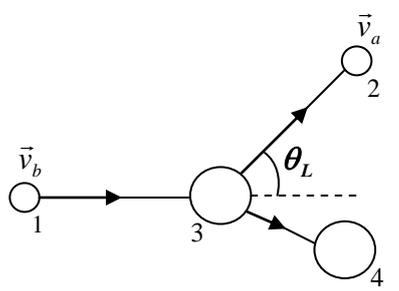
--	--	--	--	--	--

A T-2



Page No. 2 of 2

D1	$U_1 =$	0.3
D2	$\beta =$	0.8
D3	$\Delta y =$	1.2
D4	$I_{\min} =$	0.4

問題	解答欄	配点
A1	$\Delta E =$	0.8
A2	$N =$	0.5
A3	$Q =$	1.2
A4	$T_c - T_s =$	0.5
A5	$a_u =$	1.0
B1	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>実験室系</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>重心系</p> </div> </div>	1.0

Contestant
Code

--	--	--	--	--	--

A T-3



Page No.

2 of 2

B2	$v =$	$V =$	1.0
B3	$G(\alpha, \theta) =$		1.0
B4	$f_i =$		0.5
C1	$R =$	$H =$	1.5
C2	$F_n =$	$M =$	1.0