

- 17S2022:** [前略] 1s 軌道の球の中に電子を見出す確率はだいたい 90% であり、それは境界面だけを示すことで求められるとあるのですがどういうことでしょうか? M: 言葉通りだと思うのだが、何が分からないのか? // 球の中と外を区別するのが境界面では? 球の中とは境界面の内側ということでは??
- 18S2003:** 量子化されていることによって電子の配列が殻ごとに決められているものだと思いますが、K 殻,L 殻,M 殻、…で許容できる電子数については今日やった内容では記述することができないと思います。どうやって発見したのですか? M: 本気か? 教科書 6 章や参考書をよく読んで勉強すれば分かるのでは?
- 18S2010:** 現実の色彩は細かな離散的な波長の光によって出来ているのか、連続的な波長の光になる現象があるのか M: 本気か? どうして直近で学んだことを考慮しないのか? // 黒体輻射は離散的な波長の光のスペクトルか? 太陽光をプリズムで分散して得られる虹は??
- 18S2014:** 多電子原子の発光スペクトルは量子的な値を示すことはないのですか。 M: なぜそうなるのか? // 教科書 p.13 の 1.4 節の冒頭の記述をよく読めばいいのでは? “どんな原子でも” の原子に、多電子原子は含まれないのか?
- 19S2003:** 読書感想文は、もし新たな考えや発見があったとしても、同じ本について書くのは禁止なのでしょうか。 M: 講義サポート web ページに記載の通り、誤解の余地は無いと思うが.....?
- 19S2004:** 不確定性原理で電子の位置と運動量を同時に正確に測定できないとありますが、光も波の性質を持つので光子にも当てはまるのでしょうか? M: 自分で判断できないのはなぜか?
- 19S2005:** 不確定性原理によると粒子の位置と運動量を同時に厳密に決めることは不可能であるが、個別にやら厳密に決められるのであれば同時に決めることに意味はあるのですか。 M: ニュートン力学における運動方程式の境界条件は?
- 19S2011:** 不確定性原理より、原子は絶対零度の条件でも運動しているということになるのでしょうか M: 自分で判断できないのはなぜか?
- 19S2017:** もし電子を持たないプロトン粒子でスペクトルの測定を行った場合スペクトルは得ることはできますか? M: 本気か? 自分で判断できないのはなぜか? // 何のエネルギーの話をしているのか?
- 19S2022:** あまり応用できないのであれば、ボーア理論はもう必要ではなくなってしまったのでしょうか。 M: そういう価値観で科学理論を見るのは、なんか違う。
- 19S2045:** 電子殻も水素原子と同様にボーアモデルのように仮定して計算することで求められるのか。 M: “電子殻” は、どのような物理的実体なのか?
- 19S2051:** ボーア理論において電子が軌道運動をしているが、これは他に電気を流したり、電圧をかけた際でも絶対に変化しないのですか? M: 他に電気を流したり電圧をかけたりする状況は、ボーア模型で想定されている状況か? // ボーア模型において、電子はどんな規則に従って運動するとされているか?
- 20S2001:** ボーア理論での電子は安定に存在し続けますが、これに電圧などの刺激を加えても安定に存在し続けるのでしょうか? M: 19S2051 参照
- 20S2002:** 水素原子の大きさ以外に理論的な計算のみで求められるものはあるのか。また、ボーア理論では多電子系に拡張できないとあったが、それならば多電子原子の大きさを知るためにはどのような計算法を用いるのか。 M: 勉強すれば分かるのでは? // 21S2014 参照
- 20S2003:** 不確定性原理があっても量子論を用いた技術は進歩しているということは、位置と運動量を同時に正確に決定することは重要なことではないのですか? M: 19S2005 も参照 // 重要かどうかと技術の発展は、独立した話では?
- 20S2006:** ハイゼンベルクの不確定性原理について、粒子の位置と運動量について同時に正確に決定出来ないとあるが、それは具体的にどういう事なのでしょう? // 「粒子の位置がわかれば、運動量がわかる」ということができないということですか? M: 言葉通りなのだが、それ以上のどんな具体的な説明が必要なのか? // “粒子の位置がわかれば、運動量がわかる” は、運動量が位置に従属するという意味だが、不確定性原理について二つの物理量に従属関係は無いのだが..... // もしかして日本語に不自由している??
- 20S2007:** 量子化されるとはどういうことですか M: コトバの意味が分からなければ、専門書や辞書を見れば

ばいいのでは? // 講義でも説明したのだが、伝わってなくて残念.

