

- 17s2025:** 多電子のシュレディンガー方程式は解けないのでしょうか。 M: 教科書 8 章や参考書をよく読めば分かるのでは?
- 18s2006:** 教科書において、 $K = (p^2)/2m$ では運動量を小文字で表して、演算子では運動量を大文字で表していることに特に違いや意味はあるのでしょうか。参考書などでは、演算子も小文字で表しているのを見ることがあります。 M: 参考書なども参照しているようであるにもかかわらず、自分で判断できないのはなぜか? // 文字を用いた数学記号における大文字小文字の使い方に、万国共通・絶対不変の規則があるのか?
- 18s2014:** ポテンシャルエネルギーの値はどんな値でもよいですか M: 物理学の基礎を復習する必要があるのでは? // 系による。
- 18s2045:** 一次元の箱の中の粒子の表記法を考えると、二次元に対しては 3 次元空間で記述できるだろうが、3次元の箱の中の粒子に対してはどのようにエネルギーを記述できるか。 M: 自分で判断できないのはなぜか? // 自然に拡張して考えればいいのでは? なぜ突然考え方を変える必要があるのか? あなたは何を表現したいのか? それに応じて適切な方法を考えればいいだけでは?
- 18s2046:** いままで 2 つの値を求める時には 2 つの式をたてて計算を行ってきたが固有値問題では 1 つの式から 2 つの値が出てくるのか。それとも適宜 2 つの式を用意して固有関数と固有値を求めているのか。 M: 意味不明。// “いままで 2 つの値を…… 計算を行ってきた” とは、具体的に何のことか?
- 19s2003:** 今回の両立型の訳註のように、先生でも意味不明になるような事柄はこれ以降出てきますか M: 教科書の「ここでもやはり、これらの演算すべてが両立型であることが必要である。」の原文は、“Once again, we require that all the indicated operations be compatible.” です。もう一か所 “compatible” が使用されているところがあり、それは例題 3-5 の末尾付近での “If \hat{A} and \hat{B} are such that $\hat{A}\hat{B}f(x) = \hat{B}\hat{A}f(x)$ for any compatible $f(x)$, then the two operators are *commute*.” との記載です。あいかわらず意味不明ですが。// そもそも両立型とは具体的にどういう意味か、一体何と何とが両立するということでしょうか? また上述の教科書の記述では、前者では演算が両立型だと言っているのに対して、後者で両立型なのは関数となっています。// やはり誤訳か? はじめの compatible は専門用語の *commute* を用いずに、演算子の交換を説明しているのかな??
- 19s2004:** 1次元の箱の中の粒子は $x = 0$ から a までの線上を動くという認識で間違いありませんか? M: 自分で判断できないのはなぜか?
- 19s2005:** 固有値や固有関数を求めることにどのような利点があるのですか M: 量子力学を勉強すれば分かるのでは?
- 19s2011:** 箱の中の粒子は、有限であるときにはどんな性質を持つのでしょうか? M: 量子力学の基礎を勉強すれば分かるのでは?
- 19s2012:** 交換可能な演算子と交換可能でない演算子では化学的にどのような違いがあるのですか。 M: 教科書 4 章や参考書を読んで勉強すればいいのでは? // 同時固有関数とか不確定性関係とか、言ってみるテスト。// 交換可能性は、それぞれの演算子が単独で個別に持っている性質ではない(一つの演算子だけで、何と交換するとか?)。というような説明を講義でしたのだが、微妙に理解されていないようで残念。
- 19s2013:** 固有値や固有関数を求めることができない演算子がありますか? M: あるかもしれませんが、私は知りません。// あったら、どうだということか?
- 19s2017:** p.85 の両立型のところで同時に正確に測定できないものはなぜダメなんですか? M: そ

