

S.N.アルテハ

物理学の根拠（批判的な眼差し）

量子力学



LBC 22.314 22.3shch

セルゲイ・ニコラエヴィッチ・アルテハ『物理学の根拠 (批判的な眼差し) : 量子力学』, モスクワ, LENAND, 2015, 全 208 頁 (Relata Refero)

本書は 2 部からなり, 量子力学および現代電磁気現象理論に関する体系的分析をテーマとしている。理論物理学における数学の適用のいくつかの誤りが検討される。この第 1 部では量子力学の基礎概念, 道具立て, 方法および適用が詳しく吟味され, それらが根拠を欠いていること, そして量子力学の最も広く普及しているバージョンであるコペンハーゲン解釈がしばしば内部矛盾をきたしていることが証明される。本書にはこの理論の基礎に据えられている諸実験についての批判的分析が含まれている。これらすべてのことは, 量子力学の一般に受け入れられているバージョンは仮設構造物であり, それゆえ, 矛盾のない新たなマイクロ世界の理論の創出が求められていることを示している。本書ではマイクロ世界に適用し得るいくつかの代替的なアイデアも検討されている。

本書は大学生, 大学院生, 教師, 科学技術者, そして物理学の根拠について関心を持つすべての人々にとって有益なものとなろう。

ISBN 978-5-9710-0901-6

© LENAND, 2014

日本語版について

本書は"Артеха Сергей Николаевич, Основания физики (критический взгляд): Квантовая механика. М.: ЛЕНАНД, 2015. – 208 с. (Relata Refero)"のロシア語原文からの全訳である。

原著書は日本のロシア語書籍専門店および http://www.antidogma.ru/I_Artekha_kvant.pdf (PDF 版) で入手することができる。

著者:セルゲイ・ニコラエヴィッチ・アルテハ(Сергей Николаевич Артеха, Sergey Nikolaevich Arteha), 数理物理学準博士, ロシア科学アカデミー宇宙科学研究所

著者の関心領域: プラズマ, 流体動力学, 大気電気学, 古典物理学, 物理学基礎論, 数論

著者の Web サイト: http://www.antidogma.ru/index_ru.html (ロシア語)

http://www.antidogma.ru/index_en.html (英語)

訳者: 吉田 正友 (サイト「物理の旅の道すがら」<http://naturalscience.world.coocan.jp/>)

日本語訳公開: 2016 年 3 月

* 訳文中の角括弧 [] 内は訳注である (文献指示を除く)。

S.N.アルテハ『物理学の根拠 (批判的な眼差し) : 相対性理論の基礎に対する批判』(2018 年) および『物理学の根拠 (批判的な眼差し) : 電気力学』(2015 年) を訳者のサイトで入手することができる。

目 次

まえがき	4
序 論	8
第1章 量子力学の基礎概念	10
第2章 波動関数	14
第3章 エネルギー, 運動量, 力	20
第4章 シュレーディンガー方程式	24
第5章 角運動量	31
第6章 中心対称場中における運動	35
第7章 量子力学の道具立て	51
第8章 スピン	58
第9章 摂動論	64
第10章 準古典論, 極限移行	69
第11章 磁場中における運動	73
第12章 原子核	76
第13章 衝突理論, 素粒子, 光子	82
第14章 量子力学の適用	90
結 論	97
付 論: 類縁関係にある理論および代替理論に関する簡単なコメント	98
あとがき	102
文 献	105

まえがき

人々は普通、ただ一人真理に従うより、群衆にまぎれて間違いを犯すほうが良いと考える。

(C. A. エルヴェシウス)

虚偽——不正な目的で巧みに述べられる、意図的な虚偽——ではなく、神話——非現実的だが人を納得させる力を持つ、根強い神話——が真理に対する強大な敵となっていることがきわめてしばしばある。

(J. F. ケネディ)

生徒時代や大学生の頃、私は現実について単純素朴でロマンチックなイメージを抱いていて、こんなふうに思っていた。「認識のプロセス、——それは、この上なく魅力的で限りなく多様な真理探究のプロセスであり、人々は互いに助け合いながら、自覚的に、そして誠実にこの旅を歩んでいるのだ」、「科学の進歩（これは何と美しい、人に希望を与える響きを持った言葉だろうか）、——我々はこれによって人類と自然の調和に満ちた相互関係という問題をすべて解決することができるに違いない」と。しかしその後、多くの場合、科学界において語られている話題は真理の探究ではなく、資金やマスメディア、人々に影響力を行使するための各種手段へのアクセス権、また「説教台から厳かにのたまう権利」をめぐる学派間の陳腐な競争（ありふれた派閥ビジネス）であることに、次第に気づき始めた。しかも、この闘争における指導原理は、「目的のためには手段を選ばず」なのである。ペレストロイカ時代の頃から、多くのサラリーマン研究者たちが「重要なのは、うまく自分を売り込み、自分自身と自分の労働を有利なやり方で提供することだ」、そして「重要な研究とは、カネが稼げる研究だ」と本気で語るようになった。

このプロセスは、どこの国でも科学が「儲かる職業」になり、天分に従った人々だけでなく、自信過剰な山師たちも科学界に入り込み始めた 20 世紀初頭から徐々に準備され、生じたものだと私は考えている。真理を希求する科学者の数は減少し始め、高給取りのサラリーマン研究者が途方もなく増加した。すべての自立的な科学者、研究所、グループ、団体、研究雑誌、研究組織は「我々に味方せぬ者は科学の敵だ」の原理にもとづいて自己組織化された集団によって屈服させられた。そのような（誇張抜きでの）政治闘争の結果、カネさえ貰えるなら「黒を白と言いくるめる」ことも辞さない権力者層が科学界に侵入してきた。科学ではなく、文学もどき——原理的にも検証不可能な空想非科学小説——の創作に従事する、沢山の空想家たちが出現した。なぜ彼らは文学の分野で「立候補」しないのか？ 多分、自分の才能に自信が持てないからだろう。それに文学の分野では、国家がお人よしのスポンサーになってくれないからだ。

人類は現実の諸問題、また検証可能な現実的科学から人為的に引き離され、繁文縟礼や錯綜した科学もどきの方向に連れていかれているのではないか、という印象を受ける。筆者自身が科学界の専従職員による専横に初めて出会ったのは、科学雑誌において特殊および一般相対性理論（これらこそはあらゆる疑似科学の基礎「理論」である。Arteha, [1] ,

[6], <http://www.antidogma.ru> を参照されたい) の論理的矛盾について議論を行なおうと試みた時のことであった。もし科学界に議論の場が存在しないのなら、科学は、信仰の公理については議論をしないことになっている宗教と、いったいどこが異なるのか？ しかし、上記の研究を発表したおかげで、権威者たちの顔色をうかがうことなく、科学の基礎に関するあらゆる複雑な問題について本質に則して議論をする用意のある、誠実な研究者たちが科学界には数多く存在し、しかもそのような人々が過半数を占めていることを知ることができたのは、実に素晴らしい経験であった。ただし、彼らは組織化されておらず、また、その多くが官僚的な迫害、あるいはそれに引き続いて生じるであろう自分の研究発表の可能性に関わる問題を恐れ、自分の意見をおおっぴらに表明するのを避けているだけなのだ。

現代科学の旧弊性の根源は、あらゆる「鋭い意見の相違」を回避し、あらゆる矛盾を隠蔽し、本質に則した議論を許すまいとしている教育システムと教科書に潜んでいる。私はファインマンに対し、彼がユニークなアプローチを取っていることに、心から感謝したいと思っている。他の理論家たちの「繁文縟礼」(数学の練習問題)とは違って、ファインマンは現象の物理(現象についての考え方)をより理解しやすいものにしようと試みているからである。他の理論家たちは、ファインマンが理論に含まれている数多くの疑わしい側面を暴露している(また、彼らが支配者のように高慢な態度で振る舞うのを邪魔している)という理由で、彼をどことなく嫌っている。この点に関しては、「**数学者は頭に浮かんだことを何でも言えるが、物理学者は常識** [=健全な判断力] **のせめてひとかけらでも保ち続けなければならない**」という J.W. ギブズの言葉に従うのがより良い態度であると言えよう。ところで、一般論を述べると、理論に耽溺するのではなく、随時一步後戻りして、(その際、既に構築されている建物全体を破壊することなく)より正しい選択を行なうことを可能とする、一般物理学のアプローチ(あるいは、より正確には歴史的アプローチ)を取るのが最も生産的なやり方であると筆者は考えている。自分の間違いを認めることには、何も恐るべきことはないのは明らかだからだ。いやむしろ、逆に、これこそが勇気と職業的良心の証しなのだ！

世界が現実存在するのであって、現実のあれこれの個別的側面の**記述モデル**は単純化されたものであるということを、常に忘れてはならない。それゆえ、何らかの個別的理論(モデル)を何にでも効く万能薬と宣言しようとしている(事実上、モデルと宇宙とを同一視し、何がなんでも解の単一性と厳密性を「証明」して、その解を原理の地位に祭り上げようとしている)一部の「科学者」たちのむなしい努力は、奇妙に見える。彼らは、せめて一生に一度でいいから、夜、星空を眺め、我々は認識の旅の終点ではなく、出発点に立っているのだということを感じ取る必要がある(そして、まるで5歳の子供が親に対してそうするように、自分はもう何でも知っているのだなどと自慢するのをやめるべきである)。

本書の叙述における基本構想の1つは、電気力学および量子力学の分野に存在する**原理的な諸問題**に照明を当てて、その問題点を明示的な形で洗い出すということである。言うまでもなく、そもそも現実とは何の関係も持たず、長い間科学の発展にブレーキをかけてきた相対性理論と比べれば、これらの理論は、あれこれの程度まで有効に機能している理論である。本書のこの第1部で検討される量子論は、マイクロ世界の確率論的記述を与えている。そして、第2部で分析される電気力学は、それよりさらに精密な科学である。しか

し、それらの根拠は明らかに不十分である。それゆえ、前進を遂げるためには、我々が現実にはいったいどこに位置しているのかを見定め、現在の状況を明確に認識する必要がある。もう、「ごみをカーペットの下に掃き入れる[=問題を糊塗する]」のはやめるべきである。物理学者にとっては、更なる発展のための針路を見極めるためには、未解決の基本問題(計算問題だけでなく!)について知ることが有益である。もし我々の世代が困難を克服することができなかったとしても、我々に続く諸世代がそれをやり遂げてくれるだろう(それに、扉の前でぐずぐずと長居をして、他の人々が進もうとしている認識の旅の道をふさいではならない)。ただし、これからの世代による克服作業は、もはや「ゼロから」ではなく、そしてまた人目を避けた地下活動のような形ではなく、公然と行なわれるようになるだろう。何でも知っているようなふりをして、ヒキガエルのように偉ぶって体を膨らませるのは滑稽だし、つまらないことだ。人類は現実認識というこの上なく魅力的な旅の終点ではなく、まさに出発点に立っているのだから、この最高に面白くて創造的な進歩の旅に、若者たちを招待しようではないか。

本書ではいくつかの目標が設定されている。第1の目標として、現在そうあるものとしての量子力学は電気力学の諸問題から誕生したものであり、それらの諸問題を解決したと言われていることにかんがみて、本書のこの第1部では、現代量子力学のいくつかの見解(理論的、哲学のおよび数学的見解)に対する批判が提示され、量子力学が難点の存在を解決していないだけでなく、さらに多数の内部問題を付け加えてしまったことが示される。第2の目標は、現代電気力学の状況についての十分詳細な批判的論評を加えることである。これは次の第2部で行なわれることになる。なお、そこでは、電気力学自体(すなわちその道具立ておよび基本的な理論的基盤)の内部矛盾、不正確さおよび恣意性に対する批判、また一般に承認されている基礎的な電気力学実験(使用されている装置等々)についての既存の解釈に対する批判が提示されるとともに、現代電気力学の見方とは矛盾するいくつかの(一般には承認されていない)実験についての検討がなされる。第1部と第2部の各付論には、それほど広く知られていない代替理論についての簡単なコメントが含まれている。筆者はマイクロ世界と電気現象に関する自分自身の理論については述べていない。そのような研究は査読付き学術雑誌で発表されるべきだと考えているからである。ただし、いくつかの建設的なアイデアが本書の各部の様々な箇所でコメントの形で述べられている。

本書は物理学者、とりわけ当該分野の専門家を読者として想定しており、最も有名な(最良の)教科書に対する批判的コメントを、その章節番号を示しながら順序立てて述べるという形で構成されている。ただし、それは具体的な個々の教科書に対するクレームではない(それはただ単に、叙述の論理上、何らかの文献に依拠する必要があるという理由によるものである)。もし他の教科書や本に依拠したとしても、同じ要素(考え方、手法、方法)を読み取ることができるはずである。批判の対象とされている教科書からいくつかの段落や数式、図版等々を詳しく引用することは、本の大きさという点でも出版の可能性という点でも、本書をあまりにも大部なものとしてしまうため、残念ながらそれはできなかったことをお詫びしたい。それゆえ、ほとんどの場合、検討されている問題の本質を理解することが可能とは思いますが、一部の場については、検討されている教科書を手元に置いて読み進めることが望ましい(これらの教科書は容易に入手することができる)。筆者が

自らに与えた目標は、存在するすべての問題点を「細かく噛み砕いて」説明することではなく、もっぱら、物理学の当該領域が抱える不一致点や問題点、矛盾点に研究者の注意を喚起するということであった（引用部分を含め、いくつかの重要語句は筆者によって太字で強調されたり、感嘆符が付けられたりしている）。そのため、コメントのかなりの部分は簡略な（要約された）形でしか与えられていないが、原理的に、それらのコメントは敷衍して適用することができるはずである。物理学者たちをあまり驚かせたり、専門家たちにいっぺんに反感を覚えさせたり、はたまた狂信者たちからの呪詛を惹き起こしたりしないようにするため、本書では既存諸理論の根拠に対する疑念がかなり外交辞令的な形で表現されている——例えば、「疑問が残る」、「立証する必要がある」、「依然として明らかではない」、「それは同じことではない」、「奇妙である」、「注目に値する」、「疑念をを起こさせる」、「知られていない」、「不審の念を抱かせる」、といったように。これらのシグナルとなる語句に注意を向けながら、自らの力で考えを深めていただくことを願っている。そのときにこそ初めて、事態が死点から離れて動き出すという希望が現れるだろう。では、量子力学についての検討に取り掛かろう。——素晴らしい認識の旅となりますように！

序 論

虚偽あるいは無根拠と思われることは、たとえその代替となるものを我々が持っていないなくても、捨て去らなければならない。我々がそこに真理があると考えようが考えまいが、錯誤が錯誤であることに変わりはない。
(ヴォルテール)

量子力学に取り組むためには、学校教育のレベルの知識だけでは明らかに不十分である。したがって我々は、量子力学をテーマとしたそのようなレベルの一般人向けの科学書については触れずに、主要専攻分野として物理学を選択した人々を対象として書かれたいくつかの教科書にのみ議論を集中させることにしよう。

量子力学には難点があるのではないかというかすかな「予感」は、量子の挙動に関する最初の導入章から現れ始める [Feynman, 1-1] ^{〔訳注*〕}。ファインマンはそこで、「我々は、それ [= 量子現象に潜む神秘] がどのように働いているかを説明することはできない。我々は、ただ単に、それがどのように働いているかについて語るだけである」と率直に述べている。何のことはない、諸現象の原因を説明し、そのメカニズムを解明する物理理論はここには存在しないのではないかという疑念がただちに浮かんでくる。

[Landau & Lifshitz, 序文] ^{〔訳注**〕}における、本書では諸実験の詳細な分析はまったく行なわれないうちそれと同様の言明もまた、不審の念を起こさせる。これから我々に語られようとしているのは、「必要とされる」理論と矛盾しない事柄だけなのではないか、しかも、あり得る例外やそれ以外の選択肢を我々が知ることができないようなやり方で語られるのではないかと。

量子力学の基礎（そしてその原点）とみなされているプランクの公式 $E = \hbar\omega$ は、現実との関係を持ち得ない。さもないと、実験的に (!) 観測される連続スペクトルの任意の端部領域について、無限大のエネルギーが得られてしまうからである。選び取られたある周波数区間の両端におけるエネルギーの合計値を取り、次にその区間の中央におけるエネルギーを加え、次に再び、新たに得られた2つの周波数区間の各中央におけるエネルギーを加え、……等々という操作を行なってみよう。その結果、あらかじめ与えられた任意の値よりも大きなエネルギーを得ることが可能なのである。

この理論の有名なパラドックス、例えば「シュレーディンガーの猫」もまた、すべての人に量子力学の正しさへの疑念を生じさせる。生きている状態と死んでいる状態の重ね合わせについて、どうすれば本気で議論することができようか？ 蓋を開ける前に存在していたあの「生きている猫の割合」、あるいはあの「死んでいる猫の割合」は、どこに消えうせてしまったのか？ このような状況が、あり得る様々な状態の中に不可逆状態が存在するすべての場合に生じることになる。蓋ではなく、放射線源を観測する必要があるのだ

〔訳注*〕 巻末の文献 [2] を参照のこと。

〔訳注**〕 巻末の文献 [3] を参照のこと。

という語句も問題解決のための万能薬にはならない。なぜなら、そもそも自然は原則としていかなる観測者もなしで済ませているのであって、しかしそれでも諸過程は進行しているからである（我々が「自然のブラックボックス」の内部を覗き見ようが見まいが、結果は一様に客観的なものとなるのだ！）。あるいはまた、量子力学は下手人のために結構な無罪証明を提供してくれる。——俺は無罪だ、見ないで撃ったんだから。俺の弾が当たるという保証はない。だから、その体を発見した奴が、その体を死体状態に「収縮」させたんだ。

それに比べれば、アインシュタイン-ポドルスキー-ローゼンのパラドックスはさほど深刻なものではない（非相対論的量子力学に高速現象や大スケール現象の記述を期待するのは、おそらく無意味だろう）。しかし、量子力学で用いられているタイプの方方程式が、量子力学の問題点をますます増加させている。例えば、量子力学では、サブバリアトンネル効果は瞬時に生じることが再三議論されている。障壁がまったく存在しない場合よりもはるかに大きな速度で粒子が経路全体を飛行するように障壁連鎖（共鳴連鎖）を配置することが可能である、という結果が得られている。このことは、アスリートが理想的な走路を走った場合には、その速度は、その走路がコンクリート壁で何重にも遮断されていて、その同じアスリートがそれらの壁全部を突き破りながら走らざるを得なくなった場合よりも遅くなるということと、同じ意味を持っているのだ（不条理）！

すなわち、「デンマーク王国」ではすべてがうまく行っているというわけではない。量子力学に対しては、様々な深刻な問題点を提起することができるのである。

第1章 量子力学の基礎概念

原子の電気力学的な諸問題を解決し、力学の基本概念に革命をもたらした（軌道概念を廃止した）と言われていた不確定性関係から考察を始めよう。

量子力学的不確定性関係という概念の利用は、電子は原子核に到達することができないという事実を「説明」する目的で、測定過程に関連した「外見的」不確定性のみを特徴づけているにすぎない。この概念の利用は、その到達不可能性のより複雑な言い換えにすぎないのであって、それ以上のものではない。実際、電子は任意の加速運動時にそのエネルギーを（原子から最大速度——光速——で放出される）電磁放射の形で失うということ信じるとすれば、エネルギーを失いつつある諸状態の平均値（数学的平均値）もまた、エネルギーが失われつつある1つの状態となる。つまり、ここでの量子力学的平均化は、（物理的本質という点では）窮境を救ってくれてはいないのだ。

2つの孔のあいた板を通過する「電子をつかった思考実験」[Feynman, 1-4]は、驚嘆の念(!)を生じさせる。普通、思考実験というものは、論理が唯一(!)可能な答えを教えてくれるように構築されるものである（思考実験の本質はここにある）。この場合はどうかと言えば、「イエス/ノー」タイプではない結論が下され、確率に関する関数従属性 [functional dependency]（そのような従属性には無数のバリエーションがあり得る!）が「抽出」されており、しかもその際、ファインマンは、このような実験はこれまで実行されたことがないと言っているのだ! 2つの孔の間の距離は原子の大きさと比べ得るほどのものでなければならぬのだから、それは当然である。その後の2つのセクションでは、存在しないこの実験は、今度は、空想によって考え出された新たなディテール（例えば光のフラッシュ）によってますます複雑なものとなり、量子力学の根拠づけのために**必要とされる**結果がでっち上げられている。

ここでは、実験結果の客観性という概念が見落とされている（たとえそれが思考実験であるにせよ）。この本の記述によれば、電子は孔1か、あるいは孔2の**いずれか**を通過することが「確かめ」られた。この事実は、電子が既にいずれかの孔に入った**後**に確かめられる。ところで、**因果原理**によれば、「後」における我々の**作用**（電子を「監視」すること）は、「前」における**客観的状況**（つまり、電子が特定の孔に入るという**既に生じた事実**）を変えることはできない。すなわち、「監視」なしでも、各確率は定まっていたのでなければならない。この「実験」では、それはそうではない、干渉が存在しているのだと主張されている。したがって、ここでの事柄は、我々の作用におけるものでも、また電子の「特殊な性質」におけるものでもない。本来必要とされていたのは、実験における干渉の存在（すなわち、数学的観点から言えば、複素確率振幅の合成則）を説明することであった。そして、これを行なうほうがはるかに簡単なのである。最初に頭に浮かんでくる説明は、媒質、つまりエーテルが存在し、擾乱がその中を波動の形で伝播するという説明である（例えば水面における巨視的干渉の場合、水分子は平均すると波の内部で円運動を行ない、各分子はやはり具体的な孔を通過することになる）。エーテルがあまりお気に召さないのなら、電子は荷電しており、現代電気力学によれば、電子の運動時にはより大きな速度で伝播する場も存在し、その場が実験配置（実験装置の構成）と近傍粒子を「感じ取

る」ということ（ここでも再び、場の波動擾乱を通じた相互作用）を思い出していただきたい。ここでは、不確定性原理は（例外なしにすべての古典的測定器の現実の精度が有限であるということが、思考上において正確な物理法則への補外を行なうことを妨げないのと同様）、客観的法則とはいかなる関係も持つことができず、ただ単に、周囲世界との間における我々の相互作用のあり得る様々な方法の1つを反映することしかできない。

ファインマンは [Feynman, 2-2] において、非常に遠方の源からやって来た粒子（すなわち運動量の垂直成分を持たない粒子）が幅 B のスリットを通り抜けると回折像が生じるという「実験」について記述している。彼は、量子力学および不確定性関係は、未来における事象の予測の可能性と関係を持っていると述べている。しかし、現代的理解においては、それはそうではない。すなわち、量子力学は、そもそも粒子にとって**軌道**（すなわち粒子の座標と運動量の同時存在）という**概念**は存在しないと主張しているのである。なにしろ、この実験において我々はスリット内における粒子の位置を記録したのだし、また、粒子が干渉像のどの位置に当たったかを（検知器を使って）知ることで、粒子の運動量の垂直成分を（計算によって）知ることができるのだ。したがって、粒子にはやはり一定の軌道が存在していたのである。そして、現実の測定精度が有限であることは、厳密な法則の確立とはまったく無関係である。もしそうでないとするなら、点、線、平面の数学的概念も、幾何学や古典物理学の厳密な法則（これらも常に**有限な**精度で裏づけられたものである）も存在しないことを認めなければならないはずである。しかし、正確に測定されるものは**何もない**のだから、物理学において論議されなければならないのは、何が「正確に測定されるか」ではなく、ある有限な精度での測定であるにせよ、物理学用の測定器によってそもそも何を測定することができるのか、である（これは同じことではない!）。なお、古典物理学においても実際の測定精度の有限性が予測精度を強く制約しているという、他ならぬファインマンの指摘には全面的に同意することができる。

確率についての連続方程式（局所的な確率の保存）は、物理学の諸法則の単一的な性格（すなわち、量子力学の諸法則と古典物理学の諸法則に違いはないこと）を示しており、したがってマイクロ世界の粒子には普通の古典的軌道が存在していることを間接的に証明している。

ランダウ-リフシッツの量子力学教程 [Landau & Lifshitz]（これは最良の理論的教科書の1つとみなされている）は、おそらく、理論のプラス面とマイナス面を解明し、物理学的な諸側面の分析を与える客観的な科学書に分類することはできないだろう。この教程は、むしろ、この理論の護教論に分類したほうがいい（すなわち、整然たる隊列を組んで誰かによって決定された方向に喜んで進んで行く信者の大群を創り出すことを用途としている）。古典物理学が量子力学によって取って代わられる「客観的必然性」の「物理学的」論証なるものも、すべてこの観点から構築されている。例えばこの本の一番最初のセンテンス [Landau & Lifshitz, §1, 小教程§1] では、「古典力学および電気力学は、実験と鋭く矛盾する結果をもたらす」と述べられている。しかし、失礼ながら、その矛盾とは、原子の惑星モデルや点状電子モデル、点状原子核モデルの矛盾（なにしろ、電子と原子核は質量と電荷だけでなく、さらに磁気モーメントとスピンを持っているのだ）、あるいは電気力学のいくつかの具体的な公式の矛盾であったという事実を、その前提条件としてあげないのは、なぜなのか？ 存在していたと称される「物理学の危機」の許容され得る誇張表現

の限度は、どこにあるのだろうか（そもそも、それを「危機」だというのなら、「壁」に近づいて行って、この壁は現実的な科学的記述そのものの危機だと言明することも可能であっただろう）？ 実際、互いに運動する磁気回転子のエネルギーは、古典物理学においても最小値を持つことができるのである（その運動は、外力が働いていない状態での運動と一致する）。また、電荷はあらゆる曲線運動時に必ず放射を放出するというわけではなく、（等速直線運動だけでなく）外力が働いていない状態での軌道に沿った運動は放射を伴わない。放射が観測されるのは、放射が外部からの非電磁力が電荷を強制的軌道に沿って（すなわち加速度を伴って）運動させる場合に限られる。それゆえ、いかなる「深刻な矛盾」もまったく存在せず、したがって根本的な変更は必要とされていない（少なくとも、この教科書であげられている例は何事も立証していない）。

ランダウはその先で（またも都合のいいように歪曲を行ない）、「馬車の後ろに馬を据えて」いる。彼は次の「証拠」として電子の回折をあげている。しかし、電子の回折は既に量子力学が創出された後に「発見」されたのであって、それゆえ、その「説明」は、それ以外の選択の余地なしにただちにこの枠組み内で行なわれた（したがってこの現象は、それ以外の説明があり得ないことが立証されない限り、証拠とはなり得ない）。ましてや、それに続いて行なわれている2つのスリットにおける回折に関する思考（！）実験（現実の実験でも、論理的な反論でもなく！）は、何の証拠にもなり得ない。我々はまさにこのような詐欺的なやり方で、粒子の軌道概念は存在しないという量子力学の公準[postulate,「要請」とも]——いわゆる「不確定性原理」——へと導かれる。ストップ。またも歪曲だ。この原理は量子力学の数学的道具立てが既に創出された後に人為的に考え出されたもの、すなわち量子力学の数学的操作結果のあり得る物理的解釈のうちの**1**つであるにすぎない（けっして唯一の解釈ではなく、いわんや最良の解釈ではない）。滑らかな軌道が存在しないということが、原子内で加速度運動する電荷による放射の不存在という、この教科書における一番最初の物理的問題に対してどのように答えを与えているのか、どうしてもまったく理解することができない（ここで議論しているのは数学の話ではないのだ！）。

量子力学の自己充足性の欠如（一方では諸法則の新たな非古典的性格が宣言されているにもかかわらず、他方では他ならぬそれらの古典的な諸概念や測定に依拠する、すなわち、古典的な「基準点」に合わせてつじつま合わせを行なう必要があること）もまた、一般に受け入れられている量子力学の解釈の限界性を物語っている。

喧伝されているいわゆる「量子力学における測定概念の深遠な役割」は、不審の念を抱かせる。まさか、測定が存在しなくなると、マイクロ世界における物理法則が作用しなくなるとでもいうのだろうか（なにしろ、古典論では、蓋をずっと開けばなしにしておくとかんは沸騰し始めることができないが、この例が熱力学の諸法則の客観性を失わせるわけではない）？ では、動力学的性質を計算することが可能であるという事実を、どう取り扱えばいいのだろうか？ 例えば、量子力学でさえも、ある時点における電子（電子と同程度の大きさの点状の孔を通過する電子——図 1.1 参照）の座標を正確に測定し、次に、孔から離れた球面に沿って配置された検出器により、電子がそこに到達するまでの時間を普通の仕方記録することを禁じていない。したがって我々は、点状の孔から飛び出した時点で電子がいかなる速度を持っていたかを計算によって知ることができる。このように、概念の取り替えを行なう必要はない。粒子はやはり、あらゆる動力学的性質を同時に**持つ**

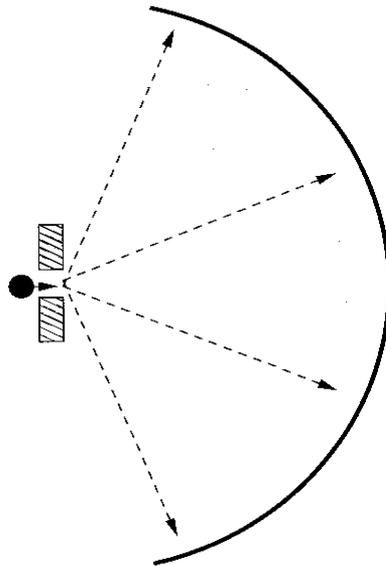


図 1.1 電子の座標の決定

ているのである（それらの性質を同時に測定することが可能か否かはもはやまったく別の問題であり、その問題は古典的理解の変更の必然性とは何の関係もない）。

さらに、量子力学には古典的意味での速度（運動論的概念！）が存在しないことに関して提起される問題は、このような理論に対する信頼の完全な喪失を呼び起こす。粒子には座標と速度の正確な値は同時に存在しないという仮説は、静止した粒子が現実存在し得ることと矛盾している。そして速度概念を持たないのであれば、量子力学そのものも含め、いかなる理論も一歩も先に進むことはできない。「同時測定が不可能であること」と「存在しないこと」とは、けっして同一ではない！ある1つの量を測定しているときには、それによって他の性質の同時決定が妨げられるということは、古典物理学においてもしばしば起こる。しかしそのことは、その対象におけるそれらの性質は客観的なものではない、あるいはそれらの性質を同時にその対象のものとして認めてはならない、ということの意味しない（例えばワイヤーの1個の試料について、その融点、超伝導転移温度、破断強度、あるいはワイヤーを破壊する臨界パルス電流を同時に測定することはできない。これに類する例は山ほどある）。

量子力学が諸過程の確率論的記述を自らの特徴として要求していることはまったく理解できない。実践的意義という面においては、量子力学だけでなく、古典統計物理学も諸過程の確率論的記述を与えているからである。ただし、古典論（統計物理学）の世界では、試しに「測定が確実に（正確に！）一意的な結果を与えない場合、その量は確定値を持たない」などと言ったら、みんなの物笑いの種になる。いかなる量も絶対的な精度では測定されず、そこには常に揺らぎが伴うとしても、具体的な測定は常に具体的な結果を与えるのであって、それで十分だからである。

このように、革命性を自負している量子力学の基礎概念は、きわめて不安定な土台の上に成り立っている。

第2章 波動関数

次に、波動関数という量子力学の最も重要な道具立ての検討に話を進めることにしよう。波動関数は何を記述しているのか？ 波動関数は現実の粒子を記述することができない。なぜなら、第1に、(あらゆる波と同様) 波束は相互を透過するが、粒子は相互に衝突する(そして反跳する)のであって、これは実験的に観測可能であるからだ！ そして第2に、軌道の安定性(電子の放射)をめぐる存在すると言われている「古典論が抱える諸問題」が「ほんの序の口」と思われるほど急速に、波束は拡散してしまうからである。第3に、あらゆる測定は具体的な実験点(1個だけ!)を与える。すなわち、波動関数は1個の個別粒子とはいかなる関係も持っていないのだ！ おそらく、波動関数は粒子集団、あるいは統計、つまり「病院の患者全体の平均体温」としか関係を持ち得ないのであって、その場合、 36.6°C という「平均体温」は「個別の患者」——理論——の健康を保証しない。量子力学は、それが観測可能な変数(オブザーバブル)のみを相手にしていることを自慢し、意味を持っているのはそれだけだと言っている。しかし、例えば、原子のエネルギー準位の決定に際しては放射周波数が検討され、その際には、「まだある具体的な状態にある原子」、または「原子がもはやその原子ではなくなった(その原子がかつてそうであった状態にはもはやない!)」時点での、今度は原子ではなくて放射周波数の2つのうちの1つが検討対象とされているのではないか。しかも原子自体の内部には、その放射周波数で振動しているものは何もないのである。つまり、量子力学は、しばしば、自分自身のイデオロギーに反して、検討されている状態そのものにおいては観測不可能な変数を取り扱っているのである。

基本的な考え方に関わる疑問は、粒子の空間分布(波動関数)についてもあげることができる。例えば原子に関しては、次の疑問があげられる。各電子が原子のどのエネルギー準位に存在しているかにかかわらず、諸電子の分布関数は $r=0$ から $r=\infty$ まで連続である。もし分布関数の定義域が相異なっているのなら何も問題はないはずだが、しかしそうはなっていない。では、ある距離 $r \neq 0$ だけ遠ざかった電子は、自分がどのエネルギー準位に属しているか(あるいは、自分がどの分布関数に従っているか)を、どこから「知る」ことができるのだろうか？ さらに拡張された疑問：電子は、自分がどの原子に属しているかを、どうやって知るのだろうか？ 原子のエネルギー準位間における遷移は(そして任意の距離だけ離れた相異なる原子間における「テレポーテーション」さえもが)、任意の方向に向かって自発的に瞬時に生じることが可能であるという結果が得られるのだろうか？ では、因果関係はどうするのか？

厳密な意味において、量子力学は古典的確率論(その方法は普通の常識にとって十分な透明性を備えている)を利用していると主張することはとてもできない。実際、振幅確率そのものに物理的意味を与えること(また、なぜ我々は振幅の**絶対値の2乗**、つまり振幅に複素共役数を掛けた積を確率として採用するのかを説明すること)は、可能とは思われない。それゆえ、厳密な意味においては、量子力学的な確率的記述という文言は、もっともらしい嘘なのである。

