

16s2052: あのような難しい公理的仮説をなぜ思い付けたのか全く想像ができません。定義をもとに思いつけるようなものなのでしょうか M: 私たちは完成した理論を学んでいるから、そのときに定義・公理・公準・定理などに順序性や構造を持たせて考えるが、実際にはその順序で理論が発見・構築されたとは限らない。

17s2025: 縮重した系の固有値が 1 に定まらないのはどうしてでしょうか。 M: “1 に定まらない”とはどういう意味か? // 固有値はその時々で、様々な値になるのは当たり前では?

18s2003: 1 価、有限、連続の行儀のよい関数の条件から外れる関数は、どのような場面で用いられるのですか? // 一価、有限、連続な行儀のよい関数の条件から外れる関数の中には、量子化学の観点で意味のあるものは存在しますか? M: 箱の中の粒子の系の両末端の壁際のように、ポテンシャルに特異点があれば、波動関数が連続であっても微分可能じゃないこともある。

18s2006: 公理は初めに人が選ぶものですが、もし最初に公理の候補が複数出た場合、どの公理にするかなどを決めてしまったらそれは定理になってしまいますか。 M: “それ”は何を指すのか? // 公理として選ばれなかったものは、定理として導出できるかもしれない。

18s2010: 現実の電子では時間に依存する物理量の変化がどのようにあるか M: 自分で勉強するという努力を、どの程度やったのか? // 教科書 p.563 や参考書で時間に依存する摂動を勉強すれば分かるのでは?

18s2014: 規格化はどの演算子でもかまわないのですか M: 意味不明. 演算子を規格化するつもりなのか?

18s2045: 公理により別の事象が観測され、その観測された物理量が理論と仮に一致したとしても、公理は公理のままなのか。 M: 意味不明. 何を言っているのかサッパリわからない。// もしかして基本的な論理学が分かっていない (?)

19s2003: 公準は基本否定されることはないが、あえて否定して論じようと試みた人はいるか。 M: 講義では非ユークリッド幾何学の話をしたのに、理解していただけて、残念。// 絶対空間・絶対時間を否定したアインシュタインも該当するかも。科学史を勉強すればいいのでは?

19s2004: 波動関数 Ψ は A の固有関数とは限らないのはなぜですか M: 本気か? 実際に適当に一価・有限・連続な関数を考えて、それがハミルトニアン固有関数になっているかどうか、自分で調べてみればいいのでは?

19s2005: 縮重した系とはどのような状態のことですか M: 20s2034 参照

19s2011: 時間に依存するシュレーディンガー方程式を用いて考えられる化学的な事にはどんなものがありますか? M: 18s2010 参照

19s2012: 公理から正確に求めた理論値が正しく行われた実験値と離れていた場合、原因はどちらにあると考えられるのですか。 M: 公理が実験系を反映していないだけでしょ。

19s2013: ハミルトニアンが時間を含む場合でも、時間に依存するシュレーディンガー方程式に変数分離法を適用させて解くことができるのですか。もし、できないのならばどのような方法を使って解くのですか。 M: もしもハミルトニアンが時間を含んでいても、時間の変数がどんな形で含まれていれば変数分離可能なかは、変数分離法の手順を考えれば明らかでは? // 時間に限らず変数分離できないものの解き方については、私は知らない。調べて分かったら、教えてください。

19s2017: 行儀の良くない関数が使われることはありますか? M: 19s2045 参照

19s2018: 仮説 5 のときハミルトニアンが明示的に含まないとき変数分離が出来るとありましたが、ハミルトニアンが時間を含む状況とはどのような条件や環境の時なのですか M: 18s2010 参照

19s2024: 電子のエネルギー順位は対称性を壊すことで縮退が壊れるが、構造相転移が起き系の対称性が変わるだけで電子状態における特定のバンドの縮退が解けるのはなぜか。 M: 本気か? // 対称性が壊れて縮退が壊れることと、対称性が変わることで縮退が解けることとは、同じことでしょうか (?)

