

物理学概論（富田） 1999 年度 前期試験問題

2 題選んで解答してください。

1. 雨が静かに降っている中を自転車で突っ走ると、どの方向に走っていても雨は前方から降りかかってきます。先ずこれを相対速度や速度ベクトルを使ってわかりやすく説明してください。次に、恒星の光行差（恒星の見える方向が半年間でわずかにずれる）現象について説明してください。
2. 月は地球の半径の 60 倍くらいのところを、およそ 27.3 日で 1 周する円運動をしています。これから計算すると『月は地球に向かって毎秒 1.35mm ずつ落ち続けている』ということになります。
 - (1) 『落ち続けている』というのはどういう意味でしょうか？
 - (2) 地上でりんごをそっと落とすと最初の 1 秒間で 4.9m くらい落下します。これは月の場合のおよそ 3600 倍です。この事実からニュートンが結論したのはどういうことだったのでしょうか？
3. 光の速さは毎秒 30 万 km と途方もない速さに思えますが、太陽から地球まで光が届くのに約 500 秒かかります。最新の電子時計はナノ秒（10 億分の 1 秒）程度まで計測可能ですから、これを用いたカーナビゲータでは、数 m 程度の精度で光の位置の距離測定ができるようになっていきます。

さて、光あるいは一般に電磁波は、宇宙の「絶対静止空間」において光の進行方向によらず様な速さで伝わり、この空間に対して運動している地球上では、その運動の方向によって観測される光の速さが異なる、すなわち相対速度が観測されるのだとしたら、例えばカーナビゲータではどういう不都合が起きるのでしょうか？さらに、この絶対静止空間に対する地球の速度を測定しようと試みた、今から約 100 年前の有名な実験について解説してください。ちなみに、地球は公転運動だけでも太陽系に対して毎秒 30km くらいの速さをもっています。
4. ガリレイの相対性原理とアインシュタインの相対性原理（ここでは特殊相対性原理だけ）の共通点と相違点について説明してください。
5. 質量とは何でしょうか？慣性質量と重力質量について以下の問いに答えてください。
 - (1) それぞれが現れる代表的な法則をあげてください。
 - (2) この 2 種類の質量が等しいことを実証するには、どのような実験を行えばよいのでしょうか？
 - (3) アインシュタインは一般相対性理論の出発点として、『等価原理』を仮定しました。その内容を簡単に紹介してください。
 - (4) 重力に身をまかせて自由落下（重力加速度で垂直落下）しているエレベータの中は無重力状態と同じです。地面に対して水平に等速運動している物体をこのエレベータから眺めたら、どういう運動に見えるのでしょうか？(a) 斜め上向きの直線運動、(b) やはり水平な直線運動、(c) 上向きの放物線運動、のいずれになるかを選んでその理由を述べ、エレベータの中にいる人の立場でこの運動を解釈してください。

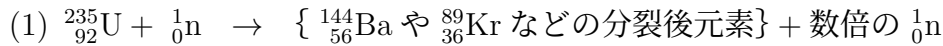
物理学概論（富田） 1999年度後期試験問題

少なくとも2題以上は答えてください。

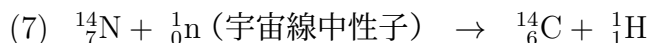
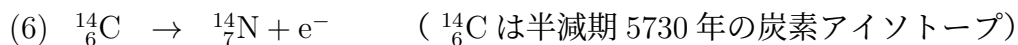
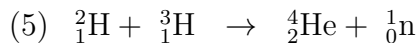
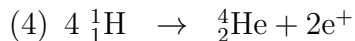
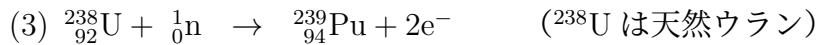
I. 古典力学（ニュートン力学）では惑星の運動のように、ある瞬間の粒子の位置と速度（または運動量）が与えられれば、その後の粒子の運動はニュートンの運動方程式に従って完全に決まってしまう。このことを「古典力学は決定論的である」という。量子力学ではハイゼンベルグの不確定性原理のように位置と運動量は同時に決定することはできない。このことでもって「量子力学は決定論的ではなく、極微の世界のものは確率的にしかわからないのだ」と言ってしまうのは正しいであろうか？

