

入試問題研究 第50回 2004年 京都大学 後期 ③ 原子 (解説)

次の文章を読んで には適した式を、 には数値を、それぞれの解答欄に記入せよ。
また、問1と問2については指示された条件のグラフおよび文章をそれぞれの解答欄に記入せよ。

(1) 中性子は、陽子とほぼ同じ質量を持ち、電荷を持たない中性の粒子で、1932年にチャドウィックによって発見された。これによって原子核が陽子と中性子からできていることが明らかになった。核分裂や核反応で生成される高速の中性子は、水で減速されてさまざまな用途に利用される。この場合、中性子は主として水分子中の水素の原子核である陽子と弾性衝突することによりエネルギーを失う。簡単のため、この陽子を自由な粒子とみなすと、例えば、ある運動エネルギーを持った中性子が、静止していた陽子と衝突し、衝突前の進行方向に対して45度の方向に散乱された場合、中性子の運動エネルギーはおよそ あ 倍になる。

次々に散乱されて水の温度にまで冷却された中性子を熱中性子と呼ぶ。熱中性子を気体分子のように扱ってよいとすれば、温度 T の中性子の平均運動エネルギーは、ボルツマン定数を k とすると、 い で与えられる。この運動エネルギーを持つ中性子のド・ブROI波長は、中性子の質量を M_n 、プランク定数を h とすると、 う である。例えば、 $T=350\text{ K}$ のとき、このド・ブROI波長の値は、 $k=1.4\times 10^{-23}\text{ J/K}$ 、 $M_n=1.7\times 10^{-27}\text{ kg}$ を用いて、有効数字2桁で求めると、 え m となる。

この程度の波長の中性子は、X線と同様の回折現象を起こす。いま、原子配列面の間隔が d である結晶に、図1に示されるような広がった速度分布を持つ中性子を、図2のように角度 φ で強く反射させたとき、同じく角度 φ で強く反射される中性子の波長は、 n を自然数として、 お となる。

問1 強く反射される最も遅い中性子の速度の大きさが、図1で示された v_0 であるとき、反射後の中性子の速度分布の概形を、横軸を中性子の速さ、縦軸を中性子の数として描け。横軸には、図1中の v_0 のように、速さを表すのに必要な量を記入すること。

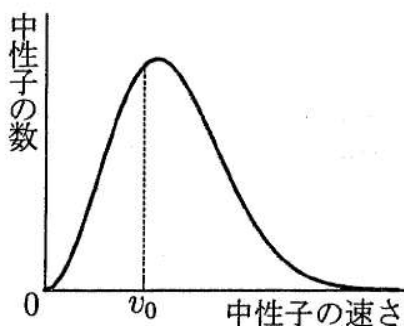


図1

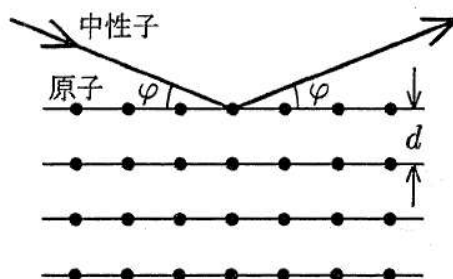


図2

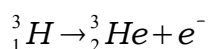
(2) 以下は、電荷を持たない基本粒子であるニュートリノ・反ニュートリノに関する問題である。これらの粒子の質量はごく小さいことが知られており、以下の解答に際してはこれを0としてよい。この場合、ニュートリノ・反ニュートリノともに、そのエネルギー E と運動量の大きさ P の関係は、光子の場合

と同じで、光速を c として $E=cP$ で与えられる。

中性子やある種の放射性同位元素は β 線(電子)を放出して崩壊する。例えば、陽子1個と中性子2個で出来た3重水素(トリチウム)の原子核 ${}^3_1\text{H}$ は



に従って崩壊する。ここで e^- は電子、 $\bar{\nu}$ は反ニュートリノと呼ばれる粒子である。静止したトリチウムがこのように崩壊した場合、崩壊後の全運動エネルギーは ${}^3_1\text{H}$ 原子核、 ${}^3_2\text{He}$ 原子核、 e^- の質量をそれぞれ M_a 、 M_b 、 m_e とすると、か となる。ニュートリノや反ニュートリノは物質との相互作用が極めて弱いので検出が難しく、初期には電子しか検出できなかった。もし、反ニュートリノが存在しない場合、すなわち、 ${}^3_1\text{H}$ が



に従って崩壊する場合には、電子の持つ運動エネルギーは一定で、き となる。しかしながら、実際に観測された電子の運動エネルギーは連続的に分布しており、これだけではエネルギー保存則が敗れているように見えた。