19s2026: 仮説 4 で観測量の平均とありましたが、仮説 3 では唯一の値とありました。これは、得られる観測量は 1 つであるということですか。 M: 誤解の予感. 教科書や参考書をよく読んで、よく考えればいいのでは? // 仮説 3 の“唯一”は、原文で“the only values that will ever be observed are the eigenvalues”なので、“観測される値は固有値に限られる”といった方が適切ですかね。

19s2043: 不確かさの評価の方法は、何を基準にして選ぶのか M: 色々あるんじゃないですかね。そのひとつが標準偏差だというだけで。

19s2045: 行儀のよい関数があるように行儀の悪い関数もありますか。ある場合どのような時にもちいられますか。 M: 行儀のよい関数の要件を満足していない関数は、少し考えれば自明では? 例えば $f(x) = \frac{1}{x^2}$ とか。// 逆に、いたるところで連続であるがいたるところで微分不可能といった“病的な (pathological)”関数というものもあるらしい。

19s2049: 習った過程に基づいて量子力学の世界の事象は全て説明が付くか。 M: 残念ながら、ここで学ぶ量子力学は非相対論的なので、光速に比べて無視できない速度で運動している粒子については、正しい結果を与えない。実は重原子における内殻の電子が該当する。

19s2050: 教科書の p.127 にたとえ式 (4 磁 2) の積分が、ある定数 $A \neq 1$ に等しくなったとしても、 $\Psi(x)$ を $A^{1/2}$ で割れば規格化できるとありますが、なぜですか。 M: 本気か? 自明な話に思われるが?? // 自分で計算してみても理解できないということでしょうか?

19s2051: 固有値を実数にする際にエルミート以外の演算子を用いてもできますか? M: 非エルミート演算子でも実数の固有値を持つかもしれないが、必ず実数である保証はない。

19s2052: 人間が最大 11 次元の構造を作り上げることができると最近知った。この 11 次元は超弦理論でしめされた宇宙の次元数と一致する。これは偶然なのだろうか? また、どのような考え方をするとこの問題を解決できるのだろうか? M: なぜ 11 次元よりも大きい次元の構造を作れないと言えるのでしょうか? // 量子力学では無限次元の空間における線形作用素の問題を扱うこともあるのだが…?

20s2001: 行儀よいという言葉があり、これは英語でも同じような意味で表記されているのですが、自分にはこの表現に少し違和感があります。このように表記されているのにはなにか理由があるのでしょうか? M: 専門用語なので、日常用語のニュアンスを読み取ろうとしても意味がない。// “無意味な解 (trivial solution)”も同様

20s2002: 5 つの仮説をたてることで量子力学が発展していったんですか。 M: 科学史を勉強すれば分かるのでは (?)

20s2003: 式 (4・21) には t が含まれているので時間に依存していると思うのですが、教科書の 137 ページには、式 (4・21) から計算される確率密度と平均値は時間に依存しないと書かれているのはどうしてですか? M: 計算してみれば分かるのでは? // 20s2041 参照

20s2004: 行儀のよくない $\Psi(x)$ は物理的に許容されないというのは、その $\Psi(x)$ が無意味な物ということですか。 M: 物理的な意味はないだろう。// 20s2001 参照

20s2005: 6 次元などの波動方程式を考えたとして現実世界の役にたつのでしょうか? M: 三次元空間にある二粒子の系の話の講義でしたのに、全く理解されていないようで残念。// 役に立つかどうか

かは、あなたが役立たせるかどうかしだい。

20s2006: 演算子に対応した観測量を測定するように計画されたどんな～観測されることは無い。と教科書に書いてありますが本当ですか？本当に絶対に観測されないのでしょうか？ **M:** 本気か？// 公準は、真である命題と考えることで理論が成り立っているのに...(?) もしも公準が偽であれば、理論体系が成り立たないのに...(?)

