

質問カードには「良い質問」を書くのであって、ふと思いついた疑問や教科書を読んでいてあなたが理解できなかった点についての質問を書くのではない。この違いを理解していないと思われる質問が多数あるようだ。

**16S2052:** 極座標系で  $\phi$  について全空間で積分する際、 $0 \leq \phi \leq 2\pi$  の積分範囲を用いると思いますが、境界条件としてはふさわしくないということでしたがなぜですか M: 勘違いの予感、私はそんなこと言っていないが? // 私が言ったのは、“境界条件は  $\Psi(0) = 0$ ” ではない。

**17S2037:**  $\theta$  についての微分方程式は定係数の微分方程式ではありませんが、これは学生の力でとくことは出来ますか。 M: 勉強すれば出来るのでは?

**18S2014:** 水素型モデルにおいて、原子核を固定することはできませんか。 M: そういうモデルにして考えればいいだけでは?

**18S2018:** 以前まで  $e$  の  $-\alpha x$  乗とおいていたのが今回  $e$  の  $\alpha x$  とおいていましたが何故変更したのでしょうか。 M: 正気か? それぞれで解を自分で求めてみれば良いのでは? この符号が異なることで、解が違うのか? // どちらで求めても、正しく解が求まるのならば、どっちでもいいのでは?

**19S2003:** 講義終了後の質問について、完全対面授業時の紙による提出スタイルと、今のような moodle スタイルでは、どちらの方が質問の質が高いのでしょうか。 M: 質問者の立場から、自分ではどちらの方が質の高い質問ができていますか? // 提出手段以外の条件を全く同一にそろえる対照試験は不可能なので、何とも言えない。

**19S2004:** ロンスキー方程式を使うとなぜ式が独立かどうかわかるのですか M: “ロンスキー方程式” とは何か? // 数学の基礎 (線形代数?) を復習する必要があるのでは?

**19S2022:** 水素型原子のオービタルの角度部分も、剛体回転子の波動関数は使えますか。 M: 講義で説明したのに、全く伝わってなくて残念。あるいは、自分で考えて分からないのはなぜか? // モデルが同じで方程式 (微分方程式) も同じとき、解の関数は同じか違うか?

**19S2049:** なぜロンスキー行列式を調べることで一次独立であるかが分かるのか? // 動径関数について、近似として相応しいようなモデルは存在するだろうか? M: 19S2004 参照 // 何をどう、モデル化するのか? 何をどう、近似するのか? (水素型原子の動径方程式は、解析解が得られののだが?)

**19S2051:** 化学反応は波動関数で完璧に表せることはできるのでしょうか? M: 完璧かどうかは、どうやって判断すればいいだろうか? // そもそも反応物や生成物の状態を波動関数で完璧に表すことはできるだろうか?

**20S2004:** 現実の水素原子内で生じる万有引力というのは、核と電子の運動にどの程度の影響を与えるのでしょうか。桁がかけ離れた小さい力でも、目に見えるほどの変化を及ぼすのでしょうか。やはり注目されるほどの変化は見られないのでしょうか。 M: 自分で考えて分からないのはなぜか? 講義ではポテンシャルエネルギーのオーダー (桁) の比較をしましたが、同じように自分で考えてみれば良いのでは? // 万有引力無しの時の波動関数を  $\psi$ , 有りのときの波動関数を  $\psi + \delta\psi$  (すなわち万有引力による補正を  $\delta\psi$ ) としたとき、補正はどの程度 ( $\delta\psi/\psi$ ) と予想されるか? 補正がどの程度であれば、目に見えるほどの変化になると考えられるか? 10%? 1%? 0.1%?