この記述の意味が分からないからこだわる意味がないと講義中で説明したのが伝わってなくて残念。// 19s2003 も参照

- 19s2018:** 図 3.2 を見ると波動関数は箱の中では最大値が存在するのに対し、箱の外だと波動関数は無限になるのか M: 自分で考えて分からないのはなぜか? // 箱の外に粒子は存在しないと講義でも言ったのに、理解されていないで残念。
- 19s2022:** 全エネルギーの演算子のような変わった演算子は他にもあるのでしょうか。 M: 全エネルギーが変わったモノなのかは、主観。// 教科書 4 章や参考書を読んで勉強すればいいのでは?
- 19s2024:** 演算すべてが両立型であるという記述があるが、同時に 3 つ以上可換な演算子の場合も両立型というのか。 M: 19s2017 参照
- 19s2026:** ハミルトニアンの中のポテンシャルエネルギーの演算子とは、例えば回転する粒子なら回転している状態を表しているということですか。 M: ポテンシャルエネルギーの意味を理解していない予感。// 物理学の基礎を復習する必要があるのでは?
- 19s2043:** 古典物理学的ではない物理量とは M: 私は知りません。調べて分かったら、教えてくださいネ // おお、そういえば“スピン角運動量”は、古典物理学には無い。
- 19s2045:** 量子力学では線形演算子しか用いないのはなぜか? M: 波についての重ね合わせの原理
- 19s2049:** 三方両錐などの特殊な形になる場合、どのようにシュレディンガー方程式を変形したら良いか。 M: 何がどう特殊なのか? 何の形の話か? // その形は、ハミルトン演算子のどこにどう効くのか。
- 19s2050:** シュレーディンガー方程式は水素以外にも適用できると思うが、できない原子や分子はあるのですか。 M: 原子や分子の種類によって、シュレーディンガー方程式を適用できたりできなかったりすると、何がその違いの原因なのか? // シュレーディンガー方程式は、何を表しているのか?
- 19s2051:** 仮定してだされたシュレディンガー方程式の解は信用できるのでしょうか? M: 意味不明。“仮定してだされた解”とは何のことか? // 得られたものが方程式の解になっているかどうかは、容易に検証できるので、自分で検証すればいいのでは?
- 19s2052:** 月と地球の距離は一年で 3 cm ほど長くなっているといわれているが、これはいつまで続くのか? また、月はいずれ地球の衛星でなくなるのだろうか? M: 自分で判断できないのはなぜか? // 物理法則に基づいて考えればいいのでは? 何が原因で、月と地球の距離が長くなるのか?
- 20s2001:** 例題 3.5 では演算子の交換は不可能でしたが、2 つの演算子を見た時に解かずに可換か判別する方法はあるのでしょうか? M: 教科書や参考書をよく読めば分かるのでは? // 計算するよりも簡便な方法があれば、教科書や参考書に書いてあるはずでは?
- 20s2002:** シュレディンガー方程式と波動方程式は呼び方が異なるだけであとは同じものと言うことですか。 M: 自分で判断できないのはなぜか? // 教科書や参考書をよく読めば分かるのでは?
- 20s2003:** 量子化学では非線形演算子は取り扱わないのですか? M: 勉強すれば分かるのでは? // 19s2045 参照
- 20s2004:** 以前波動関数自体に意味がないと説明を受けた記憶があるのですが、教科書には波動関数が系の記述を担うと説明しています。これは波動関数に意味があるということにはならないのでしょうか。 M: うる覚えは危険です。正確に理解してください。それとも国語力不足ですか? // “波動関数自体に物理的な意味はない”です。これに対峙して“波動関数の二乗には〇〇という物理的な意味がある”または“波動関数には Δ という意味がある”ということです。

20s2005: シュレディンガー方程式は古典的波動方程式やドブローイの物質波に辻褄が合うように定められたのでしょうか。 **M:** 教科書に書いてある通り、つじつまが合うことは容易に確認できます。しかし、そもそもどのようにして定められたのかは、定めた人に聞いてみればいいのではないのでしょうか :-p

20s2006: 教科書にシュレディンガー方程式は複数あるような表現がされているのですが、本当ですか？本当なら何種類程あるのでしょうか？ **M:** 教科書や参考書をよく読めば分かるのでは？ // 相異なる複数のものと同じ名前を付けて、論理的な議論ができますか？

20s2007: 箱の次元数が増えるとシュレディンガー方程式はどう変化するのか **M:** 自分で考えて分からないのはなぜか？“次元の数”は何を意味しているのか？ // 教科書や参考書をよく読めば分かるのでは？

20s2008: シュレディンガー方程式を解いて粒子のエネルギーは 0 にはならないと知りました。仮にその空間からエネルギーとして吸収できるものがなくなってしまった場合、粒子はどこからエネルギーを吸収し続けて動き続けることができるのでしょうか。もしエネルギーの吸収をしなくても動き続けていられるなら粒子の世界ではエネルギー保存則はないということでしょうか。 **M:** 根本的などころで誤解している予感。物理学の基礎を復習する必要があるのでは？ // 等速直線運動をしている粒子は、どこかからエネルギーの供給を受けているのか？ エネルギーを吸収した粒子は、そのエネルギーをどのように消費するのか (エネルギーは何に使われるのか)？