[Feynman, 3-1] の議論の進め方は、その本質という点で、似たもの探しゲームを思い出させる。電子が2つのスリットを通過するという人為的に考え出された(思考)実験のためには、干渉像を人為的に得ることが「必要とされる」。そこでファインマンは、それを適用すればその「必要とされる」干渉像を得ることのできる「量子力学の3つの一般原理」を、(自然ははたしてそのように秩序化されているのかを実験によって解明することなく)ただ単に公準として設定している。そのすべては、確率の和と積の有名な法則を思い出させる。ただ、複素振幅においてそれが行なわれているにすぎない。それに続いて「いかさま師の3つのコップ」ゲームが行なわれると、称賛されていた3つの原理はまったく「一般的ではない」ことが明らかとなる。例えば、「第2のコップ」が結晶における散乱の記述の過程で姿を現している[Feynman, 3-3]。そして今や、我々はこの実験において中性子を波動の形で描出することができないことが判明する。中性子カウント速度の散乱角依存性は、あるいは鋭いピーク(どうしたわけか完全な降下を伴っている!)、すなわち「あまり」理論どおり「でない」ピークを含んでいるか、あるいはまた別の種類の結晶の場合には、さらにそのピークの他に、ほぼ一様なバックグラウンドを含んでいる。空間の所与の位置(計数管)に到達するためには、相異なる原子からの散乱は相異なる(!)角度での散乱でなければならないにもかかわらず、スピントリップを伴わない散乱の記述に際しては、散乱振幅の散乱角依存性が考慮されていない。スピントリップを伴う散乱の記述に際しては、どうしたわけか集団的効果(例えばスピン波)が投げ捨てられている。そして最後に、「いかさま師の第3のコップ」が同種粒子の散乱の記述に姿を現す。すなわち、電子の場合には、確率振幅は足し算されるのではなく、引き算されるものとみなす必要があるのである(まったくあきれた一般原理だ!)。このように、ここでなされているのは、事前に研究された依存性に合わせた、よくある理論のつじつま合わせなのであって、それに続いてなされる量子力学の記述全体は、その本質という点で、これら「3つのコップ」への言葉によるレッテル貼りにすぎない。

物理学的観点(より正確には、量子力学自体の観点)から見ると、様々な教科書において、そこで描写されている粒子を、どうすればただ1つの平面(例えば xOy , すなわち $dz=0$!)に局所化することができたのか、理解することができない。なにしろ、その場合、運動量の z 軸方向への射影はゼロではなく、無限大になる(そして、選ばれたその平面自体における運動の確率はゼロになる!)からである。ところが、量子力学においても、粒子衝突の記述は1平面についてなされているのだ(量子力学は古典物理学ではないのに!)。それだけでなく、あらゆる粒子の大きさは点(ゼロ)ではなく、ある有限な大きさであることを実験は示しており、したがって古典論的な観点から見た場合でさえ、粒子同士が衝突するまでの間、粒子が厳密に1平面内で運動する確率[Feynman, 3-4]はゼロに等しい。運動確率がゼロにならないのは、ねじれの位置にある2直線に沿った運動の場合である。ところがこの運動は観測系をどのように選んでも平面運動とすることはできず、したがって3次元の散乱が観測されることになる。その結果、あらゆる判断、例えば $e^{i\theta} = \pm 1$ という判断[Feynman, 4-1]は、2粒子の場合でさえ厳密性を失う。それゆえ、同種粒子の衝突の場合における「同位相」あるいは「逆位相」での干渉という科学もどきの文言は、似たもの探しゲーム(あるいは記憶術の規則)以上のものではない。

さらに、古典物理学においては確率の和と積の法則がうまく機能しており、2粒子の場合の結果を知れば、原理的には帰納法によって任意の数の粒子の場合の結果を得ることができる。しかし、任意の数の粒子に移行したとき、量子力学的確率がどう振る舞うかを事前に知ることはできない。量子力学的確率は常識には従っておらず、合成されるのは確率ではなく、いかなる物理的意味も持たない振幅であるからである。例えば、衝突する2粒子の状況の検討から得られた(近似的に) $e^{i\theta} = \pm 1$ という結論を、どうすれば3個以上の粒子の場合に移し替えることができるのか、検証する必要があったはずである。ここでも再び、3個以上の粒子の場合、散乱は3次元的となり、しかも多重衝突という課題のさらに多様な空間的配置が可能となる。位相因子の可能な操作の数も増大する。それに加えて、粒子の軌跡は、つまりはその軌跡に沿った運動時間もまた、原理的に決定不可能とされている以上、そもそも、粒子の流れについて、我々が実験で記録するそれらの粒子は同一の散乱事象に属していると、どうすれば確信することができるのだろうか？ その上、ファインマンの言明 [Feynman, 3-4] によれば、一連の場合には、それ以外の追加的なアプローチが要求される(偏極粒子の散乱,あるいは束縛粒子の散乱,等々)。それゆえ、この理論の一般性は大きな疑念にさらされている。

2個の別個の散乱体における2個の同種ボース粒子の同一状態への散乱 [Feynman, 4-2] について検討するとき、我々は歴然たる共鳴効果を相手にしているのであって(第1の粒子からの第2の粒子の強制散乱は、光子の強制放射あるいは誘導放射のアナロジーである)、このことこそが当該の確率を増加させているのではないかという「当然の疑念」が生じてくる。特に奇妙に思われるのは「最終状態における光子」という文言である。すなわち、もし光子が光速度で開空間に向かって飛び去ったのであれば、光子は自分のそれ以降の状態について「知らせる」ことはできないし、一方、閉空間においては光子の特徴は反射時に絶えず変化する可能性がある。したがって、検討対象となるのは(飛行と)同時的な誘導放射のみということになる。しかし実は、ここにはいかなる「量子の神秘」も存在しない。すなわち、山から転げ落ちる岩が多くなればなるほど、岩崩れが発生する確率は大きくなる(自然+強制放射のアナロジー)。この観点から見ると、絶対黒体のスペクトルは古典論的に理解し、導出することが可能である。しかし、この理解の仕方 [Feynman, 4-5] にも疑問がある。すなわち、しばしば絶対黒体のモデルとして小さな孔のあいた空洞が取り上げられるが、しかしそうだとすると、この場合、 N_g と N_e の原子の状態^{〔訳注〕}とは何を意味するのだろうか？ このモデルにおいては、現実の物質の場合に、物質の密度(原子が占める体積と原子同士の間隙との比率。また、原子を励起させる衝突機構と光の放出を誘導する衝突機構との相互関係)がスペクトルに及ぼす影響を考慮する必要はないのだろうか？ 概して言えば、絶対黒体という概念は「オリジナルな」概念である。すなわち、黒体とは、まさにそのような架空の物体に関して考え出された放射理論に厳密に従うような、自然界には存在しない(つまり、実験的に検証することが不可能な!) 物体なのである。

液体ヘリウムに関する短いセクション [Feynman, 4-6] は批判に耐えられない。ヘリウムの超流動性をボース粒子の場合の量子効果として「説明」しているのは、あまりにも奇

〔訳注〕 N_g と N_e は、それぞれ基底状態と励起状態にある平均原子数である [Feynman, 4-6]。

妙に思われる。因数 $\sqrt{n+1}$ と関連づけられたその「説明」とは、いったい何なのか？ では、粒子数 n はいかなる領域でカウントするのか？ 1 つの容器全体でか、あるいはそれに隣りの容器をプラスするのか、それとも宇宙全体でカウントするのか？ 粒子相互の影響範囲の定量計算はどこにあるのか？ 別の種類のボース粒子（例えば別の種類の不活性ガス）をその容器に低い圧力で注入した場合、そのボース粒子はどのように取り扱うのか？ 他ならぬヘリウムの特異性はどこに見られるのか？ また、2成分液体の「理論」はどうするのか？ そもそも、1種類の具体的な物質における1つの個別の現象に関して、実際的（定量的）な成果をもたらさない、**複数の「理論」**が存在するのは奇妙なことだ。

「排他律」についての記述 [Feynman, 4-7] における散乱時のフェルミ粒子の挙動についても、いくつかの曖昧な点がある。粒子にとって、「ある特定の方向」や「スピンのある与えられた方向」とは、何を意味するのだろうか？ なにしる、諸粒子の相互の位置関係は実験ではまったく決定されないのだ！ 例えば、2本の磁針の有名な古典的モデルの場合には、それらを並べて（互いの脇に）置くと、それらは反対方向を取ろうとし、それらの一方を他方の後ろに直列に置くと、それらの磁気モーメントは一致する。このように2つのバリエーションがあり、いずれも明瞭で周知の事柄である。量子力学では、自ら粒子の位置の不確定性について語っていながら、自ら2つの粒子を同一の場所に置こうと試みているのである。もしここで言われているのが空間内の同一の場所でないのなら、では、それはいかなる距離のことを言っているのか？ その単位はオングストロームなのか、メートルなのか、パーセクなのか？ そしてそのことは式のどこに反映されているのか？

大きなスケールでの物質の安定性における「排他律」の役割に関する考察 [Feynman, 4-7]（なぜ「物質中の原子はつぶれてしまわない」のか）は、ナイーブに見える。なぜなら、例えば、低温において水素ガスの分子中の電子が対になって結合し、陽子と陽子の間に位置を占め、陽子を引き寄せようになったとき、なぜ水素ガスが「つぶれてしまわない」か、分かっていないからである。

ファインマン [Feynman, 4-7] は、強磁性の定量的説明は存在しないことを認めている。しかし、定性的（間接的）な記述にもいくつかの問題点がある。すなわち、それぞれの電子殻内の電子のスピンの反対方向に整列するとか、あるいは原子内部の電子が自由電子に対してスピンの反対になるように整列するとかいったことは、まったく重要ではないのだ。なぜなら、2つの場合における磁気モーメントの和は**一様に**ゼロに近くなるからである。それゆえ、強磁性の真の原因はいまだに知られていない。

核力についても、 He^2 あるいは n^2 の形の原子（とりわけ後者！）が存在しない理由は理解することができない。なにしろ、磁気モーメントは並べて（ $\uparrow\downarrow$ ）配置することができるはずなのに、一方を他方の後ろに直列に配置することはできないのである。すなわち、悪名高い核力のアイソスピン不変性はまったく存在しない公算が大きい。

確率振幅の空間依存性を決定する際にファインマン [Feynman, 16-1] が選んだ方法、すなわち、離散格子から連続的座標値への極限移行という方法には多数の疑問点があることは歴然としている。その第1の制約は、エネルギー原点 [zero of energy] を「 $(E_0 - 2A) = 0$ になるように」選んだことから生じている。実際、もしある系（原子、分子、等々）についてある E_0 があるとすると、別の系については別の E_0 を選ばなければならない、それ

らの系について一緒に検討する（エネルギー原点を一致させる）ことができなくなる。第2の制約は、我々が検討するのが小さな k のみであることから生じている。エネルギーに関して用いられている表式

$$E = (E_0 - 2A) + Ak^2b^2$$

が正しいのは、まさにこの近似においてである。 $b < b_0$, $b_0 \rightarrow 0$ の場合でさえも、エネルギーの正確な値が近似値から著しく異なることになるような $k > k_0$, $k_0 \rightarrow \infty$ を常に見出すことが可能である。第3に、

$$\lim_{b \rightarrow 0} Ab^2 = \text{const}$$

という選択は完全に「天下り式」に行なわれている（定数の代わりにどんな関数を選んでもそれと同じ位うまくいくはずだ）。不変有効質量を常に導入することが可能かどうかは明らかではない（一般的な場合には、不変有効質量は関数であり得る）。

ファインマンが量子力学における計算でエネルギー原点の任意な選択という手法をししばしば用いていることは、注目に値する。しかし彼は、これより前の箇所 [Feynman, 第7章] では、依存性 $\exp[-iEt/\hbar]$ を「根拠づける」ために、エネルギーとして $E = mc^2$ という疑わしい値を取らざるを得なかったのではなかったか（さもないと、もし E を任意に変更することができるならば、この依存性は不確定なものとなり、したがってこの依存性は何も表さないということになってしまう）。所与の運動量を持つ粒子を点 x において発見する振幅に関する表式

$$\exp\left(\frac{ipx}{\hbar}\right)$$

は、それほどまでに「厳密」なのである（この表式が空間全体を一様に覆っていること、また、課題のそれ以外の条件に依存していないことは、まったく証明されていない）。

我々が2つの確率密度関数——座標に関する関数と運動量に関する関数——を導入し、 p に関する分布の半値幅と x に関する分布の半値幅の関係を見出した [Feynman, 16-3] ということから、同一の粒子において具体的な座標値と運動量は同時に存在しない、すなわち軌道は存在しないという結論はけっして導き出されない。それは、量子力学における**追加的仮説**である。その類推として地球上の人々の体重と身長に関する分布密度を導入することは可能だとしても、しかし、そのことによって各個人が具体的な体重と具体的な身長を両方を持っている事実が覆されるわけではない。

巨視的系に関する波動関数の意味のファインマンによる検討 [Feynman, 21-4] においては、光子の場合には古典物理学との完全な一致が得られること、つまり特別な量子力学はまったく必要ないことが明らかにされている。電子についてはたとえば、彼は「長い間、シュレーディンガー方程式の波動関数は……巨視的スケールでの現れ方を持つことはけっしてないだろうとみなされてきた」と書いている。しかし、量子力学的波動関数を巨視的現象に拡大適用し、量子力学的波動関数を測定可能な関数とみなそうという、一見したところ有益そうなこの着想は、隠された目的、すなわち、あらゆる犠牲を払ってでも量子力学に対する信仰の裏づけを得るといった目的を追求しているのである。なぜなら、厳密に

言えば、この量子力学的仮説を科学的に検証するためには、実験データと、理論的に計算された正確な多粒子波動関数との比較が必要とされるからである（今のところ、そのような多粒子波動関数を計算することは空想においてさえ可能とは思われない）。

[Landau & Lifshitz, §2, 小教程§2] では、「位相」因子 (e^{ia}) の存在と関連した「原理的な非一意性」は、「いかなる物理的結果にも反映しないので本質的な重要性を持たない」と述べられているにもかかわらず、その先の [Landau & Lifshitz, §6, 小教程§6] では、古典物理学の一意的結果への移行が、他ならぬ位相因子

$$\psi = a \exp\left(\frac{i}{\hbar} S\right)$$

を通じてなされていることは注目に値する。それゆえ、量子力学のアルゴリズムの内部整合性が「申し分ない状態」にあるわけではないことは明らかである。

相異なる状態に関する波動関数の線形結合の構築について言われている「量子力学の積極的内容」[Landau & Lifshitz, §2, 小教程§2] なるものは、きわめて奇妙である（なぜ「積極的」と呼ばれているのか?）。例えば、我々がある物質（そのスペクトル、構造その他の物理的性質）について研究することに決めて、波動関数と物質の「小立方体を結合」し始めたとしよう。ストップ。では、その性質は我々に事前に知られているのか？ 違う！ 見出さなければならないのだ。だが、どうやって（解が最後まで得られているのは水素のみで、しかもそれは正確ではなく、ずれを伴っているのに!）？ さあ、まずしなければならないのは、研究対象であるそれらの性質自体を取り上げて、測定を行なうことだ！ さらに波動関数の計算を行なうのは、それらすべての研究が終わった後でなければならないのではないか（ましてや、波動関数のきわめて近似的な計算でさえ、非常に大きな労力を要する、しかも単なるつじつま合わせ的な課題なのだ）？ このように、自慢されている「積極的内容」のすべては、事前に選択された量子力学の轍に向けて研究を「後知恵」で方向づけるための方法論にすぎないのである。またそもそも、方程式が線形であること（世界が線形的であること）を要求する重ね合わせ原理が、自然の単純化（すなわちモデル化）であることは明らかである。

量子力学では、ときとして得られる規格化されなかった（規格化不可能な）関数については、2点における $|\psi|^2$ の値に関する相対確率を決定することが（どうやらその場しのぎの手段として）提案されている。しかしこれは、その都度、少なくともその「合理性」についての検証を受けるべき、純然たる仮説である。

このように、控え目な言い方をすれば、量子力学の基礎的な道具立ては、必ずしも信頼がおけるというわけではないのである。

第3章 エネルギー, 運動量, 力

最新流行の他の諸理論と同様, 量子力学は, 用いられる諸概念や諸量の物理的意味と無矛盾性の根拠づけにはほとんど取り組むことなく, 古典物理学と同一の用語をただ単に発音しているだけということがしばしばある。したがって, 量子力学の言葉のレトリック, また用いられている諸概念や諸量に対しては, より注意深い態度をとらなければならない。エネルギーの概念から始めよう。

「静止している原子; 定常状態」のセクション [Feynman, 7-1] には, あまりにも著しい「天下り式」の主張や公準が存在する。次の引用から始めよう。「空虚な空間 (第1の?!) の中にたった1つある電子は, ある状況 (第2の?!) の下で, ある特定の (第3の?!) エネルギーを持つ (第4の?!) ことができる。例えば, その電子が静止している場合には, ……」第1に, 電子がたった1つあるだけで, それ以外のものが存在しないのなら, 誰が, 何との関係において, その特徴を測定することができるのか? と質問したくなる。第2に, その「ある」状況 $\mathbf{v}=0$ は, 他の任意の具体的な「ある」状況 $\mathbf{v}=\mathbf{v}_1$ とは何が異なるのか? 第3に, 「持つ」という言葉は, いかなる根拠で, そしていつから「永遠に」という言葉と結び付けられるようになったのか? もしある車がかつてあなたの所にあったとしたら, まさか, その車で交通事故を起こした加害者は, 自分がその車を持っていたことはまったくないと主張できるのだろうか (交通警察に対する便利な言いわけ)? そして衝突の瞬間には, その車もまた, ある特定の速度 (とエネルギー) を持っていなかったとでもいうのだろうか? この言いわけに対して交通警察官と事故の相手方が何と言うだろうか, よく考えてみよう。そして第4に, エネルギーについて次の言明がなされている箇所では, 思う存分笑い転げることができる。「エネルギー E_0 とは, 全体の質量の c^2 倍のことである」(どなたか, この偽りの証言を聞いて快い気分になった方はおられますか?!)。ファインマンがこのセクションの最後の所で, 量子力学では, 「我々は, ある非常に大きな定数だけ我々のエネルギー原点をずらす権利を持っているのである。しかしこうすることは, 何の違いももたらさないのである」と述べるであろうことを念頭においたとき, あなたはこの相対論的たわ言をどう思われるだろうか。はたして, 何がなんでも量子力学をクモの巣で相対性理論に縛りつける必要があるのだろうか? けれどクモの巣というのは, 実にはかないものだということに! さらにまた, 振幅依存性 $a \exp[-i(E_0/\hbar)t]$ に関して, 「我々は単に, この法則が真であると仮定することにしよう」という公準が導入されている。自明のことだが, この公準にはいかなる根拠もない。この振幅依存性は, 非線形関数も含めた任意の関数 F によって $a \exp[-iF(E_0, t, \dots)]$ の形にすることが完全に可能であるからである。ところで, 振幅自体はいかなる物理的意味も持っていないのだから, 振幅に新たに導入されている ω, E_0, \hbar といった量もまた, それと同じように「豊かな」物理的意味 (ここでの具体的な定義においては $\hbar\omega = E_0 = Mc^2$) を持っている。

「不確定性関係」の導入に関しても不確定性が存在する。すなわち, 粒子が静止していることができるのは, 粒子が宇宙全体の中にただ1つ存在する場合 ($\Delta x = \infty$) のみであるという結論が得られるのである。もし我々がその粒子を (例えば, 大きさが1光年の閉

じた箱で、あるいは第2の粒子で1秒間) 囲い込んだとすると、その場合は $\Delta p \neq 0$ でなければならないのだから、その粒子はもはやどうしても静止状態に留まることができなくなる。すなわち、その粒子は**定義されている速度** $\mathbf{v} = 0$ 、あるいはそれ以外の任意の速度 $\mathbf{v} = \mathbf{v}_1$ を持つ可能性を**ただちに失ってしまう**のである。

「一様な運動」のセクション [Feynman, 7-2] には、もう笑うしかない。「相対性理論が正しいと仮定すると (?!), ある慣性系において静止している粒子は、別の慣性系においては一様な運動をしているということがあり得る」。このことは普通の常識 (あるいはガリレイの原理) からは導き出されないというのは、はたして本当なのか? しかもここには、相対性理論に対する幻想的な信仰があるのではないか?! もし量子力学においては位相はそもそも任意なものである (しかも物理的意味を持たない) のだとしたら、いったいどうすれば**非相対論的**量子力学の中にローレンツ変換を詰め込み、さらには等位相点について語るができるのか! 行なうことができたのは、ただ単に

$$\omega t \rightarrow \omega t - kx$$

という数学的な置き換えを導入し、次元にもとづいて k の意味を決定することのみであった (\hbar という量を導入することの必然性がいったん**公準として定められ**さえすれば、それは一意的に行なうことができる)。粒子の運動速度に関する、(重ね合わせ時における) 波動のうなりの群速度としての物理的意味の導入は、**公準的なもの**である。ファインマンはこのセクションの末尾において、「我々は、

$$\exp[-(i/\hbar)(W_p t - \mathbf{p}\mathbf{x})]$$

が1つの**可能な解**であるという仮定だけではなく、その同じ系において、ありとあらゆる \mathbf{p} に対する様々な解も存在する可能性があり、しかもそれらの相異なる項が干渉を起こすことになるという、**さらに1つの仮定**を暗黙のうちに追加したのであった」と、正直に認めている。すなわち、量子力学は、定常状態 (静止!) の成分として、(観測可能な!) **現実的運動のイリュージョン**を創出しようと試みているのだ。そしてそのような人為的な「出まかせ」を言いながら、様々な公準を我々の頭の中に次から次へとこっそり詰め込んでいるのである。

次はポテンシャルについて。一定したポテンシャルを持つ箱の内部にある粒子に関する疑似考察 [Feynman, 7-3] は、ここでは明らかに余計である。なぜなら、量子力学において、あらゆる振幅に対して (物理的意味を持たない) 任意の位相を追加しても、そのことは観測可能ないかなる変化ももたらさないと同様、古典物理学においても、ポテンシャルは独立した物理的意味を持たないからである (意味を持っているのはポテンシャルの差のみであることを思い出そう)。このように、ただ単に、振幅は、座標に依存する可能性のある U という任意な量を含んだ

$$\exp[-(i/\hbar)((E_p + U)t - \mathbf{p}\mathbf{x})]$$

に比例するという、**お定まりの公準が導入されている**にすぎない。

「振幅 (すなわち、その位相) の変化は、どの場所でも同一の周波数で起きる」という**公準**は、「天井から忽然と現れたもの」 [=口からの出まかせ] である。それゆえ、[このセクションで考察されている第1の箱と第2の箱の中での2つの] 周波数が等しいとしたときに、この公準が

古典的エネルギーの保存則と文字の点で一致している表式に導くという事実は、まったく何も証明しておらず、多分、そんなに大喜びするようなことではない。なぜなら、これより前の箇所では、量子力学における粒子は、位相速度の特徴ではなく、群速度(!)を通じて定義されていたからだ。

また、量子力学的障壁のモデル(その障壁は定常的に所与のものともみなされている)そのものが持つ限界性を理解する必要がある。なぜなら、現実には、相互作用ポテンシャル(障壁)は、絶えず運動している粒子自体によって決定されている、つまり「呼吸をしている」(揺れ動いている)ものだからである。したがって共鳴透過、またエネルギーおよび運動量の個別粒子への伝達(例えばウラン原子中での)が可能なのであって、このことは古典物理学においても完全に観測可能である(このように、古典物理学においてあり得るものとあり得ないものとの対置は、ここでもまた現実と合致していない)。

「高レベルの理論家」たちが、古典物理学の役割を低く見たがっているかのようにいつも振る舞っていることは注意を引く(そのような振る舞いが本物の科学者の価値を高めるということはまずあり得まい)。例えば、ポテンシャルの変化が緩慢かつ滑らかな場合には量子力学的運動の諸結果が近似的に一致することを、ファインマンは古典的極限と呼んでいる[Feynman, 7-4]。しかし、古典論においては、ポテンシャルは任意であることができたのではなかったのか! そのような特異な古典的条件への移行は、いったいどこで行なわれたのか? 最終的諸結果の形式的な近似的な一致のみ? しかし、そのような「一般理論」なるものは、きわめて多数考え出すことができる。

粒子の「歳差運動」[Feynman, 7-5]に関しても一連の疑問点がある。量子力学は(古典的記述とは)原理的に異なった現象の記述方法を採用していると宣言している以上、量子力学的な磁気モーメント" μ "がいったい何であるかを *a priori* に知ることはまったくできない。実際には、この状況は、「標準的な言い方に翻訳されたなら」こう響くだろうというように改変されている。すなわち、ある状態にある粒子を見出す確率は周期的な変化を受け、古典的な(!)磁場 \mathbf{B} に依存しているのだから、 \mathbf{B} との積に含まれているある量を、(次元にもとづいて、すなわち $i\mu\mathbf{B}\tau/\hbar$ となるように) " μ " という文字で表そうではないかと。

ミュオン^[訳注*]の崩壊に関する実験そのものに対する疑問(この実験に関する記述の導入部で使われている「仮定しよう」という言葉^[訳注**]から判断すると、これはお定まりの思考実験であった。):

1) ミュオンが偏極しているということは、どれだけ確実なのか? この性質の検証実験(およびこの現象のあり得るすべての原因の分析)に関する記述、またあれこれの偏極の確率分布グラフを付け加えても悪くはなかったはずだ。

2) はたして、物質 A 中における制動はミュオンの配向に影響を与えないのだろうか?! これは明らかに奇妙なことである(地面という支えが存在する場合でさえ、衝突し

[訳注*] " μ on"は邦訳版では以前の用語に従って「 μ 中間子」と訳されているが、周知のように、これは現在では誤った用語となっている。

[訳注**] 「仮定しよう」は英文では"Suppose"。この語句は邦訳版では「いま、スピン 1/2 の粒子が、純粋にスピン上向きにも、またスピン下向きの状態にもなっていないある状態にあるものとする。」(下線は引用者)と訳されている。

た自動車は向きを変えたり、ひっくり返ったりする)。制動過程におけるミュオン(μ)の偏極変化のグラフを引用するべきであった。

3) この過程に影響を及ぼすのは磁場 \mathbf{B} のみであり、またその影響を受けるのはミュオンのみであって、飛び出してくる電子はいかなる影響も受けないというのは、はたして本当だろうか?! これらの事実はいかなる実験で検証されたのか、そして実験の信頼度はどの程度なのか?

4) 「高エネルギーの場合には、電子はミュオンのスピン方向と反対の方向に優先的に放出される」と主張されている。これはあり得ることだ。しかし、この実験で放出されているのは事実上静止している(!)粒子なのだから、現実に行なわれる別の実験の結果は、それとは別の結果となる可能性がある。そのあり得る速度依存性はどこで、誰によって検証されたのか。

5) 磁場 \mathbf{B} の大きさが、ある大きさ μ に影響を及ぼすと主張するためには、その後者の大きさが、検討されている磁場の影響から**独立的に測定されることが可能**でなければならない。ところが、この教科書のこれより前のすべての記述は、その大きさは磁場 \mathbf{B} 自体によってもちよほどまい具合に測定されることを弁護するためになされている。このように、提案されている**法則性**の独立的な検証方法は存在しないのであって、ここでも再び、その法則性は新たな公準的**定義**にすぎないことが分かる(法則と定義の違いに関する A. ポアンカレの所説を思い出そう)。

それゆえ、量子力学のどこを突っついてみても、そこには物理学的な諸概念や諸量の根拠をめぐる切迫した事態が見られる。そして、量子力学のあらゆる概念や解釈の衣の下には、鎧が隠れている。

第4章 シュレーディンガー方程式

さて、量子力学の基礎中の基礎——シュレーディンガー方程式——に話を進めよう。ボーアによる説明に対するファインマンの意見、すなわち、「電子がそのような運動をする理由は、やはりそのままミステリーとして残されていた」という意見 [Feynman, 16-5] には賛成することができる。しかし、シュレーディンガー方程式もただ単に**計算の量的可能性**を増加させただけで、存在するあらゆる矛盾や困難な問題点を取り除いたわけではない（すなわち、その説明の基本的な問題点を解決することはできなかつた）。原子核近傍でのある確率を電子になすりつけたとしても、そのことは、「放射によって**エネルギーを連続的に損失しつつある**諸状態の間の平均値が、どのようにしてエネルギーが一定の定常状態を与えることが可能なのか？」という疑問を解消するものではない。

量子力学においては、既にボーア「理論」に対して提起されていた疑問すらも解消されていない。すなわち、所与の周波数での放射は有限な時間しか持続せず、したがってその電子がある準位からの遷移を**開始した**ときには、**自分がどの準位で停止するつもりなのか**を既に予め知っていなければならないという結論が得られる、という疑問である。我々の側としては、どの準位からどの準位への**遷移を計算する**のかをやはり**予め選択した上で**（我々の「選択」と電子の「選択」との一致を後付けで確保した上で）、その電子が自分の選択を自由に行なえるよう、それを「手助けしてやる」ことしかできない。筆者の観点から見ると、この問題の深層全体は、量子力学によって提案されている、状態の特徴づけの不十分さのうちに潜んでいる。例えば、電子が100番目の準位にあるとすると、放射は（既に具体的な周波数で！）その準位自体から始まる。したがってその電子は、既に100番目の準位自体において、少なくとも99個の相異なる**区別可能な性質を持つ可能性**を持っていることになる。このことは隠れた変数が存在する証拠ではないと言うのなら、その理由はどこにあるのか？

物理学的観点から見ると、さらに次の問題点がある。定常解が得られるのは、**エネルギーの選択が厳密に具体的**である場合に限られる。このことは、得られた解は、**任意の無限小摂動**に対しては**不安定**であるということを意味する。計算物理学全体のこの主要問題——解の安定性の問題——が量子力学とはまったく無関係なのだとしたら、それはなぜなのか？ おそらく、量子力学ではエネルギー（放射）の完全均衡をないがしろにして、あらゆる計算についての考察を乱暴なやり方で行なっているのだろう。

[Landau & Lifshitz, §17, 小教程§20] におけるシュレーディンガー方程式の「導入」からは、途切れなく続くコメディイが得られる。第1に、互いに相互作用をしない粒子からなる系について

$$\hat{H} = -\frac{\hbar^2}{2} \sum_a \frac{1}{m_a} \nabla_a^2$$

という式が書かれ、ここで「 ∇_a は **a 番目の粒子の座標**に対して微分を行なうラプラス演算子である」と説明されている。よく考えていただきたい！ 量子力学では粒子の座標と運動量は同時に測定することができないと主張されているというのに、既に**確定した運動**

量を持っている（したがって、空間全体に「広がっている」！）粒子のために、あなたはいったいどうやって全宇宙を駆けめぐり、微分のためのその最も正確な（！） a 番目の粒子の座標を見つけ出すことができたのか?! 量子力学の本質そのもの（教科書で言われているように、量子力学にそんなものがあればの話だが）との矛盾である。第2に、相互作用粒子のハミルトニアンについて、運動量からなる関数と座標関数 $U(\mathbf{r})$ とが足し合わされているが、これらもやはり、同時に測定することはできない。したがって、このように組み合わせられた表式は独立した意味を持たない（これは数学的一致ゲームなのか?）。第3に、自由粒子に関してさえ、[Landau & Lifshitz, 同上]における「エネルギーおよび運動量のすべての固有値に対して $E = p^2 / (2m)$ の関係が成り立つためには、それらの演算子に対しても同じ関係式が成り立たなければならない」という主張は証明されていない。「成り立つ可能性がある」ではなくて、他ならぬ「成り立たなければならない」であるのは、なぜなのか? ましてや、相互作用が導入される際、ハミルトニアンのこの「片割れ」の形式が保存されることすらも証明されていないのである。

自由粒子に関するシュレーディンガー方程式の解のド・ブローイ波形式での表現 [Landau & Lifshitz, §17, 小教程§20] は、完全に約束事的なものである。いかなる平面波について論じることができるのか? 古典論との類似点を取り上げてみると、ここには物理学全体に共通するものは何もなく、あるのは数学的相似性のみである。実際、古典物理学では振幅もその2乗も物理的意味を持っている（直接測定することが可能である）。また、我々は実際に波動を見て、その特徴や、それがどこに向かって運動しているかを決定することができる。量子力学の場合とは言えば、 ψ の値自体は独立した物理的意味を持たず、測定することもできない。したがって我々は波動過程も見ることができず、これらの波動運動なるものは、波動関数の絶対値の2乗 $|\psi|^2$ の中で「互いに食い合っ」てしまう。

[Landau & Lifshitz, §17, 小教程§20] では、波動関数がなぜ連続でなければならないのか、その理由の説明はまったくなされていない。古典物理学においてさえ、確率（それは量子力学における波動関数の絶対値の2乗に類似している）は空間に関しても時間に関しても離散的であり得るのだし、しかも量子力学は自らをより一般性の高い理論であると宣言しているのだから、この理論は古典物理学のあらゆる細部を含んでいなければならない。これはとりわけ ψ の導関数の連続性について言うことができる。 $U = \infty$ の場合には、 ψ の導関数は不連続点を持つことを「寛大にも許されている」（これはただ単に、課題が自分の都合を押しつけ、「量子力学の数学を壁ぎわに追い詰めている」だけなのだが）からには、それ以外のあらゆる場合においても、不連続点を持つことは何によっても（数学によっても、物理学によっても）禁止されていない。また、波動関数がどこかで無限大に向かうことを誰も禁止していない（ある課題設定の場合には、既にそれが可能とされているのだから）。ただし、 $|\psi|^2$ が確率密度の物理的意味を持つためには、この関数は規格化可能でなければならない（さもなければ、すべてが信仰によって支えられることになる——例えば、現実との相似性という意味を運よく手に入れられるかもしれないし、それほど運に恵まれないかもしれない、といったように）。

エネルギーの運動部分とポテンシャル部分は同時に正確に測定することができない以上、平均エネルギー $E_{\text{平均}} > U_{\text{最小}}$ のための「証拠」は、量子力学固有のものではなく、古典物理学からのまことしやかな類推のみに依拠しているにすぎない。[この段落と次の段落は Landau & Lifshitz, §18, 小教§22]

粒子は $E < U$ なる空間領域にも存在する可能性があるのだという、次の虚偽説明は笑いをさそう。「もしも測定過程によって粒子が空間内のある確定した地点に局在するならば、この測定過程の結果、……粒子は一般にいかなる確定した運動エネルギーも持たなくなる」。もし我々が、**粒子が障壁を透過する瞬間に測定を行なう義務を常に負っている**のならば、このたわ言は、せめて何らかの意味を持つことができたかもしれない。では、もし我々が捕捉式計数器（幅広いダイヤフラムを備えているもの）を幅の狭い障壁の向こう側の領域内の非常に遠い場所、つまり粒子がその障壁を既に透過し終えている（計数器から障壁までの距離が非常に大きい）場所に設置したとすると、その計数器は粒子を記録しなくなるとでもいうのか（あるいは、粒子は障壁から大きな距離にある計数器の存在とその影響を感じ取る、しかもどうしたわけか障壁の内部においてのみ感じ取り、自由飛行している間は感じ取らないとでもいうのか）?! それゆえ、ここでは測定過程はまったく無関係であり、量子力学的虚偽説明は完全な場違いなのである。

