

17s2025: ゼロポイントエネルギーは実在しないとおっしゃっていましたが宇宙空間でも存在しないということでしょうか。 M: 勘違いの予感. そんなこと言ってませんが? // ゼロポイントエネルギーを取り出して使うことはできない (なぜでしょう?) と言った.

18s2003: エネルギーの最小値がゼロではないことと、2つの原子間の距離がゼロにならないという事実の2つには、何か関係性があるのでしょうか? M: 自分で判断できないのはなぜか? // “2つの原子間の距離がゼロにならないという事実”は、量子力学的な現象か? 調和振動子において、二つの質点間の距離がゼロになることはあるか?

18s2006: 零点エネルギーのときの振動は、主にどんな具体例があるのでしょうか。 M: 自分で考えて分からないのはなぜか? // 量子力学的な調和振動子に、具体例の制限があったか?

18s2010: 3原子分子を考える時に水分子の様な折線型の分子の結合に使われてない軌道は調和振動子を考える上で関わるのか M: 何の話か? どういう論理展開か? これまで、軌道の話は一切出てきていないが? // そもそも二原子分子の原子間で結合を形成する原理については、何の説明もしていないし、調和振動子でも、結合がフックの法則に従うことを仮定しているだけで、結合の原因についての言及は無い。// “モデル”の意味を理解していないのか?

18s2014: 最後のグラフはゼロを原点にしないのですか M: 意味不明, 何を聞きたいのか?

18s2045: 一連の調和振動子におけるフックの法則のばね定数は、非フック弾性体には適用できず、実際には最終的に表現したいのは複数原子系の状態だろうから、フックの法則に理想的に従わない場合が殆どであろうと推測できるが、その場合与えられるべき関数は k が定数でない場合 (すなわち、 k が位置の関数など) と考えるべきなのか、そもそもフックの法則に全く従うことがないのか。 M: なんだかなあ、調和振動子という“モデル”とか、“変位が小さいときに近似できる”とかの意味を全く理解されていないようで残念.

18s2046: 基底状態のエネルギーが $1/2h(\text{バー}) \omega$ ということがわかったが式によれば温度依存性はないが絶対零度の場合でも分子は静止しているが同じだけのエネルギーは所有しているということになるのか M: 教科書や参考書のどこをどう読めばそういう理解になるのか謎。// 不確定性原理なども、ちっとも身につけているようには見受けられないで、残念.

19s2003: テイラー展開において、 $V(10)$ が0になるように選ばなくても、不便以外の問題がなく論を進めることは可能か。 M: 自分で論を進めてみれば分かるのでは?

19s2004: ゼロ点エネルギーは0ではないということは粒子はゼロ点エネルギーでも振動しているということですか? M: 自分で判断できないのはなぜか? // 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なのだから、論理的に考えればいいだけでは?

19s2005: 調和振動子の波動関数にエルミート多項式が含まれるのはなぜですか M: シュレーディンガー方程式を解く過程を検討すれば分かるのでは?

19s2011: 二原子分子間の距離が無遠大であるとき、分子の回転はどのようになるのか M: 自分で考えて分からないのはなぜか? // 順を追って論理的に考えればいいだけでは? // そんな系について議論する意味があるのか?

19s2012: 図 5.8 において確率密度の極大値が三つ以上のとき端の方が値が大きく、真ん中の方が値が小さくなるのはなぜですか。 M: 波動関数がそうなっているのだから、しょうがないのでは? // または、対応原理 を考えてみればいかがか?

19s2013: エネルギーの固有値が $h \nu (v+1/2)$ と表せるとありますが、これは量子数 v の値によって表される物質の状態が変わるとき、吸収波長も変化することを表しているのですか。 M: 意味

不明, 何を聞きたいのか全く分からない。// エネルギー固有値と、吸収波長との関係は?

19s2017: ベンゼンのような環状の系において換算質量やエネルギーなどどのように考えればよいですか? M: 環状だからと言っていちいち特別なことが必要だとすれば、それって科学の持つべき普遍性としてどうだろうか? // 対称性を活用した射影演算子法とか、あるいは GF 行列法 と言ってみるテスト.