20S2010: 電子の全エネルギーの式 (1・22) は符号が負なので $n=1$ の時が高エネルギーになるのではないですか? **M:** 本気か? (1.22) 式をよーく見て考えればいいのでは? // n^2 に反比例する場合, n の大小とエネルギーの大小はどうなるか?

20S2011: なぜボーア半径よりも共有結合半径の方が小さくなるのか。 **M:** それぞれの半径の測り方の定義をよく吟味すればいいのでは?

20S2012: ボーアモデルは完璧でなかったのですが、なぜエネルギーや軌道の大きさが導けたのでしょうか。本質は含まれていたからでしょうか。 **M:** 自然の本質が含まれていたから。水素原子の説明に成功したから、今ここに生き残っている。

20S2018: ハイゼンベルクの不確定性原理では粒子の位置や運動量を同時に正確に決定できないとありますが、このどちらも正確に決定できる理論も存在するのでしょうか。 **M:** 19S2005 参照

20S2021: リュドベリの式で、複数の電子を持つ原子の場合に誤った結果をもたらすのは内部電子や外部電子遷移のスクリーニングの量が異なるためですか **M:** 意味不明。“電子遷移のスクリーニングの量”とは、何のことか??

20S2024: 教科書 p. 25 上から 5 行目に励起状態にある原子や分子は、ふつう緩和して基底状態に戻っていき、そのエネルギーを電磁輻射として放出するとありますが、基底状態に戻るときに発生するエネルギーは全て電磁輻射として放出されてしまうのでしょうか? **M:** 輻射による失活 (輻射遷移: 発光 (蛍光, りん光)) と輻射によらない失活 (無輻射遷移) の両者がありうる。教科書 p.631 や参考書をよく読んで勉強すれば分かるのでは?

20S2026: ハイゼンベルクの不等式とロバートソンの不等式、小澤の不等式を用いても不確定性は 0 にはなりません、これの他にどんな不等式を用いれば不確定性を 0 にできると考えますか。 **M:** 私は知りません。自分で調べてみればいいのでは? // 最近、ハイゼンベルクの不確定性関係の式には議論に不備があることが指摘され、より正しい 小澤の不等式 が提案されている。小澤の不等式も不確定性を表す不等式なので、不確定性はゼロにならないことに変わりはない。

20S2028: 励起状態にある粒子や原子は、ふつう緩和して基底状態に戻ることから、基本的に粒子や原子は基底状態で存在しているという捉え方でいいか。 **M:** 自分で判断できないのはなぜか?

20S2029: ボーア理論に不確定性原理を入れて波動関数を使えば電子の軌道を説明できますか **M:** 自分で考えてみれば分かるのでは? // 不確定性原理をどうやって入れて、波動関数をどう使うつもりなのか?

20S2031: 原子内の電子の全エネルギーは運動エネルギーとポテンシャルエネルギーの和で表されるが、のちに出てくるハミルトニアンにポテンシャルエネルギーだけが含まれているのにはどのような意味があるのか。 **M:** 誤解の予感。ちゃんと勉強すればいいのでは?

20S2035: 式 (1・22) の負号から水素原子のエネルギー状態は電子が束縛された状態であるとあるが束縛された状態とはどういう状態なのか? **M:** コトバの意味が分からなければ、辞書を見ればいいのでは?

20S2036: 不確定性原理について、運動量と位置を同時に決定することが不可能であるとしていたが、何が決め手となって不可能であると明らかになったのか。 **M:** 講義で注意したにもかかわらず、誤解している予感。// 教科書や参考書をよく読めば分かるのでは?

20S2038: ハイゼンベルクの不確定性原理は今後量子力学がさらに発展することで求めることはかのうになりますか? **M:** 科学観がオカシイ? // 不確定性原理は量子力学の根本原理の一つなのだが、それが否定されるということはどういうことか、よく考えてみればいいのでは?