「量子化されたエネルギー準位」のセクション [Feynman, 16-6] における記述は完全に正確というわけではない。ここではポテンシャルの井戸の中における粒子の様々なタイプの挙動がグラフを用いて「目分量で」描かれている。例えば、 $x > x_2$ の領域において増大していく振幅を持つ解 [Feynman, 図 16-6] を「デザイン」した上で、ファインマンは「我々が作った解の場合には、電子と出会う確率が他のどこよりもはるかに高い場所は、 $x = +\infty$ のところである」と書いている。実際には、得られた「解」は規格化不可能であり、それゆえ、物理的意味をまったく持たない。この「解」は、

$$\varphi = a(x)e^{-iEt/\hbar}$$

の形の解を求めることにするという、我々の選択から得られたものなのである。ここには、計算上、構想上の「選択問題」という大きな問題が横たわっている。なにしろ、偏導関数の方程式には、多数の様々なタイプの解が存在し得るからである。例えば、時間依存性として別の周期関数 ($\exp[-i\alpha \sin(\beta t)]$, 等々) を、なぜ選択することができないのか? 原理的には、このような周期関数は、力学的な意味で定常的な、連続的に進行するいくつかの周期的な反応や状態に対応することができるはずである。あるいはまた、そもそも、もし時間の進行についてそれとは別の選択をしていたとすれば、変数の割り算を行なうことすらまったくできなかつたのである。

量子力学では力学的運動量（あるいは「 p -運動量」）を用いる必要があることについてのファインマンの証明 [Feynman, 21-3] は、完全に厳密性を欠いている。第1に、ある量（この場合は \mathbf{A} のベクトルポテンシャル）が突然（一瞬のうちに）変化（増大）する可能性について議論するより前に、そのような変化に関して自然が何を語っているか、そしてその変化が他の被測定量に対して影響を及ぼさないのかどうか（それらの変化の法則が検討されている他の諸量との間で相互に関連を持っていないのかどうか）を解明する必要がある

ある。第2に、ファインマンの「証明」を正常な言語に翻訳して（逆立ちしている状態を逆にひっくり返して）みよう。ファインマンはこう書いている。「さて今、私が突然ベクトルポテンシャルを投入したら、何が起こるだろうか？ **量子力学の方程式によれば (!!!!)**, \mathbf{A} が突然変化しても、これによって ψ が突然変化することはない。……したがって、その勾配も変化しない」。このように、ファインマンはその証明を、（実験ではなく）量子力学の**方程式に対する信仰から始めている**。彼がその同じ信仰をもって証明を終えているのは当然である。これは単なる数学記号ゲームにすぎない。そして、実験において運動量が $(-q\mathbf{A})$ に変化したことが判明すると、ファインマンは、方程式が元のまま変わらずに残るようにするため、運動量の代わりに、運動量と偶然見つかった増分との差をいたるところであっさり代入せざるを得なくなった。物理学の偉大なる目的——それは、方程式を人為的に救済し、方程式に対する信仰を *a priori* に確信させることなのだ！

[Landau & Lifshitz, §18] において、

$$U = -\frac{\alpha}{r^s}$$

の $s > 2$ の場合について検討する際、この教科書の著者らは、この状況の完全な荒唐無稽さに気づきさえせずに、「……絶対的な大きさがいくらでも大きな、負のエネルギー固有値が存在する」と述べている。よく考えていただきたい！ そのような中心に落下して行く粒子は、無限量のエネルギーを放射することができるはずである。もしそれが永久機関（神の創造行為、等々）でないというのなら、私の間違いを正していただきたい。正常な物理学者なら誰でも、そのような（またその他多くの）状況の場合には、そもそも粒子を点状粒子とみなしてはならない（また、消滅時に放出されるエネルギーは有限でなければならない）という結論を即座に下す。その「証明」方法にも驚かされる。小さい r_0 については、方程式の解なしに、 r_0 の範囲を超えるゼロに等しい関数が人為的に (!) 選ばれており、また、任意の s について、

$$\left\langle \frac{1}{r^s} \right\rangle \sim \frac{1}{r_0^s}$$

と仮定されている。 $r \rightarrow \infty$ の場合についての検討も厳密ではない。あなたは、ある1つの層の内部でのみゼロ以外となるような解（古典物理学における解ではなく、量子力学における解）を、どこかで見たことがあるだろうか？ しかも、その層もまた、 r_0 の増大とともに増大する（ r_0 に比例して増大する、つまり、「占拠」されている空間と自由な空間との比率が一定に維持される）ように選択されている。ここでも再び、

$$\left\langle \frac{1}{r^s} \right\rangle \sim \frac{1}{r_0^s}$$

が選択されている。有効な関数による ψ の選択の可能性——それはせいぜい、数学ゲームにすぎない。なにしろ、磁場が存在する場合にはそれは不可能となるが、すべての現実の粒子は磁気モーメントを持っているのだから。

量子力学における粒子の速度と運動量との関係、および加速度とポテンシャルの勾配との関係が同じ古典論的關係式によって与えられていることは、（独創性と新規性の欠如という点で）注目に値する。しかしこれは、それらの関係が、「4階建ての数学的構造物」

上における量子力学の「独創的空理空論」とは異なり) 現実に測定し得るものだからである。

我々は再び、何の根拠もない次のような主張に出会う [Landau & Lifshitz, §19]。「速度は座標と同時に存在しないという事実は、もし粒子がある時点に空間内の確定した地点に存在するならば、その粒子は、既にそれに続く無限に近い時点においては、確定した位置を持たなくなるということを意味している」。この言明は、測定過程に対してのみ間接的に関係を持ち得るかもしれないが、観測者の介入を受けずに自然諸力の作用の下で運動している粒子に対しては何の関係も持っていない。しかも、量子力学のこのようなイデオロギーは、微分の利用に関するイデオロギーと、またそもそも数学のイデオロギー全般と矛盾しているのだ！ なぜなら、数学において言われているのは、ただ単に、自然界における当該の物理諸量の変化の連続性という事実を利用して、無限小量 dt に対する数学的な掛け算を行なうということだけであるからだ。

異なるエネルギーを持つ諸状態に関する波動関数の相互直交性についての証明は、波動関数とその導関数は自然界においては常に連続であるという**信仰**に(ガウスの定理を通じて) 依拠している。ところが、ランダウ=リフシッツの教科書では、そのような証明は提示されていないのだ！ しかし、そもそも古典的に理解されている証明が、量子的な対象の挙動が持つ奇妙な「揺らめき動くような」(非古典的な) 性質の結果として存在するようになるということは、あり得るのだろうか？

現実の3次元課題を測定数が最小となるような課題に矮小化しようと試みたり、あるいは課題をただちに2次元や1次元の形で設定したりするのは、量子力学のイデオロギー自体と矛盾している！ [Landau & Lifshitz, §21]における主張、すなわち「粒子のポテンシャルエネルギーが1つの座標 (x) のみに依存している場合には、波動関数は、 y, z の関数と x のみの関数との積の形で求めることができる」、また「それらのうち、1番目の関数は自由運動のシュレーディンガー方程式によって決定され、2番目の関数は1次元シュレーディンガー方程式によって決定される」という主張を証明しているものは何もない(これらの主張は信仰として採用されている)。実は、**単一の3次元方程式**は、3つの1次元方程式によって**無限個のやり方で割る**ことが可能である。例えば、次の方程式系を書くことができる。

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{2m}{\hbar^2} (E_1 - U(x)) \psi = 0 \\ \\ \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} + \frac{2m}{\hbar^2} E_2 \psi = 0 \\ \\ \frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2} + \frac{2m}{\hbar^2} E_3 \psi = 0 \\ \\ E_1 + E_2 + E_3 = E \end{array} \right.$$

ここで E_1, E_2 および E_3 は x, y, z のある関数であって、そのうちの2つはまったく任意の関数であり、3つ目の関数はこの方程式系の最後の方程式から見出される。それゆえ、量子力学においては(現実の3次元世界に関して) 純粹に1次元の運動を考察することが可能であるという主張は、**追加的仮説**の1つである。ポテンシャルエネルギーをそれぞれが自

己の座標にのみ依存している個別の被加数の和によって表現することが可能であるという主張についても、それと同じ疑問が残る。おそらく、磁場を考慮に含めようとする際（なにしろ、すべての粒子は磁気モーメントを持っているのだ）、あるいは非線形過程を量子力学に取り込もうとする際には、この問題が特に先鋭性を帯びるのではなからうか。

量子力学における ψ および ψ' の連続性という条件の必要性には根拠がない。なぜなら、古典物理学においてさえ、障壁が存在する場合には、確率は空間内で必ず連続でなければならないというわけではなく、また確率の導関数はまったく問題にされていない（穴に向かって金属小球を飛ばして遊ぶ子供向けゲーム [パチンコに類するゲーム] を思い出そう）。ところで、量子力学はより一般性の高い理論をもって自任している、すなわち、古典論の個別的ケースを包含していると主張している。それゆえ、そのようなやり方による箱型ポテンシャルの解の発見 [例えば [Landau & Lifshitz, §22] を参照] は、しかるべき根拠による裏づけを持っていない（それは唯一可能な発見というわけではない）。 $U_0 = \infty$ の場合、これは歴然としている。この場合には、 ψ' の連続性の必要性はただちに忘れ去られるからである。この観点に立って考えてみれば、[Landau & Lifshitz, §22] の「問題2」における解の次の性質が奇妙であることを理解できるはずである。すなわち、 $U_1 = U_2$ のときには、ポテンシャルの箱の中に少なくとも1つのエネルギー準位が常に存在し、 $U_1 \neq U_2$ のときには、それ未満では離散的なエネルギー準位が存在しないような井戸の幅が存在する、という性質である。粒子が既にあるエネルギー準位に「座っている」とき、私が一方の壁を他方の壁の高さまで「持ち上げる」（減少させるではない！）と、その準位は消滅してしまうというのは、奇妙なことだ。多分これは、現実ではなく、あり得る解を探す際に ψ と ψ' に課される条件の選択と関係しているのだろう。

線形振動子のエネルギー準位を行列の方法によって決定すると [Landau & Lifshitz, §23, 小教程§25], 座標と速度が同時に確定値を持つこと、すなわち、

$$(\dot{x})_{mn} = i\omega_{mn} x_{mn}$$

となることが分かる。これは量子力学のイデオロギー自体と矛盾している。特に、「行列要素 x_{mn} は、 $\omega_{mn} = \pm\omega$ に相当するものを除いてすべてゼロとなる」。しかし実のところ、ゼロはそれ以外の任意の**確定値**とどこが異なるのだろうか？ 問題2 [Landau & Lifshitz, §23] における不確定性関係を用いた振動子エネルギーのあり得る値の下限の決定の根拠は、完全な裏づけを与えられていない。実際、

$$\bar{E} \geq \frac{\hbar\omega}{2}$$

という条件が得られているが、しかし、**平均値**についての不等式から「エネルギーのすべての**あり得る値**」についての不等式を導き出すことは許されない。結論は、逆の順序で導き出すことができたはずである。すなわち、すべての E についての条件から、平均値に課される条件を得ることができたはずである。ところがこの教科書では、状況は正反対になっている。

次の疑問はもう1つの謎として残されている。**連続**スペクトル、例えば一様な場について発見された連続的な規格化不可能な波動関数（全空間をカバーしている波動関数） [Landau & Lifshitz, §24] の意味は、いったいどこにあるのか？ これは、学生たちの前で

自分の重要性を大きく膨らませて見せることを目的とした、事前に与えられたスキームに従ってプログラミングされた科学もどきの数学記号ゲームなのか？

さて、透過係数に関しては明らかな手抜かりが生じている。例えば、[Landau & Lifshitz, §25, 小教程§28]の問題1では、 $E > U_0$ の場合における垂直なポテンシャルの壁による粒子の反射係数が求められ、この場合は古典的な極限への移行が不可能であることが明らかにされている。このことを正当化するため、次のような科学もどきの文言が発せられている。「古典的な極限に対応するのは、粒子のド・ブロイ波長……が、場 $U(x)$ が顕著に変化する距離に比べて小さい場合である。……この距離は……ゼロに等しく、したがって極限への移行を行なうことができない」。何たるたわ言だ！ 第1に、得られた解は近似解ではなく、量子力学の**諸原理**から得られた**厳密な帰結**なのである。もし量子力学が古典物理学よりも一般性の高い理論であるのなら、量子力学は古典物理学のあらゆる場合を個別の場合として包含しているはずであるが、そうっていない。第2に、ド・ブロイ波に関して、その物理的意味についての合意が得られていない（その物理的意味が一般的な承認を得ていない）のだとしたら、ド・ブロイ波が、ここで何の関係があるというのか？ 第3に、古典物理学では任意の場合をモデル化することが可能なのだとしたら、この問題の特徴的な大きさ[粒子のド・ブロイ波長が、場 $U(x)$ が顕著に変化する距離に比べて小さいこと]が、ここで何の関係があるというのか？ 量子力学にはこれらの問題や制約があるのだとしても、それらは量子力学内部の固有の難点なのである！ 第4に、**次元定数**、すなわち**自然自体**がその具体的な値を**確定させた量**をゼロに向かって突進させるという、何たる「ニューモード」が物理学の世界に蔓延してしまったことか?! リミット君たちは、数学（極限）をマスターして、ゼロに向かって突進させるのは無次元比だけに（実際に比較する相手は無次元単位とする）ことを覚えたほうが良いのではなかろうか（「大蛇の長さはゾウの中においては無視し得るほど小さいが、オウムの中においては無限大である」などと主張しないようになるために）。一見したところ、諸実験においては歴然たる混乱は回避できているように思われるかもしれないが、これは、現実の状況で相手にしているのは有限障壁であって、この場合には量子力学の枠組み内で合理的な結果が得られるからである。

古典物理学とは異なり、量子力学における1次元課題の検討は完全に約束事的なものである（より正確に言えば、それは1パラメーター的な課題である）。なにしろ、量子力学の固有原理によれば、座標を正確に記録すると運動量は無限大となり、粒子はその記録された平面から飛び出してしまうからである。また、垂直な平面内において我々が $p_{\perp} = 0$ とみなすと、粒子の座標はその平面内においては不確定となる（すなわち、それは空間的運動であり、したがって粒子は最初に記録された場所から任意の距離の場所で見出され得る）。

このように、シュレーディンガー方程式の根拠は、物理学的観点、数学的観点および実践的観点のいずれから見ても、非の打ちどころのないものではない。この方程式は、当時存在していた基本的な説明問題を解決しなかったし、また一般に支持されている意見に反して、厳密なアルゴリズムを備えた理論の構築をもたらさなかった。その適用は数多くの場合に大きな疑念を引き起こしている（実験で答えを知ってから解に科学もどきの補正を後づけで加えることを、けっして成功とみなしてはならない！）。

第5章 角運動量

「角運動量」の概念は古典物理学から誰もがよく知っているが、しかし量子力学の場合には、それは、単語の組み合わせだけが従来の名称と一致している、まったく別の何ものである。例えば、 $m[\mathbf{r} \times \mathbf{v}]$ と書かれる角運動量は、古典力学においては運動論的な量と動力学的な量のあるやり方での組み合わせである（また、絶対量と相対量の組み合わせでもある）、といったところから話を始めよう。量子力学においては、距離と速度の物理量は同時に測定することができず、また存在すらしていないとみなされている。では、新物理学ではそのような組み合わせられた量に対してどう対処することができるのだろうか？ まず最初に、量子力学におけるそのような量の新たな物理的意味を定義しておくべきではなかろうか。例えば、その意味に含まれる諸量を同時に測定することが不可能であること（諸量が同時に存在しないこと、軌道が「細断」されていること）の結果として、古典的値は任意に（0から ∞ まで「ゆらぎ」的に）変化することができるようになるはずであり、とりわけ、その値の中に諸量の相異なる成分が入ることができるようになるはずである。さらに、従来の古典的角運動量のあらゆる性質を新たな量子力学的量に自動的に移し入れることは許されない。この問題は追加的な理論的・実験的根拠づけを必要としている。特に、微視的対象の場合について、この新たな量の独立した実験的測定を行えば面白いのではなかろうか（もちろん、この量がつじつま合わせされた量でなければの話だが）。

角運動量の固有値が決定される時 [Landau & Lifshitz, §27, 小教程§15], 我々は再び量子力学的コメディーと出会うことになる。第1に、角運動量の整数性に関する結論は信仰のみにもとづいて導出されている（この結論はお定まりの公準である）。なぜなら、関数 ψ それ自体は物理的意味を持っておらず（物理的意味を持っているのはその絶対値の2乗 $|\psi|^2$ のみである）、この関数の位相因子の φ に関する周期性（!）（関数 ψ が1価関数であるために必要と称されている周期性）は、現実に観測される諸量にとっていかなる役割も演じていないからである（少なくとも、せめて、偶関数の場合と奇関数の場合とでは周期が異なることがあるということぐらいは気づいてもらいたい）。第2に、任意の方向の角運動量成分の整数性——それは、明白な矛盾である。また、相異なる射影は同時に確定値を持つことができないという弁明はまったく根拠薄弱である。もし同時に $L_x = L_y = L_z = 0$ であり得るのなら（「ゼロ」要素を持たない数学という学問自体、想像することすら困難である!）、ゼロという数は、（物理的測定および不確定性原理の観点から見て）他の任意の具体的な非ゼロ値と何によって区別されるのか？ 第3に、各軸（例えば z 軸）は何によっても選り好み（選別）されない^[訳注]と主張されている。実際には、現実の各粒子は固有の角運動量を持っており、このことが、その粒子と相互作用する諸粒子にとっての

^[訳注] 小教程§15の当該箇所は次のとおり：「 z 軸の方向をあらかじめ選り好みする理由はないので、 \hat{L}_x, \hat{L}_y について、またより一般的に任意の方向の角運動量成分についても同じ結果が得られることは明らかである」。

ある方向を既に選別しているのである（それゆえ、エネルギー準位の縮退という問題もまた、さらなる研究と根拠づけを必要としている）。

古典物理学においては、全座標の符号の変化（反転）は系のエネルギーを変化させない。これは疑いのないことである。ところが量子力学では、 ψ の大きさに関する新たな保存則を發明し始める（「出まかせ」を言い始める）。 ψ の大きさは独立した意味を持っておらず、したがってこの「パリティの保存則」も物理的意味を持たず、量子力学の人為的に固定された枠組み内における単なる数学記号ゲームである。この法則 [Landau & Lifshitz, §30, 小教程§19] が「もしも」という言葉で始まっていること^{〔訳注〕}は注目に値する。すなわち、我々は事前にその系について、まったく何も知ることができないのだ（もしかしたら、その系は確定したパリティを持っているかもしれない、もしかしたら、持っていないのかもしれない）。では、この「有益な」後づけ情報が我々に必要となることがあるのだろうか？

系の諸部分間に相互作用が存在しないとき、その諸部分の角運動量は個別に保存される。——量子力学においては、このことは証明されてもいず、予め自明ともなっていないにもかかわらず、古典物理学との類推にもとづいて承認されている。さらに [Landau & Lifshitz, §31, 小教程§17] では、「その次の近似」なるものにおける「角運動量の合成則」が「導出」されている。この近似とは定量的にはいかなることなのか（いかなるパラメーターにもとづいているのか、また、そのパラメーターがどこにも姿を現さないのはなぜなのか）、さらに、ある場合から別の場合へどのようにして連続的に移行するのかについては、まったく言及されていない（つまり、口先だけの**信仰**にすぎないのだ！）。

$L=0$ の状態にある原子がイオンと電子に崩壊することが不可能である理由のパリティによる「根拠づけ」 [Landau & Lifshitz, §30, 小教程§19] は、笑いを誘うだけである。なぜなら、原子は崩壊することが**エネルギー的に不可能**なのであって、それ以外の理由はないからだ！物質をプラズマ状態になるまで加熱してみよう。——すると、あにはからんや、そのような崩壊が可能となるのである。

ファインマンは光子に関して、事実上、光子は単独の角運動量を持つためには円偏光（右偏光または左偏光）した状態にのみなければならず、直線偏光した状態にはない（すなわち、直線偏光した光とは右偏光光子と左偏光光子の統計的平均である）と主張している（例えば [Feynman, 18-1]）。しかし、そうだとすると、他ならぬ直線偏光した光を取り出す偏光子の働きをどう理解するのか（また、様々な物理学教科書に書かれている各種偏光子の働きについての多数の説明や図解をどう評価するのか）？さらに、光子は「一種独特の気性」を備えていて、「角運動量の論理」にはまったく従わない（指定された3つの射影ではなく、2つの射影しか存在しない）のだとしたら、この教科書で述べられている光子の放射に関するそれ以外の一見正しそうな議論が真理であるという保証は、どこにあるのだろうか。例えば、「電気双極子放射」のセクション [Feynman, 18-1] において、スピン1、射影 $m_z=0$ である**励起原子**の場合（つまり**第3**の可能性の場合）については、我々は z 軸に垂直な平面内における光子の放射をまったく考慮していないのはなぜなのか、理解

〔訳注〕 小教程§19の当該箇所は次のとおり：「反転に対してハミルトニアンが不変であること（つまり演算子 \hat{P} と \hat{H} が可換であること）は**偶奇性の保存則**を表している。もしも閉じた系の状態が一定の偶奇性をもつならば（その状態が偶か、あるいは奇であれば）、その偶奇性は時間とともに保存される」。

することができない。そのような放射も方向 θ に寄与を与えるはずではないか？ **1つの軸に関する** (1次元の) すべての可能性は、**すべての空間的組み合わせ**を覆い尽くしていると我々がみなさなければならぬのは、なぜなのか？ さらにまだある。このセクションへの注では、ファインマン自身が「これらすべては不確かな議論である。なぜなら、いま考えている終状態は一定のパリティを持たないからである」^{〔訳注〕}と書いている。すなわち、自然は、人工的な量子力学的発明品でゲームをすることをけっして望んでいないのである。

ファインマンは厳密性を求める読者のために補遺 2 [Feynman, 第 18 章補遺 2] を参照するよう勧めている。彼はそこでこう書いている。「この場合、ある決まったエネルギーの状態にある原子は決まったパリティを持たねばならないという我々の前の証明と、パリティは原子過程において保存されるという我々の所説との関係は、どうなっているのでしょうか？ この問題では、その終状態……もまた、決まったパリティを持っているはずではないのか？ 実は、あらゆる角度への光子放射の振幅を全部含んでいる完全な終状態について検討すると、確かにそうなのである」。これは素晴らしい！ 1つの原子は1つの光子ではなく、無限個の光子をあらゆる角度に向かって放射するという結論が得られるのか？ では、個別の(まばらな)励起原子を用いた実験は、どのような結果を与えるのか(個別の(まばらな)具体的光子は記録されないのか)？ このように、自然は、ここでの**物理学的説明**において量子力学の側にくみしていない(また、古典的な**統計的**記述が持つ可能性を何によっても制限していない)。要するに、ファインマンは物理学的に正しい説明を得ることなく、結局、話を寝業師的な数学ゲームに持っていったのである。

ポジトロニウムの消滅過程に関する記述 [Feynman, 18-3] についても疑問が残る。ポジトロニウムと水素原子のアナロジーの問題から話を始めよう。水素原子の場合、電子にとって核と出会う確率(核に落ち込む確率：中心 $\rho = 0$ に入り込む確率)は基底状態において最大となるが([Feynman, 19-5]を参照)、いったいなぜ、核から中性子が生成されないのか？ ただし、ニュートリノ-反ニュートリノに関するおとぎ話は語らないでいただきたい。なにしろ、これらの粒子は、別の反応ではどうしたわけか「空気の中から魔法のように忽然と」登場する(失礼、捕獲される)のだから！

ファインマンは、 $\mathbf{p} \times \mathbf{r}$ の項からくる軌道角運動量の存在の可能性に関する注 [Feynman, 18-3] において光子系の構造の問題を提起し、「2個の光子は、ポジトロニウムの中心から、回転している車輪のリムから射出された2個の物体のようになって出てくるかもしれない」と書いている。そのような構造の場合、光子たちは、原理的に、その全部が1つの直線に沿って飛び去るわけではなく、平行線に沿って飛び去る可能性があることを指摘しておこう。光子は「一種独特の気性」を備えていることを考慮すると、スピン1の状態にあるポジトロニウムが2個の光子になって消滅することは不可能であるという判断もまた、厳密でないか、またはまったくの誤りである可能性がある。いやむしろ、ここでの状況は逆であった。すなわち、2光子消滅や3光子消滅が観測されるのであれば、そこでの課題

〔訳注〕 この引用箇所前半「これらすべては不確かな議論である。」は英語原文とまったく異なっている。おそらく、露訳版の翻訳に不備があるものと思われる。このセンテンスは邦訳版では「諸君のなかには、上の議論に反対の人もいることと思う。」と正確に訳されている。

は、その実験的事実を量子力学の現代的理解の枠組みの中に「後づけ」で組み込むことだったのである。

3光子消滅に関してはもう1つ別の「ナイーブな」疑問がある。ポジトロニウムが形成されるとき、そのときの1/4しかスピン0の状態になく、そのときの3/4はスピン1の状態にあるのだとすると、その場合、3光子崩壊はいったいなぜ、1000分の1の頻度で生じるのだろうか？ どうやら、“ポジトロニウムの基底状態は奇のパリティを持っていることについての理論家たちの（「困難な方法による」）証明”と、“量子力学の枠組み内で**そう仮定することのほうが**、それと同じ量子力学の制限された枠組み内における他の様々な仮定よりも良く実験と一致するということの唯一の論拠”とは、同程度に厳密であるらしい〔訳注〕。

その先に続いているのは、「理論家たちのお気に入りの話題」、すなわち存在しない γ 量子の偏光板を使った思考実験（お定まりの詐欺）である。しかし、実際のところ、**空間的に分離した2個の光子の具体的な偏極に関する確実な同時測定の結果**は、古典物理学においては、個別の出来事が持つ決定論的性格の裏づけとみなすことができるのである。馬鹿げた相対性理論と関連させることの可能なアインシュタイン-ポドルスキー-ローゼンのパラドックスは、非相対論的量子力学においてもまったく無関係である。

「任意のスピンに対する回転の行列」のセクション [Feynman, 18-4] における諸式の導出は、単一の対象をスピン1/2の複数のより小さい対象に分割することが可能であること、また、そのような任意の相異なる組み合わせは互いに完全に独立していること（無相関であること）を前提としている。概して言えば、このことは証明を必要としているが、複雑な系の場合、その実験による検証もやはり不可能となるため（あまりにも誤差が大きい）、結局、信仰の独占権の下に留まることになる。また、マイクロ世界のすべての複雑な対象（原子、分子、素粒子）の諸性質がスピン、軌道角運動量およびそれらの射影の値の**そのような単純な組み合わせのみに依存している**と期待するのは奇妙なことだ。実験により得られた従属性と理論曲線との比較は、理論への強固な信仰しか物語っていない場合が往々にしてある（特に、比較対象区間が狭く限定されているのに、理論曲線の選択の可能性が多数存在する場合）。

このように、角運動量という概念自体の物理学的根拠づけ、また量子力学におけるその具体的な適用についても、すべてが順調に運んでいるというわけではない。

〔訳注〕 これは、[Feynman, 18-3] の次の1節における議論の進め方の非論理性を批判し、皮肉っている：「しかしそれをやるには、ポジトロニウムのパリティを知っておく必要がある。ところが理論物理屋のいうことには、電子と陽電子——電子の反粒子——のパリティは反対であり、ポジトロニウムのスピン0の基底状態のパリティが奇でなければならないということを説明するのは、はなはだ困難である。そこでここでは、それが奇であると仮定することにする。そして、そう仮定することによってえられた結果が実験と一致すれば、それがその十分な証明であると考えことにする」。

第6章 中心対称場中における運動

次に、量子力学が構築された目的である、最も重要なマイクロ世界記述モデルとそのようなモデルの場合における解（例えば中心対称場モデルと水素原子その他の原子および分子の場合における解）の分析に進むことにしよう。

古典物理学では、互いに相互作用している2つの点状粒子の運動の記述は、換算質量を持つ1つの粒子の中心対称場中における運動の記述に還元することができる。しかし、それと同じことが、どのようにして量子力学においても基本構想の点で可能となり得たのだろうか [Landau & Lifshitz, §32, 小教程§29]？ 量子力学理論の主張によれば、各マイクロ粒子には座標と速度の正確な値は同時に存在しないとされている。では、いったいどうすれば相対距離と相対速度を、しかも同時に決定することが可能なのか？

教科書 [Landau & Lifshitz, §32, 小教程§29] では、ポテンシャルエネルギー $U(r)$ が有限であるとき、関数 ψ の値は有限であることの証明はまったくなされていない。はたして、無限関数を含む方程式に、有限量は入ることができないのだろうか？ これはただ単なる、お定まりの無根拠な主張である。

ところで、例によって例のごとき思いつきのたわ言——「角運動量（スピンではない！）の確定された絶対値と射影を持つ」粒子の自由運動——について、誰かじっくり考えたことのある者はいるのだろうか？ もし何かが粒子の運動を「回転」させれば（粒子を直線運動から逸れさせれば）、その粒子はもはや自由粒子ではない！ もしかしたら、多数の粒子に関する統計についてなら、そのような話をするのができたかもしれない。例えば、 $l=0$ の場合、中心に向かうおよび中心から外に向かう有限定常流が事実上定まり、このことが定常波を与える（しかし、これは1粒子の場合ではない！）。それ以外の l の場合にも状況は同様となる。（次のことも括弧に入れて指摘しておきたい。 $(-1)^l$ なる因数は、

他の場合には物理的意味を持たない波動関数の符号と引き換えに事前に「勝ち取られて」いるが、ここでは荒唐無稽な「便宜上」の判断から導入されている。）どうしたわけか、粒子束のことが賢げに想起され始めるのは、座標原点において波動関数が無限となる（このとき、それは湧き出しあるいは吸い込みと呼ばれる）、自明な場合に限られていることは明らかである。すなわち、同一の関数の解釈が、真実らしく見せかけるために、具体的な課題に合わせて科学もどきのやり方ですじつま合わせされているのである（すべての理論家の知恵は「下種の後知恵」なのだ！）このように、「自由運動（球面座標）」のセクション [Landau & Lifshitz, §33] は数学方程式と数学記号を弄ぶゲーム以上のものではない。

「平面波展開」のセクション [Landau & Lifshitz, §34] もまた、それと同様な方程式遊びの疑似数学ゲームである。数学的観点から見れば、任意の関数は完全基底を構成するいくつかの関数の組に分解できるということはまったく自明であるが、このことと、この恣意的に取られた関数における物理的意味の有無は絶対的に無関係である。それゆえ、固定された k の選択は恣意的な選択であるにすぎない。また、まるで $m=0$ であるかのように言われていることについての物理学的観点からと称する（位相を通じた）「根拠づけ」も、完全に馬鹿げている。関数 ψ それ自体には物理的意味はなく、物理的意味を持っているの

はその絶対値の2乗 $|\psi|^2$ のみだからである（つまり、せめて何らかの物理学的根拠づけの外見だけでも持ち得るのは、関数 $|\psi|^2$ の性質に関する議論のみなのである）。

「中心への粒子の落下」のセクション [Landau & Lifshitz, §35] はどうかと言えば、これも再び、物理的意味を欠いた（疑似科学者にとっては負けなしの）数学方程式ゲームになっている（ここで検討されているようなポテンシャルは自然界には存在しない！）。それだけでなく、このセクションは「数学に対する暴力」でもある。その推論においては量 E が切り捨てられているが、この量は、残されている量 U と同一の次数を持ち得る。では、どうして量 E を無視できるのか？ $r=r_0$ とし、さらに $r_0 \rightarrow 0$ とすることにより、 U を人為的に切り落とすという歪曲を行なっているのは、いったい何たることか？ なぜなら、まず最初に $r_0 \rightarrow 0$ 、その次に $r \rightarrow 0$ という2つの移行を行なうのが正しい（厳密な）やり方であるはずだからだ！ しかし、その場合、極限 $B/A \rightarrow 0$ であるにもかかわらず、解

$$R = Ar^{S_1} + Br^{S_2}$$

においては、両方の項が量の同一次数を持つことになるはずである（関数のゼロをめぐる疑問さえ残る）！ 当然のことながら、 $\gamma > 1/4$ の場合には、そのような数学上の操作は、 $r_0 \rightarrow 0$ のとき、そもそも方程式がいかなる極限にも向かわないという結果をもたらす。それでもやはり、この「切り詰められた」課題の正しい物理学的解釈は完全に明瞭である。あなたが**有限値 E を固定**し、ポテンシャルの井戸の深さを増加させ始めたとしたら、その途端にそのエネルギー準位の番号が変化する（井戸の深さの増加にともなって大きくなる）可能性がある。しかし、中心への粒子の落下を証明する（またエネルギー準位の数を決定する）ためには、この課題全体を厳密に解決する必要があるはずである（例えば、クーロン場の場合、定常的準位の数はやはり無限であるが、中心への落下は生じない）。量子力学においては、条件の小さな変化が質的に新たな状況をもたらすことがしばしばある（例えば、端が一様でない井戸内には離散的な準位が常に存在するが、井戸の端が一様な場合には、これら2つの場合の違いがきわめて僅かな大きさであったとしても、もうそれだけで後者においては定常的準位が存在しない可能性がある）。それゆえ、量子力学では「まことしやかな」推論がかならずしも常にうまく働いてくれるわけではなく、そのため、細かな課題を解決しなければならなくなる（概して言えば、それは量子力学に有利な証言をしてくれない）。

何事も定性的に示されておらず、定量的にも証明されておらず、あるいは問題の普通の記述にとってまったく必要とされていない場面においてさえ、多くの物理学者が相対性「理論」に忠誠を誓っていることは驚くべきことである。あのファインマン [Feynman, 19-1] もこう書いている。「我々は、電子はスピンを持っており、相対論的な力学の法則によって記述されるべきであることを忘れることにより、もう1つの近似を行なうことにする」。そしてその先では、円周に沿って循環する電荷としての陽子という、完全に古典モデル的な記述が続いている。そのようなモデルにおいては、電子のスピンも磁気モーメントも理解可能であることを指摘しておこう（相対性理論の信者にとっては、速度制限があるためにそれは不可能である）。ところで、磁気相互作用は既に古典電気力学によって完全に記述されている。その上、原子内における電子の運動速度は明らかに非相対論的で