19s2018: 調和振動子のエネルギーが0になるのは計算上なる他、調和振動子が結合がとれない分子を前提にしていることも理由になると思ったのですがどうなのでしょう? M: 意味不明. “調和振動子のエネルギーが0になる”とは、一体全体何のことを言っているのか? // ちなみに結合がとれないとなぜエネルギーがゼロになるのか?

19s2022: フックの法則が満たせなくなる場合とは、バネがちぎれる以外にどのようなものがあるのでしょうか。 M: 教科書 pp.176-177 や参考書をよく読んで考えればいいのでは?

19s2024+: p.181 の調和振動子モデルからのずれを系統的にモデルの補正や拡張をすれば、このずれを説明できるとあるが、説明とは具体的にずれの何について述べているのか。または、説明とはずれが生じているか否かということか。述べているとすれば、ずれの大きさ以外にも原因などのことも示しているのだろうか。 M: (+) 科学でいう“説明”というコトバの使い方に慣れていない予感。// ある物理的事象がある理論によって“説明”または“記述”されるとは、その理論に基づく結果や論理的帰結が当該事象とよく一致していることを意味している。例えば粒子の位置や速度、振動現象の振動数などの計算値と実測値とがよく一致している。// しかしそれでは、例えば質問の文面について言えば、調和振動子モデルからのずれの原因については何も述べていない。それについては別途考えることになる。つまりズレている事実については理論的に数式で記述できるが、ズレている原因については記述していない。そういう意味.

19s2026: ゼロ点エネルギーはポテンシャルエネルギーの値をどう決めるかで変わるということですか。 M: 自分で判断できないのはなぜか? // ポテンシャルの最小値をゼロとするのが最も簡単だと思うのだが、わざわざ難しくすることはしないのでは?

19s2043: 調和振動子モデルから導かれる物理量は実験値と差があるだろうが、どのようにして補正するのか M: 本気か? // そもそも何のために補正するのか?

19s2045: 授業ではテイラー展開を用いていましたが、マクローリン展開など他のものでもできるのでしょうか。 M: 自分でやってみればいいのでは?

19s2049: 調和振動子のエネルギー準位と剛体回転子のエネルギー準位は互いに独立に選ぶことができるのか。 M: 分子内振動と回転は、独立に起こるのか? // 教科書 13 章や参考書をよく読めばいいのでは? // 断熱近似と言ってみるテスト

19s2050: 授業では二原子分子の調和振動子モデルで考えましたが、多原子分子のときも同様に考えると換算質量はどのように考えることができるのですか。 M: 19s2017 参照

19s2051: スペクトル測定において温度や湿度は関係してきますか? M: 自分で考えて分からないのはなぜか? // 実試料が温度や湿度の影響を受けて変性するかどうかや、ボルツマン分布にも影響するでしょう.

19s2052: オーロラの音が生じるのは逆転層による物理現象だという説の根拠として、音の生じた高さ(標高)と逆転層が生じる高さ(標高)がおおよそ一致したからだと言われているが、これは根拠として成り立っているのだろうか? また、他の証明方法はないのだろうか? M: 自分で考えて分からないのはなぜか? // 高さがおおよそ一致することに矛盾はないのでは? // 他の証明方法については、

20s2001: 二原子分子の振動と、ばねの運動が同じだとされていましたがその時の電子はどのような動きをするのでしょうか？ **M:** モデルと現実とを混同しているのでは？ // それとも 19s2049 も参照する話？

20s2002: エネルギーがゼロ点エネルギーを下回ることはありえないのか **M:** 本気か？ // 自分で判断できないのはなぜか？ // 論理的に考えれば自明では？

20s2003: 箱の中の粒子では、量子数が大きくなると確率密度が一様になり、粒子が古典的に振る舞うようになりますが、調和振動子の確率密度も、量子数が大きくなると一様になり、次第に古典的に振る舞うようになるのですか？ **M:** 自分で考えて分からないのはなぜか？ // 量子系と古典系との対応はどうなっているのか？ // 古典的な振動子の確率密度分布はどうなるだろうか？

20s2004: 量子力学的調和振動子のエネルギー準位が示すのは、振動数が離散的に変動するということですか。 **M:** 全くの誤解の予感 // 調和振動子の振動数が何によって決まるのか、復習する必要があるのでは？