20S2039: ハイゼンベルクの不確定性原理は $f=ma$ などと同じく証明などはできないものなのでしょうか? **M:** 論理学を復習する必要があるのでは?“原理”は、何か別の定理などから導出されるものではない。// 21S2039 参照

20S2040: 磁場をかけたときのスペクトルはどのように説明するのですか。 **M:** 21S2035 参照

20S2041: 理論的に計算のみで求めた原子半径と実測値とで差が生まれるのは、不確定性原理より電子の動きが正確に求められないことと関係するのか。ただの観測誤差なのか。 **M:** 全然違う。// それぞれの半径

の定義をよーーく考えればいいのでは？ それらが一致する必然性は??

20S2042: ボーア理論が不確定性原理と矛盾するとのことだが、具体的にどのような点が矛盾しているのか

M: 自分で考えて分からないのはなぜか？ // ボーア理論と不確定性原理の両方において、それぞれ何をどう考えているのか、よーーく考えて比較すればいいのでは？

20S2043: - [] 核の中性子の数の違いによって、原子内の全エネルギーに違いがでることはあるのか？ **M:** 自分で判断できないのはなぜか？ // 中性子の数がどんなエネルギーに影響すると考えられるのか？

20S2046: 重水素のように中性子を増やしても電子のエネルギーが変わらないとおっしゃっていましたが、イオンのように電子数が同じで陽子の数が違う場合でも変化はないのでしょうか。 **M:** 講義における重水素についての言及は、エネルギーが変わらないことを暗記するのではなく、基本的な事実をもとに自分の頭で考えて判断すれば分かるはずだと言っているのだが、伝わっていないようで残念。

20S2047: エネルギーが量子化される、という表現について、運動エネルギーとポテンシャルエネルギーの和が飛び飛びの物理量をとるとはどういうイメージなのでしょう？ 自分の中では、エネルギーは緩やかに(連続的に) 変化するものであるというイメージです。 **M:** そのままですが？ // エネルギーが緩やかに連続的に変化するのはなぜか？

20S2052: なぜ、電子のエネルギーは量子化された値なんですか **M:** それが自然の本質だから。

21S2002: 基底状態の分子にエネルギーを与えると分子は励起状態となり、そのエネルギーは電磁輻射として放出されるとありますが、電磁波を吸収した物質（電子レンジによって暖められた水や日焼け止めなど）のエネルギーも電磁輻射として放出されるのでしょうか？ / また、電磁輻射として放出されない場合、どのようにして放出されるのでしょうか？ **M:** 20S2024 参照

21S2003: なぜ常温ではほとんどの水素原子は基底状態なのに励起状態のものが存在するのですか？ **M:** 本気か？ // 教科書 p.13 の 1.4 節 1 行目をよく読めば分かるのでは？

21S2005: 原子や分子が励起状態から緩和して基底状態に戻っていくとき、どのくらいの時間をかけて、どのような動きで運動するのですか。 **M:** “遷移”の意味が分からなければ、専門書や辞書を見ればいいのでは？

21S2007: ボーア理論では、水素原子のボーア模型のように、平面で考えているからボーア理論に限界があったのか。 **M:** 自分で考えて分からないのはなぜか？ // 平面で考えない場合、どのような力学で運動すると考えるのか？

21S2008: なぜボーアの理論によって証明できるリュードベリの式が導けたのか **M:** 日本語がヘンテコで意味不明

21S2009: 不確定性原理について。教科書では $\Delta x \Delta p \geq \hbar$ とありますが、ネットや本で調べていると右辺が $\hbar$ のもの、 $\hbar/2$ のもの、 $\hbar/4$ のものを見かけました。全て不確定性原理として紹介されています。なぜ右辺にばらつきがあるのでしょうか。 **M:** 21S2039 参照

21S2010: 極々小さなボーア半径を実験ではなく数式で求められるというのは本当にすごいことだと思います。一方で、電子の所在というのは確率的に定まるものであるということから、原子核と電子との距離がボーア半径という定数として定まるということにが不思議に思えてしまいます。なぜボーア半径は定数として定まるのでしょうか。 **M:** ボーアの理論は、どんな前提を置いていたか？