あるのに、いったい何のために相対性理論にうやうやしくお辞儀をする必要があったのだろうか？ しかし、最も象徴的なこと——それは、ありとあらゆるまことしやかな補正が行なわれた後においてさえ、(質量中心系における) エネルギー準位はそれでもやはり計算値からずれていることである(解の導出が可能な唯一のモデルである2粒子系の場合においてすら、これが量子力学の明示的な記録なのだ!) ! 量子力学におけるこの破れ穴のお定まりの「繕い仕事」は、カシミール効果を用いてなされている。

水素原子の基底状態の場合に得られた唯一の「精密解」に対してさえ疑問が残る。例えば、得られた関数 [Feynman, 19-2]

$$\varphi_1 = e^{-\rho}$$

を用いて(原子内における) 電子の平均ポテンシャルエネルギーを計算すると、その値はマイナス無限大となる。したがって、原子の全エネルギーが有限であるためには、電子の運動エネルギーは無限大でなければならない。これは相対性理論と矛盾しているなどという馬鹿げたことは言わずに(相対性理論自体はマイクロ世界の本性とはいかなる関係も持っていない)、ただ単に、これは観測と矛盾していると言ったほうがいい。なにしろ、光速よりも大きい、あるいはそれに比肩する大速度で水素原子内を運動している電子を見た者は誰もいないのだから。これとは別の状態、すなわち $l=0$ のときのより高エネルギーの状態の場合にも、これと同様の状況が生じる。

原子内における軌道運動は整数値 l しか持つことができないという性質は、事実上、量子力学において公準として設定された(あるいは、量子力学の固定された枠組み内において実験データに合わせて計算値をつじつま合わせするために人為的に取られた)ものである。

水素原子に関する唯一の「精密解」でさえそれほど正確ではなく、すべての準位は計算値から顕著にずれている。また、水素型エネルギー準位(1電子イオン) [Landau & Lifshitz, §68] に関しても様々な不正確性が生じている(それらの不正確性をすべて「凍結論的效果」^[訳注]の勘定科目に振り替えて帳消しにすることは、定量的にも定性的にも許されない。——諸速度は c から遠く離れているのだから)。「有効電荷を持つ“原子芯”のクーロン場中における運動として1単位に等しい」とみなされている強励起状態もまた、あまりにも不正確である [Landau & Lifshitz, §68]。予測的観点から見ると、リュードベリ補正の後づけ的な導入が量子力学にとって持つ価値はゼロである。なぜなら、この補正項は不変ではなく、これまた、それぞれの(!) 準位に関する実験から“post factum”に決定されているからである。

クーロン場(例えば水素原子の場合の)に関する解は、球座標で得ることができる(これは誰でもおなじみの話だ)だけでなく、よりエキゾチックな放物線座標系でも得ることが可能であるということ [Landau & Lifshitz, §37] は、実は、量子力学の解の非一意性を物語っている! これら2つの場合におけるエネルギー準位は一致しているにもかかわらず、これら2つのタイプの解の波動関数自体は本質的に異なっており、放物線座標にお

[訳注] 「凍結論的效果」は「相対論的效果」をもじった著者による造語。理論にとって都合の悪い結果をつじつま合わせで「凍結」させて、それが無いことにしようとする姿勢を皮肉っている。

関数 ψ は平面 $z=0$ に対して非対称的ですからあるのだ！ところで、実験的に測定可能な量——粒子（原子中の電子）の分布——は、波動関数を通じて決定することができる。では、自然はこれら2つの本質的に異なる分布事例のうちから1つを選択するために、右往左往しなければならないとでも言うのか?! このように、量子力学にあいているこの穴は、関数 ψ だけでなく、 $|\psi|^2$ もまた物理的意味を持っていないこと(!)、すなわち、量子力学全体が、(計算されるエネルギー準位を事前に得られた測定値に合わせてつじつま合わせすることを唯一の目的とした)似たもの探しゲームであることを物語っている。

ファインマンは状態の経時的変化について記述する際 [Feynman, 8-4], 小さい時間間隔による極限移行の手法を用いている。すなわち、彼は本質的に線形化処理を行なっているわけだが、その際、我々の世界の諸性質が線形的なのか、それとも非線形的なのかという問題は「検討対象の枠外」に取り残されている。ファインマンは、ここでの相対性理論の利用には困難が存在することを率直に認め、「上記の手法は相対性理論にとってあまり具合が良くない、なぜなら、あらゆることをどこからでも**同時に**見えるような方法で指定することは、そう簡単なことではないからである」^[訳注]と述べている。もしこの事実が公式に認められていたならば、「あらゆるところに相対性理論を割り込ませろ」という要求によって引き起こされた全面的停滞から、科学を救い出すことができたのではなかろうか？

物理学的観点から見ると、例題によって説明が行なわれているセクション、「アンモニア分子」[Feynman, 8-6]はかなりコミカルに見える。課題の設定の仕方から話を始めよう。すなわち、無限個の状態を持っている現実の分子から、2個の状態を持つ分子系を創り出そうという試みがなされている（このモデルが現実にきわめて近似しているというのだ!）。その分子においては、他のすべての状態（運動量、角運動量、回転軸）は厳密に固定されている。かの悪名高い量子力学的不確定性と、どうやって折り合いをつけるのだろうか（それとも、理論のために、しばらくの間不確定性を忘れる必要があるのか）？2つの状態の違いはと言えば、それは、水素原子のつくる平面に対する窒素原子の位置 [= 窒素原子がその平面のどちらの側に存在するか] にしか残されていない。系には2つしか状態がないとされた以上、振動に関して「事のついでに言われた言葉」に反して、そのようなモデル系には振動はまったく存在してはならない！ところがこの本では、その次の瞬間、系は「それと同じ状態ではなくなる」と主張されているのである。中間状態のない、何という瞬間的トリックであろうか?! ファインマンはそれに続いて、2つの未知の関数およびさらに4つの未知の係数を含んだ2つの方程式からなる（定義が不十分な!）方程式系を、ここに導入しようと試みている。その結果、彼はただちに、古い公準と並んで、ひと山の新たな公準を導入せざるを得なくなった（せめて何か、確定的な結果が得られるようにするために）。第1に、系内では何も変わることができないのだとしたら、一方の系では $H_{11} = E_1$ であるはずであり、他方の系では $H_{22} = E_2$ であるはずであるという、これより前に導入された公準が利用されている。第2に、彼は $E_1 = E_2$ としている。それはいかなる根拠によってか？我々は測定装置においてある状態を別の状態から何らかの方法で**区別すること**

[訳注] 「そう簡単なことではないからである」という語句は邦訳版では「望ましいことではないからである」と訳されている。英語原文は"because you don't want to have to specify how everything looks "simultaneously" everywhere"であるから、露訳版はかなりの「意訳」である。

が可能である以上、それらの状態は何らかの点で異なっていなければならない。例えば、測定装置が場を用いて検出（あるいは偏極）を行なう場合には、角運動量の方向は、一方は場に沿った方向となり、他方は場に対して反対の方向となる。また、両者は（相互作用の）エネルギーが異なることになる。第3に、ファインマンは、窒素原子は「3個の水素原子を押しつけて通り抜ける」と述べている。これは奇妙である。この方向の振動はまったく存在しないからである。つまり、窒素原子は「その場所に立って」いなければならないのに、何と、瞬間的な「通り抜け」が存在するというのである（つまり、速度なしに、気がついたらあっちへ行っていた、あるいはこっちに来ていたということが可能ということか?!）。第4に、ここでもまた、測定装置（分析器）が存在すれば、係数 H_{12} と H_{21} の等式は**必須ではなくなる**。第5に、これらの新たな係数 H_{12} と H_{21} （すなわち、**新たな物理過程!**）の「導入」が係数 H_{11} と H_{22} を（いかなる過程も存在しなかった以前の状態における）**以前の値と等しい値に必ず留まらせる**、ということはけっしてない。ファインマンはその先で、「量子力学の面倒な点は、方程式を解くのがやっかいだけでなく、その解が何を意味しているのかを理解するのに骨が折れるということだ」と正直に認めている。さて、その次は、似たもの探しゲーム（数学的解に対する物理学的解釈の探し出し）が始まる。その結果、分子が状態 $|2\rangle$ に見出される確率はサインの2乗として変化することが「発見」される。何となく、こう尋ねたくなる——我々はそのような従属性を裏づけるために、この「実験」のすべての条件を確保し、特定の分子を追跡することが可能なのか？もちろん、ノーだ！統計（「第3種虚偽」^{〔訳注*〕}）を招請しようか？再び、信仰にもとづいた空理空論が得られるだけだ。それだけでなく、量 A は、これらあらゆるペテンが行なわれた後も、決定されなかったことが判明した。量子力学にとって都合のいい量を最初から選び直すことになるのだろうか（つじつま合わせのために）？ファインマンはさらに、有名な、結合した2つの振り子との類推を紹介している。そういうわけで、振動を利用すればもっと正確なやり方で課題を設定し、解決することができたはずではないかと、彼に言ってやる気にもなれない。その彼は、結論として、「アンモニア分子のエネルギー準位の分裂は、厳密に量子力学的効果である」などという、暗号化^{〔訳注**〕}のための空文句を吐いている。

その次のセクション「アンモニア分子の状態」[Feynman, 9-1]には、得られた解と最初の仮定との間の矛盾が明瞭に現れている。前のセクションでは、状態は2つだけで、これらの状態間における経時的遷移はサインの2乗、すなわち

$$\sin^2\left(\frac{At}{\hbar}\right)$$

に等しい確率で行なわれると仮定されていた（そして期待されていた）のに対して、今度は、状態は無限個存在することが明らかにされている。そして、それらの状態は、任意の係数 a と b の選択に依存して変化し、その比 a/b をどのように選択しても、いかなる t についても、別の比 a/b を選択した場合における別の解とは一致しないというのだ！このように、話は事実上、単なる一意的な解の解釈ではなく、無限個の解の中からの「都合の

〔訳注*〕 「第3種虚偽」は統計用語の「第1種過誤」、「第2種過誤」をもじった皮肉。

〔訳注**〕 第三者には意味不明な暗号文のような言辞を弄することで自分の主張の誤りを糊塗しようとする事。

いい解」の選択（つまり、望まれている事柄に合わせた数学的つじつま合わせ）について進められている。それだけでなく、分子は、両者の間隔が $\Delta E = 10^{-4} \text{ eV}$ ($\lambda = 1.25 \text{ cm}$)の準位間で遷移することができる」と主張されている！これはきわめて微小なエネルギー差である。それ以外のあらゆる変化の場合については、例えば、最も軽い電子のエネルギー準位においてはそれより何桁も大きなエネルギーが要求されているのに、この場合には、そのすべての電子を含む窒素元素全体を「突っ込ませる」（より正確には、質量中心の位置を維持するために系全体を投げ移す）ためにはそのような最小量だけで十分だというのは、奇妙な話である。このモデルにおいては、まさに何かが現実と食い違っている！

ファインマン [Feynman, 9-2] は、(電場中における) 水素原子のつくる平面を通過する窒素の「跳び越え」について、あたかも自明な、あるいは検証済みの事実であるかのように語っている。しかし、そんなことはない！概念的な（あるいは定性的な）面においてさえ、ここではすべてが途切れなく続く未検証の仮説の寄せ集めによって記述されている。ファインマンは自分の仮説的な記述の定量的検証について、正直に次のように認めている。「厳密な物理理論を用いれば、これらの定数 (E_0, A) の値は、[分子を構成する] すべての核と電子の位置および運動から計算によって求めることが可能なはずである。しかし、その計算を行なった者は、**これまで誰一人いない**。……それはあまりにも複雑すぎる課題である。……この分子について、我々より多くのことを知っている者は誰もいない」。このように、我々は、計算値と実験による測定値を**比較する代わりに**、ニューモードの理論を**ただひたすら信じる**（つまり、実験データに合わせたつじつま合わせのために必要とされる E_0, A の値を躊躇せずそのまま採用する）ことを勧められているのである。また、この記述モデルの本質そのものについても数多くの疑問が残る。第1に、どうすれば場を不変とみなすことができるのか？ なにしろ、「投げ移し」に伴い、窒素原子と水素原子の間の距離は変化しなければならない、すなわち、それらの合成場は変化しなければならないのだ！ すなわち、このモデルはもう既に現実と一致していない。第2に、2つの状態のエネルギーの差が小さいことに加えて、窒素元素はそのような「跳び越え」の際、水素原子のつくる平面に接近したとき、それよりはるかに大きな電気力を克服しなければならないはずである。第3に、ところで、アンモニア分子はなぜ回転しないでいられるのだろうか？ ポテンシャルエネルギーが変化するのだから、この効果を（それがたとえ不完全な回転であろうと、統計的に！）考慮に入れる必要がある。第4に、そのような「跳び越え」の際、原子と分子の幾何学的構造がまったく変化しないことの証明（というよりはむしろ、このモデルの場合は明らかに、逆の証明！）は、どこにあるのか？ さらに、状態 $|I\rangle$ から状態 $|II\rangle$ への(共鳴)遷移の際、分子のエネルギーは減少するとされているが、ファインマン [Feynman, 9-4] はここでも再び証明なしに（その証明はモデル自体の中にはないから、人為的に探し出す必要があるのだ！）、「そうして失われたエネルギーは、場の生成機構以外のどこにも移動して行くところがない」という、まことしやかな空文句を発している。しかし、そうだとすると、その遷移確率バランスは、分子同士の相互作用（温度特性を含む）および分子と空洞壁の相互作用、ならびに空洞の特性（空洞と周囲空間の相互作用。——放射されたエネルギーは部分的に、アンモニア分子が存在する領域の外に出る可能性があるため）を考慮した上で、周波数別の放射バランスを考慮に入れて検討されなければならない。

量子力学の首尾一貫性のなさもある種の不満を生じさせる。ある所では、光は単位量 [portion] ずつでのみ (それぞれの単位量ごとにそっくり全部) 放射され、吸収されなければならぬと誇らしげに宣言されているにもかかわらず、その主張は、この (別の) 場合には、場は連続的特徴を持つという捉え方に、素知らぬ顔で置き換えられているのである (例えば、光の吸収の計算に際しては、周波数に関する積分が行なわれている)。しかし、量子力学に対する最大の不満は、理論的に (完全に「第一原理」から) 計算された物理諸量とそれらの実験的測定値との比較が、惨めなほど僅かしか行なわれていないことによって引き起こされる。

残念ながら、ファインマン [Feynman, [第9章~第11章]] によって検討されているすべての2準位系 [= 2状態系] は、定性的なデモンストレーションモデルとしての性格しか持っていない。この系の場合に有り得る様々な可能性、すなわち、並進運動 (非ゼロ温度)、回転、振動、ねじれ、基底状態近傍における励起状態、集団的過程等々の存在が考慮されていないからである。科学的アプローチは、(予測力を持つためには) 考慮されていないこれらの効果の役割に関する評価を含んでいなければならないはずである。さもなければ、我々は、自然ははたして現実にそのような構造になっているのかをまったく考えることなく (すなわち、生じている諸過程の本質を究明することなく)、ただ単に、現実の諸現象に何らかの点で似通った、予め選択された理論 (量子力学) の諸要素のみを人為的に探究するという結果が得られることになる。電子は古典論においては何かをする (例えば「障壁を突き抜ける」) ことができないなどという主張を、まるで暗号化のためのように絶えず話題に上せるということは、既に選択された粗雑なモデル、すなわち、多粒子系 (一般的に言えば開放系) には共鳴遷移の多数の可能性が常に存在するというモデルに合わせて、現実を歪曲することに等しい。このこととの関連においてまったく奇妙なのは、「そのとき、この空間領域内において、電子はほとんど真空中における自由電子のように振舞う—ただし、負のエネルギーを持って」(!) という言明である ([Feynman, 10-1] を参照)。多粒子系内のすべての粒子は (この場合は電子だけでなく陽子も) エネルギーと運動量を持っており、それらの粒子の間で、共鳴によるエネルギー再配分が生じる可能性が十分にある。しかも、配置の選択によって系の安定性 (引力) が維持され得ることが十分可能であるのに、「交換過程」と称するもの [Feynman, 10-2] を発明しているのはまったく奇妙である。提示されている2準位系の「理論」においては、**非対称な2原子分子の結合はきわめて微弱**でなければならないという結果が得られている。しかし、量子力学に反して、それと正反対の性質を持つ多数の事例 (HF, HCl 等々) が確かに存在しているではないか!

量子力学に関する各種の教科書における多数のセクションに書かれていることは、その意味が理解不能である。その例として、[Feynman, 10-3] の「水素分子」のセクションを取り上げよう。負の符号を持つ電子同士 (フェルミ粒子!) の干渉の代わりに、振幅の足し合わせ (!) を得るよう要求されているのは、量子力学の**基本原理の実例による説明**らしくない。そしてこのセクションでは、言葉の上だけで (いかなる実験的根拠やその他の裏づけもなしに)、電子のスピンが反平行の配向を持っていることが宣言される (この場合には各スピンがそのように向くことができたのに、別の場合にはそのように向くことができないのはなぜなのかは、明らかにされないまま残されている)。いかなる**定量的計算**も、実験との比較も行なわれていない。このまことしやかな言葉だけの実例一式は、信仰

の堅固化に奉仕しているだけではないか（イオン結合や共有結合へのごく簡単な言及は、何に対する義務も負わせているわけではないのだから^{〔訳注〕}）？

それと同様に、[Feynman, 10-3] の「近づき合った2つの水素原子の2個のスピンは互いに反平行の状態を取り、そうすることによってエネルギーを解放するポテンシャルを持つとうとする……これは、そこに大きな磁力が存在するからではなく、排他律が働くためである」という語句もまた、どうやら、暗号化のために量子力学信仰を堅固化し、それと同時に古典物理学における検証済みの初歩的事実に対して無思慮な拒絶反応を起こさせることに奉仕しているようである。

[Feynman, 10-4] におけるベンゼン分子の「不思議」に関する記述は、一見したところ、量子力学の次なる大勝利を反映しているように思われるかもしれない。しかし、そうだろうか？ 環内におけるより強い結合についての記述は、常識の観点から見ても完全に理解可能なのである。すなわち、単一の分子においては、環全体の結合は単一であり、単結合とより弱い2重結合との静的結合交替 [static bond alternation] ではない。そして、この（古典論的な）考え方は、量子力学的ブレイクスルーとは異なり、ジブロムベンゼンには2番目の形が存在しない事実とまさに完全に符合している。なにしろ、量子力学は相異なる系が相異なる（最も低い）エネルギーを持つことを禁じていないのだから、したがってファインマンが書いているように、「2つの可能性のうち一方のほうが、他方よりも蓋然性がより高い」からである。しかし、この「より高い蓋然性」は、この分子の2番目の形が存在する可能性自体を消滅させるものではけっしてない。ところが、実験はその2番目の形をまったく与えていないのだ！

そもそも、「どこにでもしゃしゃり出る」この2状態モデルの応用先の、このような類の人為的探究（例えば、[Feynman, 10-5] のセクション「染料」におけるような）は、滑稽に見える。つまり、言い換えれば、このモデルとまったく同じ方法を用いれば、存在しない分子を「絵に描き」、それを紙の反対側から光に透かして見るだけで、その2番目の状態を「描き足し」、そのような系には非ゼロの結合エネルギーと最も低いエネルギー状態が存在することを証明することが可能になるのである。もしかしたら、実験結果を事前に知った上で、「量子力学の応用例を使って自分の頭の良さをひけらかす」必要でもあるのだろうか？

例えば「 l および m が与えられているとき……」といった量子力学における課題の設定の仕方は、そのナイーブさによって人に強い衝撃を与える。もちろん、研究者がより単純な知識からより複雑な知識に至る道を探している場合であれば、このような設定の仕方は当然理解できる。例えば、より容易に（そして一目瞭然たる形で）観測や測定を行ない得る量が既に存在していて、さらに別の、次の段階における計算や予測にとってきわめて必要かつ有益な、しかし測定がそれよりはるかに困難な、より複雑な量（より広い関数従属域を持つ量）を見出すことが要求されている場合である。当然のことながら、その必要と

〔訳注〕 これは、「水素原子」のセクションの最後の段落で共有結合とイオン結合へのごく簡単な言及がなされているが、これらはいわば確定的な事象であり、既に知られている以上の何かを量子力学の立場から説明する義務を負わせるような事象ではない、したがってそれより前の段落における主張の裏づけや補強となるものではなく、結局、量子力学への「信仰の堅固化」に役立てるための言及にしかかかっていない、という意味かと思われる。

されている量の関数従属性をより単純な量を通じて表現する可能性を誰かが発見したとしたら、彼に荣誉あれ、である。しかし、「 l および m が与えられている」と言ったとき、その l と m は、誰が、いかなる上部命令によって与えたのか？これを理解し得る言語に翻訳すると、「何らかの関数従属性が、量子力学が l と m の具体的な値において得た何ものかに似ているのなら、もうその裏づけや本質の解明で頭を悩ませたりせずに、 l と m を他ならぬそのようなものとみなせ（そして、量子力学を信仰し続けろ！）」となる。実際、水素原子に関する一般解において、角度と半径に関する変数の分離定数 K_l [Feynman, 19-4] は軌道量子数 l にのみ依存するとみなされているが、これは仮定にすぎない。原子内に特定の方向（例えばスピンによって特定された方向）が存在する場合には、厳密解は、その特定の軸への角運動量 m の射影にも依存する可能性がある。

ファインマンがある箇所で、2粒子の場合には同時分布関数のみを考察する必要があると語っていることも興味深い（それと別の所では、個別粒子を計算するための全宇宙の分布関数についてさえ語っている）。ところが、「周期表」 [Feynman, 19-6] について記述する段になると、自らの「厳密な」量子力学的原理から、「魚がいなければザリガニも魚の原理 [望んでいるものが存在しない場合は、利用できるものならなんでもオーケーという原理]」にあっさり転落し、事実上、原子芯全体（核および最低準位の電子）の場における個別電子の運動を証明ぬきで考察している。

シュレーディンガー方程式がスピンといった電子の性質をまったく考慮していない事実は、それが近似的な（厳密性を欠いた、限定的な）性格を持った方程式であることを疑う余地なく物語っている。だから、スピン相互作用に言及するたびに、うやうやしく身をかがめてから「相対論的」という言葉を発する [Landau & Lifshitz, §66, 小教程§49] ことには、いかなる価値もない。——磁気相互作用は「相対論ブーム」よりもずっと昔から人々に「おなじみ」だったのだ。

さて、量子力学は肩をいからせてとつても頑張っているので、系の状態は全体として、すなわち、単一の波動関数として考察されなければならない（実際、1個の電子は全宇宙に広がっているのだから、 ψ はそもそも1つ——全宇宙に関していっぺんに1つ——しか存在しないのでなければならないのではないか？というもったもな疑問が生まれる）。ところが突然、自分自身のイデオロギーに反して、「各個別電子の状態という概念を導入」することができる [Landau & Lifshitz, §67, 小教程§50] と語られるのだ。そしてもう、「自己無撞着場は中心対称であるから、各電子の状態はその軌道角運動量 l の確定値によって指定される」 [同上] などという「手品」を見たら、微笑まずにいられなくなる。……それを証明する試みすらなされていない。量子論において、このことは何を意味し得るのだろうか？古典物理学においては、例えば、いくつかの電子のうちの1個がそれ以外の電子よりも著しく遅い速度で運動したとすると、それ以外の電子の大速度について平均化を行ない、その「ノロノロ電子」のみに関してある種の平均場を得ることができるはずである。ところが、原子内の全電子の速度は、同じ次数の量である。つまり、「原子芯」を静的状態に持っていくことはできないだろう。しかし、仮にそれができたとしても、いかなる中心対称についても語ることはできないはずである。高校時代に学んだ、 p 軌道は8の字の形をしている、等々といったことを思い出そう。そして、これが実験的(!)事実なのであり、それゆえ、実践的場においては、いかなる中心対称についても語ることができ

ないのである。では、現実に依拠していないその方法とは、いったい何なのか？ その本質を「ロシア語」に翻訳してみると、「実験結果を事前に知った上で、公準化されたそのような中心対称場を用いることにより、その結果に合わせた"post factum"のつじつま合わせを行なおう（それはある程度の精度で行なうことが可能だ）」となる。このように、それは、科学の方法でも、研究の方法でも、計算の方法でもなく、（信仰を堅固化するための）単なるつじつま合わせとデモンストレーションの方法にすぎないのだ。このような評価は、相異なる準位の相互配置についての量子力学的説明が存在しないという事実によってますます裏づけられる。この場合には、**経験則**であるフントの規則が用いられることを思い出そう。このような観点から見ると、[Landau & Lifshitz, §67, 小教程§50] で述べられている、内側閉殻の電子の角運動量は互いに相殺されるという主張は**まったく証明されていない**。

自己無撞着場法（例えば [Landau & Lifshitz, §69, 一部のみ小教程§50] を参照）はひと山の「天下り式」の仮説に依拠している。第1に、各電子に関する**個別の波動関数**が導入されているが、その際には、それらの電子の状態さえもが、各電子が個別の水素原子内に存在しているかのように記述されている。しかし、波動関数は単一でなければならないのだから、その波動関数を複数の個別的波動関数の組み合わせの形で近似的にでも表すことが可能か否かは知られていない（証明されていない）。第2に、 ψ_1 と $\psi'_2 = \psi_2 + \text{const} \cdot \psi_1$ の直交性を得る際、それに伴い、 ψ'_2 については規格化条件が破られるのだから、関数 ψ'_2 の物理的意味が失われるということが、どうしたわけか忘れられている。第3に、エネルギー準位が現実の準位に近い（完全に一致しているとしても。——それは1点ということだ！）ということは、得られた波動関数が真の波動関数（全空間にわたる連続体！）に近いということを保証しない。なにしろ、原子内における電子密度分布（これはまさに全波動関数に従属している！）は、実験的に測定可能な量なのだから。また、[Landau & Lifshitz, §69] でなされている「これは、この種類のあらゆる関数の中で最良の関数である」という主張を、誰も証明しようとすらしていない（それは、いかなるパラメーターに関して最良なのか？）。

「これらの式は、ある元素から次の元素に移行するときの非系統的変化を考慮に入れることなく、 z の増加に伴う諸量の変化の系統的推移のみを決定する」というフレーズで終わっている「概算評価」（[Landau & Lifshitz, §71] の「核近傍における外殻電子の波動関数」を参照）も滑稽この上ない。この言葉は外面的にはいかにも科学的でしっかりした主張のように響くが、しかし最も重要なのは、それは検証が不可能、つまり証明が不可能であるという点である。なぜなら、任意の従属性から**別の任意の恣意的な従属性**を導き出して、その違いを何でもかまわない別の何か（「非系統的従属性」、理論、近似、計算、等々）のせいにするのが可能であるからである。「あなたはいったいいかなる宇宙でそれを発見したのか？」という、それに「ふさわしい」質問を発したくなる。我々の世界においては、そのすべてが**周期律**に従っている、全部で（！）100種類を少し超える程度の元素しか知られていないのだ。そもそも、予測が「プラスマイナス路面電車の停留所」の精度^{〔訳}

〔訳注〕 「プラスマイナス路面電車の停留所」は、路面電車が道路の渋滞などで時刻表どおりに停留所に到着しないことがしばしばあることをもじった、いかなる測定装置によっても測定が不可能な（精度ゼロの）予測を行なうことを表す俗語的な表現。

脚でなされさえすれば、それによって何かが説明され、従属性が得られたかのようなふりをするのは、不誠実な態度である。そのような精度でなら、無限個の従属性、さらには形式のみ(!)が所要の従属性と一致した無限個の従属性を恣意的に「思い描く」ことができる。「この式は、それが近似的に正しいことが判明した場合には正しい。ただし、それ以外の場合には適さない」といったタイプの言明が馬鹿げて見えるということに、ご同意いただきたい。

いわゆる「結合方式」[Landau & Lifshitz, §72, 小教程§51] (あるいは近似) に関しても状況はそれと同様である。100種類を少し超える程度の元素のために、「ラッセル-ソルダース結合」(「LS 結合方式」)と「jj 結合方式」が存在している(より正確には、人為的に区別されている)。そして後者についてはすぐさま、「この結合方式は純粋な形では存在しない」と語られ、さらに「LS 結合と jj 結合の間の様々な種類の間的方式が見出されている」と述べられている。これらはすべて、実験結果が得られた後の「後知恵」——"post factum"——による科学もどき、すなわち、明らかに予測力ゼロの理論から得られた帰結であることは言うまでもない。

量子力学における D. I. メンデレーエフの元素周期系の「説明」[Landau & Lifshitz, §73, 小教程§52] は、ここでも再び、諸事実の"post factum"な確認という皮相的・定性的な性格を持っている。すなわち、自然界のうちに、あまりにも多くの個別的な「特異点」(例えば状態の占有、あるいはイオン化ポテンシャルの変化、等々)が現れているのである。イオン化ポテンシャルにもとづいて判断すると、各種アルカリ金属原子の大きさは、事実上一致していなければならない。[周期表上において]各アルカリ金属原子の前に位置する不活性ガス元素のイオン化ポテンシャルにもとづいて判断すると、アルカリ金属原子の最も外側の電子殻の大きさは原子番号とともに単調に増加しなければならない。ところが、アルカリ金属の閉殻はその前の不活性ガスの殻と対応しているのである。これらの場合のそれぞれにおける単位当たりの核電荷の増加が、次の不活性ガスのそれぞれの本質的に新たな電子殻の、アルカリ金属原子の「ほぼ以前と同じ」大きさへの「内破 [implosion]」をもたらす理由としては、いかなる理由があり得るのだろうか？

量子力学の独自のイデオロギーに従って考えてみると、遠心力エネルギーを考慮に入れた「有効ポテンシャルエネルギー」[Landau & Lifshitz, §73] が量子力学において利用されていることは破廉恥に見える。なぜなら、遠心力エネルギーの大きさは粒子(電子)の速度に依存しており、ポテンシャル $\psi(\mathbf{r})$ は粒子(電子)の座標に依存しているにもかかわらず、なにしろ、量子力学によれば \mathbf{r} と \mathbf{v} は同時に確定値を持つことができない、すなわち、 $\psi(\mathbf{r})$ と mv^2/r は同時に存在することができないとされているからである。しかも角運動量の概念自体も矛盾しており、したがって $m[\mathbf{v} \times \mathbf{r}]$ の代わりに l と書いたとしても、そのことは事態をまったく変えないのだ！我々は誰をだましているのか？自分自身ではないか？

量子論者たちが、X線項の準位対は正しい(あるいは相対論的である)と評価することによって相対論者たちに「敬意を表して」いる[Landau & Lifshitz, §74, 小教程§53]のは、滑稽な話だ。ここで論じられている非相対論的量子力学において、相対論がいったいいか

なる関係があるというのか？ もしかしたら、暗号化なしではやっていけなくなったのではないか？

「シュタルク効果」のセクション [Landau & Lifshitz, §74, 小教程§54] における「一様な外部電場の中に置かれた原子においては、我々は（外場とともに核のつくる場である）軸対称場の中にある電子系を扱わなければならない」という見解は、一般的な場合には不正確である。なぜなら、特定された任意の1つの電子に対しては、（その特定の電子以外の）残りすべての電子の変動電場が作用するからである。ただし、水素原子は例外である（水素原子は引用されているこのセクションでは検討されていない）。

さらに、この本では「双極子モーメントの対角行列要素は同じようにゼロとなる」 [Landau & Lifshitz, §75, 小教程§54] と主張され、その前のセクションの「定常状態にある任意の粒子系」に関する厳密な (!) 結果 [Landau & Lifshitz, §74] が引用されている。それに続けて、それゆえ、その効果 [= 電場の中での準位の分裂] は**電場の2乗**に比例しなければならない、などと述べられている。そして突然、これらすべての**一般的な結果**は、最も単純な原子である水素原子に対しては有効性を失うのである（もちろん、「偶然縮退」という、「信仰の堅固化」のための科学もどきの空文句が発せられている）。「2次効果の計算の場合、通常の摂動論を用いるのは**不都合**である」という言葉 [Landau & Lifshitz, §77] は注目に値する。不都合？ それとも、詐欺をうまく隠蔽することができないということか？ そのいずれにせよ、どっちみちそのセクション [同上] の末尾の注で、こう自状しなければならないのだ。「シュタルク準位分裂に関する一連のあらゆる摂動論は、言葉の厳密な意味では収束することができない。それらは**漸近的な** (!) 理論でしかない。すなわち、級数のあるところから……それ以降の項は減少せず、増加するのである」と。これは驚いた！ 存在しない（発散する！）解において、最も有意な項ではなく、合計することが可能な最も有意でない項のみが取られているのだ（そこのほうが明るいからという理由で、暗い夜道で落とした家のカギを街灯の下で探している酔っ払いの小話のように）。

電子項に関する記述は、その課題の設定自体が当惑を引き起こす。「分子では電子項は数値ではなく、分子内核間距離というパラメーターに依存する関数である」 [Landau & Lifshitz, §78, 小教程§56] と想定されているのである。では、「周囲」の「異種」の場を加えることなく、まさにその距離を（まるで小球と小球の間の距離を指で変えるように）人為的に変える方法を、人類は既に持っているともいうのか？ なにしろ、ここで論じられているのは孤立分子なのである。孤立分子内の核同士がいかなる単一の安定的距離に存在することになるかを決定するのは分子自体ではないというのは、はたして本当なのか？ もし我々が孤立分子ではなく、媒質について論じているのだとしても、その場合もやはり、核間距離の変化は、（あらゆる (!) 種類の運動の変化とともに）**完全に一意的に**あらゆる内的・外的条件の変化に**呼応**して生じるはずである。ここから先、このセクションで論じられているのは、「自然界においてそれはどのような仕組みになっているか」ではなく、どのようにしてすべての事柄を「分類」し、既におなじみの（広く宣伝されている）仕分け棚に収めるべきか、である。鏡映の際における電子項の分類についての推論は、「滑稽なほど仰々しい」。なにしろ、あらゆる (!) 最も複雑な物体の鏡映をあらゆる (!) 任意の平面に対して2回行なうと、その物体は常にそれ自身に転移する（そして、分子軸を

通る平面に対する鏡映を1回行なうと、角運動量は常に反対の符号に変化する) というのだ。するとここから、科学もどきの推論 [Landau & Lifshitz, §78, 小教程§56] によれば、波動関数は各鏡映ごとに (!) 係数 ± 1 で変換されるという結論が導き出されるはずである。この理論によっては説明不可能な経験則 (この場合は基底状態に関する経験則) の存在がこの理論の弱さを物語っているということも指摘しておこう。

電子項の交差に関する課題はいささかこじつけっぽい。例えば、その主張が正しいとすると、任意の原子の核を水素原子とヘリウム原子からなるものとして思い描き、その複合原子の核にそのような「諸部分」が接近したとき、それらの「諸部分」の電子の軌道がどう変化するかを考察すること (また、ある種の距離パラメーター——複合核の大きさ——を導入すること) が可能となるはずである。実際には、原子内におけるのと同様、分子内における電子配置はそれぞれの具体的な外的条件の下において完全に決定されており (単一であり)、したがってその配置は**不可分の一体としての分子全体について決定されなければならない!** もしその主張の中に例外があるのだとしたら、結果の厳密性に関する仰々しい主張がどんなに滑稽に見えるか、あなたはお気づきになりませんか? 例えば、[Landau & Lifshitz, §79, 一部のみ小教程§57] では「もし、ある近似計算の結果として同じ対称性を持つ交差する2つの電子項を得たならば、その次の次数の近似計算を行なえば、……2つの電子項が分離していることが分かるであろう。……この結果は、2原子分子に当てはまる結果であるだけでなく、……実際、量子力学の一般定理でもあることを強調しておこう」と述べられているにもかかわらず、その注には「独特の例外が存在する。それは H_2^+ イオンである」と書かれているのである。とんだ期待外れの「一般公理」だ! 分子の項と原子の項の関係を子供のパズル (組み合わせ論) のように考察している彼らは、多分、我々のことを愚か者とみなしているのだろう。なにしろ、それぞれの具体的な分子の状態は安定 (平衡) しているのだから、 $r \rightarrow \infty$ あるいは $r \rightarrow 0$ という変化を生じさせるためには力を印加する必要があるのだ! すなわち、一般的な場合には角運動量に変化し、しかも、各電子の角運動量さえ様々な仕方で変化するのである!