II. 下に書かれた原子核反応の例を参考にして、以下の項目を簡潔に説明せよ。

(a) 質量欠損 (b) 臨界量 (c) 燃料増殖 (d) 核融合 (e) ^{14}C 年代測定法



((1)(2)で「数倍」とは2とか3とか4とか程度の整数倍のことである。)



注) U:ウラニウム, Pu:プルトニウム, n:中性子, Ba:バリウム, Kr:クリプトン など。

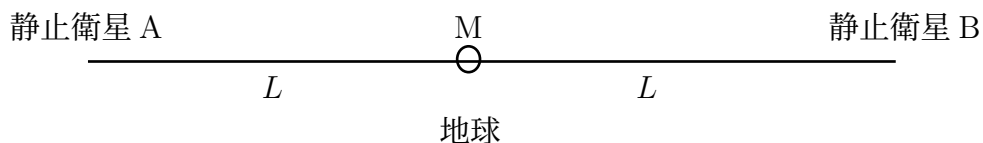
原子核記号の左下の数字は原子番号(=陽子数), 左上の数字は質量数(=陽子数+中性子数)を表す。

III. 乗算の交換則が成り立たないような代数の例をあげ、量子力学との関連を説明せよ。

IV. この1年の間に生まれて初めて知った自然界の法則や現象を一つあげて、その内容を解説せよ。
この講義や物理学の範囲に限る必要はない。

物理学概論（富田） 1998年度前期試験問題

1. カーナビゲータは、静止衛星から電波（光と同じく電磁波である）によって送られてくる時報信号を受信して車の位置を決める装置である。実際に車の位置を計算するには最低3つの衛星からの信号が必要なのであるが、ここでは少し簡単化して、2つの静止衛星 A、B を結ぶ直線上の位置を求めることだけを考えてみよう。（中学校1年の一次方程式の問題です。）



- (1) (本論とは関係ないが) 静止衛星が落ちてこないのは何故か?
- (2) もしも電波が、地球に対してどの方向にも一様に光速 c [km/秒] で伝わるものとしたら、 A, B からそれぞれ等距離 L [km] にある AB の中点 M の位置では、2つの衛星からの時報の差はない。 A, B を結ぶ直線上のある位置 P において、受信した時報の差が t [秒] であったとすれば、 P 点は M 点からどれだけ離れていることになるか?
- (3) 地球と衛星は一体となって宇宙空間に対して直線 AB の方向に速さ v [km/秒] で動いているとしよう。もし電波が地球に対してではなく、宇宙空間に対してどの方向にも一様に光速 c [km/秒] で伝わっているのだとすれば、運動している地球から見たときの電波の相対的な速さは、電波の伝わる方向によって地球の速さの分だけ変わる。例えば「電波を追いかけているのか」「すれ違っているのか」で $c-v$ または $c+v$ となる (これは小学校の話です)。もしそうだとしたら、2つの衛星から受信する時報信号に時間差が出ないのは、中点 M からどれだけずれた位置か?
- (4) 我々は地球がいったいどれほどの速さで運動しているかは知らないが、少なくとも太陽の周りを1年で公転していることを知っている。その速さだけでも約 30 [km/秒]、すなわち光速 $c = 30$ 万 [km/秒] の約 1 万分の 1 であり、その方向は季節によって変わる (半年で逆になる)。

もし電波（電磁波）の伝わり方が (3) のようであったならば、カーナビゲータによる位置の測定では、(3) で求めたようなずれが生じることになるが、地球の公転運動に起因するものだけでおよそ何キロメートルくらいの誤差を覚悟しなければならないか？（ごくおおざっぱな数値でよい。）必要ならば AM 間および BM 間の距離 L を約 $L = 4 \text{ 万 [km]}$ とせよ。