21S2012: 教科書にリュードベリの式は水素原子スペクトルのすべての輝線を説明すると記述されていました。また、リュードベリの式がボーア理論の (1.23) 式に書き換えられるともありました。このことより、水素原子スペクトルを求める実験で用いられた水素ガスは、ラザフォード・モデルのような、他の水素原子の電子などから影響を受けていない、ひとつの水素原子のみ状態になっているのですか。 **M:** 21S2003 のコメント参照 そうやって生成された励起状態の水素原子が、どんな状態か想像してみればいいのでは？

21S2013: 励起状態にある原子や分子が基底状態に戻るときエネルギーが電磁輻射として放出しない場合はありますか **M:** 20S2024 参照

21S2014: 水素原子の原子半径はボーアの理論で理論的に導き出すことができることがわかりました。授業内で電子が増えると遠心力とクーロン力が釣り合っていることを使えないためボーアの理論が使えないって言っていましたが、では他の原子半径はどのように導き出しているのでしょうか？ **M:** 他の原子半径と

は? // 普通に量子力学

21S2015: ボーア理論が、2 電子系への拡張や系に磁場をかけた場合等のスペクトルが説明出来なかったとあるが、ボーア理論に私達がまだ発見出来ていない定数や変数が含まれており、水素原子スペクトルでは、偶然それらが打ち消されていると考えることは出来ますか? **M:** 本気か? // 講義でボーア理論に基づいてゼロから式を展開して見せたのだが、そこに未知の定数や変数を発見される余地があったか?

21S2016: ボーアの量子条件に出てくる λ がなんの波長なのか分かりません。教えてください **M:** そうですか。教科書 p.23 や参考書をよく読めばいいのでは? // ところで、質問が記載されていない (?)

21S2017: 教科書の p.23 に記述されている「このような整合がなければ、各周回ごとに振幅の一部が打ち消されて、ついには波は消えてしまうだろう (図 1・9 参照)」とは電子は円運動上に固定されていても波の性質を保持しているということですか。何が振動している波が打ち消されているのかわかりません。 **M:** 前半について、自分で判断できないのはなぜか? ボーア模型における仮定とその意味を考えればいいのでは? // 後半について、ド・ブローイ波が何の振動なのかについては、ここまでで全く説明されていない。少なくとも物理的な実体を持った波ではなさそう。なぜなら古典物理学では粒子と波は全く異なる物理的な実体だから、それを合わせ持つものなど考えられない。

21S2018: エネルギーを波長の単位で表す問題がありますが、元々あるエネルギーの単位と波長の単位をイコールで考えても良いのですか。 **M:** 自分で判断できないのはなぜか? // エネルギーと波長は同じものか? 同じ意味を持つ物理量なのか? 次元 (単位) も同じか?

21S2019: 水素原子が電磁波を吸収、放出しなくなったらどうなるのですか。 **M:** 本気か? そういうことがありうるのか、自分で考えて分からないのはなぜか? // 基底状態の水素原子は、それ以上電磁波を放出しない.....

21S2020: 教科書に電子が落ちていく最終状態ごとに起こる色々な遷移と書いてありますが、電子はどのように遷移するのですか **M:** 20211019 の 20S2035 参照

21S2022: ボーア理論は古典物理学に反するような仮定を置き、不確定な条件のもとでの計算であったと思います。例えば、基底状態において軌道電子は特定の軌道平面を持っていないはずですが、しかしなぜ不確定な条件のもとであってもエネルギー準位を求めることができたのでしょうか。 **M:** 意味不明. “不確定な条件” とは、何のことか?

21S2023: ハイゼンベルクの不確定性原理では、粒子の位置と運動量について同時に正確には決定できないとありますが、粒子の位置 x とはどこを基準にした位置なのですか。 **M:** 本気か? // 物理学の基礎を復習する必要があるのでは? 物理学の法則は座標の取り方に依存するの?