20s2007: 状態関数として許容されるということは仮説 1 が成り立つと言うことか？ **M:** 自分で判断できないのはなぜか？// もっとも、許容されることと、具体的な系の状態関数になっていることとは別問題だが。

20s2008: 三次元の箱の中の粒子のモデルでは、共通の量子数を持っていないのにもかかわらず縮退する場合があると知りました。共通の量子数を持っていないと対称性がなさそうなのに、エネルギーが同じになるのはなぜですか？ **M:** 共通の量子数とは何のことか？共通の量子数を持っていると対称性があるとはどういうことか？// エネルギーが同じになるかどうかは、計算してみればわかるのでは？

20s2009: 仮説 4 は教科書では dx で使われていますが授業では $d\tau$ でしたが τ は何を表していますか？ **M:** 一般の座標による微小体積を $d\tau$ で表した。

20s2011: 仮説 1-5 までの学習をしましたが、この仮説は実証されているのですか？ **M:** 講義で 公理的仮説、公準 という話をしたのに、全く理解されていないようで残念。

20s2012: トンネル効果起きる時、透過する粒子のエネルギーは前後で変化するか。 **M:** 系のエネルギー (の期待値) について、自分で計算してみれば分かるのでは？// トンネル前後で、波の振動数は変化するか？

20s2013: $(4 \cdot 11)$ の式で $\Psi^*(x) \Psi(x)$ と書かれていないのは何故ですか？ **M:** 著者に聞けばいいのでは？// 文脈から自明なことについては、簡便のために省略しても分かるのでは...(?)

20s2015: 教科書の仮説 1 に「量子力学系に関して得られる全情報は $\phi(x)$ から導くことができる」とある。 $\phi(x)$ から分かることは、粒子の波の振動のようなものと粒子の存在確率くらいだと思っていたのだが、この 2 つだけで全情報と言うのはあまりに少なすぎると感じた。この 2 つ以外に何かあるのか。 **M:** 教科書 p.133 や参考書をよく読めば分かるのでは？

20s2016: 理論値が実測値とほぼ一致するからその理論は正しいのだというが、そもそもその実測値が理論に基づいた方法で観測されたものではないのか。 **M:** 微妙に違うような..... “理論は正しいのだ”ではなく“理論は正しいと推定される”ぐらいかと。// “実測値が理論に基づいた方法で観測された”って、具体的にどういうことか？

20s2017: 三次元の箱の中の粒子の存在確率も、出てきた波動関数の二乗をすれば考えられるのですか？ **M:** 自分で判断できないのはなぜか？// 一次元の箱の中の粒子の存在確率は波動関数の二乗から得られるが、三次元空間の場合には違うかもしれないと考える理由は何か？

20s2018: 仮説 1 の説明で、波動関数として適切なものの条件の中に、「有限」とありましたが、箱の中に入る粒子に限りがあるということなのですか？ **M:** 勘違いの予感 // 全事象の確率の和が 1 であることは、そんなに理解困難なことなのだろうか？

20s2019: シュレーディンガー方程式は自明かも分からずどこかから求められるものでもないということは正しいかどうか分からないということですか？ **M:** 論理構成を理解されていないようで残念 // シュレーディンガー方程式を公準としているので、これは正しいものと考えて量子力学が構築されている。// シュレーディンガー方程式により求められる値と実験値との良い一致により、採

用した公理の正しさが強く推定される。仮説演繹法 または アブダクション

20s2021: エーレンフェストの定理で粒子の位置決定に相当な誤差を許した場合、粒子の運動はその誤差程度の広がりをもった確率波の磁束で表され粒子が古典的軌道を描くとみなしてよいが、この磁束が時間とともにむやみに広がるものも存在するのですか？ **M:** 波束とか分散とか、少し高度な参考書を読んで勉強すればいいのでは？

20s2022: 変数分離の際に、波動関数に定常状態をいきなり仮定することは問題ないのでしょうか？ **M:** いつ、いきなり定常状態を仮定したのか？// もしもいきなり仮定したのなら、定常状態の解が得られるだけだが、それではダメなのか？

20s2023: シュレーディンガー方程式は時間に依存しない式を変換したら時間に依存する式になるということですか？ **M:** 論理を勘違いしている予感。教科書や参考書をよく読めばいいのでは？