2. 波が伝わる時、波を伝える媒質そのものは局所的な往復運動（振動）をしているだけであって、決してそれ以上には移動していないにもかかわらず、波によってエネルギーが運ばれることを説明せよ。また、波によってエネルギーが運ばれることを示している具体的な例をいくつかあげよ。
3. 次のいずれかを選択して論じよ。
 - (a) ガリレイの相対性原理とアインシュタインの相対性原理について
 - (b) マイケルソン-モーレーの実験の目的、概略、その結果が示したこと等、について

物理学概論（富田） 1998年度後期

1. 以下の文を，書かれている長さと同程度の字数を書き加えて完結させよ。（解答用紙には，追加した文だけ書けばよい。）

- (1) 物体を熱していくと，分子の熱振動によって電磁波が放射され，次第に明るく輝き始める。これを熱放射といい，身近なところでは電気こたつの電熱線や太陽がその例である。物体の温度が上がると，放射エネルギー総量が絶対温度の4乗に比例して増大するとともに，輝く物体の色が暗赤色から，赤，橙，黄，白色，青... と変わっていく。すなわち，熱振動により放射される電磁波（光）の波長の分布（スペクトル）の形が温度によって変わり，最も強い光の波長は絶対温度に反比例する。この，物体の熱放射の色と温度の関係は，19世紀の物理学ではどうしても説明がつかなかった。古典物理学によれば，エネルギーはどの波長の光にも等.....
- (2) 平行な2本の細いスリット（間隙）をあけた板に電子ビームを照射すると，背後の蛍光スクリーン上に干渉縞を生じる。これは，電子が光と同じような波の性質をもっていることを示す実験である。電子を1個ずつあてた場合には，スクリーン上のどこか1点が輝くだけで決して縞模様にはならず，これを多数回繰り返して重ね合わせると，この点の分布が縞模様を形成するという。すなわち，個々の電子は反対側のスクリーン上のどこか1点で確かに観測されるのであるから，少なくとも「2本のスリットのどちらか一方を通り抜けて反対側に達した」と考えたいのであるが,.....

2. 石炭とか遺跡で発掘された木片とかの年代を推定するのに用いられる「C14測定法」の原理を，以下のキーワードを全て使って説明せよ。{ $^{12}_6\text{C}$, $^{14}_6\text{C}$, アイソトープ, β 崩壊, 5730年, $^{14}_7\text{N}$, 宇宙線, 中性子n, 陽子p, 定常状態, 光合成, 呼吸, 炭素代謝}

3. 以下の設問に簡潔に答えよ。

- (1) 自然界の元素には質量数の異なるアイソトープが存在するが，中には原子番号11，質量数23のナトリウム(Na)や原子番号33，質量数75の砒素(As)のようにアイソトープの存在しない元素もある。これらの元素の原子核は，それぞれ何個の陽子と中性子から構成されると考えられるか？
- (2) 6種類のクォークのうち，アップ(u:電荷は $+2e/3$, eは素電荷)とダウン(d:同 $-e/3$)の2種類から構成されるバリオンで，陽子と中性子はどの組み合わせと考えられるか？
- (3) 海岸線の長さというものは，もちろん水位が上下することにより時間的に変化しているが，ある瞬間の地形をとっても 原理的に確定不能 であると，象徴的な言い方をされることがある。人為的なモデルを用いるなどして，このように言われる意味を解説せよ。[ハイゼンベルグの「不確定性原理」，ゲーデルの「不完全性定理」，マンデルブローの「非整数次元（フラクタル）」のいずれかでしよう。]

以上を，解答用紙1枚の裏表の範囲で解答すること。どうしても2枚以上にわたる場合は，解答用紙の追加を申し出て，「1枚目」「2枚目」と記入しておくこと。

物理学概論（富田） 1997 年度前期試験問題

（2 題解答すれば十分である。）

1. 以下の設問に答えよ。

- (1) 雨が静かに降っているときに、その中を車で走ると雨が斜め前方から降って来るように見えるわけを、相対速度の考えから図を用いるなどして解説せよ。これと関連して恒星の「光行差現象」を説明せよ。
- (2) 無重力実験室を実現する方法を複数あげよ。
- (3) いくら速くても等速度で飛んでいるジェット機の中では、地上で生活しているのと全く同じフィーリングで行動できるのは何故か？