21S2026: ラザフォードの実験では当時のどのような技術を駆使して反射する線を観測したのですか **M:** 20211019 の 21S2030 参照

21S2028: ボーア半径を求めることができたが、本来は電子は雲のような状態になっているから半径を決められないと考えたのですが、どうなのでしょう。 **M:** 自分で判断できないのはなぜか? 論理学を復習する必要があるのでは? // ボーア半径を求めるときに、どんな前提を置いたか?

21S2029: (1.22) の式で求められるのはボーア模型の半径のみですか。 **M:** 自分で考えて分からないのはなぜか? // (1.22) はボーア半径の式ではないのだが? (1.17) 式で $n=1$ (ボーア半径) 以外の場合の軌道半径を求めることができないのか?

21S2030: なぜボーア理論では多電子系は拡張できないのか **M:** 本気か? 自分で考えてみればいいのでは? // 講義の時にも説明したのだが、理解されていないようで残念

21S2031: 観測結果を用いずに多電子系の電子の状態を求めることは可能か、出来ないものもあるのか/前回の僕の質問にエーテルという言葉で回答していたが、調べたところマイケルソン・モーリーの実験によって存在が否定できることが分かった。前回の質問に答えはないのでしょうか。 **M:** 第一原理計算 // 光が伝搬する媒体について、電磁気学を復習すればいいのでは? またド・ブローイ波は、何の振動なのか?

21S2032: ボーアのエネルギーの式なのですがそこからリュードベリの式や定数がなぜ成り立つのか説明できたとおっしゃっていましたが、リュードベリは偶然式を発見したのでしょうか。もし必然であればなぜ説

明しなかったのでしょうか。 **M:** 実験式だと説明したのだから、理解されていないようで、残念。

21S2033: 基底状態について、エネルギーが量子化されているのであれば、励起状態から基底状態に戻るとき緩やかに戻るのではなく、瞬時に戻るのでしょうか？ // 教科書 p.24 の式 (1・19) で、なぜクーロンの法則を用いているのに分母に r の 2 乗がないか？ **M:** 励起状態から基底状態へ瞬時に戻るのは、エネルギーが量子化されているからではなく、“遷移”を考えるため。// (1.19) について、力とポテンシャルエネルギーの違い。電磁気学を復習する必要があるのでは？

21S2034: 元素模型は様々な仮説が否定されて今の中心に原子核、周りに電子が $1s, 2s, 2p \sim$ のようになっているが、これから先さらに新しい仮説が出てくる可能性はあるのか？ **M:** 微妙に誤解の予感。// 可能性はゼロではないが、そもそもその $1s, 2s, 2p \dots$ は否定される余地のある仮説なのか？

21S2035: 磁場をかけた時のスペクトルの変化が、なぜ分裂なのか。 **M:** 教科書 pp.244–246 や参考書をよく読んで勉強すればいいのでは？

21S2036: ボーア理論は多電子系には拡張できませんでしたが、結局ボーア理論は誤った理論だったのでしょうか。 **M:** 水素原子のスペクトルの説明については完璧に正しい理論だった。

21S2037: (1.22) 式から電子が遷移してる途中の一瞬を見た時のエネルギーが許容できないのはなぜですか？ **M:** 本気か？ その一瞬の時のエネルギーを、どうやって“見る”のか？ // エネルギーについて、観測されるものは何か？ よーーく考えればいいのでは？

21S2038: 量子力学モデルはボーアモデルより表せるものがありますが、ボーアモデルだけのメリットはありますか？ **M:** 前半の意味がよくわからない。// 簡単というメリットがあるのでは？

21S2039: 不確定性原理ではなぜプランク定数に支配されるのか？ **M:** (*) 講義では結論だけを示した。結論だけを暗記するような勉強では (それは勉強とは言えないのだが)、理解に至らないという典型例。// 不確定性原理が成り立つ理由についての議論を教科書や参考書などで調べてみればいいのでは？