仰々しい科学もどきの主張をしたがる「大の大人の学者先生」たちの願望は、滑稽以外の何ものでもない。例えば [Landau & Lifshitz, §81, 小教程§58] では、「原子が互いに結合する能力は原子スピンと関連している……。結合は原子のスピンが互いに打ち消し合うように起こる」と述べられている。しかもこの主張は、その前で述べられている「例外」、すなわち $\text{O}_2, \text{NO}, \text{NO}_2, \text{ClO}_2$ (さらにそれに続く例外には Xe, Rn , 中間的グループに属する諸元素が含まれる) に**反して**なされているのだ。その先では、2倍化したスピンは化学的原子価と一致すると主張されている。しかし、多くの元素は複数の原子価を示しているのだ! こうなるともう、「励起状態が比較的近傍に位置している」とか、「傾向」(?) あるいは「性向」といったタイプの「後知恵」によるいくらでも好きな空論を述べるのが可能になる (残る仕事は、それぞれの元素に適合する性格を持った神々を導入することだ!)。

また、量子力学が古典力学なしではどうしてもやっていけないことも歴然としている。すなわち、量子力学は古典力学を、半神話的な古典的計器、あるいは人為的な極限的事例としてだけでなく (さらに大きな疑問——諸理論の中でより一般的な理論とは、いかなる理論なのか!), 物理諸量、厳密な (確率論的ではなくて正確な) 方法、あるいは近似計

算のための古典的な正確な数学的表式（これらは物理的意味という点で古典論においては自明なものであるが、「原理的に新たな」量子力学においてはいかにしても根拠づけることが不可能である）として、どうしても必要としているのである。このことが、例えば [Landau & Lifshitz, §82, 小教程§59] の「2原子分子の1重項の振動構造および回転構造」において、**スペクトルに関する不可分の課題**を人為的な**定常的**下位課題に分割する際に現れている。

純粋に**非相対論的**な量子力学の場合、物理的本質、諸量の値および方程式という点で、相互作用の伝達速度に制限は存在しない（シュレーディンガー方程式は放物型方程式である）。例えばサブバリアトンネル効果は無有限大の速度で瞬時に生じる。それゆえ、「相対論的」と称する相互作用が特別扱いされ、「相対論的相互作用を考慮した場合には縮退準位は分裂する」[Landau & Lifshitz, §83] といったタイプの語句が使われていることは、完全な「謎」として残る。これは多分、そのようなたわ言の狂信的信者たちに捧げられる「宗教儀式用の魔法の供物」なのだろう。

「相異なる項のための」様々な未知の定数（関数）なるものが結局のところ式の中に現れるのだとしたら、各種スペクトルに関する長ったらしい科学もどきの「根拠づけ」も馬鹿げたものに見えてくる（それは空理空論化された現象学である）。もしそれが正しいのなら、一連の係数を持つ恣意的な関数を書き、次に係数のつじつま合わせを行なうことによって所要の値を得ることができてしまう。このどこに物理理論があるのか？

問題をより詳しく吟味してみると、数多くの「まことしやかな」推論がたちまち疑問の対象となる。例えば「前期解離」のセクション [Landau & Lifshitz, §90] の図 30（次頁の図 1.3 参照）にはポテンシャルエネルギー曲線が描かれているが、ゼロエネルギー準位は描かれていない。ここでは分子の崩壊が議論されているというのに（！）。はたして、ポテンシャルエネルギーは無有限大において正または負の有限値に向かうことが可能なのだろうか（しかも、解決された課題の大部分はゼロ値に「縛りつけられている」のだ）?! 曲線 1 と 2 は同じ無有限大において**共通のゼロの極限值**を持たないのだろうか（簡単明瞭で幼稚な質問を發することをお詫びする）？ では、量子力学自体の観点から見た場合、2原子の衝突に関する等式 (90.2) はどう評価されるのだろうか？ 量子力学のイデオロギーに反して、我々は衝突の瞬間における原子核の座標と運動量の正確な値を持つことになるのである（また、不確定性関係はどこに「隠れてしまった」のだろうか？）。座標と運動量が同時に決定されていないのだとしたら、等式 [Landau & Lifshitz, §90]

$$\frac{p_1^2}{2\mu} + U_1 = \frac{p_2^2}{2\mu} + U_2$$

はどうやって微分することができるのかという、当然の疑問が生じてくる（たまたま不確定性関係が「身をくらました」。つまり、「ここでは読む……。ここでは読まない……。ここは油染みと……」^[訳注] というわけだ）。[Landau & Lifshitz, §90] の図 31 はさらに注目に値する。この図は図 30 と同じことを、ただし次の近似で示している（図 1.2 参照）。こ

[訳注] そのときの状況に合わせて量子力学の基本命題（不確定性関係）を適用したり、適用しなかったり、さらには、何か適当な言い訳（例えば「文字が油染みで汚れているから読めない」といった言い訳）を言っておまかそうとする無責任な姿勢を皮肉っている。

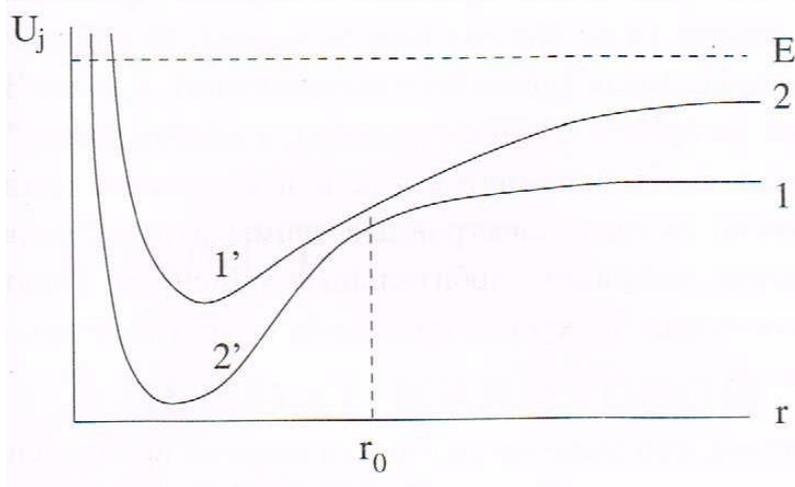


図 1.2 [Landau & Lifshitz] の図 31

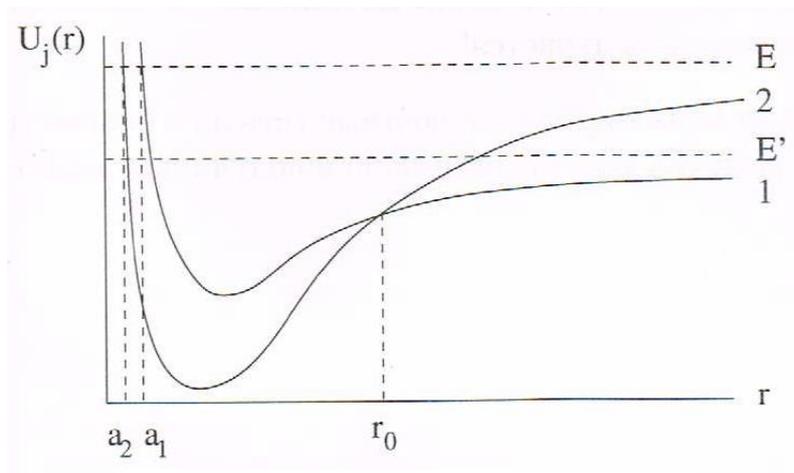


図 1.3 [Landau & Lifshitz] の図 30

ここでは曲線 2 の部分が曲線 1' の延長に、曲線 1 の部分が曲線 2' の延長になっている。古典論では、誰かが第ゼロ近似と第 1 近似の結果を取り違えたりしたら笑いものになるだろう——彗星（必ずしも大きな彗星でなくてもよい）が飛んできて、その軌道が地球の軌道と交差したら（衝突が生じなかったとしても）、それより後、地球は彗星の軌道を飛び始め（飛び去っていき）、その彗星が地球の代わりに第 3 の惑星として居座り始めましたとき、と。

しかも、量子力学では、例えば軌道角運動量の点で 2 つの原子が異なっている場合には、それらの原子の電子項を混同するなどということはある得ないことなのである。このような「意味不明な記号を使った数学トリック」は嘲笑以外の何ものをも引き起こさない。

分子の回転運動エネルギーに関する演算子 [Landau & Lifshitz, §104] でさえ、けっして**独立的にではなく、振動成分との差を通じて見出されていることに注意しよう**。そうだとすると、波動関数を、電子の波動関数、振動運動の波動関数および回転の波動関数の積、

すなわち**独立した**諸部分の積と、いったいどうすればみなすことができるのか？ つじつ
まが合わない！

このように、量子力学の最重要モデルとその実例の解もまた、欠陥を伴う結果に終わっ
ている。

第7章 量子力学の道具立て

さて今度は、量子力学の「特殊数学」、およびこの数学のために考え出された量子力学的解釈についての検討に移ろう。

「新規導入された」すべての理論（例えば量子力学）は、物理学者たちの注意力を弱めるために古典論的な言葉づかいを用いている。古典論ではすべてが明瞭で検証可能だからである。量子力学における孤立系の概念でさえ、（言葉の上だけでなく！）数学的に厳密であるためには、運動量の伝達が存在しないようにするため、現実には存在しない無限大のポテンシャルを利用するか、または無限大の質量が存在する場合にしか導入することができないのである。すなわち、首尾一貫した量子力学とは、そこではすべてのものがすべてのものと相互作用する、全宇宙に関する単一の波動関数（完全に思弁的で実践的科学にとってまったく無益な波動関数）の力学なのである。なにしろ、波動関数および波動関数を伴う作用は空間全体 $-\infty < \mathbf{r} < +\infty$ に適用されるのだから。この観点から見ると、量子力学における等価性、例えば系が「任意の距離だけ平行移動」する場合における系のハミルトニアン等の等価性はまったく不明瞭である（観測者あるいは観測装置はどう取り扱えばよいのだろうか？）。もしかしたら、宇宙の諸物体に少しも触れることなく基準系（座標原点）が移動する、とでも言う必要があるのだろうか？

量子力学は驚くべき科学である。この理論では、固有の物理的意味を持たない諸量を使いこなし遊ぶ数学ゲームをいくらでも考え出すことができる。例えば、独立した物理的意味を持たない位相因子を「適用」することにより、明らかに古典的な反転操作を用いてパリティの概念が導入されている。実際、そうすれば期待されている事柄がたちどころに解明される。そして、それに関してパリティの概念が定義されていない状態（確定したパリティを持たない状態）、例えば縮退状態、あるいは確定したエネルギーに対応しない諸状態が存在することになる。このような「概念」を自然法則に含めることができないことは明らかである。そのような概念は量子力学のモデル的記述方法にのみ属するものであり、その記述における実例計算にしか役立たない。しかもそれは、我々が系の性質と対称性を事前に（多分、実験から）知っているという条件の下においてである。パリティは常に保存されるわけではないということは、このようにして事実上偶然に発見されたのであった。

対称性の諸性質からの保存則の導出に関しては、無限小変化の加法性は必ずしも有限値の線形関数従属性をもたらさないということも思い出す必要がある。すなわち、 $\delta\varphi + \delta\varphi = 2\delta\varphi$ から導き出されるのは必ずしも関数 φ というわけではなく、それは $\sin\varphi$ かもしれない、あるいはそれ以外の従属性かもしれないのである。

「したがって、いくつかの対称性の場合、最初に正しいことは常に正しい」というフレーズ^[訳注]で始まっているファインマンのコメント [Feynman, 17-2]、およびそれに続く段落は、モデル系については正しい。しかし、我々が系の内的機構を知らないのならば、我々

[訳注] このフレーズは邦訳版では「したがって、始めの時刻に何かある対称性が成立していると、その対称性はあらゆる時刻で成立している」と訳されている。原文は "So with certain symmetries something which is true initially is true for all times."

はその機構のハミルトニアンも知らないのだから、系の対称性全般について a priori に確信を持つことはできない。

偏極光 [Feynman, 17-4] に関して指摘する必要があるのは、古典論における角運動量と量子力学におけるそれとが等価であることの完全な証明は、結局のところ得られていないということである。すなわち、電子の加速の過程で位相のずれ φ_0 が一定のままであることの証明は存在しないのである（そもそも、この量は光を吸収する物質の性質によっても決定される）。すなわち、 r と v とのみが比例して変化する、つまり、 ω の大きさもやはり変換することができるが、[電子の] 強制振動を生じさせる光の周波数と一致することはできないのである。すると、

$$\frac{dJ_z}{dW} = \frac{1}{\omega}$$

は

$$J_z = \frac{W}{\omega}$$

と必ずしも等価ではない。

「スピン1を持つ粒子は、その J_z の値として3個の値、すなわち+1, 0, -1を取り得る」という、それより前に行なわれた量子力学のすべての予測に反して、ファインマンは、自然は理論（量子力学）に常に服従するわけではないことを認め、「光というのは奇妙な奴で、2つの状態しか持っていないのである」[Feynman, 17-4] と述べている。しかし、彼はその先で、ちょっと脇を向き、他人に聞こえぬように小さな声で「静止質量ゼロの場合、2つのスピン状態のうち1つだけが必要なのである」（例えばニュートリノ）という、さらに重大な告白を行なっている。概して、「理論家たちの不味いメニュー」より、いつも自然の選択のほうがもっとリッチなのだ。

ところで、その次の適用事例には、量子力学の厳密性についてのそれよりさらに厳しい判決が含まれている。「我々は、質量ゼロの粒子の場合、運動方向に沿う角運動量成分が $\hbar/2$ の整数倍でなければならないこと——少なくとも、 $\hbar/3$ のようなものではないこと——を証明しようと試みた。しかし、ローレンツ変換の持つありとあらゆる性質やその他いろいろなものを利用して、それはうまくいかなかった」[Feynman, 17-4]。どうやら自然には、相対性理論との間で大きな意見の不一致があるようである。

「 Λ^0 粒子の崩壊」のセクション [Feynman, 17-5] に関しても素晴らしい「描像」が得られる。「振幅 a と b に関しては、我々はこれ以上のことは何も言えない。……まだ誰もこれらの振幅の値を計算する方法を知らないからである」。要するに、この理論は、自らを実験によって裏づけ、係数のつじつま合わせを行なう方法で自らに対する信仰を確固たるものにするためだけに存在しているという結論が得られる。

任意の関数の展開を基底状態（定常状態、規格化可能な状態）について行なうという着想は、そのような状態にある系（アンサンブル）の定常過程や物理的性質の研究にとって当然のこととして認められる。ところで、系がある状態から別の状態に遷移する場合（遷移過程は有限時間持続する！）、はたして中間状態における相互作用の確率（また、遷移の時点におけるエネルギーその他の量の測定）は存在しないのだろうか？ 一般的に、自然において（数学的モデルにおいてではない！）、あなたは諸基底状態の完全な総体をど

うやって事前に行うことができるのだろうか(あなたはすべての事柄を既に解明し終えていなければならないということになる。しかもその事柄は、しばしば無数に存在するのだ!)? ここで論じているのは、それ以外の基本的関数のある種の完全な組み合わせに関する関数展開の数学的側面ではなく、現象の物理、そしてその測定過程である。なにしろ、例えば同一の中間エネルギーでさえ、それ以外のいくつかの確定したエネルギーの組み合わせの平均として、相異なる複数の方法で表せる場合がしばしばあるのである。はたして、様々なサブアンサンブルに関するそのような平均値の等式から、諸状態(例えばエネルギー以外の量の同時測定)の一樣性という結論が、必ず導き出されるものだろうか? そこから得られるのは、一種奇妙な**追加的法則**である(そのような法則に、実験的裏づけ、あるいはせめてモデルによる理論的証明はあり得るのだろうか?)。

ファインマン [Feynman, 20-3] による次の告白は象徴的である。「(ヘリウム原子の解の計算は) 微分方程式を解くことによってではなく、**調節可能な [= つじつま合わせ可能な] 多数のパラメーターを含んでいる**特別の方程式を創り出し、その際、平均エネルギーに最も低い値を与えるようにそれらのパラメーターを選ぶことによって行なわれた」。要するに、量子力学に対する**信仰は既にゆるぎない**のだから、それ以上何も検証などせずに、単なるつじつま合わせで実験結果を満足させればよいということだ。今や、後知恵による信仰の堅固化が科学の新たな目的となったということか?

ファインマンによって選択された記号とアプローチは必ずしも便利ではない。最終的に自明な結果に到達するために、しばしば、そう複雑ではないとは言え、膨大な量の計算が続くことになるからである。量子力学における演算子の多くは、既知の古典的結果を完全にコピーしている相関関係によって互いに結びついている(どうしたわけか、このことはファインマンに靈感を与えなかった)。その結びつきの例としては、全エネルギー演算子と運動量演算子との関係

$$\hat{H} = \frac{1}{2m} \hat{\mathbf{p}} \cdot \hat{\mathbf{p}} + V(\mathbf{r}),$$

また、系の全運動量と系の諸部分との関係、あるいは運動量成分演算子を通じた角運動量演算子の表式、等々があげられる。ファインマン [Feynman, 20-5~20-7] はどうしたわけか、量子力学と古典物理学の結果が不一致になる例としてさえ、独立した物理的意味を持つ量ではなく、事実上量子力学の公準であるハイゼンベルクの不確定性原理をあげている。その一方で、そのファインマン自身が、古典物理学に含まれる非可換演算子の例として、古典力学と量子力学の差異の「異常さ」を解消させる、有限角度の回転をあげているのである。ファインマンは古典的なニュートンの法則を導出する際、どうしたわけか一切根拠を示すことなく、この法則を「平均量を与えるための法則」呼ばわりしている(さもないと、その結果が、ミクロ世界には軌道は存在し得ないという量子力学の無根拠な主張と完全に矛盾してしまうからである)。任意の演算子の時間的変化に関する表式を導出する際、ファインマンは時間についての全導関数を書き、そこに時間についての偏導関数に関する表式を代入している、すなわち、またも計算ミスを犯していることを指摘しておこう。

ファインマンはしばしば「それ [方程式] が正しいことが明らかになるようにするため、私はこれを簡単な例によって説明したい」といった類の主張を行なっている(あるいは、諸パラメーターがある程度**具体的に**与えられているという条件の下における課題を、既知

の課題に転化させている)。実際には、そのようなタイプの一致は、せいぜいのところ、具体的なパラメーターをそのように選択した場合の個別解の一致にすぎないのであって、いかなる有限個の個別的例も、より一般的な主張を証明することはできない。

外的作用を受けない系は定常状態あるいは準定常状態にある(物理諸量のある組み合わせを持つ)ことができるという事実は、測定そのもの(すなわち測定装置との強制的な相互作用)の過程において、ある物理量の測定値のスペクトルが、相互作用が存在しない場合と同一であり続けるということをまったく保証しない。このように、(数学的モデルの観点ではなく)物理的観点から見ると、任意の状態は準定常状態のある組について展開することが可能であるということは、仮説にとどまっている(しかも、ある準定常状態から別の準定常状態への遷移の過程における当該量の測定の現実的可能性がまったく考慮されていないのだから、それは誤った仮説である公算が大きい)。他ならぬこの観点から見ると、定常状態の固有関数の組のみを通じた当該量の平均値の決定もまた、厳密ではない可能性がある(下準位の準定常状態への時間的に有限な遷移のバリエーションの数が増加した場合には、基底状態から離れるにつれて、平均値の差が増大していくことがあり得る)。

証明に反して、固有関数は互いに直交していない場合がしばしばある(すなわち、追加的な数学的操作が要求される)。量子力学における物理諸量に関する演算子の導入は、量子力学のお定まりの公準である。その導入に続いて行なわれるエルミート演算子あるいは自己共役演算子の決定は、その公準およびすべての物理諸量の現実的性格からの帰結であるにすぎない(ちなみに、線形方程式の場合には複素量も利用すると都合がよいことが時折あり、そうすると、それ以外の演算子、対称化、反対称化、等々を利用した純粹の数学ゲームが始まることになる)。

諸演算子の和の決定に際しては、どうしたわけか、新たな演算子が個別の各演算子の固有関数とは異なる別の固有関数、また固有値の和とは異なる別の固有値を持つ可能性が排除されている。この可能性は次の恒等式から容易に見て取ることができる。

$$(\hat{f} + \hat{g})\psi \equiv (\hat{f} + \hat{z})\psi + (\hat{g} - \hat{z})\psi$$

ここで \hat{z} は完全に任意の演算子とすることができる。まさにこの理由により、もし量 \hat{f} と \hat{g} が同時に確定値を持つことができないとしても(おそらくそれは、それらにおける固有関数 $\psi_i^{(f)}$ と $\psi_i^{(g)}$ の組の違いに現れるのではなからうか)、このことは、和の演算子に固有値と固有関数が存在しないことをまったく意味しない。おそらく、演算子の場合、その状況は、量子力学において利用されているよりも、例えば下記のように、若干さらに広範囲なものである可能性もあるのではなからうか。

$$\hat{f} \hat{g} \psi_n \equiv \hat{f} (\hat{g} \psi_n) = \hat{f} g_n \psi_k \equiv g_n (\hat{f} \psi_k) = g_n f_n \psi_n$$

演算子のそのような積の場合の可換性に関する問題、あるいは量子力学においてそれはどう解釈されるのかという問題、また量 f と g の同時測定可能性に関する問題も、様々な答えを持っている可能性がある。可換性という性質(量子力学では同時測定可能性として解

積されている性質) は結合的ではない。すなわち、 $\{\hat{f}, \hat{h}\} = 0$ と $\{\hat{g}, \hat{h}\} = 0$ から $\{\hat{f}, \hat{g}\} = 0$ は導き出されない。おそらく、このことは、同時測定不可能性という概念をそれら諸量の同時非存在とみなす量子力学の解釈が、非客観的なものであるということの意味しているのであろう。

ψ に対する線形従属性でさえ、自然が持つ何らかの明白な性質からの帰結ではなく、量子力学の公準 (重ね合わせの原理) からの帰結なのであって、その従属性が時間に関する1次導関数で表されるということには、まったく何の根拠もない。演算子の時間微分の定義は形式的・数学的に (厳密にモデルの枠組み内において) 導入されている。それゆえ、「量子力学における物理量の時間微分という概念は、古典力学と同じ意味において定義することができない。実際に古典力学における微分の定義は、近接しているが異なった二つの時刻における物理量の値の識別と関連している。ところが量子力学においてある時刻に確定値をとる量は、それに続く時刻には一般にいかなる確定値もとらないからである」 [Landau & Lifshitz, §9, 小教程§9] というフレーズは、単なる信仰であり、量子力学の現代的解釈を支える口先だけの「根拠づけ」でしかない。

行列密度 [Landau & Lifshitz, §14, 一部のみ小教程§7] をめぐる話は、最初から最後までコメディの連続である。我々は量子力学の代わりに、学校でやる代入の勉強をするつもりなのか？ 量子力学によれば、関数 $\psi(q, x)$ が既知であれば、すべてが最大限まで既知となる。では、何のために (より情報量の小さい) 密度行列なるものを、その上さらに決定するのか？ もし $\psi(q, x)$ が未知であるとすれば (現実には、まさに未知である!), $\rho(x, x')$ の決定は「砂上の楼閣」となる! また、より大きな閉じた系に含まれている部分系は物理諸量の独立した (!) 組を持っているという主張についても、証明がなされていない (まるで、演算子は、選ばれたその部分系を除く、閉じた系のそれ以外の座標に対してはまったく作用しないかのようなものである)。あなたは、「別々の部屋 (古典物理学と量子物理学) に置かれている2つの椅子に同時に座りたがっている」のか？ 行列密度に関する方程式の導出の仕方を見て、あなたは可笑しくならないか？ 誰かが「例えば電磁力の作用によって本質的に決定されている何らかの現象は、その電磁力が存在しない場合における方程式と同一の方程式に従わなければならない」といった類のことを言ったと、ご想像いただきたい。でははたして、[Landau & Lifshitz, §14] において、その類の話がなされていないと言えるだろうか？ そこでは、「系が波動関数を持っているときは、 $\rho(x, x')$ に関する未知の線形 (?) 微分 (?) 方程式は、**個別の場合**にも満たされなければならない」と述べられている。ここには小さな嘘がある。ここでは、「系」ではなく、「部分系」という言葉を使わなければならない。なぜなら、まさにそのような波動関数 (全系の波動関数ではない!) が代入されるからである。その先において、そのような個別の場合に関する方程式が得られた後も、その方程式は「未知方程式」と呼ばれている。それは多分、どっちみち「頭から足の方へ」逆戻りしなければならないからだろう。すなわち、一般方程式から個別の場合に関する方程式を得ることは可能かもしれないが、**個別の場合**のみに関する方程式を導き出すときには、**一般の場合**における方程式の形を**保証することは決してできない**のだ。ところで、数学においては、級数がそもそも一定の極限值を持っている、すなわち収束することを証明するよう要求されるのが常であるにもかかわらず、どうしたわけか、ある組

(例えば固有状態の波動関数) についての関数展開に対する数学的要件はまったく示されていない。

[Landau & Lifshitz, §15, 小教程§12] における運動量演算子の導入は、事実上公準の形でなされている(ただ単に、何らかの量にそういう「あだ名」をつけているにすぎない)。特に、線形化された関数については(第2項までのテイラー展開)、初期関数(例えば跳躍不連続点を持つ関数)は必ずしも復元されない。では、運動量演算子の固有関数は物理的意味の点では、いったい何に対応しているのだろうか? それは、全宇宙にただ1つ存在する粒子である。その粒子は何か分からない何ものかに対して一定の速度でどこかを飛行しているのだが、それがどこなのかすら分からない。その粒子は全宇宙に「広がっている」からである。何と大きな包容力を持った概念であることか! 概して言えば、量子力学とは、測定可能量の代わりにある種の数学的操作(演算子)に対して物理的意味を与えようとする試みである、と定義することができる。しかし、非可換演算子は古典物理学においては明らかに物理的意味を持ち得ない。すなわち、量子力学の場合には、物理的意味を「もつばら指から吸い出す [= 出まかせを言ってでっち上げる]」こと、すなわち、同時測定不可能性(例えば座標と運動量の)を公準として定めることが必要となったのである。量子力学において「ある波動関数(あるいは状態の組)が与えられている」といった課題の設定の仕方がされていたり、[Landau & Lifshitz, §16, 小教程§13]における不確定性関係の例でさえ「目分量」で示されているのを見ると、奇妙な気持ちになる。そうであるなら、それと同じ精神に従って初期状態を完全に決定されたものとして設定することを、何が妨げているのだろうか? 一般化された関数、あるいは間隙、跳躍不連続点等々を持つ関数を波動関数として選択することを、何が妨げているのだろうか(それらの関数を選択すれば、例えば非可換性を「打ち消し」たり、諸量の同時測定不可能性と称するものを除去したりすることが可能となるはずである)?

ゆらぎの最小積($\hbar/2$)に関するH. ワイルの証明 [Landau & Lifshitz, §16] は、純粋のコメディである。彼は、 α を任意に選択したときに自動的に正となる積分から出発して、もはや α の値が任意ではないときに正となる2次3項式を得ている。そして今度は、ある一定の条件を満たしさえすれば、それは再びそうなるというのだ。しかし、もし $x=0$ および $p_x=0$ とおけば、その場合にもやはり α の値が任意であるときに正しい等式が得られることは、最初の積分から明白ではないか! 数学ゲーム!

量子力学では、運動量と座標を同時に含んでいる積分の書き方も人を感動させてくれる。実際の話、ときにはこっそり積分限界が書かれていないことがあるのだ。——ひょっとしたら、量子力学においては運動量と座標は同時に存在しないと宣言されていることを覚えていなくて、思い出しすらしていないのかもしれない。量子パラダイム愛好者たちは、別々の階にある2つの椅子に同時に座りたがっている。積分に含まれている諸量が互いに同時に存在しないのだとすれば、その積分をどうやって厳密に計算するのか? 彼らは、提案されている数学を利用するのか、それとも「不確定性」や「新規性」について吹聴するのかの2つのうち、とにかくどちらでもいいから片っ方を選んだというわけだ。

量子力学の世界では、繁文縟札制定者のための気晴らし——率直に言えば、ある種の「ホイール・オブ・フォーチュン [= テレビのクイズ番組]」——が必ず見つかる。[Landau & Lifshitz, §128] を読んでみよう。「散乱振幅の一連の重要な性質は、散乱振幅を形式的に複素変数

とみなされる……エネルギー E の関数として分析する方法で解明することができる」。この「レシピ」を分かりやすい言葉に翻訳すると、「独立した意味を持たないある1つの量を取る。その量の中でエネルギー E は物理的意味を失い、複素数値を持つ文字 E に取って代わられる（以後、 r も複素数になる）」となる。「臼で水を搗け——自然の重要な性質を発見するためには、それが必要なのだ！」。

お次の「傑作」[Landau & Lifshitz, §128]。「この表式は漸近形として不当であるように見えるかもしれない。——この表式内の小さい項は、大きい項を背景としたとき、許容され得ない精度超過に見えるかもしれない」。何たるたわ言だ（疑問すら抱かせないようにするため、その口調の「厳格さ」だけは最大限もったいぶったものになっている）?! 「不当である」とは、何を意味しているのか?! もし「近似的である」と言いたかったのであれば、それは（「漸近」という言葉から）まったく自明なことである。また、例えば 10^{-10} の増加を考慮に入れることが、どうやって近似的な単位を「不当」なものにすることができるのか?! 「許容され得ない精度超過」というおそろべき語句さえ考え出されている。それは、何にとって許しがたいのか? 近似計算にとっては、いかなる**改善**も許容され得るのだ! おそらく、厳密性を自負し、世界制覇の野望に燃える結論の導出にとって、それは邪魔になるのだろう。その先([Landau & Lifshitz, §128])では、 $U(r)$ の指数関数的減少という要件を挿入するという、「自己切除行為」がなされている。すなわち、確実な意味を持つあらゆる現実的なポテンシャルが、まとめていっぺんに「切除」されているのである（そうした場合、自然界に何かが残るのかどうかは不明である）。

そえゆえ、量子力学の道具立ては、（厳密性、アルゴリズムの整合性という面において）言葉の本来の意味における数学ではなく、（根拠づけ、測定、諸結果の整合性という面において）物理学でもない。それは、信仰、そして既知の結果に合わせたつじつま合わせを頼りにして生きる、ある種の交雑種なのである。

第8章 スピン

次に、量子論固有の「発明品」と称される「スピン」の概念についての検討に移ろう。その実験的「根拠」から話を始めよう。

シュテルン-ゲルラッハの装置による原子のろ過 [Feynman, 5-1] に関する記述の中で、ファインマンはその思考実験について、「なお、これから述べるすべての実験をまさにこのようなやり方で行なった人は、これまで誰もいない」（系には、さらにそれ以外の「自由度」があまりにも数多く存在する）と、正直に述べている。すなわち、その記述は、その理論に対してはや疑いを持つはずのない学習者向けに、理論を例証する目的で与えられているのである。実際には、ただちに一連の疑問が生じてくる。例えば、「3種」の原子は、実験を実施する前に既に存在していたのか、それとも、実験自体の結果における諸作用に対する「応答反応」として生じたのか？ 作用自体によっていかなる性質が誘導されたのか、あるいは、加速、非一様な磁場への到達、制動の各段階において性質のいかなる変化が生じていたのか？ そもそも、それ以前に知られていて、検証と再現が可能な事柄（例えば、力学的な類似物における事柄）との相互の関連づけを行なうことなしに、「何か新たなものを新たな言葉で語る」ことがいかにして可能なのか？ その次のセクション「ろ過された原子を用いた実験」 [Feynman, 5-2] は、原子の状態は実験装置自体の作用の結果として変化すること、さらに、フィルターを直列に接続した場合には、原子の状態は実験装置自体によって誘導されるという別の結論を下し得ることしか示していない。

古典論とのアナロジーを持たないような「純粋に量子論的な」効果は1つも存在せず、「振幅」はここではまったく何の関係もない。例えば、ヒットする荷電粒子は斥けられるか、または引きつけられるかのいずれかであるから、所与の場所にヒットする確率は、荷電粒子の場合には、相互作用しない非荷電粒子の場合とは違ったものになる。光が偏極し、また直列した複数の偏光子を通過するという性質を思い出してもよい。それゆえ、[Feynman, 6-1] における「我々の論理が最も抽象的なところでは、それ [= 我々の理論] は常に正しい結果を与える、——つまり、実験と一致する」、また、「我々が実験と一致する理論を見出すことができないのは、我々が基本粒子の内部機構やそれらの相互作用に関する具体的なモデルを構築しようと試みる場合に限られる」というファインマンの主張は、きわめて奇妙に見える。そして、すべての振幅に同一の位相因子を同時に掛けることができるという事実は、我々は物理的意味を持たない諸量で「数学ゲーム遊びをしている」ということを物語っている（すなわち、これは物理学ではなく、記憶術の規則一式である）。ファインマンはその次のセクション [Feynman, 6-2] で、位相因子についてそれ以上考え込まずにすむようにするため、回転行列を行列式の平方根で割ることにより「回転行列を標準形に変換することを規則として」採用することを、恣意的に提案している。実験結果は空間内における実験装置全体の方向に依存しない（未知の精度と未知の尺度で！）というコメントは、望ましいものとして信仰のうちに受け入れられる（しかも、そもそも、空間の一様性・等方性がいつの日か証明され得るということはまずあり得ないが、しかし、それが覆されるかどうかは、間違いなく実験の問題だ！）。