20s2024: よく 1 次元は点、2 次元は線 (平面)、3 次元は立体的というふうに現実世界でもこの 3 つは表現をすることが出来ますが、4 次元以降は何も持って数字が増えていくのか分かりません。何か決まりがあるのでしょうか？ **M:** 本気か？“1 次元は点、2 次元は線”は初めて見ました。// 数学や物理学の基礎の基礎を復習する必要があるのでは？次元というコトバの意味が分からないなら、辞書を見ればいいのでは？

20s2025: 領域 dx に粒子がいる確率が $\Psi^*(x) \Psi(x)dx$ に比例するのはなぜか。 **M:** 本気か？教科書の仮説 1 をよく読めばいいのでは？

20s2026: シュレディンガー方程式は現代の我々の生活で何に活用されているのか。 **M:** 自分で調べたり考えたりという努力を、どれだけやったのでしょうか？

20s2027: 一次元で規格化された積分が出てきましたが、他の次元だと積分の回数が増えるのでしょうか？ **M:** 自分で判断できないのはなぜか？// 規格化の意味をよく考えればいいのでは？// 全空間のどこかには必ず粒子が存在するといった時、その全空間とはどういうものか？

20s2028: 3 次元座標で表される粒子の位置する確率を省略して 1 次元空間に表すと書かれていて疑問を感じたのですが次元という概念に囚われ過ぎない方がいいですか **M:** 意味不明です “3 次元座標で表される粒子の位置する確率を省略して 1 次元空間に表す”と、どこに書かれていたのか？// 状況に応じて適宜判断すればいいのでは？

20s2029: 不確定性は原理ですか。 **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いいのでは？

20s2030: 時間に依存するシュレディンガー方程式と時間に依存しないシュレディンガー方程式では、どのような違いがありますか？ **M:** 本気か？自分で考えて分からないのはなぜか？// 時間に依存するかしないかが違う : -p

20s2031: 公理的仮説について $1+1=10$ ということをスタートに議論をする場合これを公理的仮説と言えますか。公理は何かから求められるものではないと言っていたと思うのですが授業始めに例えて言っていた空から降ってきたものと一緒だと思ったのですが違いますか **M:** その “ $1+1=10$ ” は、どういう意味か？“1”、“10”、“+”、“=” はどういう意味か？// 二進法の 1, 0 と位取り記数法で普通の加算ならば $1+1=10$ ですが、それが何か？このばあいこの数式が公理というわけではないが.....

20s2032: 私たちは 3 次元空間に生きており、6 次元空間には生きていません。そのため、6 次元空間の系の状態を計算できたとしても、私たちが住んでいる世界には応用できないのではないかと私は考えてしまいます。実際はどのように私たちの生活に応用されているのでしょうか。

M: 20s2005 参照

20s2033: この世界で3次元より上の次元をつくることはできますか？あるとすればどのような要素で
しょうか **M:** 別に、これでなければいけないなどという制限なんかないので、好きにすればいい
のでは？

20s2034: 固有値問題において二重に縮退するとはどのようなことか **M:** 縮重について、教科書 p.58
や参考書をよく読めば分かるのでは？

20s2035: 波動関数で $\psi(x)$ は行儀よくなければなりません、連続でも微分不可能な場合があるとき
は波動関数ではないということですか？ **M:** 箱の中の粒子の系において

20s2036: なぜ波動関数は行儀よくなれば物理的に許容されないのですか。 **M:** 教科書や参考書を
よく読めば分かるのでは？ // 講義でも説明したのに、理解されていないようで残念。

20s2037: 行儀よくなければならないがよく理解できなかったのですがどういうことですか。
M: 20s2036 参照

20s2038: 今回学習した仮説によって何を証明することができるようになるのでしょうか。 **M:** 論理
学を理解していない予感。公理・公準は理論にとって何の役に立つのか？

