

- 16s2052:** 銀原子の磁気モーメントを観測するにはどのようなメリットがあるのですか M: 人類の叡智の蓄積に貢献する。// 現在メリットを持たないものは、不要なものなのか? 未来永劫メリットが無いのか?
- 17s2045:** 相対性理論と量子力学は完全に相容れない理論なのでしょう M: 量子電磁気学とか相対論的量子力学を勉強すれば分かるのでは?
- 18s2003:** Stern Gerlach の実験で 2 点が到達する結果によって電子がスピンしていると言えるのはなぜですか? 1 点や 3 点などではダメなのでしょうか? M: 日本語がオカシイし, “スピン” は単なる名称であって, そこから連想される自転の動作とは無関係であると講義で説明したのに, 全く理解されていないようで残念。// Stern-Gerlach の実験は, 三次元空間内の運動を記述する変数として x, y, z の三変数以外に四番目のモノが必要であることを示している。// 本気で考えているのか? 一点ならば, 全ての粒子は同一の地点に到達しているということで, 第四の自由度は必要ない。
- 18s2018:** 新しいものを発見する上で, その考え方があっていない保証がない中研究を進める上で重要なことはなんですか。 M: “その考え方があっていない保証がない” という考え自体がズレているというオカシイ。 “その考え方” が妄想・空想ではなく, 論理的な根拠を持ち既知の知識と矛盾がない (ように構成される) ことが, 合ってる保証の一翼を担っていると言うべきでは (?)
- 18s2029:** stern-Gerlach の実験で, Ag 原子の挙動が上下 2 点のみに到達するとありましたが, 原子が到達する場所は最外殻に電子が何個あるかでのみ決まるのか, それとも原子の種類も影響するのか? M: 本気か? 自分で考えて分からないのはなぜか? // 今回の場合は電子に由来する磁気モーメントの作用なので, 元素の種類に依存した話だろうか?
- 18s2038:** ナトリウムの原子スペクトルでシュレーディンガー方程式では 1 つしか出なかったのは電子スピンを考慮していないためか。 M: 本気か? 自分で考えて分からないのはなぜか?
- 18s2045:** 1) D 線の結果はスピンの用意ということか // 2) sten Galach の実験は Ag を飛ばした方向に対して垂直に対称性は存在したのか。 // 余談ですが, 教職の基礎物理学実験は D 線の実験について (少なくとも私は) 扱いませんでした。どちらかというのと熱方面に重点を置いていたようで, 物理科の発展的な方の実験の中のひとつとして D 線のスペクトルがあるようです。 M: “結果をスピンの用意する” とは, ナカナカに凝った文学的表現ですね。// “(ある方向に対して) 垂直に対称性” とは ということか? // [情報提供, ありがとうございます]
- 18s2046:** 3 次元で電子問題を解くことができないため第 4 の自由度を設けていたが, これは 4 次元の問題とは違うものなのか M: 自分で判断できないのはなぜか? // 形式的には 4 次元ということもできるかも
- 19s2005:** なぜ s が大きな値をとれないとスピン角運動量は決して古典的に振舞うことはないのですか。 M: 量子力学と古典力学は全く別世界の話ではなく, 互いに接続している。例えば量子数の大きいところでは量子力学は古典力学に漸近するとか, プランク定数が無限小とみなせる極限では量子力学は古典力学に漸近するとか。スピンの場合は大きな量子数をとれないので, 前者は考えられないように思われるが, スピンの集団・平均値は古典力学的に振る舞うと言える。
- 19s2007:** イオン化エネルギーを求めるのにどんな実験をするのですか。 M: 教科書や参考書をよく読めばいいのでは? // 教科書に UPS や XPS などが記載されているのだが.....
- 19s2011:** 電子に対する第 4 の自由度が用いられているシュレーディンガー方程式はどういったものがあるのでしょうか? M: 教科書 p.328 や参考書をよく読んで勉強すればいいのでは?
- 19s2029:** 講義中で, ナトリウムの輝線がシュレーディンガー方程式によって与えられる解と実験値が異なる結果になるということだったが, その原因となっている第 4 の自由度であるスピンを考慮したシュレーディンガー方程式を立てることで, より理論値と実験値との誤差を小さくすることは可能なのか? また, そのような式を立てることで既知の基本的な性質に矛盾することは無いのか? M: 自分で考えて分からないのはなぜか? // 19s2011 参照
- 19s2031:** 図 8.1 のクーパマンズの近似について, 酸素原子のイオン化エネルギーでの誤差が大きいのは, 2p 軌道での静電反発が大きいためだとも思うのですが, この静電反発を考慮したエネルギーの近似を考えた人はいますか? M: “2p 軌道での静電反発が大きい” とあなたが思うのは勝手ですが, 正しいのか? // HF 法は静電反発を考えていないのか?
- 19s2040:** Na の原子スペクトルの二重線以外にシュレーディンガー方程式で説明できない例はありますか。 M: 教科書の表 8.5, 図 8.3 やその周囲の記述, 参考書も読めばいいのでは? // 「スピンはめぐる」を読んでみればいいのでは?
- 19s2045:** 実験値の得られないものや未知のものを計算する事で得られた結果が正しいと判断出来るのはなぜか。 M: 実験値がないものについて計算してはいけないのか? // 逆に, その物質について初めて測定する実験値・物性値 (例えば新規化合物の紫外可視吸収スペクトル) が正しいと判断できるのはなぜか?
- 19s2046:** 今後の量子力学の発展により, 電子において第 4 の自由度に関連したまったく新しい量子数が提唱される可能性はあるのでしょうか。仮に新しい量子数が整合性を有していた場合, 我々が現在用いている変分法や摂動法の近似より精度の高い解を求めることが出来るのでしょうか。 M: 可能性はゼロではないが, 現在のところ, 説明できない実験事実 (全く新しい量子数を必要とする実験事実) は見つかっていない。
- 19s2047:** 第 4 の自由度の話がありました第 5 第 6 の自由度はあるのでしょうか? M: 19s2046 参照
- 19s2051:** 摂動法や変分法がオービタルの概念を捨てたことによって正確な近似値を得られる理由は何ですか? M: オービタルの概念を捨てさえすれば, 必ず, より正確な近似値を得られるという保障などないのでは?
- 19s2053:** 磁気モーメントや様々なことから電子が自転していると考えたとたくさんの事を説明できるにもかかわらずスピンの存在は観測されなければ認められることはないのですか? M: そもそも私たちは何をしようとしているのか? サイエンスとは何なのか? // 自然を理解することが目的なのでは? たとえ論理的に矛盾が無かったとしても, 自然とかけ離れた空論 (実験事実により裏付けされていない空論) に, 科学としての意味はあるのか?
- 20s2001:** スピン量子数が $\pm 1/2$ の値を取るのはなぜなのでしょう M: 実験をした結果なのでしょう M: また, シュレーディンガー方程式で説明できないものとして, ナトリウムの原子スペクトルの黄色い二重線が紹介されていましたが, 他に説明できない