20s2005: フックの法則に従わない振動の仕方をする 2 原子分子はないのですか。 **M:** 本気か？ 国語力不足か？ // 教科書 5.3 節や参考書をよく読めば分かるのでは？

20s2006: 式 (5.23) の説明で、 dv/dl は基本的には 2 つの原子核の間に働く力と書いてありましたが、例外だとなにになるのですか？ **M:** 当該箇所の原文は “ dV/dl is essentially the force acting between the two nuclei” です。文脈を考えれば、ここでは例外が存在することを主張していません。教科書のような和訳では質問のようにニュアンスを誤って受け取る可能性があるのですね。英単語と日本語の単語は一対一対応ではありませんので、essentially の意味をとある辞書で見ると「本質的に、基本的に、原則的に、本来、元来」とあります。“本質的に”の方が適切な気がします。

20s2007: 質量中心座標を導入するのは何故か **M:** 本気か？ 自分で考えて分からないのはなぜか？ 導入の過程をよく検討すればいいのでは？ // 物理学の基礎を復習する必要があるのでは？

20s2008: 分子が一つの振動エネルギー準位から他の振動エネルギー準位に遷移するとき、電子は基底状態のままですか？それとも、振動のエネルギー準位も電子のエネルギー準位もどちらも遷移しますか？ **M:** 19s2049 参照

20s2009: 図 5・7 はなぜ横軸がないのですか？横軸が必要ないということですか？ **M:** 著者に聞けばいいのでは？ :-p

20s2011: 調和振動子の速度がゼロにおいてエネルギーがなぜ、ゼロにならないんですか？ **M:** 意味不明、著しく誤解の予感 // “調和振動子の速度がゼロ”とは、何のことか？

20s2012: 調和振動子と剛体回転子のエネルギーが等間隔なのは関係があるのでしょうか？ **M:** 自分で考えて分からないのはなぜか？ // 19s2049 参照

20s2013: 図 5・7 を正しくないと言っていましたけどどの点が正しくないのかよくわからなかったので教えてください。 **M:** 答えを暗記するのは、ここで要求されている勉強とは違う。// 自分で論理的に考えて丁寧に作図してみればいいのでは？

20s2015: 2 章の古典的波動方程式での量子数 n は例えば $n = 2$ のときは腹が 2 つ、節 1 つの波でした。3 章の p.90 のブタジエンのところでの量子数 n は恐らく電子殻のことだと思うのですが、今日登場した量子数 v は一体何ですか？ ($v=0,1,2,\dots$ なので、方位量子数かと思いましたが違う気がします) **M:** 国語力不足な予感。// ブタジエンの n が電子殻を意味すると考えた根拠は何か？

20s2016: (5.26) の解き方が記載されている参考書の例を教えてください。 **M:** 質問が記載されていない // 自分で探す気はないのでしょうか？ // 講義サポート web ページ参照

20s2017: 二原子分子の振動を調和振動子として近似したとき、二原子分子にとってバネのはたらきを

するものは何ですか？ **M:** 二原子分子の原子同士を結び付けているモノは何か？

20s2018: エネルギー固有値を求める際に v に代入する量子数とは、主量子数に該当するのですか？

M: 本気か？ 自分で判断できないのはなぜか？ // “主量子数”の定義は？

20s2019: 式を見ればエネルギー固有値の差が等間隔なことはわかるのですがなぜそうなるのでしょうか？ **M:** 講義では説明を省略したシュレーディンガー方程式を解く過程を検討すれば分かるのでは？

20s2020: 式 5・24 の高次の項を考慮することで調和振動子モデルが修正または拡張できるのはなぜですか？ **M:** 本気か？ それとも国語力不足か？ // “調和振動子モデルを修正する”とは、具体的に何をどうすることか？

20s2021: ゼロ点エネルギーが完全な 0 ではなく底上げしてポテンシャルエネルギーの最低値よりも高い位置をとるのは、不確定性原理の位置座標と運動量の一方を正確に測ろうとするともう一方が不確定になるというこの原理のためであり、位置座標および運動量にある程度の幅が生まれるためですか？ **M:** 自分で判断できないのはなぜか？