**20S2006:** 微分方程式を解く時、 $\Phi$  を指数以外に置き換えても、答えは等しくなりますか? M: 自分で計算してみれば分かるのでは?

**20S2021:** 水素以外の原子はなぜ厳密にシュレーディンガー方程式を解くことができないのか? M: 本気か? 何度も何度も“多体問題”と答えているのだが、全く伝わってなくて残念。

**20S2027:** 水素原子のモデルで角度部分の方程式は剛体回転子の方程式と同じになるということですが、動径方程式が同じになるモデルはありますか? M: 自分で考えてみれば良いのでは?

**20S2029:** 一粒子量子系についての性質は量子系のアプローチを学ぶ上で不可欠ですか M: 正気か? “分割統治の原理”, “全体は部分の和の原理” や “簡単な問題の答を利用して複雑な問題を解明するの原理” を採用しないのはなぜか???

**20S2036:** 講義中では、 $m$  の値について整数でなくてはならないと説明しているが、なぜ自明なことなのに教

科書では考えられると説明しているのか。 **M:** 当初の段階では  $m$  は分離定数でしかない。なぜこれが整数であることが自明なのか??

**20S2042:** 剛体回転子では剛体回転子の方程式を用いることでとびとびのエネルギー準位が得られていますが、水素原子でも同じ方法でエネルギー準位を求めることはできるのでしょうか。また、剛体回転子の方程式と同じ角度部分の方程式を持つため同様にとびとびのエネルギー準位が得られるのでしょうか。 **M:** あなたの言う“同じ方法”とは、どういう意味か? // 二つの方程式  $ax - b = 0$  と  $2x + 5 = 0$  は、同じ方法で解を求めることができるのか? 前者は  $x = b/a$  だが後者は  $x = -5/2 = -2.5$  と、異なる数字を用いた異なる計算で解を得ているのだが?? // 後段の“また”以降については、正気を疑う。方程式が同じ (同型) であっても、それが表すもの (剛体回転子か水素原子か) が異なれば、方程式の解が異なるという主張か? 理系なのに抽象化とか数学の力を全く理解していないようで残念。

**20S2047:** ルジャンドル陪関数が直交する理由はなんですか。 **M:** ルジャンドルさんに聞けばいいのでは? // ただそういう風に作られているというだけでは? それ以上でもそれ以下でもない。

**20S2051:** 一方向で繰り返される方の周期的境界条件はどのようなときに用いるのか? **M:** 周期的境界条件について、環状の経路に沿った運動のほかに、単位胞が (無限に) 繰り返されている場合すなわち結晶の例を示したのだが、伝わってなくて残念。てゆうか、自分で調べようとしなのは何故なのだろうか?

**20S2052:** 換算質量で考えた式に剛体回転子を適用して考えると、ふたつの物質を考えているというのは成り立つのでしょうか? **M:** 言語明瞭, 意味不明瞭。// “式に剛体回転子を適用”とは、どういうことか? “ふたつの物質”とは何のことか? “成り立つ”かどうか、自分で判断できないのはなぜか?

**20S2053:** 「 $2n \pi m = 2 \pi \times \text{整数}$ 」も「 $2n \pi m = \pi \times \text{整数}$ 」も意味としては変わらないと思うんですけど、書き分ける意味とかはあるのですか。 **M:** 本気か? 正気か? 式をよーく見比べてみても、違いを発見できないのか? たかだか有限個の文字しか使われていない式なので、一文字づつ対応を考えて比べてもわからないのか? // 前者は  $\pi$  の偶数倍, 後者は整数倍 (偶数倍と奇数倍を両方含む)。前者の周期は  $2\pi$  だが、後者のそれは  $\pi$  と半分になっている。前者は一周に一度だが、後者は一周に二度。

**21S2001:** 2階微分が含まれている2階動関数は一般解が任意定数が2つないと正しい一般解にはならないところは分かったが、なぜ教科書には正しくない一般解が載っているのか **M:** 教科書を書いた著者に聞けばいいのでは? :-p //  $z$  軸周りの回転角度  $\phi$  については初期位相を任意に決めても一般性を失わない (回転角度の原点をどこにとっても結果に影響はない) ので、それをゼロにしたのでは?