いものとして何があるのでしょうか？ **M:** 20s2007 参照 // 講義では Stern-Gerlach の実験も説明したのだが、伝わってなくて残念。自分でも調べてみればいいのでは？

20s2002: 電子に対する第 4 の自由度と出てきたが扱う原子によって第 5 の自由度など自由度の数が変わってくるのか。 **M:** 正気か？ 電子がどの原子に所属するかによって、性質が変わるといえるのか？ // 19s2046 参照

20s2003: 重粒子にはなぜ相対論的な効果が強く働くようになるのですか？ **M:** 勘違いでは？ // 重原子の内殻の電子の運動速度を、ボーアモデルで計算してみればいいのでは？ という話も講義でしたのだが、伝わってなくて残念。

20s2004: スピン量子数でなく別の名称でも構わないのは、仮定を設けて問題を考えてもその仮定は最終的な結果に関わらないためですか。 **M:** 意味不明。仮定とか結論とか、論理学を全く理解されていないようで残念。 // シニフィアンとシニフィエと言ってみるテスト

20s2005: 電子は固有のスピン量子数を持つのですか？それとも他の電子と相互作用して変わるものですか？ **M:** 本気か？ // 電子の質量 (静止質量) や電荷は、他の電子と相互作用して変わるものか？

20s2006: 相関がないのに相関エネルギーを定義するのは何故ですか？ **M:** 意味不明。“相関がない”とは、何の話か？

20s2007: 角運動量について、今まで整数を使ってきたと思うんですが、何故電子スピンの分数を使用するんですか **M:** 講義で説明したのに、伝わってなくて、残念。 // Stern-Gerlach の実験結果により、電子は $\pm\mu_B$ の磁気モーメントを持つ。二つの値のどちらかなので、量子数を $m_S = \pm\frac{1}{2}$ すなわち $S = \frac{1}{2}$ と割り当てると $m_S = S, S-1, \dots, -S$ であり、 $2S+1 = 2 \times \frac{1}{2} + 1 = 2$ となり、磁気モーメントの結果や角運動量についての記述と整合性がとれる。