[Feynman, 6-3]における z 軸の周りの回転に関する記述には、未解明の多数の疑問点が残されている。スピンの z 軸に沿った配向を持っているとき、そのような回転は確率振幅を変化させないと主張されているが、その他の条件は指定されていない。ところで、ビームが方向転換したのであれば、そのためにはビームに対して**作用**が加えられたのでなければならない。その作用とはいったい何なのか？「振幅が変化しない場合には、そのようなタイプ(?)の作用を受けたとき、振幅は変化しない」という結論が得られている。これは非常に具体的だ！現実の実験に(装置についての記述を含めて)言及する必要がある。その先の検討においては、 x 状態を創出するための**追加的な装置**が「思考の上で」置かれている。しかし、そうだとすると、その新たな追加がそれ以外のすべてのもの(例えば z 状態)に対して影響を及ぼさないことを(実験的に)証明する必要がある。それがなされないうちは、これも再び、叙述の中における新たな仮説でしかない。なぜなら、「現代」物理理論の「標準的な」(「子供用の積み木を用いた」)構築方法は、「諸構成部分」の非依存性(それら相互の間における本質的な影響の不存在)の証明を要求しており、その証明がなされない限り、その「揺るぎない確定的事実」を、より複雑な思考上・実験上の構造物における構成部分として利用することができないからである。仮に、変化するのは確率の位相のみであることを信じるとしよう。しかし、小さい角度の回転の性質からは、大きい角度の回転についての結論を下すことはけっしてできないのだ！ 360° の回転をしたとき物理的結果(確率)は変化しないものとするという唯一の要件からは、 $\frac{1}{2}\varphi$ の依存性を導き出すことはけっしてできない(例えば、無数の可能性からなら、それは $\pi \sin \varphi$ となり得る)。 y 軸の周りの 180° および 90° の回転に関する記述[Feynman, 6-4]は純粹の「コメディ」である。それまで、**原理的に新たな言語**について語られていたのに、突然、「ひっくり返された装置 T の中では、磁場の**勾配**の方向と**磁場**の方向の両方が反対向きになっている。それで、その**磁気モーメント**が所与の方向を向いている粒子の場合には、それに作用する**力**の方向は変化しない」と述べられているのである。つまり、どっちみち、古典論の概念、モデル、そして解釈なしでは「にっちもさっちもいなくなる」ということなのではないか？それに続く「指から吸い出された結論」も笑いを誘う。「あらゆる 360° の回転の結果は、 z 軸の周りの 360° の回転の場合と同じでなければならない——つまり、すべての振幅が単にその符号を変えるだけである」(人間が 180° の回転をして逆立ちした場合、血液は頭の方に流れてくるが、垂直軸の周りに回転した場合には、どんなふう回転しても、それに類することは起こらない)。まったく奇妙である。量子力学においては、 360° の回転は明らかに(!)以前と同じ状態をもたらさずに、振幅の符号の変化をもたらすのだとすれば、では、2回の 180° 回転は1回の 360° 回転と同じものを与えるという「回転の加法性」は、どこから導き出されるのか(例えば、1回の 180° 回転と2回の 90° 回転の性質の変化の場合は?)?それゆえ、回転の組み合わせにもとづいて導出された量子力学のすべての結論は証明されておらず、ましてや一意的なものなどではない。概して言えば、物理学における常識[=健全な判断力]は、せめていくばくかの物理的意味を持った諸量のために使われるべきである！多分、ただちに確率に関する関数を探すべきだったのではなからうか？

磁場中におけるスピン配向の2つの状態の安定性を調べた者がいるかどうか、知りたいものだ（古典物理学においては、例えば、それらは相異なった安定性を持ち、完全に等価とはならないはずである）。また、古典論においては、場 \mathbf{B} に対するハミルトニアン H の線形従属性は一次近似であるにすぎない。量子力学に対する一般的コメントを述べよう。**状態全体**（例えばエネルギー準位）の定常性からは、系の全粒子（例えばスピン配向、あるいは若干の運動要素）の定常性はけっして導き出されない。なぜなら、動的平衡もあり得るからである。複素量を含んだ総体におけるハミルトニアン H の一次近似の利用は、策略（既知の答えに合わせたつじつま合わせ）のためのより多くの可能性を与えてくれる。しかし、非線形性の存在が、重ね合わせ原理を用いたその種の数学的手法の利用を無効にする可能性がある。

磁場中において自転している電子の記述は、完全に古典的な歳差運動を思い起こさせる。[Feynman, 11-1]におけるパウリのスピン行列の導入は、純粹に数学的対象として、**純粹に形式的**に行なわれている。「もちろん、自然が知っているのは量子力学のほうなのであって、古典力学は単なる近似にすぎない。それゆえ、古典力学の中に、量子力学の諸法則——表面下に本当に隠れているもの——の何らかの影が存在するという事実のうちに、不可解なことは何もない」というファインマン [同上] の意見には、とても賛成することはできない。より正確な言い方をすれば、実際はそれと正反対でさえある。すなわち、古典力学が「触診によってくまなく検査済み」である（そして再現可能である）のに対して、量子力学はと言えば、それは、「影絵芝居」の観測にもとづいて採用された、あり得る様々な解釈のうちの1つ（つまり「永遠の仮説」）にすぎない。数学そのものとは異なり、「数学記号」や抽象化への深化を弄ぶゲームは、物理科学のために新たな成果をもたらすことはできない。なぜなら、(実験によって検証された)「物理学の根っこ」は、数学ゲームから新たに増殖することはなく、いつまでも元のままだからである。

「量子力学では素粒子にもその空間運動とは無関係なある“固有”角運動量が付与されると考えるべきである。素粒子のこの性質は ($\hbar \rightarrow 0$ の極限移行で消失する) 量子力学に特有のものである。それゆえこれを古典的に解釈することは原理的に許されない」という、スピンに関する言明 [Landau & Lifshitz, §54, 一部のみ小教程§39] について。この言明は、せいぜいのところ著者たちの個人的**信仰**を表現しているにすぎない。その先では、何たるたわ言が続いていることか! S_{mol} は「所与の数字」であって (それはいかなる単位で与えられているのか? 誰が、いかなる精度で検証したのか?), 古典的極限に移行した場合は $\hbar \rightarrow 0$ および $\hbar S \rightarrow 0$ とならなければならない、というのだ! (量子力学のモデルにおいて) 我々の世界の完全に具体的な (!) 性質と関連づけられている有次元量を、どうすればゼロに向かわせることができるのか?! 宇宙を作り直そうとでもいうのか?! これは疑似数学ゲームだ! それゆえ、古典力学においては粒子のスピンは存在し得ないということには、いかなる根拠もない (おそらく、粒子の自転を研究することは無意味であるという語句もまた、量子力学の解釈の唯一性に対する信仰の堅固化を試みるために故意に発せられているのだろう)。(自転としての) スピンを (やはり空間内における回転運動の) 軌道角運動量のアナロジーとみなした場合には、量子力学のモデルにおいて、選択された方向へのスピンの射影も離散値を取るということは、当然のこととして理解できる。しかし、(現在一般に受け入れられているように) そのようにみなさない場合には、スピンの射影

の離散性は、量子力学の次なる**追加的仮説**ということになる（人為的な公準が多すぎはしないか?）。それと同様に、スピン演算子の交換規則も仮説である。次のフレーズ [Landau & Lifshitz, §54] もただただ滑稽でしかない。「スピン演算子は座標に対してではなく、“スピン変数”に対して作用する。……それゆえ、求められている交換関係を得るためには、我々は無限小回転を一般的な形で、座標系の回転として考察しなければならない」。論理はどこにあるのか?! スピンは回転と無関係だと宣言しているのなら、ここで（無限小）回転の演算子がどんな関係を持っているというのか?! 仮にそのような公準の設定の仕方が正しいと信じたとしても、様々な疑問が「別の側面から」生じてくる。もし軌道角運動量とスピンの（総角運動量における）合成が可能であるという公準を設定し、それらは（回転を用いて得られた）同一の交換規則に従う、そして量子力学における回転にとって、それが性質の**すべて**なのだということのなら、スピンは粒子の自転と関係を持たないなどと、いったいどうすれば偉そうに主張することができるのか? より正確には、それは逆に、その関係の存在を証明しているのだ!

セクション「スピノール」 [Landau & Lifshitz, §55, 小教程§40, §41] では、スピン σ の粒子の波動関数の回転時における変化が考察されているが、座標依存性は考察に含められていない。しかしこのことは、事実上、考察されている対象は**点状**の粒子である、ということの意味する。これは第1の仮説（未証明の仮説）である。そしてまさにここから導き出される第2の仮説（これも未証明）——数学上の仮説——は、波動関数は座標部分にスピン部分を掛けた積の形で表すことができる、というものである。その後には、無限小回転の演算子はスピン演算子を用いて表されるという仮説が再び続いている（スピンは粒子の自転によって条件づけられているとみなさないのだとすれば、それも仮説に他ならない）。演算子の線形性もまた、公準として設定されている、さらにもう1つの仮説である。その先のセクション「任意のスピンを持つ粒子の波動関数」 [Landau & Lifshitz, §57] には、こう書かれている。「波動方程式の“スピンの”な性質は、本質上、座標系の回転との関係における波動方程式の性質でありつつ、スピン S の粒子の場合と、系の総スピンのような方向を向いているスピン $1/2$ を持っている $n=2S$ の粒子からなる系の場合との両方について等しい」。何の根拠があつてこんなことが言えるのか?! この何の裏づけもないお定まりの仮説（より正確には公準）を、私がロシア語に訳してみよう。すなわち、「前に考察したこと（座標に対する非依存性、また粒子は中心にあるということ）から、 $2S$ の粒子は**点状**であり、それらすべてが**空間の1点**に存在して新たな**点状**粒子を形成しなければならない」、ということだ。どうしたわけか、私は自然界に存在するそのような事例をどうしても思い出すことができない! ……もしかしたら、私は何かを見落としてしまったのだろうか?

完全に**古典的な統計物理学**においても、個別粒子の追跡は行なわれておらず（統計物理学の本質はここにある）、分布密度（確率）も同種粒子の置換時に保存されることになる。それは技術的な理由（我々の選択）によってそうなっている、あるいは、いわば原理的に（証明不可能なことは）重要ではないためにそうなっているのである。しかし、「同種粒子の無差別性の原理」のセクション [Landau & Lifshitz, §61, 一部のみ小教程§45] において、我々は再び、例によって例のごとき、何もない空っぽの場所での「科学もどきの大活躍」に出会うことになる。実際、物理的意味を持っているのは波動関数の絶対値の2乗の

みななのであって、波動関数そのものではない。それゆえ、粒子対が2回置換されたとき、波動関数は必ずしもそれ自体移行する必要はなく、任意の位相因子 $e^{i\alpha}$ を持ち続けることができる。したがって、波動関数は、1) 対称的、または2) 反対称的であるだけでなく、3) 対称的でも、反対称でもないということもあり得るのである。このセクションであげられている最初の2つの事例において課せられている制限だけをとってみても、量子力学は数学的面上において波動関数の選択に対して著しい制限を課している。すると、2つのことを証明することが必要になる。第1に、課せられたその制限は、任意の事例を考察することを可能としているということ（このことは公準として要請されているだけで、いくつかの精密な計算例をもってしても証明されていない。——すべては「信仰と近似化された水素原子」の上に成り立っている）、第2に、放棄されたあり得る波動関数は、新たな解を与えないということ（これも証明されていない）である。相対論的物理学には何らかの厳密解よりもっと数多くの問題や矛盾が存在するのだから、証明なるものとして、普通の量子力学とまったく整合していない別の（相対論的）理論を援用することは完全な誤りである。このセクションにおけるパウリの原理への言及も絶対的に不明確である。例えば、量 χ_i は「各粒子の3つの座標およびスピン射影の総体を意味している」と述べられている。しかし、そうだとすると、古典物理学においても、我々は空間の1点に2つ（ここでは仮に2つとする）の球を置くことはできない。その場所は2つの球のうちの1つによって既に占められているからである。一方、量子力学によれば、各粒子の位置は空間全体に広がっている。それゆえ、原理的には、同一のスピンを持つ、ただし異なったエネルギー状態にある2つの電子が空間の各点に存在するということが完全に可能ということになるが、物理学的観点から見たとき、このことは大きな疑念を引き起こす（空間の1点は1つだけなのだ!）。

それにしても、「20世紀のニューモード革命の信奉者」たちは、「すべての物事を逆立ちさせる」ことを何と愛していることか! 「粒子の電氣的相互作用はそのスピンに依存しない」[Landau & Lifshitz, §62, 小教程§46]（こう述べた後、注^[訳注]においてお定まりの「相対論への忠誠の誓い」がなされている）。「電氣的」という言葉はここでいったい何の関係があるのか? なにしる、2つの**現実**の電子は、電氣的相互作用だけでなく、磁氣的相互作用にも関与しているのだ。ところで、古典物理学においては、あらゆる種類の相対論抜きで、2つの磁石はそれらの極の相互配向に応じて様々な仕方で相互作用する。それゆえ、量子力学がマイクロ世界の諸現象を記述する能力を持っていると自負しているのなら、マイクロ世界の捏造された性質ではなく、現実の性質を考慮する必要がある。現実には、電子（そして原子核。今のところ、その性質は「証明」においても計算においてもまったく考慮されていない）の相互作用エネルギーは、それらの相互運動と、それらのスピンの相互配向との両方に依存している。解もまたまさにこの配置（コンフィギュレーション）に依存することになり、この理由により、解は相異なったものになる。ところで、（純粹に量子力学的な原理と称されている）同種粒子の無差別性の原理は、この問題とはまったく無関係であることが分かる。すなわち、既知の箇所からメスを入れて人為的な「切除術」を行な

[訳注] この注は次のとおり: 「このことは、我々が非相対論的近似を問題とする場合に限って正しい。相対論的効果を考慮すると、荷電粒子の相互作用はスピンに依存するようになる」。

うことなどせずに、粒子が持つ現実の性質を全部いっぺんに考慮しさえすれば、特殊な「交換相互作用」などをでっち上げずにすむのである。その「証明」は原子核の性質を（また現実の電子の運動特性も）まったく考慮していないのだから、その先このセクションで展開されている、角運動量とスピンはいかなるものであり得るのか、またその場合、関数はいかなるもので「なければならない」のかについての議論は、それより前に定められた波動関数の対称性の諸性質に関する公準的定義と矛盾しない選択の仕方についての議論でしかない。

数多くの側面がないがしろにされている。例えば、任意の数の電子からなる系の場合には、総スピンのあり得る値は0と1の2つだけであるのに対して（そして、それは本当にそうなのか、それとも再び、それは対称性の諸性質に関して選ばれた追加的公準の枠組みの内にいるための方策なのか？）、スピンの1/2より大きい粒子の場合には、あり得る値は2つではなく、それより多いのはなぜなのか？ 角運動量は、角運動量がそれとの関係において決定されるところの点に対して依存している可能性があることが知られているが、原子内の角運動量を決定する際、核の運動量はまったく考慮されていない。ヤング図形もまた、対称性というスキームに対する信仰の堅固化のための科学もどきの方策であるにすぎない。しかし、そもそも、波動関数は座標部分にスピン部分を掛けた積とみなされているが、これはいかなる根拠にもとづいているのか？ そうみなす必然性を証明した者は誰もいないのだ！ そして、そうみなした場合、総関数はでっち上げられたそれらの対称性の諸性質さえをも持たなければならなくなり、総関数のスピン部分の分布について何も言えなくなる。しかも、量子力学のイデオロギー自体に従った場合、あれこれの配置のときにいかなるスピンがあり得るかを決定する際、いったいどうすれば粒子に対して確定的な座標を与えることができるのか？——なにしろ、電子は空間全体に分布しているのだ！ それは、原子内の任意の1つの電子に対して任意のスピン射影を持つことを禁止するのと同じことである。なぜなら、宇宙のきつとどこかに、同じ電子エネルギー、そして同じスピン射影を持つ原子が存在するからである。空間の任意の点に存在している「広がった」電子は、もしかしたら任意のエネルギーを持っている（任意の準位に属している）のかもしれないが、我々はそれを検証することも反証することもできない。そうなのだ、量子力学においては、代替となる解法や説明を見つけ出したいというあらゆる願望を研究者から失わせるために、沢山の記憶術（つじつま合わせ）の規則がでっち上げられているのである。

もしディラックに従って無限大の電子の海が存在し、これがすべての負のエネルギー値を満たしているのだとすると、その「形成物」の質量は無限大でなければならない。指から吸い出されたそのような「新たな」重力のパラドックスに、いったいどう対処すればいいのだろうか？ 粒子はみな平等に負の質量と負のエネルギー（固有エネルギーと運動エネルギーの和！）を持つことがディラック方程式から導き出される以上、この種の方程式に物理的意味が存在する唯一の場合、——それは $m \equiv 0$ の場合である。すなわち、これは空虚な空間（粒子も測定装置も存在しない空間）についての方方程式であり、その空虚(0)は任意の変換に対して不変である、ということだ。

このように、「量子論固有」の発明品もまた、いまのところ論理性と根拠性の方向への牽引力を与えられていない。

第9章 摂動論

その道に精通した物理学者なら誰でも、仮説的な絶対的に厳密な量子力学と称するもの（宇宙全体に関する唯一の定常状態の波動関数を認めている量子力学）は、いかなる実際の有益性も持つことができないことを理解している。すなわち、そのような量子力学においては、まず何かまことしやかな呪文を唱えてから、十分詳細に検討し尽くされている古典物理学のお手本にならない、諸パラメーターの限られた組を用いた近似解の構築方法を創出することが必要となる。遷移の場合にその種の補足手段の役割を果たしているのが、これから我々がその検討に取り掛かろうとしている摂動論である。

波動関数 ψ_n^i そのものの代わりに、それらの線形組み合わせを解として選択することが可能である（例えば縮退の場合）ということは、量子力学の非一意性を示している。なにしろ、それらの場合、原子中で実験的に観測される電子分布は相異なったものになるのだ！そして、自然はいったい何を、どのようにして（いかなる原理に従って）選択するのか?!という疑問に対する答えは存在しない。連続スペクトルへのあり得る様々な遷移（自然にはその可能性が常に存在する。その可能性を制限あるいは排除することができるのは、モデル的考察のみである）を考慮した場合には、状況はますます悪化する。すなわち、その場合には常に縮退が存在するのである（そして、エネルギーだけでは状態を確定するのに不十分である）。その結果、あり得る様々な可能性の数は、予測可能な仕方による自然の記述にとって必要とされる可能性の数よりも常に多くなる。そうだとすれば、そのような理論の価値はいったいどこにあるのか（太陽系惑星の軌道分布の法則性を説明する諸理論に対する反対論を思い出そう。ただし、太陽系にはありとあらゆる観測不可能な軌道が多数存在している）？

時間に依存する摂動 [Landau & Lifshitz, §40, 小教程§34] が考察されるとき、すなわち、自然自体によって実現される課題が現実的な仕方と設定されている場合には、「真理の契機」が訪れる。この場合には、定常状態はまったく存在しないこと、すなわち、個別科学としての量子力学が「考え出された」目的であるところのものは存在しないことが明らかになる。そのような場合、そもそも波動関数自体が意味を持っているかどうかは、信仰の問題に属する（この「仮説」の検証は実験的方法によって、ただし、それぞれの具体的な場合ごとに個別に行なうことが可能である。しかしそうだとすると、そのような理論の意味はどこにあるのか？）。

逐次近似法によって収束解を見出すことが可能であることはまったく根拠づけられておらず、おそらく、一般的な場合にはそのことを根拠づけることはできないであろう。例えば、摂動の小ささはそのことを保証しない。それゆえ、[Landau & Lifshitz, §40] の「事実上大部分の場合、既に第1近似だけで十分であることが分かる」という語句は、次のようなまともなロシア語に翻訳する必要がある。「後ろの被加数が前の被加数より大きくなるという状況にばったり出くわすのを避けるために、それ以降の被加数は求められようもしないことがしばしばある」と。例えば、時間に関して周期的な摂動についてのその先の叙述においては、展開式中の分母が小さくならないようにするため、追加条件を導入し

なければならなくなっており、さらに連続スペクトルも存在する場合(唯一現実的な場合)には、再び新たな追加条件(周波数に関する条件)が導入されている。

n 番目と m 番目の準位の間における遷移の周波数に近い周波数を持つ摂動に関する問題 [Landau & Lifshitz, §40] も疑念を呼び起こす。その解答として、状態確率はそれらの準位について周期的に変化するという結果が得られている。これは奇妙だ！ 第1に、系の決定論的(!)挙動(系がある厳密に確定的な状態に見出される時刻を我々が正確に知っている場合の挙動)は、量子力学のイデオロギー自体と矛盾しないのか？ そして第2に、厳密共鳴の場合の挙動は、それ以外のエネルギー準位の存在にまったく依存しないという結果が得られている！ したがって、もし我々が 100 番目の準位まで励起された原子を、100 番目と 101 番目の間の遷移に相当する(小さな)周波数を持つ弱い周期的な場の内部に保持したとすると、その原子は永久に定常状態に遷移しないということになる。もちろん、それは間違いだ。このように、量子力学とその方法の厳密性(そして実際的な予測上の有益性)は疑わしいことが分かる。

新たな条件の下で生じた状態を非擾乱状態について展開するというイデオロギー自体、いくつかの場合には弊害をもたらすものとなる(古典論においてさえ、原理的に新たな状態が出現することがある。こま、カピッツアの振り子 [Kapitza's pendulum], ジャニベコフ効果 [Dzhanibekov effect] [訳注*], 等々を思い出そう)。例えば、新たな定常状態が生じた場合、その定常状態をそのような方法で「捕捉」することはできないだろう(例えば、「ノイズによる誘導遷移」を思い出そう。——Lefever と Horsthemke による同名の著書 [訳注**] を参照)。

数学的な問題(例えば発散性)が存在しないときには、規則がただちに「一般的である」と宣言されている点にも注目したい。すなわち、「一般則によれば、係数 $a_{kn}(\infty)$ の絶対値の2乗は、系がエネルギー $E_k^{(0)}$ を持つ確率、すなわち k 番目の定常状態にある確率を与える」というように([Landau & Lifshitz, §41, 小教程§34]を参照)。ところが、「一般則」が無効となるような状況が数値的に(偶然に)見出されるやいなや、「一般則」の(見せかけだけの)一般性は即座に忘れ去られてしまうのである。例えば、摂動が無限に長く作用する場合、積分は発散し、遷移確率は無限大となる。その場合には、その発散性は本質的でないとただちに宣言され、絶対値の2乗の中の被加数のうちの1つが切り捨てられ(!)、今度は、残った被加数から絶対値の2乗が取られている(もちろん、何かまことしやかな呪文を唱えた上で)。何といういかさまだ！ なにしろ、そうすると、無限大の時間 t だけでなく、有限な時間 t の間においても、確率が1を超える(すなわち、その意味を失う)可能性があるのだ！ そうした場合、その時間 t の間における遷移確率を決定したいと思ったら、我々は「切り縮められた式」(1つの被加数が削除された式)を利用しなければならなくなるのか?! そして、それとは少し異なった時間 $t - \delta t$ の場合には、まだ「完全式」

[訳注*] 1985年、宇宙滞在中のソ連の宇宙飛行士ジャニベコフによって偶然実証された効果。この効果は「テニスラケットの定理 (tennis racket theorem)」あるいは「中間軸の定理 (intermediate axis theorem)」から導き出される帰結である。

[訳注**] R. Lefever, W. Horsthemke, "Noise-Induced Transitions / Theory and Applications in Physics, Chemistry, and Biology", 1984, Springer.

を利用することができるのか?! つまり、無限小の時間の間に、原因のない質的飛躍が生じるのか? しかし、我々は実験において、摂動の作用がどの時点で停止するのかを、どこから事前に知ることができるのだろうか(それとも、「正しい」式の選択は「後知恵」だけで行なわれるのだろうか?)? 最初から最後までいかさまだ!

周期的摂動の影響の下で生じる連続スペクトル間の遷移が検討されているその次のセクション [Landau & Lifshitz, §42, 一部のみ小教程§35] では、「不条理劇」が延々と続いている。ランダウは「アカデミックな軽薄さ」で、「セクション 40 の結果から、……であることは明らかである」という空文句を吐いている。何も検討されておらず、何も厳密に証明されていないセクションから、どうすれば何かが明らかになり得るのか?! そして関数

$$|a_{vm}|^2 = |F_{vm}|^2 \frac{4 \sin^2 \frac{\omega_{vm} - \omega}{2} t}{\hbar^2 (\omega_{vm} - \omega)^2}$$

について、彼はこう書いている。「 t が大きいとき、ここに現れた関数は t に比例することが容易に (!) 分かる」。何というたわ言だ! $\omega \neq \omega_{vm}$ であれば、それは**任意の** t において周期的に変化する関数となる。 $\omega \rightarrow \omega_{vm}$ であれば、どんな学生でもロピタルの規則に従って極限值を求め、(再び**任意の** t において)

$$|a_{vm}|^2 = \frac{|F_{vm}|^2}{\hbar^2} t^2$$

を得るだろう ($t \rightarrow 0$ で任意の ω のときにも同じ結果が得られるはずである)。また、**無次元量**を表している遷移確率 w_{nE} の式 (42.6)

$$w_{nE} = \frac{2\pi}{\hbar} |F_{En}|^2$$

において、 F_{En} の次元が $\sqrt{\hbar}$ の次元と一致していなければならないというのも奇妙な話だ!

とぎれなく続く「科学もどきの無駄話」は「連続スペクトルにおける遷移」のセクション [Landau & Lifshitz, §43, 一部のみ小教程§35] にも現れている。スペクトルの連続性はエネルギーにもとづいて想定されているが、しかし、 ν から $\nu + d\nu$ までの間の同一の (!) エネルギーを持つ諸状態についての連続的な組が存在するということは、まったくどこからも導き出されていない。なにしろ、 ν について積分が書かれているのである (それは単なる「偶然的な」まやかし記号である。このセクションにおいて ν は周波数、すなわちエネルギーとは無関係なのだ!)。その先を見よう。一方では、恒常的な摂動の作用による場合、遷移確率は $E_\nu = E_{\nu,0}$ を持つ状態へ遷移する場合にのみ (!) ゼロでないと語られている。ところが、他方では (外部からの影響なしでエネルギーに関する縮退した諸状態を**実験的に区別**することの難しさを忘れたとしても)、式 (43.2) の後において、「 $d\nu$ からエネルギーの微分 dE_ν を分離する」という「数学的繁文縟礼」が始まっている。1つの「点 $E_{\nu,0}$ 」から連続的な「塊 dE_ν 」を、いったいどうやってまんまと引っ張り出すことができたのだろうか?!

「エネルギーに関する不確定性関係」のセクション [Landau & Lifshitz, §44, 小教程§37] は不条理の極みだ。第1に、系が「弱く相互作用している2個の部分」に分割され、その

それぞれについて「**時間に依存しない摂動**の作用による遷移確率」が検討されている。何たるたわ言だ！ 統計物理学においてさえ（また小球について論じている古典論においてさえ）、そのような状況は現実的とは思われない。——ゆらぎはいったいどこに隠れたのか?! 相互作用は恒常的であり続けることはけっしてできず、摂動のきわめて幅広いスペクトルを常に含むことになる（特に、作用量子の小ささを考慮した場合）。第2に、仮にモデル上の恒常的摂動が適切であると信じたとしても、それより前の箇所では、そのような摂動の場合、系はエネルギーの変化を伴わない（すなわち縮退状態間の）遷移を行なうと主張されていた。したがって、得られた式を厳密に用いれば、 $E' = E$ となるはずだ！ 第3に、導出に際しては、摂動の大きさを決定する係数が投げ捨てられ、式の一部のみが用いられている。例えば古典物理学の場合、エネルギーの変化は摂動の大きさに依存する可能性があることは明らかである。第4に、エネルギーの変化が**定符号の性格を持っている**（常に増大する！）のは奇妙である。つまり、我々が系内で測定を行なう頻度が増えれば増えるほど、エネルギーはより増大することになる。しかもこれは、（ゆらぎ的にではなく）決定論的・規則的に生じるのである。その結果、閉じた系の場合でさえ、我々はエネルギーの増大を得るはずである（保存則に対する違反）。系をきわめて多数の部分系に分割したとすると、我々は思想上分割された諸部分の数に応じて**任意のエネルギー増大**を得ることができる（不確定性が生じる）。

数学的観点から見てまったく同一の不確定性関係——エネルギーに関する不確定性関係と座標-運動量に関する不確定性関係——の記述から、それぞれの物理量の測定可能性と測定不可能性という相異なる結論が下されていることも興味深い（これはもう既に信仰の兆候だ!）。

「ここでは読む、ここでは読まない」、あるいは「余計な質問をするな」といったタイプのアプローチは、[Landau & Lifshitz, §44] の注における「“測定粒子”のエネルギーがどのようにして知られるようになるかは、本質的な重要性を持たない」という記述にも見られる。井戸の中の粒子のエネルギーに関する次の言明 [Landau & Lifshitz, §45] も注目に値する。「……それは、縦・横・高さの長さ寸法が a の体積の中に閉じ込められた粒子が持つであろう運動エネルギーの大きさのオーダーである（なぜなら、不確定性関係によれば、その粒子の運動量は h/a のオーダーであるはずだからである）」。外部からの干渉がない（その測定過程自体がない）場合における物理量の任意の**正確な(!) 値の存在**に対して、諸量の**同時測定過程**と関連した不確定性関係が、いったいどんな関係を持っているというのか?!