**21S2002:** 教科書 p210 で、 $m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$  であると考えられるとあるが、 $m$  がマイナスになるというのはどういう場合なのでしょうか。 **M:**  $z$  軸周りの角運動量を考えてみれば良いのでは?

**21S2003:** 万有引力を計算に入れないのは距離  $R$  が固定されていると仮定しているからですか? **M:** 本気か? 正気か? 水素原子において核と電子の距離は固定されているのか? // 全然違う。激しく誤解の予感。そもそも  $R$  が固定されていると仮定すると、なぜ万有引力を計算に入れない (入れなくていい) ことになるのか?? その論理が全く分からない。// 講義での説明を全く理解されていないようで、残念。

**21S2004:** 2原子分子の剛体回転子と水素原子でハミルトン演算子が違う (水素原子の方は運動エネルギーに加えクーロンポテンシャルがある) のに、どうして方程式は一致するのですか? **M:** 誤解の予感。二つの方程式が、隅から隅まで完全に一致しているわけではない。// では、どの部分が一致しているのか? 一致している部分に参与するエネルギーや相互作用は何か? 一致していない部分に参与しているエネルギーや相互作用は何か?

**21S2005:** 水素原子のシュレディンガー方程式について、初めはボーアのモデルの一つの電子について立式して計算を進めていたのに、教科書の式 (6.10) で剛体回転子の波動関数の方程式と一致し、二体問題になっているのはどうしてか。 **M:** 勘違いの予感。そもそも、“水素原子のシュレディンガー方程式を立てて.....”においてボーアモデルなど採用していない。また、剛体回転子は何体問題として定式化されたか?

**21S2006:** 水素原子を考察するのに一番適しているモデルはボーアモデルですか? **M:** 自分で考えて分からないのはなぜか? // ボーアモデルとは何か? どんなモデルか?

**21S2007:** 境界条件は水素原子の電子の軌道が円になるからですか。もしその場合、水素原子以外について考

えるときは、境界条件は変わりますか。 **M:** 正気か? 自分で判断できないのはなぜか? // その論だと、境界条件を適用して方程式の解を求める前に、解が円軌道だと知っていなければならない。// 水素原子と水素原子以外とで、何が同じで何が違うか? 同じものには同じ方程式や同じ条件を適用すればいいのでは? てか、それが当たり前では?

**21S2008:** 今回の授業で行った定係数の微分方程式で得られた特解が一次独立であるか調べる方法はロンスキー行列式以外にあるのか **M:** 本気か? 数学の基礎を復習する必要があるのでは?

**21S2009:** 今回の講義中に「この剛体回転子のモデルや教科書の剛体回転子のモデルは正しくない。足りないものがある。」とおっしゃっていました。しかしボーアモデルのときにもあったように、黒板に描く上で仕方なくその描き方になっただけで、先生は始めから三次元の動きを想定したうえでモデルを描いていたのだから、足りないものは特になかったのではないのでしょうか。モデルとしての情報を貰ったときに三次元の動きを考えられない側に問題があると思ったのですが。 **M:** どうして思ったことを講義時間中に発言されなかったのでしょうか? 後からこんなところで言われても、皆に説明が伝わらない。// “ボーアモデル”とは、どんなモデルか? 教科書や参考書をきちんと読めばいいのでは? // 黒板や教科書に書かれた剛体回転子の図において、回転の自由度はいくつか? 回転の状態を表す変数は何か?

**21S2010:** 剛体回転子について本日の講義を通して感じたのですが、質量中心や相対質量を用いれば、三原子分子やそれ以上の数の分子の動きの説明もある程度することができるのではないのでしょうか。もし出来ないのであれば、それは何が影響するのでしょうか。 **M:** あなたの言う“ある程度”が、どの程度のことなのかわかりませんが、教科書 p.555 や参考書をよく読んで勉強すれば分かるのでは? // 20S2021 参照

**21S2012:** 量子力学では不可能で、古典力学でのみしか説明できない事象はあるのですか。 **M:** 本気か? 学問(科学)の発展の歴史というか、要するに科学史を勉強すれば分かるのでは? // どちらがどちらを包含しているのか? どちらがどちらのどういう近似なのか?