20s2022: 調和振動子とモースポテンシャルの違いはなんですか？ **M:** 本気か？ // 式もグラフも全く異なると思うのだが？

20s2023: 式 5.23 の第 1 項を 0 になるようにするのは式を簡潔にするためだけですか？ **M:** 19s2026 参照

20s2024: 式 5・27、28 の部分は前の講義でも習った通りで理解ができるのですが急に出てきた式 5・29 は式 5・26 の解を求めるのと同じように教科書の範疇を超えた計算なのでしょうか？ **M:** 物理学の基礎を復習する必要があるのでは？ // 単振動における角振動数と振動数 (または周波数) との関係は？

20s2025: エネルギーが 0 の値をとると不確定性原理に反してしまうとあるが、図 5.7 または板書の図における $v=0$ より下の部分の値 (エネルギー 0 を除く) をとることはあるのか。またそれはどのような場合か。 **M:** “エネルギーの量子化”の意味を理解されていないようで残念

20s2026: 二原子分子に熱を加えたら途切れるのだろうか。どうイメージすべきか。 **M:** 本気か？ // 熱とは何か？

20s2027: 零点エネルギーは不確定性原理から運動量の不確定性によるものですか？ **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んで考えればいいのでは？

20s2028: 零点エネルギーという概念から永久機関を作り上げることは理論的に可能ですか **M:** 正気か？ // 熱力学第一法則を破ることが可能だと考えているのか？ // 零点エネルギーの利用方法について、講義でも説明したのだが、全く理解されていないようで残念

20s2029: 調和振動子の近似は分子は互いにばねで繋がっているという事ですか。 **M:** 本気か？ // そもそも調和振動子とは何なのか？ なにを調和振動子としてモデル化したのか？ 全く理解されていないようで残念

20s2030: 式 5.26 を解くために高度な参考書が必要と聞きましたが、先生が挙げている参考書の中に解き方が書いてあるものはありますか？ **M:** 20s2016 参照

20s2031: 二原子分子での結合エネルギーが最大になるのは調和振動子が限界にある時ですか。 **M:** 意味不明 // 二原子分子での結合エネルギーが最大になるとはどういうことか？ 結合エネルギーが状況によって変化するということか？ // また調和振動子が限界にあるとは、一体どういうことか?? // 二原子分子と調和振動子との関係も理解されていないようで残念

20s2032: 調和振動子のエネルギーが離散的であるということは、電子軌道の 1s 軌道と 2s 軌道のエネ

ルギーが離散的であるということと関係はありますか。 **M:** それぞれの系は何か? それぞれの系は、互いにどういう関係にあるか? // 束縛系のエネルギーが量子化されているという点では共通項があるとも言えるかもしれないが、そうするとほとんど全ての系が互いに関係があることになるが、それはあなたの望むところか?

20s2033: 近似をすることは賛否が分かれることは分かりますが近似をしないことを否定する理由はあるのですか? **M:** 自分で判断できないのはなぜか? // 好きにすればいいのでは? 近似する自由があるのなら、しない自由もあってしかるべきでは?

20s2034: エネルギー固有値が 0 にならなくてもエネルギーが 0 になることはあるのか。 **M:** 本気か? // エネルギー固有値と (系の) エネルギーとの違いは何か?

20s2035: 調和振動子は振幅の小さな振動に対してはよい近似になるとありますが、振幅が大きい場合、近似するのにどのような方法がありますか? **M:** 教科書 5.3 節や参考書をよく読めばいいのでは?

20s2036: 例題でモースポテンシャルが説明されていますが、このポテンシャルから何が求められるのですか。 **M:** 20s2035 参照

20s2037: 調和振動子について調べているとその例にフォノン (格子振動の基準振動) という音波? に関するものをみつけたのですが、私のある趣味の悩みから衝撃を軽くする部品ができないかなと思ってたんですけどこれを利用して衝撃の固有周期を伸ばして緩衝に繋がる素材を開発することは可能ですか? **M:** 何の話なのか、全く分からないので、何とも言えません。// フォノンは格子振動 (音, phone) の量子化された粒子 // 対抗する衝撃・波を与えて元の衝撃を緩和することは、普通に行われていることでは? 柔道の受け身とか、ノイズキャンセリング搭載のイヤホンやヘッドホンなど

20s2038: 図 5.7 が間違っている意味が理解できませんでした。 **M:** 質問が記載されていない // 20s2013 参照

20s2039: 縮退した波動関数とはどういう状態ですか? **M:** 縮退とは何か、コトバの意味が分からなければ、辞書や専門書を見ればいいのでは?