2. 地面 A に対して x の正の方向に等速度 V で走っている慣性系 B の中の座標と時間 (x', t') と、地面 A における座標と時間 (x, t) の間の関係は、系 A, B の相対関係を考慮すると一般に次式で与えられる：

$$x' = \frac{1}{\gamma}(x - Vt), \quad t' = \frac{1}{\gamma}\left(t - \frac{1 - \gamma^2}{V}x\right) \quad (1)$$

逆関係：

$$x = \frac{1}{\gamma}(x' + Vt'), \quad t = \frac{1}{\gamma}\left(t' + \frac{1 - \gamma^2}{V}x'\right) \quad (2)$$

（ここで $\gamma = 1$ とすれば、小学生にでもわかる常識どおりの関係であることに注意し、決して式だけ見てたじろがないこと。）もし系 A においても系 B においても

－ 「光の進む速さが同じで、ともに c である」

とするときには

a) 係数 γ はどうなるか？

時刻 $t = t' = 0$ に原点 $x = x' = 0$ を x の正の方向に向かって発した光の位置 $x = ct$ が、慣性系 B ではどのように表されるかを考えることにより、係数 γ を決めよ。さらにこの結果を用いて（結果が求まらなければ、 $0 < \gamma < 1$ として係数 γ のままで論じてよい。）

b) 慣性系 B の中で x' 方向に固定して置かれた長さ L の棒の長さは、地面 A から測れば短く測られること

c) 慣性系 B の原点 $x' = 0$ に置かれた時計の時刻は、地面 A から見れば遅れていること

を示せ。

3. 通常「マイケルソン-モーレーの実験」と呼ばれている科学史上、超有名な実験について、(1) 実験の目的は？ (2) 実験の概略、(3) その結果が示したこと、等について解説せよ。

物理学概論（富田） 1997年度後期

1. 光が波であることは、どのような実験から確認できるか？同様に光が粒子の性質をもつことは、どのような事実から確認されたか？
2. 古典力学における物理量と量子力学における物理量の違いについて述べよ。
3. 以下の項目を [] 中のキーワードを用いて解説せよ。
 - (1) プランクの光量子仮説 [熱放射（または黒体放射），温度と色，振動子，エネルギー等分配則]
 - (2) C14-年代測定法 [$^{12}_6\text{C}$, $^{14}_6\text{C}$, β 崩壊, 5730 年, $^{14}_7\text{N}$, 宇宙線中性子 n, 定常状態, 炭素代謝]
 - (3) 原子の構造, 原子核の構造 [ラザフォードの実験, クーロン力, 電子, 惑星模型, ボーアの量子条件, バリオン（核子）, クォーク, アップとダウン (uud, udd), グルオン]

以上を，解答用紙1枚の裏表の範囲で解答すること。どうしても2枚以上にわたる場合は，解答用紙の追加を申し出て，「1枚目」「2枚目」とよくわかるように記入しておくこと。

物理学概論（富田） 1996年度前期

1. 以下の設問に答えよ。

- (1) 雨が静かに降っているときに、車で走ると雨が斜め前方から降って来るように見えるわけを、相対速度の考えから図解せよ。これと関連して恒星の「光行差現象」を解説せよ。
- (2) 静止衛星の軌道半径は地球半径の約 6.6 倍、約 42,000km である。静止衛星が落ちないのは何故か？
- (3) 地球の周りを周回する宇宙船は地球の引力を無視できるほど遠く離れているわけではない。にもかかわらず、宇宙船の中で無重力状態が実現されるのは何故か説明せよ。また、地上で無重力状態を体験できる方法を一つあげ、その原理を述べよ。ただし、実験はしないこと。