**21S2013:** 1 価の関数では周期的境界条件でしたが、1 価の関数以外ではどのような境界条件が使われるのですか **M:** 正気か? // 物理的に許容される波動関数であるための要件は何か?

**21S2014:** 変数が 6 つあったのを 3 つに分けたのはわかりましたが 3 つのものを 1 つと 2 つに分けるのではなく、変数分離法を使って一つずつにいっぺんに分けることは可能ですか??? **M:** 本気か? // 自分でやってみれば良いだけでは? // 可能だったとして、だからどうだというのか? 可能・不可能によって、解や結論にどんな違いがあるというのか?

**21S2015:** 講義での水素原子に対する式と教科書に記載されている式が異なってるのはなぜですか。そのほうがより理解しやすい等の利点があるためですか。 **M:** あなたにとって、どちらが理解しやすいですか? // ちなみに、教科書等書かれている式を丸暗記することが勉強なのではない。丸暗記しようとしているから、あちらの本とこちらのものとの記述の違いにムダに悩む(どっちを暗記すればいいのか?)。内容や意味を理解すれば、どちらでもいいし、一方を他方に自分で書き直すことができるはず。

**21S2016:** ハミルトニア演算子を恒星 M の周りを半径 R で公転する惑星 m モデルに使用して、惑星のエネルギーをもとめることはありますか? **M:** 本気か? 恒星や惑星の波動性が議論の焦点となる現象や事実があるのか?

**21S2018:** 球面調和関数について、「球面上の直行関数系で、1 次元下げると単位円上の三角関数系になる」らしいのですがどういう意味ですか? **M:** そのように言った人に聞けばいいのでは? // 直行関数系とか三角関数系とか、どういう意味か?

**21S2020:** 球面調和関数は何を表していますか **M:** 自分でどれだけ教科書や参考書を読んで調べて考えたのだろうか?

**21S2022:** 一次独立を証明する方法はロンスキー行列以外にあるのでしょうか? **M:** 21S2008 参照

**21S2023:** 教科書 p209 で「 $\Phi(\phi)$  が  $\phi$  について 1 価の関数である」とありますが、このことは周期的境界条件とどのような関係がありますか。 **M:** 本気か? 自分で考えて分からないのはなぜか? // そもそも周期的境界条件とは何か? 一周余分に回った同じ所で関数の値が.....

**21S2024:** 周期的境界条件は周期的じゃなくても求まりますか **M:** 本気か? 自分で判断できないのはなぜか?

// 周期的じゃないものは周期的境界条件と言えるか? // 境界条件を求めるのか??

**21S2026:** 水素原子の角度部分と二原子分子の剛体回転子は抽象化することによって同じものだと考えられましたが、調和振動子を用いる考え方はありますか。 **M:** 考えたければ自分で考えてみればいいのでは? // 何をどうモデル化するのか?

**21S2028:** (6,16) 式が一価の関数とありますが一価の関数とはどのような関数のことを言うのでしょうか。 **M:** 本気か? 言葉の意味が分からないのなら、辞書を見ればいいのでは?

**21S2029:** 式 (16.4) の右辺にマイナスがつくのは何故ですか。 **M:** 意味不明. どの式の話か? 16 章は下巻だが?? // 式を眺めていても全く理解に至らないだろう. きちんと元から導出してみれば良いのでは?

**21S2031:** 周期的境界条件の物理的な意味はなんですか。また、繰り返しの構造 (今回のような 1 周すると元に戻るもの、周期的に同じ配列を繰り返す物質など) があれば周期的境界条件を用いることでしか解けないのでしょうか。 **M:** 本気か? 質問文の続きに自分で記載しているのに、その何がわからないのか? // せっかく与えられている条件なのだから、使えばいいのでは? 与えられているものを使わなくても解けるかもしれないが、その場合、与えられた条件を厳密に満足する解であることが保証できないのでは?