20s2008: ・超伝導について質問です。電子はそのままではボーズアインシュタイン凝縮を起こすことができないので、クーパー対を作ると見ました。負電荷同士なので反発するように感じるのですがなぜ対を作ることができるのですか。 // ・多くの電子のスピン向きが揃っていると強磁性になりますが、スピンの向きが揃っていると不安定になりそうな感じがします。なぜ磁石は磁石のままでいられるのですか。また磁石はパウリの排他原理に従っていないのですか。 **M:** クーパー対は、特定の電子間での引力の存在を意味しているわけではない。二つの電子のスピン $1/2$ が合成されて 0 または 1 になると考えるとき、この電子間での引力の存在を意味しているわけではない。 // 超伝導について勉強してみればいいのでは？

20s2009: Stern-Gerlach の実験でなぜ Ag を用いたのですか？他の原子ではだめだったのですか？ **M:** 本人たちに聞けばいいのでは？ :-p // あなたが思い付くぐらいなので、当然本人たちもやってみたか、または別の人がやっていたりするのでは？ またはこの後にやったとか。興味深い結果が得られたものだけを報告するというバイアスがかかっていたかも.....

20s2011: 教科書では電子に対して四つ目の「量子数」と記述してあるが、授業では「自由度」と学習した。「自由度」と「量子数」は同じ意味であるのか。 **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？ // 量子数は何のために存在するか？ 粒子の状態を表す変数の数と量子数の数との関係は？ (一次元の箱の中の粒子・調和振動子、 n 次元の～、剛体回転子、(3次元空間内の) 水素類似原子、etc. について、どうか?)

20s2012: スピン量子数の符号が+とありますが、どんな意味を持っていますか。 **M:** 角運動量子数 l に対して磁気量子数 m の値はどうか？ m の物理的な意味は？ (どんな物理量に対する演算子の固有値か?)

20s2013: 粒子はフェルミ粒子とボース粒子に大別され、電子は前者らしいですが、このことについて電子のスピン角運動量が半整数だからフェルミ粒子、フェルミ粒子だから角運動量が半整数のどちらなのでしょう？ **M:** 因果関係ではないと思いますが.....

20s2015: 電子は地球のように模様がないので、スピン (自転) しているのを見ることはできず、一方の電子が他方の電子と逆向きのスピン状態であることを観測できないのに、なぜ 2 つの電子が異なるスピン状態で 1 つのオービタルに入っていると言えるのでしょうか？ **M:** 本当に観測できないのか？ // 閉殻になっている原子 (例えば He) または分子 (例えば H₂) の磁気モーメントは？ 二電子系なのに電子による磁気モーメントを持たないように見えるのは、なぜだろうか？

20s2016: スピンの影響を考慮したシュレーディンガー方程式をたてることはできないのですか？ **M:** 別に。立てなければ立てればいいのでは？ // 教科書 p.328 や pp.587, 600 (核スピンだが) などや参考書をよく読んで勉強すればいいのでは？

20s2017: 将来的に、電子に対してさらに新たな量子数が導入される可能性はあるのか？ **M:** 可能性だけなら常にゼロではないと思われるが、現在の所、それが必要な実験事実は見つかっていない。

20s2018: なぜ Stern・Gerlach の実験では数ある原子の中から銀が選ばれたのですか。またこの時、第 4 の量子数を設定していなかったのになぜ結果を読み解くことができたのでしょうか。 **M:** 20s2009 参照 // 実験結果が得られた当時、その場で現在と同様な解釈がなされたとは言っていないが？ 19s2040 も参照

20s2019: アルゴンの 2s イオン化エネルギーの実験値が書かれていないのですがこれは実験が不可能だからですか？ **M:** 著者に聞けばいいのでは？ :-p // 実験結果が得られているモノは、全てを漏らさず詳細に記載しなければいけないのか？

20s2020: シュテルン=ゲルラッハの実験で、不均一な磁場を通った銀原子は 2 点に分かれたが、同じことを均一な磁場で行うと結果はどのようになりますか。 // また、電子スピンの磁場に反平行なものが強い方に引かれて、平行なものが弱い方に引かれるのは何故ですか。 **M:** なぜ不斉磁場を使用したのか、理由も講義では説明したのだが、伝わってなくて残念。 // 斉磁場中で運動している電子にかかる力は？ 力と (ポテンシャル) エネルギーについて、物理学の基礎を復習する必要があるのでは？ // 強い方とか弱い方とは、何のことか？ どうしてそう言えるのか？