20s2009: 古典的波動方程式からシュレディンガー方程式を示す以外にもシュレディンガー方程式を示せるものはありますか？ **M:** “示す”ことの意味を理解しているのだろうか？ // あったらどうで、なかったらどうだということのだろうか？

20s2011: シュレーディンガー方程式の解で波動関数を求めることができるとありますが、波動関数がわかると何を知ることができるのですか？ **M:** 教科書 4 章や参考書をよく読めば分かるのでは？

20s2012: 電子が一つである水素はシュレーディンガー方程式で正確に解けるようですが、二つ以上になると正確に解けないのはなぜでしょうか。水素を基準として考えられているのでしょうか。 **M:** 多体問題と言ってみるテスト

20s2015: シュレディンガー方程式で演算子は 1 つしかないのに、ここで 2 つ以上の演算子が登場する可換な演算子の話が出てくるのはなぜか **M:** 物理量と演算子が対応している (教科書 3-4 章参照)。

20s2016: なぜ量子力学では線形演算子しか取り扱わないのか 非線形演算子を使うことにメリットはないのか **M:** 20s2003 参照

20s2017: シュレーディンガー方程式を解くことで得られる波動関数を二乗すると電子の存在確率を示すのはなぜですか？ **M:** “示す”の使い方に違和感がある // 自動的に示すことに決まっているわけではない。単なる解釈。

20s2018: 無機化学で波動方程式が出てきた際にそれを二乗すると、電子の存在確率になったのですが、今回の波動方程式を二乗すると同じような結果が得られるのでしょうか？ **M:** 本気か？ // 無機化学で出てきた波動方程式と、構造物理化学で出てきた波動方程式は、全くベツモノで無関係なのか？

20s2019: 演算子が交換可能だった場合何か他と違うことがあるのですか？ **M:** 19s2012 参照

20s2020: 一次元の箱の中の粒子問題は X 軸とエネルギー軸で考えるが、そこに時間的変化が加わった場合、時間の含まれないシュレディンガー方程式を使ってどうやって解くことができますか？ **M:** 本気か？ // 時間に依存しないシュレーディンガー方程式とは、どういうものか？

20s2021: 水素原子におけるシュレーディンガー方程式の解、というものを見たのですがこの方程式は水素のような電子の合計数が 1 個の原子にしか使えないのですか？ 2 個以上存在すると式が複雑になるため使用できないのですか？ **M:** 19s2050 参照

20s2022: なぜ波動の空間振幅である Ψ を二乗すると、電子の存在確率が求められるのですか？ **M:** 20s2017 参照

20s2023: 物理量を演算子を使って表す意味とはなんですか **M:** 微妙に勘違いの予感 // “物理量 イコール 演算子”ではない。

20s2024: 一次元の箱の中の粒子の問題では、粒子の存在範囲を $0 \sim a$ と領域決定し、そこより外の存在範囲は 0 ということを表していますが、ここでいう粒子とは電子以外でいうと他にどのようなものかを言っているのでしょうか **M:** 別に。好きにすればいいのでは？ // この問題で、粒子の種類によって振る舞いが違うのか？

20s2025: ハミルトン演算子は全エネルギーの演算子であるがそこに弾性エネルギーは含まれないのだろうか。また、弾性エネルギーの演算子はあるのか。 **M:** 自分で考えて分からないのはなぜか？ // 弾性エネルギーとは、どのようなエネルギーか？

20s2026: 演算子を交換することのメリットはなんですか？ **M:** 19s2012 参照

20s2027: 一次元の箱の中の粒子を考えて波動関数が出てくると言うことがよくわかりません。一次元に波はあるのですか？ **M:** 20s2007 参照 // 波動関数とは、何の波を表しているのか？ // 弦の振動は一次元の波ではないのか？

20s2028: 粒子は球体であり、球体は 3 次元の構造をとるが、何故 3 次元構造の粒子が 1 次元空間に閉じ込められているという状況を作り出せるのでしょうか **M:** 粒子が球体と、どうして決まっているのか？ // 物理学の基礎を復習する必要があるのでは？ というか、物理学的な考え方が身につけていない予感。 // 20s2007 参照

20s2030: 2 つの演算子が一般には、交換しないとあるが、可換である場合、その必要性というのは何ですか？ **M:** 19s2012 参照

20s2031: 一次元の箱の中の粒子と二次元や三次元の箱の中の粒子とでは大きな違いはありますか **M:** 20s2007 参照

20s2032: どうして量子力学では非線形の演算子が使えないのですか。 **M:** 20s2003 参照

20s2033: $f = ma$ が導出できないのは人がそうであると定めたからですか？また箱なのに 2 次元でなく 1 次元というのもよく分からなかったです **M:** 確かに、公理系をどのように選ぶかは、人が決めることではある。 // 二次元の箱とはどんなものか？というのか？ 20s2007 参照 // “箱”というコトバに、必要以上の意味を読み取ろうとしているせいでは？