**21S2032:** 境界条件がわかりにくい場合図のどのような点を見て判断すればよろしいのでしょうか。 **M:** 図はあくまでも図なので、正確にはその説明文章から読み取るのでは? 例えば、図から真円なのか扁平率が 0.001 の楕円なのかを判断することは難しいのでは?

**21S2033:** ルジャンドル多項式について、物理学の多く問題に現れるとあるが、物理化学の世界では具体的にどのような系で多く使われるのか。 **M:** 勉強すれば分かるのでは? // 物理化学の分野では、まさにここ. // 多いかどうかは、統計を取ったことが無いので、私は知らない.

**21S2034:** 光より早く動けば過去や未来に行けるらしいが、そもそも光より早く動いても物質は耐えることが出来るのか? **M:** 正気か? そもそも光よりも早く動くことはできるのか? // “耐える” とは、何が何にどう耐えるという話か?

**21S2035:** 水素型原子の場合は、電子の軌道を円としているので境界条件は  $\Phi(\phi) = \Phi(\phi + 2n\pi)$  となっているが、電子の軌道が円ではない場合の境界条件はどうなるのか? **M:** 微妙に誤解の予感. 自分で考えて分からないのはなぜか? // 本当にその境界条件は、電子の軌道を円としているが故のモノなのか?

**21S2036:** 電子が複雑な動きをしていても、同じ動きを繰り返しているようであれば、周期的境界条件が適用できるということでしょうか。 **M:** 本気か? 自分で判断できないのはなぜか? // “同じ動きを繰り返している” とは、どういうことか?

**21S2037:** 水素分子のオービタルも求めることはできますか? できるとしたら、ハミルトニアン<sup>1</sup>の運動エネルギーの項は各々の原子核の運動エネルギーの和から求められるのですか? **M:** 教科書 9 章や参考書をよく読んで勉強すれば分かるのでは?

**21S2038:** p209 の (一価の関数であるという要請から) という部分があるのですが、要請というより条件ですか? **M:** 本気か? 自分で判断できないのはなぜか? // 確かに言葉としては“要請”と“条件”は違うが、この場面における使われ方において、そんなに意味の異なる言葉だろうか? 取り違えることによって誤解が生じるだろうか?

**21S2039:** 3次元のため、 $\theta$  の範囲は  $0 \leq \theta \leq \pi$  になりますが、この時、一周しないので、境界条件はどうなりますか? **M:** 別に. どうにもならなく普通でしょ? // 一次元の箱の中の粒子の問題だって、 $0 \leq x \leq a$  という箱の範囲において、0 と  $a$  が箱の両端だった.

**21S2040:** 必ずしも  $r$  のみの項と  $\theta$ 、 $\Phi$  の項に分ける必要はないのですか。変数を 1 つずつ処理していることですか。 **M:** 何を聞きたいのか不明瞭. // 最終的には一変数の微分方程式にして関数を求めているので、その分解過程はどうでもいいのかもしれない. しかし角度変数  $\theta$ 、 $\phi$  を含む関数は、“球面調和関数 spherical harmonics” と呼ばれる重要な関数なので、それはそれでひとまとまりにして扱うことを示してもいいのでは?