21S2040: 原子を高温にしたり放電にさらしたりすると線スペクトルが発生する事を一般的に説明したものがリュードベリの式であり、ボーアの理論からも同じ式が導き出されることから、この線スペクトルは原子が励起状態から基底状態に遷移する時に放出するエネルギーであると決定されたのだろうか。ボーアの理論以前は円運動している電子が何もしなくてもエネルギーを放出していると考えられていたようなので、当時は納得されなかったのではと疑問に思った。また、上の式に出てくる n は主量子数 n とは無関係なものと考えて良いのか。 **M:** 当時の人々に聞けばいいのでは？ :-p // しかし他に水素原子の発光線スペクトルを説明できる理論は無かった。全ての輝線を説明するリュードベリの式を導出でき、リュードベリ定数がなぜその値であるのかも説明できた。ラザフォードの散乱実験との矛盾もないし、原子の中に電子が含まれることともつじつまが合っている。さらにモーズリーの法則との親和性も高いという発展性もある。// 主量子数 n とは何か？ 自分で考えてみればいいのでは？

21S2041: リュードベリ定数には真空の誘電率が使われていますが、例えば大気中でスペクトルの実験をする場合、それに応じた比誘電率の導入が必要だと思うのですが、水素原子について電子と核の間の空間には他の粒子は存在しないので真空だとみなしているのでしょうか？ **M:** 本気か？ その“真空の誘電率”は、どの場面で何のために出てきたのか？ // 大気中で実験する場合、クーロン力が働く電子と核の間に大気 (という連続媒体) が存在するか？ // 大気中を光が伝搬するとき、真空中と何が異なるか？

21S2042: 教科書 25 ページにある励起状態について、励起状態が緩和して基底状態に戻るまでにかかる時間は何によって決まりますか？ **M:** 遷移確率 または 励起状態の寿命 (遷移の速度定数) //あるいは、遷移は瞬間的に起こり、遷移の途中というものは無い。

21S2043: 短い波長を持った光を使う以外に空間分解能を達成する条件はありますか？ **M:** 本気か？ // 光以外のものを使う。電子顕微鏡の分解能と電子線のド・ブローイ波長など、講義でも話をしたのに、伝わってなくて残念。

21S2044: ボーア理論に持ち込まれた非古典的な仮定はどのようにして生まれたのでしょうか **M:** 具体的にどの仮定か？ // 教科書や参考書をよく読めば分かるのでは？

21S2045: ボーア理論では説明できない系やスペクトルを説明できる理論はあるのですか？ **M:** 勉強すれば

分かるのでは? // 21S2014 参照

21S2046: モーザリーの法則の特有の定数は特定されている全ての系列において判明されていますか。 **M:** 私は知りません。調べて分かったら、教えてくださいネ。// モーザリーの法則は経験則・実験式なので、測定値があれば定数を決定できるのでは?

21S2047: 粒子の状態は不確定的ではなく確率的なものだと思っていたのですが、ハイゼンベルクの不確定性原理によれば、不正確さを許容すれば大体の位置と運動量を同時に決めれることになり、矛盾が生じてしまう気がしますがなぜなのでしょう。 **M:** 何がどう矛盾だというのか? // 確率的ということは、代表値 (最尤値・最頻値・中央値・平均値など) と分散などを考えるわけで、それは確定値ではないという意味で不確定さを意味しているのでは?

21S2048: ハイゼンベルクの不確定性原理の不等式の下限はその時その時で値は変わるのか。 **M:** 本気か? それでは、場合によってはゼロになることもあるってことになるのでは? // 21S2039 参照

21S2049: ボーア理論では原子半径や電子の持つエネルギーが離散的ですが、古典力学では連続的であると考えられていたのでしょうか。 **M:** 正気か? // 物理学の基礎を復習する必要があるのでは?

21S2050: ボーア理論について、光を照射しなくても電子間でのやりとりは行われるのですか? **M:** 意味不明。何をやりとりする話か?

21S2051: ボーア理論の欠点を補う物は提唱されているのですか? **M:** 勉強すれば分かるのでは? // 21S2014 参照

21S2052: ハイゼンベルクの不確定性原理についてなのですが、粒子が運動していないと仮定した場合、運動量の不確かさが 0 となり不確定性原理が成り立たなくなってしまうので、つまり、粒子は静止できないということでしょうか。 **M:** 自分で判断できないのはなぜか?