20s2034: 演算子が交換可能であると何か特別なことがあるのか **M:** 19s2012 参照

20s2035: 2 つの演算子が交換可能な時はどのような時で、どのような特徴があるのでしょうか？ **M:** 19s2012 参照

20s2036: ハミルトン演算子は結局何を指示する演算子なのですか。 **M:** “指示する”というコトバの意味が分かっているのだろうか？

20s2037: 箱の中の自由粒子に課す境界条件には固定端条件や周期的境界条件があるようですがこれらの条件はどのように使い分けているのですか。 **M:** 本気か？ あなたはどのような系を考えているのか？

20s2038: ペットボトルのように透明なものは物体に含まれる物質の振動数と関連があるのでしょうか。 **M:** 意味不明。物質の振動とは何か？

20s2039: 私たちは3次元の世界に住んでいますが、4次元以上の次元は存在すると思われませんか？

M: 20s2007 参照

20s2040: 孤立している系で観測しうる最大のエネルギーの量とその位置は存在しますか。 **M:** 自分で考えて分からないのはなぜか？ // “その位置”とは何のことか？ // 最大の数はいくつか？

20s2041: 一次元の箱の問題に関して、我々が形式的に決めたであろう壁 ($x = 0, a$) の地点に粒子が到達した場合はどうなるのか。反射するのだろうか。 **M:** “時間に依存しない系”という大前提を忘れてる。 // ここでは、壁に到達する直前、到達した瞬間、到達した直後 といったような時間経過は考えないし、そもそも量子力学的粒子は軌跡を持つような運動をしない。

20s2042: なぜ、古典物理学における物理量は量子力学においてプログラミングなどで使われる演算子を使って表現されるのでしょうか。 **M:** プログラミングで用いる演算子は、主に二項演算子なので、ここ (量子力学) での演算子とは少し違う。

20s2043: 3章の内容は以前の章に比べ、何度読んでも理解することが難しいのだが、これは単なる自分の勉強不足なのかそれとも3章の内容がむずがしくなっているのどちらなのか？ **M:** あなたの学力や努力の程度を知らないの、何とも言えない。ただ、人が考えたことなので、人に理解可能はずだとは言える。

20s2044: ハミルトン演算子のようなものは演算子の形を覚えるしかないのですか？ **M:** 別に、好きにすればいいのでは？ // 必要な時に適切に使えるのであれば、覚えていても都度構築してもいいのでは？

20s2045: 電流気はほぼ光速で伝わるのに、電子が光速より著しく遅く伝わるのは何故ですか。 **M:** その電子はどこにいるのか？

20s2046: 演算子が交換可能である時計算がしやすい他にも利点はありますか？ **M:** 19s2012 参照

20s2047: 教科書 90 ページの図で、 $n=2$ のときと $n=3$ のときのエネルギーの差は物質に固有であり、それによって私たちは物質の色を判断する、というように習いました。しかし、空の色の青さと海の青さの理由は違って、空はレイリー散乱によるもので、海は赤色の分子が吸収されるからだというのを聞いたことがあるのですが、どちらも 90 ページのように同じ原理で説明がつくと考えると矛盾が生じると思うのですがどうですか。 **M:** 自分で“散乱”と“吸収”とを区別しているというのに、同じ原理だと(?)

20s2048: 演算子の交換性には、行列の次数を減らすことやエネルギーの保存性を知る他にどのような利点がありますか。 **M:** 意味不明。教科書の記述のどこに行列の次元 (何の行列?) やエネルギー保存則 (どんなエネルギー?) が登場したのか？

20s2049: ハミルトンはニュートン力学を拡張させたと書いてあったのですが、演算子の名前になったということは量子力学にも精通していたということですか。それとも関係ありませんか。 **M:** 科学史・数学史を調べてみればいいのでは？

20s2050: ポテンシャルエネルギーの演算子は、なぜポテンシャルエネルギーを表す関数そのものなのですか？ **M:** 教科書 表 4.1 や参考書をよく読めば分かるのでは？

20s2051: シュレーディンガー方程式が別のものから導けないのならどのように考案されたのか？ **M:** 20s2005 参照

20s2052: 箱の中にある粒子がお互いにぶつかり合う移動もシュレディンガー方程式から考えることが出来ますか **M:** あなたは、どういう系を考えているのか？