概して言えば、量子力学の数学的イデオロギーにも欠陥がある。**空間全体(!)における解が求められている**からである。しかし、無限の空間におけるそのような解を確定させるためには、（相互作用の速度の有限性により）無限の時間が必要とされるはずである（そして、定常的に存在しているゆらぎについては論じないとしても、その時間の間に世界ではきわめて多くの変化が生じる）。それゆえ、3次元の場合には、浅い井戸内に負エネルギー準位が存在しない可能性があるのに、他方、本質的に3次元的課題の個別の場合(!)である1次元と2次元の井戸の場合には、その準位が常に存在する、すなわち、測定数の増大につれて可能性の数が減少するという、パラドキシカルな奇妙な現象が生じることが（数学的に）あり得るのである。

クーロン場の場合, [Landau & Lifshitz, §45] の記述全体に反して, ポテンシャルエネルギーを摂動として検討することができないことは明らかである。摂動が加えられた波動関数は発散する (!) からである。したがって, それより前に諸式を導入する際になされたすべての仮定は誤りであることが分かる (ここでも再び, 「同じ 1 つの事柄をあるときは勘定に入れ, 別のときは勘定に入れない」になっている)。

一般に, 量子力学においては, あれこれの近似を (方法として, また結果として) 適用することの妥当性の判定は, その都度行なわなければならない。しかもその判定は, (古典物理学におけるように) あれこれの量や作用の小ささ, あるいは「すべての共鳴条件の変化」の解析にもとづいて行なうことはまったくできない。なぜなら, 量子力学とは, その本質において, 現実化されるある種の**定常的干渉像**の記述なのであって, それらの定常的干渉像自体は, 条件や作用がわずかに変化 (あるいは変動, 等々) しただけで著しく (!) 変化する可能性があるからである。

原理的に (!), 量子力学はいくつかの極限移行を満足することができない。もし電子が個別的な特性をも持っている可能性があるとする (そうでないとなれば, それはきわめて奇妙なことだ!), 粒子の同種性に関するあらゆる議論は「水泡に帰する」。

このように, 摂動論という, 実際上の重要性を持つ量子力学の領域は, 「当てにならない」 (厳密な根拠を持たず, アルゴリズムの内部整合性を欠いている) ことが分かる。

第10章 準古典論. 極限移行

これは自明なことだが、様々な知識領域や科学理論は互いに整合し合っていないなければならない。教科書で主張されているところによれば、量子力学は対応原理を満たしている、すなわち、極限において古典物理学の諸結果への移行を完全に行なうことができるとされている。それは本当に（そしてどれだけ厳密に）正しいのだろうか？

古典論に移行する際には [Feynman, 19-4],

$$l(l+1) \rightarrow L^2$$

（上式では有次元係数は書かなかった）という置換を行なう必要があること、すなわち、対応原理は完全には守られていないことに注目したい。また、 l は大きくなければならぬという弁明も厳密ではない。なぜなら、その移行は $l \rightarrow L$ の対応を与えなければならぬが、 L は巨視的に測定可能な量であるからである（ L^2 と $L^2 + L$ を実験的に区別することには何の問題もない）。

波動光学から幾何光学への極限移行と量子力学から古典力学への移行とのアナロジー [Landau & Lifshitz, §6, 小教程§6] は、完全ではあり得ない。電磁波内においては、波長のオーダーの**特徴的な空間次元** [characteristic space dimension] は電磁波に沿ってのみ存在し、光線の垂直次元はそもそも不確定であるからである（「振動する」のは電場と磁場であって、空間座標ではないのだから！）。量子力学では、そもそも**軌道概念は存在しない**と宣言されており、したがってそもそも原理的に極限移行は行ない得ないはずである。例えば点状粒子の場合でさえ、「軌道の垂直次元」は不確定（有限）であり、一般的な場合には拡散する。さもなければ、まったく不可解な事態が生じる。すなわち、もし $\hbar \rightarrow 0$ および波束の大きさのゼロへの形式的収束によって、より精度の低い量子力学的記述から（諸量の数およびそれらの正確性の点で）より精度の高い古典的記述を得ることができるのなら、何のために「やっかいで無駄なことをやらす」必要があるのか?! さらに、演算子もまた、それ自体では $\hbar \rightarrow 0$ の収束のときに古典的量には移行せず、方程式と波動関数の極限移行に関する追加的仮説を用いた場合にのみ移行することを指摘しておきたい。このように、古典物理学の既知の結果に人為的につじつま合わせされた、きわめて奇妙な（不完全な）対応原理が得られているのである。

[Landau & Lifshitz, §7] における測定過程自体（これも古典論と整合しなければならない）についての記述は、その過程を解明するのではなく、理解不能にすることを望んでいるのではないかという不快な印象を与える。系はある時点で、（諸部分の波動関数の積と等しい値を持つ1つの波動関数を持つ）完全に独立したいくつかの部分系に分割することができるというのは仮説である。これは特に、長距離相互作用を持つ荷電粒子について言うことができる。唯一の例外と称される座標値を除くすべての量の測定結果が再現性を持っていないこと（そして、量子力学内部の物理学的理由ではなく、相対性理論への愛を理由とした主張、すなわち無限大の速度には到達し得ないという主張!）は、提案されている理論が完全に非物理学的なものであることを示している（ただし、それでもやはり現実の状況はそれとは違っていて、むしろ、統計物理学から実現された様々なものの集合物の平

均値の決定を思い出させる)。そして、「測定過程の深遠な不可逆性が持つ原理的意義」なるものに対しては、もう笑うしかない。その不可逆性は、単純この上ない開放系の古典的不可逆性とどこが違っているのか？

[Landau & Lifshitz, §8, 一部のみ小教程§20, §26]におけるシュレーディンガー方程式から古典力学の場合への移行については、次の点が目に飛び込んでくる。第1に、確率密度は、各点において古典的速度 v を持ちつつ、常に古典物理学の法則に従って「移動」しており、量子力学に固有のいかなる効果にも依存していない (\hbar を含んでいる項がまったく存在しない)。第2に、有次元 (!) の物理量に関して、例えば $\hbar \rightarrow 0$ といった移行なるものが語られていることが「耳を打つ」。なにしろ、 \hbar は具体的な大きさを持っているのだ (その大きさは何の中にあるときに小さく見えるのか？ ゾウの体の中？ サルの体の中？ でもオウムの体の中なら、それよりはるかに大きく見える!) ! それゆえ、

$$\frac{\hbar^2}{2ma} \Delta_a$$

の項をそんなに簡単に切り捨ててはならない! この項は、方程式の有効な部分の**他の有次元の項**と比較する必要があるのである (何らかの**無次元パラメーター**を1つでも特別扱いすれば、それはただちにある種の詐欺行為となる)。

古典的な場合における波動関数に関する記述 [Landau & Lifshitz, §46, 一部のみ小教程§26] はまったくのコメディである。式 (46.3) ^[訳注] に示されているようなタイプの \hbar についてのべき級数展開は、無限個 (!) 導入することが可能である。なぜなら、 \hbar は有次元量であり、一方、 σ_n の中には完全な不確定性が「埋め込まれて」いるからである (該当する乗数と約分した後、各被加数の次元が σ_0 および σ の次元と一致するようにするために

は、少なくとも、すべての σ_n はその分母の中に、 \hbar^n と次元が一致している量を持っているなければならない)。したがって、この式においては、減少していくいかなる級数も問題になり得ない。実際、あらゆる有次元量は、それが何と比べられるかに応じて大きくも小さくもなれる。それゆえ、小さいパラメーターについての展開は、そのパラメーターが無次元であり、1 よりもはるかに小さいことを常に想定している。つまり、(46.3) の級数の例えば 101 番目の項がその級数の「ゼロ」の項より大きくないこと、また、そもそもその級数のある項までで中断することができることはいかなる保証もないのである。まさにこの理由により、(46.6) [小教程 (26.12)] の「準古典性」の条件、すなわち

$$\left| \frac{d\lambda}{dx} \right| \ll 1$$

は、その前の表式

$$\left| \frac{d}{dx} \left(\frac{\hbar}{\sigma'} \right) \right| \ll 1$$

が正しいにもかかわらず、厳密に根拠づけられていない! (46.7) の不等式

[訳注] 式 (46.3) は次のとおり: $\sigma = \sigma_0 + (\hbar/i)\sigma_1 + (\hbar/i)^2\sigma_2 + \dots$

$$\frac{m\hbar|F|}{p^3} \ll 1$$

も厳密な根拠づけがなされていない。このように、準古典の場合において「見出された」近似的波動関数の形式は**仮説**にすぎず、各場合ごとにその「合理性」や実験との一致についてさらなる検証を受けなければならない。それらの価値はいったどこにあるのか?! したがって、準古典的関数に関する極限式も（根拠のない）仮定にすぎない。

ボーア-ゾンマーフェルトの量子化の規則 [Landau & Lifshitz, §48, 小教程§27] には粒子の古典的運動の領域しか含まれていない (!) ことを指摘しよう。すなわち、井戸のその部分を不変のまま残したとすると、古典的運動にとって到達し得ない領域を変形させないようにするため、そのことが解にまったく反映されないのである（そうだとすると、そもそも、「普通とは異なった点」、例えばトンネル効果といったものを含んでいる量子力学が、ここで何の関係を持っているのだろうか?）。

古典物理学において近似計算が用いられるとき、それはまったく自然なことであり、そのパラダイムと矛盾しない。その解は「局所的」である（個別的であり、残りの世界全体に依存しない）からである。量子力学においては事態は異なる。波動関数は空間全体に分布しているため、具体的な点におけるその正確な値を得るためには、その前に波動関数を無限空間全体について規格化しなければならない。それゆえ、限られた領域について近似解を得ることが持つ意味は疑わしい。最良の場合でも、近似解は、その領域においてすら関数の正確な値を持たない、従属性の種類しか与えない（しかし、我々はこれについても、正確な値および実験結果との比較を行なった後で *post factum* に知ることしかできない。だとすれば、そのような疑似知識の意味はいったどこにあるのか?）。

「その運動の領域全体の中で最も重要なのは、 $|U| \approx |E|$ となる距離 r に対応する部分である」といったタイプの科学もどきの評価 [Landau & Lifshitz, §49] も疑わしい（それはいかなるパラメーターについて、何について重要なのか、そしてそれは誰がどのようにして計算したのか?!）。

「ポテンシャル障壁の透過」のセクション [Landau & Lifshitz, §50] を読むと、数学者が物理学者をどことなく嫌っている理由を理解することができる。物理学者はしばしば、事前に決めた結論の（完全に厳密性を欠いた）「証明」のためのデモ用記号としてのみ数学を利用しているからである。実際、このセクションでも厳密解や厳密な近似は用いられていない。例えば、障壁の左側からの場合、波動は**完全に**反射する、つまり障壁は完全に透過不可能とみなされている。ところが右側からの場合には、透過した波動が存在するとされている。障壁の内部についても2つの関数のうちの一方だけが用いられており、また、近似関数の精度の評価がまったく行なわれていない、等々。その結果、「この式は、指数の中にある表式が大きく、それゆえ D 自体が小さい場合に適用することができる」という宣告がなされる。これはおそらく、「では、その近似された D は、その真の値と何倍異なっているのか?」という、生じ得る疑問を封じるためになされているのだろう。さらに、「勾配が急な」障壁の場合、式中に係数 β^2 が現れるが、その係数はその内に単なる不変数ではな

く、指数関数と同様、関数従属性を含んでいることが示されていない。(このセクションに付けられている最初の2つの問題(公式への代入問題)も滑稽に見える。)

[Landau & Lifshitz, §119] を読んでみよう。「量子力学においては、(球対称場の中の粒子の場合)回転の概念はそもそもいかなる意味も持っていない。……量子力学においては、系のエネルギーの“内部”部分と“回転”部分への区分は、そもそも厳密な意味を持っていない」。これは素晴らしい! では、古典物理学は量子力学の極限の場合であるという主張と、いったいどう折り合いをつけるのか? なにしろ、古典論ではこれらすべては明確な意味(例えば、完全に一樣な球の回転)を持っているのだ。その意味は、極限移行の過程のどの時点で「生まれる」のか? 「準位の回転構造は、……固定座標系に対する……場の回転の結果として現れる」[同上]。しかし、よく考えれば分かることだが、量子力学においては座標系を固定することができない(何に対して、またどうやって座標系を固定するのか?)——不確定性関係が邪魔しているからである(しかも、一体的な物体^[訳注]の存在をめぐる問題が座標系を固定させないよう強く要求している)。

それゆえ、願望を現実に見せかけようとする様々な試みにもかかわらず、検証済みの古典的結果への極限移行をめぐる量子力学の状況は、けっしてそれほど虹色に輝いてはいない。

[訳注] 「一体的な物体」とは「複数の物からなる複合的な物体ではなく、単一の物からなる物体」のこと。

第11章 磁場中における運動

古典電気力学では、磁場が粒子に及ぼす影響はかなり十分に解明されている。次に、量子論の観点から見た磁場中におけるミクロ粒子の挙動についての検討に移ろう。

高慢な「ニューモード物理学」信奉者たちは、自分自身が絶えずそこから水を飲んでいく古典物理学の井戸につばを吐きかけることを好む。例えば [Landau & Lifshitz, §110] にはこう書かれている。「……スピンは磁場と直接的に相互作用する。古典的なハミルトン関数では、この相互作用はそもそも存在しない」。ところがその先で得られているのは、**磁気モーメント**を持つ粒子についての、至極普通の古典的表式 (110.3) なのである。ならば、何のために類つたをふくらます必要があったのだろうか。もしかしたら、[量子論と古典論の間における] この一致に注目したほうが（そして、さらにアナロジーを利用したほうが）がよかったのではないか?!

また、次のように書かれている。「スピンを持つ粒子には、固有磁気モーメントもあるとみなすことができる」。いったい何のためにすべてを逆立ちさせる必要があるのか？ 現実には、歴史的にそれとは違っていた。つまり、固有磁気モーメントが**粒子において実験的に (!) 記録され**、このことが**粒子におけるスピンの存在に関する仮説**を提唱することを可能としたのである（ここでもまた、古典的モデルとのアナロジーを無効と宣言するのではなく、逆にそれを強調するべきであった）。

その先を読もう。「 $\text{div } \mathbf{A} = 0$ ならば、 $\hat{\mathbf{p}}$ と \mathbf{A} は可換である。このことは、特に、一様な場のベクトルポテンシャルを

$$\mathbf{A} = \frac{1}{2} [\mathbf{H} \times \mathbf{r}]$$

の形で選んだ場合に有効である」。ではもし、まさにこのベクトルポテンシャルを絶対的にそれと別の形で選んだとしたら、何かまったく別の結果が得られるのか（これは「素晴らしい」。——気分まかせで何でもできるのだ）?! さらに、次の事実¹に注意を向けよう。ここまでの間に、波動関数の一意性（および波動関数の対称性の「重要性」）にもとづいて実に沢山のありとあらゆる「おとぎ話のような」性質が「導出」されてきたのに、ここで突然、ベクトルポテンシャル \mathbf{A} の勾配不変性は波動関数 ψ の協調的な変化を必要としていることが判明するのである（式 (110.8) を参照）。

磁場が存在する場合には、粒子は確定した2つの速度成分すら同時に持つことができないことが判明する。しかもそれは原理的にである！ 量子力学では、またも「素晴らしい」結果が得られている。すなわち、ある1つの影響（本質）——磁場——が付け加わると、可能性（確定性）が減少しているのだ。多分、さもなければ、せめて何か1つのことを、実験によって既に知られている答えに合わせてつじつま合わせすることが不可能になってしまうのだろう！ そして、磁場が**厳密にゼロと等しくなる**ことは数学においてのみ可能なのであって、現実の自然においてはそのようなことはあり得ない以上、ここまでの間に磁場抜きで行なわれてきたすべての記述は、その「偉大な意味」を完全に失うことになる。

量子力学の例の「偉大な正確性」についてもコメントしよう。——すべての粒子の実験的に測定された磁気モーメントは、それに対応する磁子（理想的に計算された理論値）から導出される整数によっては表されていない。

「その代わり」に、量子論では時間の反転に関する厳密な「突き合わせ作業」がなされている。でもそれは實際上、誰にとって、また何のために必要なのか（あるいは、検証不可能な原理を弄ぶ科学もどきゲームなら、常に負けなしということか？）？

量子論が現実のスペクトルと対比し得るエネルギーの離散的な組（例えば水素原子に関するもののみであったにせよ）を得たとき、それは量子論の勝利と評価された。しかし、「 z 軸に沿った運動は量子化されない」こと、そしてエネルギー準位が連続的な縮退度で縮退している（ p_x が連続した一連の値を取る）ことが判明するのだとしたら、「一様な磁場中における運動」のセクション [Landau & Lifshitz, §111] におけるエネルギーに関する表式が持つ実地的意味がどこにあるのかは、謎として残る。

[Landau & Lifshitz, §112, 小教程§55] におけるゼーマン効果の「説明」について検討しよう。最初の形（このセクションの一番最初に掲げられている無番号の式）では、ハミルトニアンはベクトルポテンシャルを介して表されている。周知のように、ベクトルポテンシャルは任意の関数の勾配以下の精度で決定されている。すなわち、それは**任意の大きさ**の値を取ることができる。では、それに続く諸式において、あれこれの項の小ささについて語り、そこから何かについて無視したり、何らかの結論を下したりすることが、いったいどうすれば可能なのか？ それが可能なのは、量 \mathbf{A} の数学的表現として**個別的な表式** (110.6) を選んだからにすぎないのではないか？ もし量 \mathbf{A} の表現として物理学的意味の点で等価な別の表式を選んだとしたら、まさか、最終結果はまったく異なったものになり得るというのか？

本題から逸脱することになるが一言。計算にとって都合の良いベクトルポテンシャル（および様々な不変性）に関する考え出し得るあらゆる記述形式が、有名なアハラノフ-ボーム効果（他ならぬベクトルポテンシャル自体の大きさに対するこの効果の依存性）を考慮に入れた我々の唯一の宇宙におけるマイクロ粒子の運動に対してどのような関係を持っているのかを、実験的に検証してみるのも面白いかもしれない。

この教科書ではそれに続いて、磁場の弱さなるものが恣意的な仕方で語られている（その場がいかなる単位で測定されるのか、つまり、その小ささが何と比べたときに現れるのかすら示されていない。例えば 1 m は 1 km と比べれば小さいが、1 mm と比べれば大きい量である）。例えば、磁場の弱さそのものでさえ、磁場の 2 乗項を無視することを許さない。**同次元**の諸量の間関係を比較するためには、**小さい無次元パラメーター**を分離しなければならないはずである！ 外部磁場は縮退を解消させる能力を持っているのに、原子核および電子自体の磁場はそのような能力を持っていないのはなぜなのか、その理由は説明されていない（磁場の本性は同一なのだ！）。

さらに、平均値の数学的な取り扱い方が不適切である。例えば、(112.4) ^[訳注]ではなく、

[訳注] この式は、英訳版 (112.4) では $\bar{S}_z = M_J (\mathbf{J} \cdot \mathbf{S}) / J^2$ 、小教程 (55.5) では $S_z = M_J \frac{\mathbf{J} \cdot \mathbf{S}}{J^2}$ と書かれている。邦訳版小教程では左辺の S_z にバーが付いていない。

$$\bar{S}_z = M_J \frac{(\bar{J}_S)}{J^2}$$

としなければならない。なぜなら、一般的な場合には

$$(\bar{J}_S) \neq (\overline{J_S}) \neq (\overline{JS}) \neq (JS)$$

であるからである。それゆえ、平均値の記号の省略は、ラッセル-ソルンダースの近似の「呪文が唱えられている」場合でさえ、厳密に証明されていない。

このセクションでは摂動論に関する項が切り捨てられた表式が利用されているが、それらの表式同士の定量的比較は行なわれていない。ところが、切り捨てられたそれらの項は、一連の場合にはドミナントな項であることが判明している。すなわち、実験値は理論上の従属性とは異なっているのである。なにしろ、このセクションでは（好都合な）個別の場合しか検討されなかったからである（確証されているように、そもそも一般的な形で計算を行なうことは不可能である）。

このように、自然における唯一の現実的事例——マイクロ粒子自体に磁場が存在することを考慮に入れた磁場中におけるマイクロ粒子の運動——は、量子論においてはかなり不明瞭な形でしか描き出されていない（その描出は物理学的裏づけが乏しく、数学的厳密性が不十分であり、解釈と結論も疑わしい）。

第12章 原子核

さて今度は、もっと深い所まで探検するために原子核自体の中へ「潜り込んで」みよう。原子核の数は限られているのだから、量子力学の予想される成果はより目覚ましいものでなければならない。もしかしたら、そこではすべてが透明（「濁った理論水」は存在しない）なのだろうか？

核力に関しては次の疑問がある。「中性子核」は存在するのだろうか？ また、重い同位体が不安定になるのはなぜなのだろうか（なにしろ、電磁力は減少するが、存在するとされているアイソスピン不変性によれば、原子核を維持する力は元のままなのである）？ それと同様に、電磁気学の最も重要な疑問——電子（理論上の電子ではなく、自然界に存在する電子！）の大きさおよびその内部の性質に関する疑問——も依然として解明されていない。

それにしても、量子力学は実に驚くべき「発明品」だ！人々は昔から今にいたるまで、様々な場面でエネルギーおよび運動量の保存則を守るために闘ってきたのに、ここには、何たることだ、自由粒子の負のエネルギー、あるいは仮想運動量（すなわち「運動」の負の運動エネルギー！）が存在するのだ！誰か、粒子の交換時に生じると言われている引力を運動量保存則と両立させようと試みた者はいるのだろうか？もしあなたが隣りにいる人間とくっ付き合おうとして、砂の入った袋を互いに投げつけ合ったとしても、それによってあなたには何も起こらないことは明らかである（連続的な斥力しか生じない）。ところが量子力学では、核力を（ π 中間子を使って）「説明」する目的で、あるいはクーロン相互作用さえをも（仮想光子を使って）「説明」する目的で、どうしたわけか、この「トリック」が利用されているのである [Feynman, 10-2]。まさか、**基本相互作用のこの種の虚偽説明は完全なたわ言だ**ということ、誰も感じていないのだろうか？例えば、あるアナロジーを取り上げてみよう。核力の場合、それは、「サッカーボール」（1番目の核子）が、「ボール」の大きさの何倍かの距離にある別の「サッカーボール」（2番目の核子）と引きつけ合い始めるということを意味するだろう。すなわち、2番目の「ボール」を「偶然見落とすまい」というためには、そのそれぞれが質量の点で核子の6分の1をなしているいくつかの π 中間子が、1番目の核子からあらゆる方向に飛んで行かなければならない（1番目の「ボール」は2番目の「ボール」がどこを飛ぶことになるのかを、いったいどこから事前に知ることができるのか？）。核子はいったいどうして、そうやって自らを他の粒子たちになすりつけても、「石鹼のように使い減りしない」のか？また、**2つの核子の引力についてのそのような虚偽説明から得られた「大喜び」**が、核子によって「絶えずあてどなく発射されている」、今度は**それよりはるかに多数の π 中間子の引力機構**について当然生じてくる疑問を覆い隠してしまうのは、なぜなのだろうか？なにしろ、2番目の核子と衝突しなかったすべての π 中間子は、1番目の核子に再び戻らなければならないのだ。さもないと、1番目の核子は確定した質量（実験で測定される質量！）を持たないことになる。またそもそも、クーロン相互作用のサッカーボールとのアナロジーの場合、巨大なスケールの引力（明らかに「サッカーボールの場」の大きさを超える引力）が得られる。ここでも再び同様に、「使い減り」についての疑問、目標に的中しなかった仮想光子

の粒子への引力機構についての疑問、仮想光子たちがそれらの「最初の所有者」のその後における運動の性格とは無関係にそこへ**正確に帰還する** (!) ことについての疑問が生じてくる。

残念ながら、様々な「記述モデル」(過程の物理的本質に触れないモデル)が持つ欠陥は、すべてに共通している。それらのモデルは「記憶術の規則」に似ている。すなわち、それらが有効に機能することが既に検証されている所でしか「機能」しないのである(それゆえ、それらの予測力は新たな状況や現象に対してはゼロに等しい)。この仮説上の仮想光子について、その具体的な周波数を示すことが可能なのだろうか(なにしろ、結合エネルギーは確定しているのだ)? また、そのような周波数にとって不透明な板を2つの荷電体の間に置いたとき、何が生じるのだろうか? はたして、クーロン引力は完全に遮蔽されるのだろうか?

陽子と中性子の質量は核力にとってはほぼ等しいが、ところが逆に、水素原子は陽子よりも軽い(!)(H^0 原子のエネルギーは陽子のそれよりも mc^2 だけ小さい[Feynman, 10-2])というファインマンの言明には驚かされる。さらに、**高エネルギーでの衝突において**観測される中性パイオン π^0 の生成過程を、次から次に「静穏な」核引力へ移し替えているのは奇妙である。それは、列車同士が衝突した後になってから、互いに対向方向に並んで止まっている2本の列車からガラスや金属構造物の破片がこれといった理由もなく突然「飛び散るであろう」、という結論を下すのに等しい。また、光電効果(アインシュタインと量子力学の「大勝利」)の場合にはそのようなことは**あり得ないと宣言されていた**にもかかわらず、電子による光子の放出について語っているのも奇妙である。今や、衝突時に生まれるすべてのものは、粒子から「飛び出してくる」ものであり、かつ静止状態では粒子内部に含まれていたものであるとみなさなければならないのだろうか?!

「水素原子の超微細構造」の章[Feynman, 第12章]に移ろう。スピンの定義と作業モデルを与えないままで、スピンの何の原因になっている可能性があるかについて主張することは、必ずしも正しくないのではないかと私には思われる。もう1つの「ナイーブな」疑問は、「電子のスピンは“上向き”か“下向き”のどちらかである」という語句[Feynman, 12-1]^[訳注]に対するものである。原子において、「上向き」はどこで、「下向き」はどこなのだろうか? ここに磁場を含めたとすれば(そうすれば特定の方向が現れることになる)、(2個ではなくて)4個の状態について語るができるはずである。ここでは「1電子ボルトの約1000万分の1」が論じられているのだから、ごくわずかな熱ゆらぎ($T > 0$)ですら系に影響を及ぼすことになる。すなわち、古典物理学においてさえ、動的平衡、また現実の実験におけるエネルギー準位の概念に対する統計的アプローチが論じられることになるはずである。ファインマンによれば、より厳密に記述するためには、スピンだけでなく、様々な「分裂」準位の場合における電子と陽子の運動量および両者の差を考慮しなければならなくなるはずであるということに注目しよう。

「原子系のハミルトニアンを書きおろすための一般的規則というものがあるわけではない。そして、その正しい表式を見つけるのは、基本状態の組を見つけるよりも、より芸術

[訳注] 当該箇所は次のとおり:「電子のスピンは“上向き”か“下向き”のどちらかであり、また“陽子のスピン”も“上向き”か“下向き”のどちらかの方向を向いている。したがって、原子のそれぞれの力学的状態に対して、可能なスピン状態が**4個**存在するということになる」。

的な側面を持っているのである」というファインマンの象徴的な告白 [Feynman, 12-2] を、量子力学がつつま合わせの性格を持っていることの告白（あるいは、もしかしたら、自分は「強情を張ったりしないで」、古典論の検証済みの結果や方法を利用するという告白）と解釈してみてもどうだろうか？ 一般に承認されている（そして正しいように思われる）ファインマンの次の言葉についても考えてみよう。「仮に、空間内にある一義的な方向を決定する——磁場のような——外部からの擾乱が存在しないとすると、ハミルトニアンは、 x 軸、 y 軸および z 軸の方向の選び方に依存し得ないわけである」[同上]。第1に、なぜ、擾乱（より正確には場）は外部からのものでなければならないのか？ あらゆる放射体（例えば非対称な放射体）は球対称的な放射の性格を持っているというのは本当なのか（放射器やアンテナの指向性図、シンクロトロン放射の複雑なスペクトルと指向性、等々について思い出そう）？ なにしる、粒子におけるスピン（より正確には磁気モーメント）の存在自体が、粒子の「不完全な」球対称性を物語っており、また、既に空間内における何らかの方向を特定しているのである。第2に、所与の原子配向のときに x 軸、 y 軸および z 軸の方向を選択するとは何を意味しているのか。実際、原子からの積算放射量（例えば遷移時における）を完全な球面の球面角全体について計算しようとする場合には、そのような特徴が座標系の選択に依存するということはあり得ない。しかし、周波数や方向に関する特徴を知ろうとする場合には、方向と周波数に対する依存性が事実上常に見出されることになる（例えば原子は遷移の際、ある方向には放射をしないことが完全にあり得るのだから、検知器がある一定の位置にある場合、我々はそれらの遷移を記録しないことになる）。そもそも、放射の詳細なメカニズムを抜きにして、マイクロ世界の力学について考察することはできないのだ！ 量子力学はそのメカニズムに取り組もうともしない（タブー！）。第3に、何らかの積算量（あるいは平均量）が軸の選択に依存していないとしても、そのことは、その量に含まれるすべての被加数が必ずそのような性質を持っているということ（原理的に、このことは測定されるそれ以外の特徴に影響する可能性がある）をいささかも証明しない。ただし、今最後に述べたこと全体は本題からの逸脱である。

ファインマン [Feynman, 12-1] が「物理的意味が一番はっきりしている基本状態系からスタートするのが最もよい」と言っているのは、正しいことのように思われるかもしれない。この主張を覚えておこう。そして突然、計算の後、状態 III と IV は、なされた選択とはまったく無関係であり ([Feynman, 12-4] を参照)、様々な方向を持ったスピンの線形結合（それぞれ和および差）を表していることが判明する。このように、スピンは想定されていたのとはまったく異なる、何か別の向き方をしているのである。そうだとすると、それは多体系の各種の共鳴状態（例えば惑星の自転と公転）、あるいは古典的歳差運動といった何が異なっているのか？ すなわち、スピンは**厳密に**場の方向に、あるいは場と反対の方向に向いていなければならないということは、まったくないのではないか?!

ゼーマン分裂 [Feynman, 12-4] の場合、ハミルトニアンは単に公準として設定されている、いや、より正確には「歯ぎしりしながら」古典物理学から丸写しされている（さらに、磁場は電子と陽子の相互作用を変化させないと想定されている）。磁場 \mathbf{B} は、(ファインマンが書いているように「いま、一定の磁場 \mathbf{B} の方向を z 方向に取ることにしよう」ではなくて) 他ならぬ z 軸の方向に向いていなければならない。なぜなら、この前後で行なわれているすべての計算（および「上向き」と「下向き」の選択）は、まさにこのことに依拠し

ているからである。大きな磁場では状態 III と IV がそれぞれ状態 $|+-\rangle$ と $|-\rangle$ に向かっていくということも、磁場中におけるこま、あるいは磁気回転子の古典的歳差運動を思わせる（強い磁場の場合、偏角は小さい）。

磁場中における準位の分裂についての記述 [Feynman, 12-4] には、さらにもう 1 つの重大な問題が関係している。水素原子内で最下位の準位は 4 つに分裂した。すなわち、関与している粒子の数よりも準位の数のほうが多いのである！ もしこの記述が正しいとすると、多電子系の場合についても原理的には何も変わらないのだから、磁場中において、その各準位は複数の準位に分裂することになる。そしてこのことは、磁場中では物質は「内破する」ということを意味する。つまり、高い準位を持つすべての電子が、新たに現れた、**相異なる** エネルギーを持つより低位の準位を占めようと（放射エネルギーを放出しながら！）突進することになるのである。しかし、誰もこれを観測していない。状況はそれとは異なっているのかもしれない。すなわち、磁場中においては、形成された準位（協同的な準位、共鳴的な準位、等々）は、具体的な分子の統計的配向に応じて、ある一定の仕方に変化するのかもしれない。すなわち、遷移が同一の分子内において相異なる準位間で生じるのではなくて、**相異なる準位が相異なる配向を持った複数の分子内で観測される**ということになる。

今日にいたるまで完成した核力理論が存在しないということにおいては、すべてを相対性理論と量子力学の「プロクルーステースの寝台」に押し込めようと試みている狂信的形式主義者たちが、その責任の大きな割合を占めている。なにしろ、量子力学が最初に創出されたとき、その目的は、原子の安定性を記述し、そのスペクトルを得るという、（つまり、ミクロスケールでの電磁相互作用に関する）かなり範囲の狭い、具体的なものであった。いったいなぜ、量子力学をそんなに「大きく膨らませる」（その適用領域を過大に拡張することにしたのだろうか？ 「核力の荷電対称性」（実際には、この対称性は常に満たされるわけではない。これが満たされるのは軽い原子核の場合に限られ、しかもきわめて**近似的**に満たされるにすぎない）の神話は、第 1 に、例えば、**厳密**に対称的または反対称的な波動関数 [Landau & Lifshitz, §115] によって、解の選択を著しく制限することを余儀なくさせている。しかし現実には、波動関数是对称的でも反対称的でもないということがあり得るはずである。そして第 2 に、その神話は、現象の本質を探究し、諸力の具体的なメカニズムとその発現（性質）を解明する代わりに、形式論 [formalism] ——アイソスピン不変性や新たな量子数的人為的導入（要するに、新しいものなしには生きていけないのだ！）——に取り組むことを余儀なくさせている。彼らはすっかりゲームにはまってしまったのだ。「近似的な不変性」など、まったくのナンセンスだ！ そのため、「その物理的意味は依然として不明瞭である」（！） [Landau & Lifshitz, §115] ところの数——さらなる暗号化を施された数——が、新たな演算子の導入ゲームや、おなじみの「仕分け棚」（諸状態）への分類整理ゲームにより、考え出されたその「何だか分からないもの」の意味を説明しなければならなくなっている。

理論家たちの言明の横柄さは、まったく理解に苦しむ！ 例えば、[Landau & Lifshitz, §116] にはこう書かれている。「核内における核子の速度は、光速度のおよそ 4 分の 1 である」。では、第 1 に、誰がそのような距離においてそのような速度を測定したのか（それとも、これも再び、理論に合わせたペン先でのつじつま合わせなのか）？ 第 2 に、核子が核

内において個別化されている（個別に存在している）ことを証明した者はいるのか？ 第3に、もしそうだとすると、核内温度は数億度に達しなければならず、したがって核内の核子そして原子核自体が、場を通じて、また衝突時に、周囲環境との熱力学的平衡の成立に関与しなければならないはずである（Lesagen^[訳注]の存在に対する反対論を思い出そう）。第4に、核の内部において（点間の距離と同様）核子間の距離という概念およびそれらのスピンを導入することが可能かどうかは、信じることしかできない。それゆえ、スピンの対するポテンシャルエネルギーの依存性についての「定義」は、せいぜいのところ、「未知のもの」をおなじみの「仕分け棚」に分類して並べる試みでしかない（理論はそのような有限個の対象についてすら貧弱な予測しか与えることができないのだから、その試みは不首尾に終わる）。なにしろ、厳密なアプローチを取った場合、アイソスピンは近似的にしか導入されなかったのである。このことは、アイソスピンの離散的射影はまったく存在することができず、存在し得るのはより滑らかな連続曲線であるということの意味している。核内における核子の個別化がなされない場合には、スピンの与えることができるのはやはり非離散的な値の組、つまり別の特徴なのである。

この場合における理論家たちの目的は不可解である。いったいなぜ、定量的な予測力を持たない諸状態に分類して、実験による答えを「覗き見する」必要があるのか？ それに、実験から答えを事前に知っていれば、係数をつじつま合わせする方法により、いくつかの所与の関数を利用して、ある程度の精度を持った任意の曲線を近似することが可能である。しかし、そのどこに物理科学があるのか？ そして、そのようなつじつま合わせの数学的手法を用いても「ろくでもない」結果しか得られないという事実は、核物理学分野における量子力学の方法に対して明確な有罪判決を下している。

[Landau & Lifshitz, §117] のシェルモデル [= 殻模型] において、自己無撞着場は球対称とみなされている。しかし、なにしろ、これは誰にも検証されていない仮説なのである（特に、例えば重水素の場合、そのようなことを想像するのは困難である）！ 現実には、原子核の場は（波動放射に関するあらゆる叫び声に反して）定常場ですらないことが判明する可能性がある。波動関数（個別粒子の波動関数の積の対称化された和として構築される関数）が「ゼロとは異なる速度値の有限な確率」をもたらすという事実 [Landau & Lifshitz, §117] が、自己無撞着場法の明らかな欠陥となっている。この窮状からの脱出は、いつものように、数学トリックを用いた瞞着によって行なわれている。すなわち、波動関数 ψ においては指数は変更されていない (!) のに、未知量においてはその変更がなされているのだ！ しかし、この手法は、それまでの間に用いられていた量子力学の数学全体と矛盾している。しかも、得られる物理量が「ミュータント」になっている。例えば、双極子モーメント演算子は

$$\mathbf{d} = e \left(1 - \frac{z}{A} \right) \sum_p \mathbf{r}_p - e \frac{z}{A} \sum_n \mathbf{r}_n$$

[訳注] ジョルジュ＝ルイ・ルサージュ (Georges-Louis Le Sage) の重力に関する仮説における微小中性粒子 "Lesagen" については、S. N. アルテハ『相対性理論の基礎に対する批判』(本訳書末尾の文献 [1]) の邦訳版 174 頁にやや詳しい説明がある。なお、"Lesagen" は "Lesageon" と綴られている例もあるが、正式の綴りは不明である。

というおかしい形をしている。つまり、中性子も電荷を「持っている」ことが分かったのだ！ このセクションで検討されている個別的な場合を眺めると、とりわけ愉快的気分になる。すなわち、**単独**の陽子の場合には、双極子モーメントは**存在しない**中性子によって決定される（ ${}^2\text{He}$ の原子核の場合にも、その種の原子核の存在時間が有限であることは重要でない！）という結果が得られているのである。ところで、アイソスピン不変性の真髓についての質問：中性子のみからなる原子核は、どこに消えてしまったのか？ そのような原子核を押し除けるものは何もないし（クーロン力は存在しない）、また安定核（あるいは少なくとも準安定核）が存在するためには、**ゼロでない任意の引力があれば十分**なはずではないか？ 例えばそのような対象の場合なら、その双極子モーメントは、存在しない陽子によって決定されるのかもしれない（双極子モーメントがゼロであれば。ただし、これは原理的なことではない）。しかし重陽子の場合には、陽子と中性子の寄与は同一なのだ！ こんな「中性粒子の電荷の発明」がなされた後なら、「任意のおとぎ話」を語って、それを現実に見せかけることができる。