20s2039: 公理というのは証明無しに正しいとされるものであり、公理によって証明できるものは公理
ではないという解釈であっていますでしょうか？また、仮に公理に矛盾が生じた場合、今までやっ
てきたことは全て間違っていたということになるのでしょうか？公理が間違っているというのは絶
対にあり得ないことだと思いますが例えばの話です **M:** 自分で判断できないのはなぜか？ // 別
に、冗長のある公理系や矛盾した公理系を考えたっていいのでは？ 矛盾を含んだ論理体系にどんな
意味があるかは、別問題だが。

20s2040: 波動関数に時間を含まない世界とはどのような世界ですか **M:** 20s2041 の回答参照

20s2041: p.137 を読んで、時間に依存するシュレディンガー方程式においても定常状態ならば確率
密度が時間依存しないとはどういうわけか。 **M:** 本気か？ 時間に依存しない定常状態だからで
しょ？

20s2042: 仮説2について、古典力学における観測量や物理量などを量子力学で線形演算子に対応させ
ることの意味は何でしょうか。 **M:** 質問の意図は何なのだろうか？ // 演算子がポイントなのか、
その演算子が線形であることがポイントなのか？

20s2043: 3次元の箱の中の粒子は、ラプラス演算子を用いることで、1次元と同じように存在確率を
求めるようになるのだが、4次元、5次元と増える際の粒子もラプラス演算子によって求めること

はできるのか？ **M:** 自分で判断できないのはなぜか？ // 3次元の時にはできる、4次元の時には
できる、5次元の時にはできる、..... と、全ての次元についての可否を覚えなければいけないのか？

20s2044: 仮説4の式から、どうして平均値がでるのですか？ **M:** 自分で考えてみるように講義で
言ったのに、それに従わずに他に答えを求めるとは、どういうことか？

20s2045: 一次元の線の振動を図示すると縦横が出来て二次元的に、二次元の膜(平面)の振動を図示
すると縦横に高さの表現が加わって三次元的に描かれます。では、三次元の立体の振動を図示し
ようとすると四次元的に表される(我々が表す事はできない) ことになってしまうのでしょうか。
M: 自分で判断できないのはなぜか？ // 拡張の仕方に法則性は無いのだろうか？

20s2046: 公理的仮説は証明はできなくても最終的な結果が正しいから公準として扱われているので
すか。 **M:** 自分で判断できないのはなぜか？ // 公準の定義に、最終結果の正しさが関与してい
るか？

20s2047: 仮説5で時間に依存するシュレディンガー方程式と時間に依存しないシュレディンガー方程
式が出てきましたが、今まで扱ってきたシュレディンガー方程式は時間に依存しない方に分類され
るのでしょうか？ **M:** 自分で判断できないのはなぜか？ // 時間に依存する方程式と依存しない
方程式とは、何が違うのか？

20s2048: 観測量、可観測量、物理量の言葉の使い分けは書き手の好みですか？ **M:** 質問にある用語
は英語の“observable”に該当することは講義でも説明した。原則として 学術用語・専門用語 の意
味は言語の種類によらず一意に定まっている。

20s2049: ハミルトン演算子やラプラス演算子のように、二次元の箱の中の粒子を考えるときの演算子
には名前がありますか。 **M:** それらの演算子は次元数に依存するものなのか？ それらの演算子
の意味を考えればいいのか？ // 教科書や参考書をよく読めばいいのか？

20s2050: 3次元の箱の中の粒子において、なぜ対称性がある立方体でないと縮退が解けてしまうので
しょうか？ **M:** 自分で考えて分からないのはなぜか？ // なぜ対称性がある立方体だと縮重があ
るのかを考えてみればいいのか？

20s2051: ほとんどの系において H は明白には時間を含まないとあるが、逆に H が時間を含むことに
なる系はどんなものがあるのか？ **M:** 18s2010 参照

20s2052: 時間に依存しないシュレディンガー方程式はどんなときに使いますか **M:** 本気か？ 自分で
考えて分からないのはなぜか？ // 時間に依存しない現象・定常状態を扱うとき。