20s2022: 原子スペクトルが二重線ではなく、線が一つしか得られなかったり、三重線以上になったりすることもあるのでしょうか。また、あるならば、どのような自由度を設定する必要があるのでしょうか。 **M:** 教科書 p.327～ や参考書をよく読んで勉強すれば分かるのでは？

20s2023: 式 5.47 と式 8.25 より水素原子中の電子の運動エネルギーは $k = (h^2)l(l+1)/2i$ と表せますか？ **M:** 本気か？ // 考えなしにつじつま合わせだけに終始する典型ですね。前提・モデルが異なるものを結び付けていることに気づかないなんて..... // 水素原子中の電子の運動エネルギーを表す演算子と (5.47) 式とを比べてみれば自明では？

20s2024: つじつまの合う方法で仮定した波動関数から解が得られないという場合はその仮定した波動関数にどのような問題、間違い

があるのですか **M:** 普通は、フォック演算子の固有値と固有関数という意味での“解が得られない”ということは無いような気がします..... (仮定した解 (波動関数) とは異なる固有関数が得られることはあるが) // 20210720 の 20s2036 参照

20s2025: スピン量子数が整数のときと少数のときで粒子の状態はどのように違うのか。 **M:** そもそも別の粒子なのだから、状態の違いを比較できないのでは? // 電子と ^4He の状態の違いと言われても、何を聞きたいのか?

20s2026: スピン角運動量演算子は軌道運動量演算子と同じ交換関係を満たしますか? **M:** スピン演算子についての定義 (p.308) には含まれていないが、それ以外についても軌道角運動量と同型の関係式が成り立つものと考えて。教科書 p.345 や参考書も参照

20s2027: ナトリウム以外に原子スペクトルがシュレーディンガー方程式で説明できないものはありますか? **M:** 19s2040 参照

20s2028: 量子は波であるということでしたが、Stern Gerlach の実験で 2 点にのみ達することから波と言うより直線的な動きをしていると思ったのですが何故なのでしょう。 **M:** あなたが思うのはあなたの勝手ですが、波であっても、干渉により強め合う特定の地点にしか到達できないという現象も普通に起こるのだが.....(?) // 波または粒子に過大な期待をしているのでは?

20s2030: スピン演算子と固有関数の関係式は、電子の数と関係しているのですか? (電子数が増えると、関係式も増えるのか) **M:** 普通に角運動量を合成すればいいだけでは? // 教科書や参考書をよく読んで勉強すれば分かるのでは?

20s2031: 今回の電子においては第 4 の自由度を考えたが、別のもので第 5 まで必要になることはあるのか。またそうなった場合どんな自由度になるのか。 **M:** 19s2046 参照

20s2032: 講義の中で 1922 年が大事とおっしゃっていましたが、1922 年はなぜ大事な年なのですか。 **M:** 教科書に Uhlenbeck & Goudsmit が 1925 年にスピンを考えた話が書かれていて、講義でもふれた。そして、それ以前に実験的に発見されていたと説明したのが理解されていないようで残念。

20s2034: 講義で出てきた不斉磁場とはどのようなものか。 **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? // 講義でもその場で説明したのだが、理解されていなくて残念。

20s2035: 電子以外にもスピンはありますか? **M:** 本気か? // 講義でもフェルミ粒子やボーズ粒子の例示をしたのだが、そこで電子以外の粒子も取り上げたのだが..... 化学でポピュラーな NMR とは何だと思っているのだろうか?

20s2036: 電子のスピンによる差はシュレーディンガー方程式で補正して計算することは不可能なのか。 **M:** 質問文の意味が分りにくい。// スピンによる差とは何か? シュレーディンガー方程式で補正するとは、例えばどんな補正計算をすることか?

20s2040: 中性原子のイオン化エネルギーの実験値とクーブマンズの近似による計算値のずれが原子番号 40 あたりで大きくなるが我々が普段考える範囲の原子番号ではずれが小さくこの近似を用いれると述べていましたがもし原子番号 40 あたりの原子を考える場合どの近似を用いればいいのですか。相対論効果の影響を受けない新しい近似を考える必要がありますか。 **M:** え? 議論のどっかかりの近似としては、クーブマンズの近似でダメなんですか? では、直接ハートリー-フォック計算では? // ある近似を用いることができるかどうかの客観的な基準があるのか?