**21S2041:** 教科書 P45 の 3 行目には「 $u(x, t)$  を因数分解できると仮定し、」と書いてある一方で教科書 P208 の 9 行目には「式 (6・5) の形から変数分離が使えることがわかるので、」とあります。式 (6・5)

のどこを見れば変数分離できることがわかるのでしょうか。それともこれは 2 章の表現のただの言い換えでしょうか。 **M:** 自分で判断できないのはなぜか? // “未知関数が因数分解できると仮定する” ことと “変数分離できることが分かる” ことは同じ意味なのか? // 仮定することは、いつでも好きにすればいい。ただし他の条件と矛盾するような仮定や、余計な制限をするような仮定では、正しく答えが得られないだろうが..... // もちろん教科書 p.45 は、変数分離法という手法の説明をする場面なのだから、与えられた微分方程式 (2.1) が変数分離可能だとわかっている同手法を適用してみせている。その意味では同じことを述べているとも言えるかもしれない。// 変数分離法の論理の過程を詳細に吟味すれば、微分方程式がどのような形をしていけば変数分離可能なのかが明らか。

**21S2042:**  $m = 0$  のとき式 (6・23) の解をルジャンドル多項式というがありますが、 $m$  が 0 じゃない時にも用いられているのは何故ですか? なぜルジャンドル方程式と呼称を分けているのでしょうか? **M:** 何を聞きたいのか、意味不明。何かの勘違いでは? // 元々  $m$  は単なる分離定数であって、それだけでは何の制限もなかった。 $\phi$  についての方程式を解いて周期的境界条件を考えることで初めて  $m$  は整数という制限がついた。しかしそれでもまだ (6.23) は  $m = 0$  だけでなく  $m \neq 0$  も含んでいるでしょ? // 同じ “ルジャンドル” の名が冠されているが、それはさておき、そもそも “多項式” と “方程式” は同じものなのか?

**21S2043:** 剛体回転子の問題のように 2 つの質点における 3 次元の運動を考える時、ポーアモデルや剛体回転子モデルのような 2 次元的なモデルが用いられるのはなぜですか。 **M:** 勘違いの予感。// ポーアモデルや剛体回転子モデルとは、それぞれどんなモデルか? 何のためのモデルか? そしてそのモデルは成功したか?

**21S2044:**  $\Phi 1$  と  $\Phi 2$  が線形独立かどうか調べるのは何故でしょうか **M:** 本気か? 21S2008 参照 // 線形独立でないものを線形結合したらどうなるか? 任意定数の数は?

**21S2045:** 周期的境界条件は、円や球以外だとどのようなものに利用されていますか? **M:** 20S2051 参照

**21S2046:** 球面調和関数において、原子軌道と電子の存在確率を求める際、球面調和関数の実数化をする必要はありますか。 **M:** 本気か? 自分で計算してみれば分かるのでは? // 教科書 p.126 や参考書をよく読んで勉強すれば分かるのでは?

**21S2047:** 特殊解を求めた後、一次独立かどうか調べたがこの操作はなぜ必要なのか。また、式 (6・16) の上にある一俵の関数というのはどのような状態の関数なのか。同行の要請というのはどこから来たものなのか。 **M:** 本気か? // 数学の基礎を復習する必要があるのでは? また、言葉の意味が分からないなら、辞書を見ればいいのでは? 教科書 4 章や参考書をよく読んで勉強すれば分かるのでは?

**21S2048:** 講義の内容で解が一次方程式かどうかを調べるためにロンスキー行列式を用いていたが、ムーア行列を用いても解が一次方程式かどうかを調べることができるのか。 **M:** あれこれ勘違いの予感。// 一次方程式かどうかを調べるのに、ロンスキー行列など持ち出す必要ないのでは? 式中に現れる変数の次数を見ていけば充分なのでは? // 後半のムーア行列については、私は知りません。

**21S2049:** 電子数が 2 つ以上の原子のシュレーディンガー方程式を解くとき、水素原子との考え方にどのような違いがありますか **M:** 勉強すれば分かるのでは?

**21S2052:** 周期的境界条件は、換気扇のプロペラなどの形状が周期的な物の設計をする際に使われますか。 **M:** 私は設計したことが無いので、知りません。