20s2040: 調和ポテンシャルエネルギーが極小となる点において二つの原子核の間に働く力が 0 となる時、物質の状態に注目すると気体液体固体のどの状態に当てはまりますか。またそれは物質によって異なるのでしょうか。 **M:** 本気か? // 分子内の振動運動の話と、バルクの物質の状態とが、どう関係しているというのか?

20s2041: ゼロ点エネルギーの値は正確に表せるのでしょうか。 **M:** 本気か? // ゼロ点エネルギーとは何か? ゼロ点エネルギーの値を式で表すとどうなるか?

20s2042: 零点エネルギーは、不確定原理により粒子は静止せずに常に振動しているため生じているのを見たのですが、 $v=0$ で振動している量子がないのになぜエネルギーが発生するのでしょうか。 **M:** 何かの勘違いでは? // “ $v=0$ で振動している量子がない” とはどういうことか? ど

こにそんな記述があったか?

20s2043: 二原子分子を考える時に、伸縮振動と回転を同時に考えることはできないのはなぜなのですか? **M:** なぜできないと決めつけるのか? 自分で考えてみればいいのでは? // 19s2049 参照

20s2044: テイラー展開を利用すれば、フックの法則以外にも物理の法則を近似して求めることが出来ますか? **M:** 自分で計算してみれば分かるのでは?

20s2045: バネの場合、力の定数 k の大きさはバネの硬軟の目安になりますが、二原子分子のモデルでは k の大きさがどんな事の目安になるのですか。 **M:** 自分で考えて分からないのはなぜか? // 結合の硬軟の目安なのでは?

20s2046: 零点エネルギーは位置エネルギーにも運動エネルギーにも分類されないのですか? **M:** なんだかなあ。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と零点エネルギーの三者の和なのか? 図 5.7 の意味を理解していない? // 物理学の基礎を復習する必要があるのでは?

20s2047: バネのほかにも、ゴムも調和振動子になりうるのではと調べてみたのですが、ゴムは弾性が応力に依存し、温度や荷重速度に敏感だから非フック弾性と考えられているとありました。もしゴムの材質から温度や荷重速度を徹底的に管理できたとしたらゴムも調和振動子になれるでしょうか? **M:** 20s2001 のコメント参照

20s2048: p.179 図 5・7 が間違いなのは、放物線の両側に染み出す波動関数 (p.184 図 5・8) が考慮されておらず、古典的振動の範囲でプロットされているからですか? **M:** では、図 5.7 をどう直せばいいということか?

20s2049: 二重結合ならば、2 原子間をバネ 2 つが結んでいるとみることができると思うのですが、それぞれ σ 結合と π 結合とすると性質の違うバネ 2 つがくっついていることになるので、その場合はどのように考えるのとよいのですか。 **M:** 物理学の基礎を復習する必要があるのでは? // 二つのバネを並列につないだ時と直列につないだ時は、それぞれどう考えればよいか (どういうバネ定数のバネと考えればよいか)?

20s2050: 古典的な最低エネルギーと、量子力学的な最低エネルギーが異なるのはなぜですか? **M:** 古典系と量子系との違いは何か?

20s2051: 「このような大きな変位は実際にはめったに実現しないような大きなポテンシャルエネルギーをもたらす」とあるが、実現するときにはどんな場合なのか? **M:** 自分で考えて分からないのはなぜか? // (ポテンシャルエネルギーも含めて) 系のエネルギーが大きい時でしょ?

20s2052: $V(l)$ をテイラー展開することでそれぞれの位置でのポテンシャルエネルギーを計算しているということですか? **M:** 自分で判断できないのはなぜか? // ポテンシャルエネルギーを多項式の級数和で表現することと、エネルギーの値を計算することとに、何の関係があるというのか? テイラー展開してもしなくても、それぞれの位置でのポテンシャルエネルギーを計算することができるのでは?