20s2041: 今回考えているスピンとは特定の向きを持つわけではないとのことだったが、磁場がある場合、電子らのスピンは磁場の向きに対してある決まった角度を持ちはしないのか。 **M:** 任意に決めた方向に対して up/down の状態を持つことが、演算子 \hat{S}_z の固有値として示される。

20s2042: HF 法で電子相関エネルギーを考慮した値を得る方法の 1 つとしてハートリーフォックオービタルを 0 次の波動関数として摂動論で解くというのがあったのですが、なぜ 0 次で相関エネルギーを求めることができるのでしょうか。 **M:** 摂動論を全く理解されていないようで、残念。復習が必要と思われる。// 0 次の摂動、0 次の波動関数とは何のことか?

20s2043: パウリの排他原理において、どんな原子の交換であるとしても、この原理は成立するのか? **M:** 意味不明。“原子の交換”とは、どういうことか? // 自分で判断できないのはなぜか? // パウリの排他原理は、どんな物質に対する原理なのか?

20s2044: スピン量子数が 2 つと考えたのは、実験結果で、2 点にわかれたからですか? **M:** “スピン量子数が 2 つ”とはどういうことか? // 原子の中にある電子の状態を表す量子数はいくつあるのか?

20s2045: ある電子に磁場をかけてスピンを測定する実験で、例えば x 方向の磁場をかけて x 方向のスピンを測定した後、y 方向の磁場をかけて y 方向のスピンを測定すると、x 方向のスピンの向きに影響が出ることはありますか。 **M:** スピン演算子 \hat{S}_x と \hat{S}_y との交換関係は? // y 成分が確定したスピンの x 成分の大きさは?

20s2046: 8・5 節に書かれている手順を踏むことで電子が自転していることが分かるんですか。 **M:** 激しく勘違いの予感。一体全体 8.5 節のどこからそんな発想になったのか、詳しく説明してください。// 20s2047 も参照

20s2047: 電子に対する第 4 の自由度であるスピンは実際に回転しているわけではなく、ただ名前をつけただけ、とありましたが、それならば第 4 の変数の実態は一体どのようなものになるのでしょうか **M:** 古典力学的に対応するものは無い。日常体験から想像されるようなものではない。// スピノル

20s2048: 電子に目印をつけるにはどんな方法がありますか?それとも無理ですか? **M:** 本気か? // もし仮に目印をつけることができるなら、ミクロな同種粒子を区別できてしまうことになる。これまで築き上げられてきた量子力学やそれに基づいた多くの知識が正しいことが、日々体験される量子力学により説明される現象が成り立っているという事実により、常に検証され続け・確認され続けているわけだが、ミクロ粒子が区別できるならばそれら全てが否定されてしまうことになる。それほど重大な事項だということを認識していないのか?? // 逆に言えば、ミクロな同種粒子は区別できないということは、それだけ膨大な証拠が積み上げられ検証され続けているということ。科学という知識体系の緻密さについて認識を改めよ。

20s2049: 1 つの電子軌道にはスピン量子数 +1/2 の電子と -1/2 の電子の二つが存在できると無機化学で聞いたが、空の軌道に 1 つの電子が入るとき、どちらの電子が先に入るか?それとも決まりは無いか? **M:** 無機化学で決まりを聞いたか? // 20s2041 参照

20s2050: 不斉磁場中の Ag 原子の挙動の実験における上側に到達する電子と下側に到達する電子は、なにが理由で到達する場所が変わるのですか? **M:** 電子の進路が異なるのは、そういう風に力を受けたからにきまつてるでしょ。力学の初歩を復習する必要があるのでは? // 講義ではポテンシャルエネルギーの勾配としての力、スピン磁気モーメントが不斉磁場中で受ける力の話をした

のだが、全く理解されていなくて残念。

20s2051: 調べてみると、相対論効果により金は金色に見え、銀は効果がそれほど強くないために一般的な金属光沢を持つ無色（銀色）を示すとあり、銀よりも原子番号が小さい銅も金属光沢を持つ赤色を示すのは相対論効果によらないものだと考えたのだが、そうすると銀と銅の違いは何か？また、考えが間違いで、銅の色が相対論効果によるものであるなら、効果が強く出る銅と出ない銀の違いは何か？ **M:** 本気か？ 有色・無色が相対論効果の有無と直結し、そのみに依存するのか？ では有機色素（例えばメチルオレンジ）は、相対論効果により有色なのだろうか？

20s2052: パウリの排他原理で軌道に2つの電子しか入りませんが、波動関数が重なるところで3つ以上の電子が見つかることはないのでしょうか **M:** 正気か？ // 何の波動関数の話をしているのか？ // 複数の波動関数が、同一の地点で有限の値を持つことと、その位置で電子が見つかる確率や電子の個数は、どんな関係をしているのか??