2. カーナビゲータは、高精度の原子時計を携えた人工衛星から電波（光と同じく電磁波である）によって送られてくる時報を受信して車の位置を決める装置である。実際には最低3つの衛星からの時報を用いて位置を計算するのであるが、ここではもう少し簡単化して、2つの衛星 A、B を結ぶ直線上の位置を求めることだけを考えてみよう。

- (1) もし電波が静止した地球に対してどの方向にも一様に光速 c (km/秒) で伝わるものとしたら、A、B からそれぞれ等距離 L (km) にある中点 M の位置では2つの衛星からの時報の差はない。A、B を結ぶ直線上のある位置 P において受信した時報の差が t (秒) であったとすれば、P 点は M 点からどれだけ離れていることになるか？
- (2) 地球と衛星は一体となって宇宙空間に対して直線 AB の方向に速さ v (km/秒) で動いているとしよう。もし電波が地球ではなく宇宙空間に対してどの方向にも一様に光速 c (km/秒) で伝わり、運動している地球から見たときの電波の相対的な速さは、電波の伝わる方向、すなわち、電波を追いかけているのか、すれ違っているのかによって地球の速さの分だけ変わる ($c-v$ または $c+v$) とすれば、2つの衛星から受信する時報に差が出ないのは、中点 M からどれだけずれた位置か？
- (3) 我々は地球が宇宙空間に対して一体どれほどの速さで運動しているかは知らないが、少なくとも太陽の周りを1年で公転していることを知っており、その速さだけでも約 30km/秒、すなわち光速 $c = 30$ 万 km/秒の約 1 万分の 1 である。もし電波（電磁波）の伝わり方が (2) のようであったならば、カーナビゲータによる位置の測定では、地球の公転運動に起因するものだけで何キロメートルくらいの誤差を覚悟しなければならないか？ただし、必要ならば AM 間および BM 間の距離を $L = 4$ 万 km とせよ。(注) 例えば昼と夜で公転による地面の速度の方向は逆である。

3. マイケルソン-モーレーの実験について、(1) 実験の目的は？(2) 実験の概略、(3) その結果が示したこと、等について解説せよ。

4. アインシュタインの特殊相対性原理の考え方の要点と、それによって結論される「運動している時計の遅れ」「運動している物体の長さの縮み」等について解説せよ。

5. 「時間」について考えを述べよ。(日本語で書いてください。)

Many living things have a built-in sense of time. People have a natural rhythm of sleeping and waking, and manage their day around the 24-hour spin of the Earth. This body clock actually runs on a rhythm slightly more than 24 hours long, but people can exercise control over it. Many species, including birds, fish, and land animals, migrate over long distances, in tune with the changing pattern of the seasons, maintaining a regular annual cycle. The natural patterns of biotime also shown up in the life spans of different creatures. In general, smaller creatures live their lives more rapidly, and die sooner. Large animals with a more leisurely lifestyle tend to live longer. Some species, including tortoises and some bears, can slow their normal life processes so much that they can live through the winter months without eating, in a state of hibernation. Within our bodies, different cellular clocks tick at different rates. Liver cells divide twice every year or two, while the cells that line the stomach divide twice per day. Cells from a human baby, put in a laboratory culture, divide 50 times before they die. Cells from a 40-year-old divide just 40 times, and cells from 80-year-old divide only 30 times. This suggests that animals are programmed to have a fixed amount of time to live.

物理学概論（富田） 1996年度後期

1. 光が波であることは、どのような実験から確認できるか？同様に光が粒子の性質をもつことはどのような事実から確認されたか？
2. 波，たとえば音波の波長とか振動数は連続な量であるにもかかわらず，特定の不連続な値しか現れないことがある．その例をあげ，解説せよ。
3. 以下の項目を解説せよ。(1)～(6)のうち少なくとも2項目。
 - (1) 無重力状態，慣性質量と重力質量の等価原理，一般相対性原理
 - (2) 物体の温度と色，プランクの光量子仮説
 - (3) ボーアの原子構造，物質波
 - (4) 光子（または電子）を用いた2つのスリット通過の干渉実験
 - (5) ハイゼンベルグの不確定性原理と物理量
 - (6) 原子核，核子，クォーク