一方、静止したトリチウムの反応式(A)に従って崩壊する場合には、例えば崩壊後の ${}^3_2\text{He}$ 原子核、 e^- 、 $\bar{\nu}$ の運動量の大きさが、それぞれ P_b 、 P_e 、 P_ν であり、さらに ${}^3_2\text{He}$ 原子核と $\bar{\nu}$ の運動量の向きが同じで、 e^- の運動量の向きがそれらと逆向きである場合を考えてみると、 P_b 、 P_e 、 P_ν は関係式 く および け を満たす。この2つの関係式から P_e 、 P_ν の関数として表すと、電子の運動量 P_e したがって運動エネルギーは、一定ではなく連続な値をとることが分かる。このような事実を根拠としてパウリは、現在ニュートリノ・反ニュートリノと呼ばれている中性粒子の存在を予言した。

その後、ニュートリノ・反ニュートリノは直接検出され、その存在が実証された。岐阜県神岡にあるニュートリノ・反ニュートリノ検出器であるスーパーカミオカンデでは、①およそ50000トンの水が使用されている。そこでは、例えば太陽からやってくるニュートリノが水分子中で電子と弾性衝突して、その結果たたきだされた電子が水中を進むときに生じるチェレンコフ光と呼ばれる微弱な可視光が、高感度の光電子倍增管で捕らえられるようになっている。

静止している質量 m_e の電子に、運動量の大きさが P_1 のニュートリノが弾性衝突したとしよう。衝突後の電子の運動量の大きさが P_2 であったとすると、たたき出された電子の散乱方向とニュートリノの入射方向の角度 θ は、 $\cos\theta =$ こ を満たす。ただし、電子を水分子の束縛から引き離すためのエネルギーは無視できるものとする。

問2 上の文中の下線部①について、(a)このような膨大な量の物質を使用する物理学的理由と、(b)水を使用する物理学的理由とを、それぞれ40字程度で述べよ。

入試問題研究 第50回 2004年 京都大学 後期 ③ 原子 考え方の糸口とヒント

問題文章が長いので、国語力が問われることになる。出題者の意図が見えるようにならなければ、制限時間内に物理としての時間が取れなくなる。

- (1) **あ** は、原子の範囲と言いながら、物理 I B の衝突計算の基本問題である。弾性衝突だから力学的エネルギー保存則が成立とするだけで答えが出る。**い** は物理 II の「気体の分子運動論」であり、知らなければ解答できないだけ。もちろん中性子は単原子分子として振舞うことはすぐ分かる。**う** は物理 II の「ド・ブロイの物質波理論」を知らなければ解答は不可能。覚えておれば公式通りの簡単な問題だ。**え** はそれに数値を入れて計算するだけだから、両方○か、両方×かのどちらか(これは大きな差)？になる。**お** は、「ブラッグの条件」に代入するだけだから、覚えておれば簡単に解ける。物理 II の範囲も含め多くの範囲の知識を要求するが、レベルは高くない。このあたりで失点すると合格は難しくなる。

問1「グラフの『概形』を描け」とあるので、概形が描ければよい。概形とは、特徴を要求するが、数値を正確には要求しないということ。

- (2) ニュートリノが登場するが、ニュートリノについて知らなくても解ける。**か** は、物理 II のアインシュタインの公式を使う基本的な問題。**き** についても物理 I B の運動量保存則を使えば、全エネルギーのうち電子のエネルギーがいくらの運動エネルギーを持つか簡単に計算できる。実際の電子のエネルギーは多様(一定ではない)だから、運動量を受け持つ他の見えない粒子の存在(質量は無くても、運動量を持つ粒子で光子もその1つ)を示す証拠である。

く、**け** は衝突の前後で成り立つ関係(物理 I B の弾性衝突の計算でおなじみ)をつかうだけですぐに分かるはず。**こ** についても同様の衝突計算だけのこと。

文章に惑わされないようにすれば、大部分の問題が、通常の物理の衝突計算をしているだけの問題といえる。差がつくのは問1、問2の部分になるのだろうか？

最初は、問題を解くための知識を身につけること。これが無ければ練習をいくらしてもだめ。教科書を読んで、物理 II の知識をまず覚えることがステップ1です。

今回の解答を自分の力で作ってください。なお、解答は京都大学の赤本などを見てください。もっと詳しい解説まで欲しい人は、このサイトのどこかに1日後に「隠しリンク」を作って発表します。

「隠しリンク」のヒントは「回るもの」です。

物理 II の知識

数研の教科書のページを示す。書かれているレベルの知識だけで対応できる。

「気体分子運動論」 については、42 ページから 45 ページに

「ド・ブロイの物質波理論」 については、128 ページに

「ブラッグの条件」 については、125 ページに

「アインシュタインの公式」 については、141 ページに(質量の等価性として説明)