「一般的な判断にもとづき」、諸量の **1 乗**のみを用いて従属性の種類を決定しようとする試み [Landau & Lifshitz, §117] は微笑を誘う。また、「展開」という言葉は、ここでは場違いである。比較することが可能なのは、無次元量（相互間および単位との間で）、あるいは同次元の量（それらの間で）だからである。さもなければ、諸量の次元が相異なるとき、諸係数の間の違いを好きなように取ることが可能になってしまう。それゆえ、それは「擬スカラー」であるという語句（例えば、核子と自己無撞着場の相互作用の決定に際しての）、あるいは特定の方向は存在しないという語句は、選択の**現実性**に制限を加えることの根拠となるものではなく、ただ単に、球対称場**モデル**の自己制限であるにすぎない。原子核を状態別に分類するという話を聞くと、まるで誰かがすべての量子数とエネルギーを実験的に**同時に測定**することが可能であるかのような印象が生まれる。実は、そこでは、それとは逆の課題を「解決」しようとしているのである。すなわち、「もしそれに近いなら、それはすなわち、まさにそれ自体である」という原理に従い、検証されていない残りのすべての性質を**そこに帰する**というやり方で）せめてエネルギーに関する手持ちの実験データを「量子力学理論の仕分け棚」に何とかして分類整理するという課題である。

核スペクトルの決定は、いつものように、実験が何かを言ったら、それに合わせて理論をつじつま合わせする（球対称解の仕分け棚、あるいは回転スペクトル、例えば回転楕円面の仕分け棚に分類整理する）という「後知恵」で行なわれている。この理論の予測力はいったいどこにあるのか？ 奇核子と回転する核の遠心力場との相互作用がエネルギーに与える寄与の計算においては、お定まりの「詐欺行為」が見られる。「実際には軸方向場には核子の角運動量ベクトルは存在しない」 [Landau & Lifshitz, §118] にもかかわらず、古典力学から剽窃された表式に、その角運動量ベクトルが形式的に代入されているのである。というわけで、どうしても「借金で借金を返済する」必要が生じているわけだが、そうは問屋が卸さない！

このように、原子核の分野において、量子力学は厳密なアルゴリズムに従った理論というよりは、むしろおとぎ話集を思い起こさせる。

第13章 衝突理論. 素粒子. 光子

量子力学は量子概念の導入による光電効果の説明から始まったのだから、この革命的理論の勝利の全体像は、光子の記述において最も鮮明に照らし出されるに違いないと思われるかもしれない。それは本当なのか、検討してみよう。

「光子の偏りの状態」のセクション [Feynman, 11-4] という例において、量子力学に加わっている「信仰の力」を明瞭に見て取ることができる（科学者と「信者」との違いは、自分のお気に入りの理論をあらゆる犠牲を払ってでも救うことをあらかじめ目的として定めたり、その理論における矛盾に突き当たったとき、その矛盾をまことしやかな空文句の陰に隠したりなどしないという点にあるはずである）。例えば、ファインマン自身が「1個の光子の3/4というようなものは存在しない。光子は、その**全体**がそこに存在するか、またはそこにまったく存在しないかのいずれかである」と書いているにもかかわらず、その先には、「量子力学が我々に語っているのは、光子は、その**全体**がそこに**時間の3/4**だけ存在するということなのである」という、信者の言葉が続いている。これは驚いた！では、偏光板を通り抜けた後、その「たった1個の光子」はそれでもやっぱり「3/4個の塊」として飛行するとでもいうのか？ それとも、まるで曳光弾のように、「見えたり、見えなくなったり」するのか？あるいはまた、時間の3/4は飛行し、次に時間の1/4は存在しなくなるとでもいうのか？量子力学を救うために、誰も観測したことのない種類の光子が発明されたのだ！

次のコメントは、上記と同じセクションの末尾に付されている注に関するものである。そこには、「光子は“ゼロ”状態を持たないスピン1の粒子である」と書かれている。素晴らしい！ここでも再び、この理論ではスピンのそのような射影が存在しなければならないということになるが、しかしそんなものは存在しない。なんとまあ、たいしたものだ！我々は、まさにそうでなくてはならないとみなすことにしよう（規則よりも例外のほうが多い理論においては、手抜かりが1個多かろうと少なかろうと、何も変わらないのだから！）——重要なのは、信仰なのだ！

そしてとうとう、このセクションの末尾では「その位相には（左回りと右回りの偏りの状態の間の位相関係には）、 x 方向の足跡を残しているのである」と述べられている。そう、そのような状況は古典物理学にはあったが、しかしなにしろ、量子力学における位相因子は独立した物理的意味を持っておらず、しかも測定不可能なのである！

量子力学は、原子スケールにおける電磁的性質の説明のために創出された理論の地位にはどうしてもそぐわない。量子力学は、その適用領域をマイクロ世界のあらゆる現象に拡大することを望んでいた。しかし、そのような要求は身の程に合っているのだろうか？

残念ながら、物理科学には、とても科学的とは呼べそうもないいくつかの分野が「巧みに入り込んで」いる（特殊および一般相対性理論、ならびにこれらにもとづいた現代宇宙論は非科学的ファンタジーに分類することができる。おそらく、現代「素」粒子「理論」も科学界の取り巻き連中による活動とみなす必要があるだろう）。「中性K中間子」のセクション [Feynman, 11-5] において、ファインマンは「新たな奇妙さの保存則」について語

っている（この時以来、「悪臭」やらその他の「幻覚」やらが含まれている非物理量^{〔訳注〕}についての、これに類する何と沢山の疑似法則が発明されたことか！）。この保存則のすべての「奇妙さ」は、奇妙さの数の各粒子への割り当てが、それらが反応を通過した後に行なわれており（すなわち、その数は単に体系化のために導入されているにすぎない）、したがってその数をそれ以外のこと（独立したやり方）によって裏づけることができないという点にある。それだけでなく、中性粒子（この場合は K^0 、 \bar{K}^0 、 Λ^0 等々）が関与する反応は見ることができず、したがってそれらの反応についての判定は、それとは別の何らかの反応（そもそも、その反応より前に多くのことが「暗室の中で」生じていた可能性がある）の後になってから、やはり間接的に（既にある距離だけ離れたところで！）行なうことしかできない。さらに、奇妙さは必ずしも保存されないこと（例えば Λ 粒子の場合、弱い相互作用において）が明らかになりつつある。すなわち、中性粒子が、自分がどのタイプの相互作用によって崩壊したのかに関する「報告書を提出しない」ということもあり得るのである（例えば K^0 中間子と \bar{K}^0 中間子の弱い崩壊の最終生成物は同一である）。要するに、この保存則は、それが有効なところにおいて、かつそれが有効である時点においては有効であるが、それが無効なところにおいては無効なのである。なんと素晴らしい情報量であることか！

この種のすべての疑似法則に、賞を授与しようではないか（そんな疑似法則はあつという間に何百万個もでっちあげることができるけれど）。ただし、自らをそのような「偉大な発明」の名誉ある発明者とみなすことを誰に許すかを決める必要がある。概して言えば、 K^0 中間子は Λ^0 粒子を生成する性質を持っていないということから始まったにもかかわらず、ゲルマンとパイスの研究が発表された後、突然、それでもやはり K^0 中間子はその性質を持っていることが明らかになった（ \bar{K}^0 中間子への中間遷移は奇妙さの保存「則」の本質を変えるものではない）。彼らが自分たちの「複雑で異様な結果」に関して、その確率振幅

$$C_1(t) = C_1(0)e^{-\beta t}e^{-i\alpha t}$$

に含まれている α と β の理論値を算出することができなかつたのは、驚くべきことではまったくない。疑似理論においてはそうなるのが常なのである。彼らは、議論の対象が科学もどきや似たもの探しゲームである間はちゃんとやっていけるのだが、話が定量的検証に及ぶや、「何のために検証などするんだ、理論を信じたまえ。数値は実験から取ればいい、つまり post factum でつじつま合わせしたまえ」と言い始める。

ファインマンの次のコメント [Feynman, 11-5] にも考え込まされる。「2個の π 中間子の状態には、それらの運動量に依存する無限個の状態が存在しているため、それらの可能性のすべてについて和を取ると、無限大の α が得られる。しかし、自然における α は無限大ではない」。ここにも量子力学の素晴らしい性質が現れている。すなわち、我々がほとんど何事にも注意を払わないときには現実には似た何かを得られるが、すべての観測可能な効果を

〔訳注〕 「悪臭」は「フレーバー」、「幻覚」は「チャーム」をもじっている。現代素粒子論の奇妙さ（ストレンジネス）に対する皮肉。

考慮しようとする（つまり、近似を改善しようとする）と、しばしば量子力学の困惑が生じることになるのだ。

N 状態系 [Feynman, 11-6] の場合にも、「すべては自分の気の向くままに」（方法の非厳密性）が生じている。方程式への絶対的信仰から出発して、各エネルギーに対応する固有振幅 $C_i(\mathbf{n})$ の組を持った固有エネルギー E_n の組を得るわけだが、しかし突然、非直交固有状態を持った倍数のエネルギー $E_i = E_j$ が発見されると、ただちに方程式の厳密性を忘れて、固有状態が直交するようにするため、**見出された係数を変更する**のである。ただし、線形組み合わせを用いたゲームが有効なのは、重ね合わせの原理が厳密に正しい、すなわち世界が厳密な線形性を持っていると仮定した場合に限られる。

さらにもう1つのコメント。かつてルサージュの仮説について論議がなされたとき、この仮説に対する反対論として、その微小粒子はきわめて大きな速度で飛行しなければならず、したがってその結果、宇宙内において成立する平衡温度はきわめて高温になるはずであるという意見があった。しかし、なにしろ、原子内の電子の飛行速度は c のわずか数百分の1にすぎず、その速度はカオス的に分布しているのである（例えば原子の互いに対する好き勝手な配向によって）。ではいったい、物質の平衡温度をどう取り扱えばよいのだろうか（それとも、外側軌道の電子でさえも平衡の成立に寄与していないという公準を定める必要があるのだろうか？）？ プラズマや金属中における自由電子の存在もまた、大きな平衡温度の成立に対する疑問を生じさせる（それとも、自由電子もまた、原子の外殻電子と相互作用してはならないのだろうか？）。

量子力学は、古典物理学の模倣なしにはどうしてもやっていけない！ [Landau & Lifshitz, §123, 小教程§62] を読んでみよう。「弾性衝突の問題は、あらゆる2体問題と同じく、動かない中心力の場 $U(r)$ 中にある換算質量を持つ1粒子の散乱の問題に帰着される」。これを分かりやすい言葉に翻訳すると、「現実の物体が質点によって取って代わられ、それらのすべての座標（およびそれらの間の距離）が**絶対的に正確に決定された**」となる（ $U(r)$ 中における偏角を見よ）。したがって、量子力学によれば、すべての粒子の（衝突の前と後における）速度の決定、つまり、飛散方向を含め、それらの方向の決定には、**完全な不確定性**が存在しなければならない（「噛み砕いた説明が好きの人」のために、もう一言付け加えよう。 r を正確に記録すると v_r 値が不確定になるが、しかしそれと同時に E 値を記録すると、散乱角も不確定になる）。

別の空想的理論——特殊相対性理論——からの「要求」との関連で、さらにもう1つの問題が生じる。「我々はあらゆる過程を有限な時間 Δt の間に観測する。すなわち、エネルギー ΔE の決定には不確定性が存在する。それゆえ、質量 $\Delta m = \Delta E/c^2$ の決定には不確定性が存在しなければならない」という問題である（なにしろ、 c は定数なのだから——これはタブー！）。量子力学においては、相異なる実験において決定される同一粒子の質量が一樣であり続けることを証明するのは不可能なのだ！ ここから再び、散乱角 θ における不確定性が生じる。でももちろん、これらの疑似理論におけるいつものやり方に従い、「ここでは気づかない、そこには塗り足す、あっちは隠す、こっちはつじつま合わせ」といった具合に振る舞いさえすれば、ずっと「地雷に触れず」に、万事順調であるかのようにしていただける。

「入射粒子束は（回折効果を避けるために）幅広い、しかし有限なダイヤフラムによってその範囲を区切られている」という語句 [Landau & Lifshitz, §122, 小教程§62] もまた、古典物理学に合わせたつじつま合わせである。量子力学における解は境界に著しく依存しており、量子力学に固有のいくつかの原理に従って**不可分の一体**として決定されなければならない（例えば、障壁系を通る共鳴トンネル効果について思い出そう。この場合、1個の障壁の透過確率はいくらでも小さな値にすることが可能であるのに、粒子束は障壁系全体を通して完全に透過することになる）。その先では、ある1個(!)の未知量（散乱断面積）と、位相(δ_l)のそれ以外の無限個(!)の未知量とを結びつける式が得られた後、コメディが始まっている。位相 δ_l の**大きさのオーダー**(!)が計算されているのである。そしてそれは、正弦記号(sin)の掛かっている量、したがってその δ_l 自体がわずかに $\pi/2$ だけ変化しただけで、その値が1から0まで変化する量についての計算なのだ！しかも、量子力学のこの「偉大なる」成果においては、位相が有限であるときには、積分はいずれにせよ発散する可能性があるのである！しかし、疑似理論はけっしてしょげたり、自分の誤りを認めたりはしない（「嘘をつくならより大きな嘘をつけ、そうすれば何かが残るだろう——ゲッベルス）。この場合にも、実際には存在しない意味が考え出されている。

中心力場の減衰が

$$U \approx r^{-n}, \quad n \leq 3$$

よりもゆっくりである場合、すなわち、現実におけるすべての場合に、角度ゼロへの散乱振幅が無限大となることは興味深い。そうだとすると、これらすべての繁文縟礼は、いったい何のためか?! 量子力学においては、そのいくつかの定理、例えば相反定理も記号ゲームになっている。すなわち、状態を正確に知ることができなくても、その代わりに、粒子の運動を**正確に**(!)逆方向に変えることを可能とする、ある種の「数学記号」が存在するのである（ではその場合、正確な座標と速度の不存在、確率的記述、不確定性関係はどう取り扱うのか?!）。

擬古典的な場合の散乱角に関する古典的表式への移行の「証明」[Landau & Lifshitz, §126]は、一種の小話にすぎない！この「証明」では、**散乱振幅**、すなわち量子力学においては独立した物理的意味を持たない量を取り上げられ、角度ゼロに対応する部分が投げ捨てられる。次に、位相 δ_l は大きい値としなければならないという口実の下に、すべての表式について位相 δ_l の漸近形（**近似形**）が取られ、さらに再び、小さい l を含んでいる被加数が**投げ捨てられる**（当然、「大きい」あるいは「小さい」の意味は示されていない）。当たり前のことだが、物理的意味のない量をそのように操作したとしても、「その量の残り部分」が物理的意味を持つようになるということはある得ない。さて次に、こうして得られた「断片」から、1つの条件、すなわち、さらに小さい「**個別的断片**」が指数関数のうちの1つの極値をもたらす条件が得られる。この条件に（擬古典的な考え方から**既に**得られている）位相 δ_l を代入することにより、散乱角と衝突パラメーターを結びつける古典的方程式が得られる。そしてその方程式においては、**すべての量**が古典的な（測定可能な）物理的意味を持っている（最後に行なわれている代入操作における数学的な点に対するクレームはない）。この「証明」には物理学の「匂いすらない」。しかし、疑似科学者たちにとって、それは重要なことではない。彼らにとって重要なのは、記号が符合することなのだ！

我々が原子内における電子の運動について考察するとき、角運動量を導入することは完全に正しい。しかし、場 $U(r)$ の力の中心における外部粒子束の散乱について考察するとき、距離 r 、散乱角 θ およびエネルギー E (または k) の記録だけでなく、パラメーター l を導入した場合には、当然、そのような人工的な概念が持つ物理的意味について疑問が生じてくる。解の適用可能性の条件でさえ、相異なる「部分」振幅ごとに相異なったものになっていること [Landau & Lifshitz, §130] は興味深い。すなわち、 l がより大きくなるほど、 $U(r)$ の同じポテンシャルはより急速に減少しなければならなくなるのだ ($\propto 1/r^{2l+3}$)！ なにしる、このことは、ある大きな l の場合には結果 (そして f_l を無視すること) が誤りになることを意味しているのである！ それに加えて、「異常な」寄与が存在している可能性がある [同上]。さらにもう1つの「興味深い」結果 (手抜き) が生じている。不透過性の球面上における散乱は、[Landau & Lifshitz, §130] の散乱断面積の場合には $\sigma = 4\pi a^2$ を与えている。すなわち、古典的表式の4倍となっている。ところで、この結果は量子定数 \hbar をまったく含んでいない。すなわち、古典的結果 (例えば巨視的球の場合にはっきり見て取ることのできる結果) への極限移行は、まったく存在していないのである！

ゼロエネルギーの場合、散乱断面積に関する近似表式の大部分が無限大に向かっているのは奇妙である (一定方向の運動が存在せず、散乱も存在してはならないように思われる)。

その次のセクション [Landau & Lifshitz, §131, 小教程§66] には「小さいエネルギーにおける共鳴散乱」という題名がつけられている。しかし実際には、ここで論じられている散乱される粒子のエネルギーは $E > 0$ 、準位は $\varepsilon < 0$ 、すなわち $E \neq \varepsilon$ である。きちんと定義されている概念を歪曲してはならない！ 近似表式を得るためにこのセクションで用いられている方法は、微笑以外の何ものをも生じさせない。特に、まず最初に特徴的なエネルギーとして $|\varepsilon|$ が完全に恣意的に選ばれ、次に仮想準位が選ばれている (例えばなぜ、 $\kappa = 0$ を選択しないのか？ そうすれば効果がより大きく得られるのではないか？)。ここで得られた解は、厳密解を求めることが可能な場合について検証されたことがあるのだろうか？ それとも、これはすべて「大きさ順ゲーム」なのか？

量子力学には「形式的な」(ad hoc な、つじつま合わせ的な) 方法が数多く存在する。例えば [Landau & Lifshitz, §132, 小教程§38] では、準定常状態の場合について、規格化不可能な波動関数が発散する球面波の形で考察されているが、そこでは「結局、これは系が崩壊するときに系から飛び出す粒子に対応する」と主張されている。真っ赤な嘘だ！ このような課題の設定が当てはまる対象は、散乱される粒子の安定した (定常的な！) 流れなのであって、単一粒子の飛び出しではない。そして、得られる解を真理に似せるために、(第2の形式的ステップを実行して) 物質のエネルギーの代わりに存在しない複素数のエネルギー値を代入し、これら全体についてまことしやかな意味をでっち上げている。要するに、例によって例のごとき「似たもの探しゲーム」なのだ！ すり替えはすぐに明らかになる。なぜなら、定義により $|\psi|^2 \leq 1$ であって、その場合、無限大ではない確率が時間とともに増大する (したがって規格化されない!) からである。

クーロン場における場合には、衝突に関する課題は正確に解決することができる [Landau & Lifshitz, §133, 一部のみ小教程§68]。ではこの場合、いったい何が我々に見えてくるだろうか？ 求められているのは球対称解ではなく (!), 放物線座標における解である。これ

を正当化するため、「特定の方向（この場合は特定の粒子の方向）が存在する場合には……」という科学もどきの語句が書かれている。……では、それ以外の場合にはそうではないということか？ また、エネルギーは（例えば複素数値ではなく）正の値であることが判明している。困ったことに、 $z \rightarrow -\infty$ のとき、平面波だけは得られない。平面波は常に歪んだものとなり、しかも発散する波も球面波ではなく、歪んだものとなるからである。しかし、ここまでの間に述べられてきた弾性散乱に関する「一般的な」量子力学理論全体との間のこのような「とてつもなく大きな」違いにもかかわらず、散乱断面積については古典的なラザフォードの公式が得られている。

一連の課題において発散球面波ではなく収束球面波が利用されているという事実 [Landau & Lifshitz, §134] から、散乱過程に対する量子力学的アプローチの非一意性を見取ることができる。実際、数学的観点から見ると、発散球面波と収束球面波の関数は両方ともシュレーディンガー方程式の解なのだから、両方の関数は常に同等に利用することができる。すなわち、**実験の实在的現実性**を量子力学の道具立てのいくつかの枠組みの中に「追い込み」、それらの枠組みの「**選択についての解釈による説明の仕方を後知恵で**」変えているにすぎない。

[Landau & Lifshitz, §135, 小教程§69] は同種粒子の衝突について記述し、散乱断面積を決定するに当たって、「……有効断面積を決定するためには、あらゆる可能なスピン状態に関して、それらがすべて等しい確率を持つとみなして平均を行なわなければならない」と書いている。他ならぬ量子力学によれば、場中における粒子のスピンは任意でない方向を持ち、（未証明の「等確率性」に従って）その場への射影の離散的な組を持っている。しかしはたして、固有の磁気モーメントを持っている現実の荷電量子が衝突する際、その状況は場が存在しない場合と一致するのだろうか？ また、例えば原子内において、スピンのすべての射影は等確率なのだろうか？ そうだとすると、電子が殻を占有する際の確定した順序は存在しないはずである。スピン状態は等確率で分布するという**仮説**を、誰が、いかなる粒子について実験的に証明したのか？ 古典極限の場合 ($l^2 \gg \hbar$) だけでなく、それと反対の場合 ($l^2 \ll \hbar$) にも散乱断面積がまったく \hbar に依存していないことは注目し得る。ここで、古典極限においてはこの「独立性」は**統計的なものでしかない** [Landau & Lifshitz, §135], すなわち、「移行はきわめて独特の仕方で行なわれる。…… θ 値の小さな区間について平均を行なった場合、……振動項は消え、我々は古典論の式を得ることになる」というのは奇妙ですらある。その散乱断面積を（平均値だけでなく、平均値からの偏差をも、——つまり、所要の稠密度を持った点の集まりが得られた量子力学的曲線の上に乗っているかどうかを）実験において統計的に解析した者はあるのだろうか（それとも、既知の平均的結果に合わせた記号のつじつま合わせと信仰さえあれば、それで十分なのだろうか？）？

近似計算が量のオーダーあるいは曲線の種類の点で一致しているということは、量子力学を支持する証拠とみなすことはできない。量のオーダーあるいは曲線の種類は、しばしば初歩的な判断（常識）から得ることができるからである。理論の裏づけと認めることができるのは、その計算が実験誤差の範囲内において実験曲線と一致しており、かつ（平均値だけでなく）データの統計的ばらつきも理論の枠組みに収まっている場合に限られる（ところで、そのような解析は多数なされているのだろうか？）。近似計算の際、選択が完全に恣意的に行なわれていることがしばしばある。例えば、[Landau & Lifshitz, §136] では荷電

粒子の共鳴散乱に関して、対数微分 χ'/χ の対数発散を理由として、点 ρ は恣意的に選ばれている。非弾性過程があるときの弾性散乱 [Landau & Lifshitz, §137, 小教程§72] の導入も厳密な理論からではなく、常識と推測を用いて結果を量子力学的記述の枠組みの中に「追いつめる」(明白な結果と整合させる) やり方で形式的に行なわれている。

「速度が減少するにつれて、弾性散乱と比べて非弾性過程の役割がますます増大する」という主張 [Landau & Lifshitz, §140] は奇妙に見える。しかも、それと同じ主張がすべての部分反応断面積についてなされているのだ(温度が減少すればするほど、核反応や熱核反応の起こり方がより大きくなるとでもいうのか?)! しかし、自然界においては、弾性散乱が閾値を持たないのに対して、事実上すべての非弾性反応チャンネルはエネルギー閾値を持っている。すなわち、速度が減少するにつれて非弾性散乱の役割が増大するのはある閾値までのみで、それ以降は速度の減少に伴ってその役割が減少し始めなければならないという可能性がある。また、量子力学的結論の「正当性」の条件が、**小さな役割しか果たしていない**と宣告されている (l についての) 展開式の項の場合に (ポテンシャルの減少に関して) **より厳しくなっている**のも奇妙である。このような不整合性は、導き出されている一般的な結論全体の正しさを疑わせることになる。

次の言明 [Landau & Lifshitz, §142] は微笑を誘う。「複合殻の密に詰まった準位の数が増えすぎて大きいために、各種の散乱過程の場合における断面積の細かなエネルギー的挙動はきわめて複雑なものとなっている。この複雑さが、特に、断面積の性質のある核から別の核への何らかの体系的変化の発見を困難にしている。このこととの関連から、断面積の挙動についての考察は共鳴構造の細部から切り離して行なう、すなわち、準位間の距離と比べて大きなエネルギー区間について平均した挙動を考察することが合理的である」。これは素晴らしい。では、これを分かりやすい言葉に翻訳してみよう。「我々は患者たちの病気の原因とその検査方法を知らないし、知りたいとも思わない——それはきわめて複雑だから。もっと簡単なやり方にしよう。病院全体の患者たちの平均体温を見出し (全員に体温降下剤または体温上昇剤を投与して)、我々の理論、そして我々が有している高い学術称号の正当性を見事に裏づけようではないか」。

[Landau & Lifshitz, §144] にはこう書かれている。「閾値近傍においては、生成された粒子の相対速度 v' は小さい。そのような反応は、衝突する粒子の速度が小さい反応とは逆の反応である」。運転者が自動車から小さい速度で降りつつあるという事実から、自動車がそれと同じ小さい速度で衝突しようとしている歩行者はその車の運転席に座っているという結論は、決して導き出されない。飲み物の入ったコップが落ちて砕けることは時折あるが、しかしガラスの破片とこぼれた飲み物が結合して完全なコップになり、テーブルの上に跳ね戻るところを見たことのある者がそれと等しい確率で存在するとはいうことは、おそらくあり得ないだろう。逆反応が存在し、正反応と逆反応の確率は等しいという仮説は、**真に素**である粒子の場合には信じてよい。しかし素粒子 (例えば中性子) に内部構造が存在する場合には、その仮説が持つ有効性は、そのようなスケールにおいては不可逆性は存在しないという仮説の有効性と等しい。前者の仮説には確実な証拠が存在するのだろうか?

[Landau & Lifshitz, §145] の「我々は常に、両方の電子のうち、衝突後により大きな速度を持っているほうの電子を散乱された側の電子とみなすことができる」という語句は、

量子力学の同種粒子の原理と明らかに矛盾している。量子力学自体によれば、次のように述べられなければならない。「同種粒子の原理により、我々はいずれの電子が散乱されたものであり、いずれの電子が電離の結果、原子から飛び出したものであるかを区別することができない。それゆえ、**両方の平等なバリエーションが同時に考慮されなければならない**」。(その考慮はなされていない。)

[Landau & Lifshitz, §145, 一部のみ小教程§74] の「波動関数 ψ_n と ψ_0 の直交性により、 U の中の核との相互作用 Ze^2/r を含んでいる項は、 dt について積分すると消える」という主張は、数学的観点から見ると厳密性を完全に欠いている。現実には静止している慣性中心から静止しているとされている核への移行は、慣性基準系から非慣性基準系への移行であり、それゆえ不当である(量子力学の諸公式は非慣性基準系への適用を想定していない)。例えば水素原子中において、陽子と電子は共通の慣性中心の周りを**同一の周波数**でしか回転することができない(そうでないとすると、定義により、慣性中心は慣性中心でなくなってしまう)。電子の運動の固有調和振動となる任意の調和振動は、相互作用の原理によってそのまま陽子に反映され、陽子にとってもその固有調和振動となる(両者の違いは運動の「振幅」のみ)。この状況は、原理的にはより重い核の場合も変わらない。諸電子の調和振動は、それに対応する核の調和振動と結びついている(ただし、核の質量が増加するにつれて、核の調和振動の振幅は減少していく)。このように、核からの寄与の厳密な「消滅」は生じない。このセクションのその先では積分がポテンシャルのフーリエ成分に形式的に置き換えられているが、この置き換えはすべての電荷が厳密に点状であり、ポテンシャルが特異点も含めたその種類を維持することを前提としている。実際にはそれはそうではなく、すべての粒子は有限な大きさを(そして構造さえをも)持っている。さらに、近似表式を代入し、次に積分を行なうことは、「2次振動効果」が失われる可能性があるため、不正確な結果を与える可能性がある。依存関係が書かれているが、しかしそこに未知の定数が含まれていることもあまりいい印象を与えない(量のオーダーに関してさえちゃんとしているかどうかは不明である)^[訳注]。そして最後に、この教科書 [Landau & Lifshitz] に実験データとの比較はない。現実の大きさ、依存関係、平均偏差や統計的ばらつきは、いかなるものなのだろうか？

このように、マイクロ世界のあらゆる現象を網羅しているという量子力学のあまりにも幅広い自負は、それが持っている実際の可能性とは明らかに一致していない。

[訳注] このセンテンスは§145の式(145.18)(特に無次元定数 β_n の導入の仕方)の曖昧さについて言っているものと推測される。

第14章 量子力学の適用

さて今度は、「どこにでもしゃしゃり出ようとする」量子力学の理論的成果を我々を取り囲む現実に応用する試みについて、より注意深く分析してみよう。

自然界には我々にとっての謎と不思議の沢山の事例がひそんでいる。荷電粒子はなぜ、いかなるメカニズムによって相互作用を及ぼし合うのだろうか（特に不可解なのは引力が可能であることである）？ ちっぽけな電子は、どうすれば分子や物質をまるごと1つに結び合わせることができるのだろうか？ 現在の見方によれば、固体の中では何らかの「物質」よりも空虚のほうが大きいとされているが、そうだとすると、物質が固体であり得るのはなぜなのだろうか？

ファインマン [Feynman, 13-1] の「ちょっと考えると、諸君はエネルギーの低い電子が、固体の結晶を通り抜けるのは非常に困難だと思うだろう。……したがって電子は、1つの電子か、他の電子にほとんどすぐにぶつかってしまうと思うだろう」という意見について。ミクロ粒子とそれを取り囲む「空虚」の大きさの比を考えると、「ぶつかってしまう」ということは自明なことではない。実際に奇妙なのは、電子はある場合には（導体の場合には）物質を通り抜けることができるのに、別の場合には通り抜けることができない（それと同様に、各種波長の光その他の波動の場合にもその違いが見られる）のはなぜなのか、ということである。ファインマンは電気伝導性について、それを規則的な結晶内における当然の状態とした上で（電気伝導性の存在をあらかじめ前提とした上で！）記述を始めている [訳注*]。しかしなにしろ、電気伝導性は非晶質体や合金、あるいは液体（例えば水銀や電解質）も持つことができるのである。

次の点について指摘しておきたい。結晶格子内における電子の伝播過程について考察する場合 [Feynman, 13-2]、その電子にとって格子内におけるすべての近傍状態は同じである以上、その電子は外部電子（飛来した電子、あるいはファインマンの言葉では**余分の電子** [extra electron]）でしかあり得ないのだから、格子は電荷を帯びるようになる。では、その**付加的な電子**は、それが存在している原子の準位自体をどう変化させるのだろうか（このことを無視してもいいのだろうか？）？

ファインマンの意見 [Feynman, 13-2] [訳注**] とは逆に、 $|k| > \pi/b$ (b は原子間の間隔) のときにおける解は追加的な意味を持っているか否かという問題は未解決のまま残されている。第1に、振幅が

$$C_n = \exp[ikx_n - (i/\hbar)Et]$$

[訳注*] ファインマンは上記の引用部分に続けて次のように書いている。「そう思えるにもかかわらず、格子が完全なものであるときには、電子が滑らかにかつ容易に——あたかも電子がほとんど真空中にあるかのごとくに——結晶のなかを自由に旅することができるということは、自然界において極めて普遍的な現象になっている。この奇妙な事実こそ、金属が電気を非常に容易に伝える原因となっている」。

[訳注**] ファインマンはエネルギー E と波数 k との関係について、「エネルギーは、 $k=0$ における $(E_0 - 2A)$ から、 $k = \pm\pi/b$ での $(E_0 - 2A)$ までの間の値を取る。……大事なことは、エネルギーは、ある領域またはエネルギー“帯”の中ではどんな値を取ることもできるが、それ以外の値は取れないということである」と述べている。

の場合、波動の速度

$$\frac{x}{t} = \frac{E}{\hbar k}$$

を決定することが可能であり、この速度は k が増加するにつれて純粋に周期的ではない仕方で変化するようになる。第2に、そもそも、1点における振幅というものに意味はあるのだろうか？（格子点において一致する振幅だけでなく）結晶の全領域における振幅について考察する場合には、それらの振幅が、上記の k のとき、区間 $|k| \leq \pi/b$ について得られた振幅とは異なったものになることは言うまでもない。

その先 [Feynman, 13-3] を読んでみよう。「このこと [= 前段までの記述] は、注目すべき不思議な現象を——つまり、どういうわけで結晶内の電子が、……結晶を乗り越えて、それがあらゆる原子に衝突をしているにもかかわらず完全に自由に流れるかを——説明している」。この「乗り越えて流れる」には大きな疑問がある。なぜなら、結晶内電気伝導において、電子の無秩序な方向の速度は非常に大きい、しかしその一定方向の速度はまったく微々たるもの（秒速数ミリメートルのオーダー）であるからである。「不思議な現象を説明している」も疑わしい。なぜなら、得られた式

$$v = \frac{2Ab^2}{\hbar} k$$

からは、すべての結晶は電流を伝えなければならないという結論が事実上導き出されることになるが、実際にはけっしてそうではないからである。空気中における分子の速度が大気の風速とまったく無関係であると同様、電子の独立した運動の速度が、その一定方向の流れ（電流）の速度と結びついていなければならないということはない。

ファインマン [Feynman, 13-5] による告白、すなわち「その理論に現れてくる振幅 A のような色々な係数については、これ以上述べることはほとんどないということも注意しておく。それらの係数の値を計算することは、一般に非常に困難であって、したがって実際問題として、そのパラメーターに関しては、理論的にはほとんど何も知られていない。そして特定の現実的状況のもとでは、実験的に決められた値をとることができるだけである」といういつもながらの正直な告白は、これらの問題における量子力学の「実際的な有益性」（後知恵でつじつま合わせが行なわれていること）についておのずと物語っている。

「格子のなかの不完全さによる散乱」のセクション [Feynman, 13-6] で実際に考察されているのは、個別電子の運動ではなく、**定常的過程**、すなわち、相互作用していない粒子の恒常的に流れてくる粒子束、また「不純物原子」を通過した粒子およびその特定の原子から反射した粒子の粒子束である。

半導体内の電気伝導率に関する公式 [Feynman, 14-2]

$$\sigma = \frac{N_n q_n^2 \tau_n}{m_n}$$

の検証（および裏づけ）を行なうためには、**すべての量** ($\sigma, N_n, q_n, \tau_n, m_n$) についての独立した直接的測定の可能性が存在する必要があるはずである。ここでは細部には立ち入らないが、特に有効電荷 q_n および有効質量 m_n に与えられている不可解な、より正確に言え

ばつじつまわせ的な地位を考慮に入れた場合、それらのすべての量にそのような可能性は存在しない。

ホール効果についての記述 [Feynman, 14-3] に対してもコメントすべきことがある。ポテンシャルの差は、おそらく、主として余剰な自由電荷によって創出されているものと思われるが、どうしたわけか、理論は、半導体内における一定方向の漂流 [= ドリフト] の速度が、正に荷電した粒子と負に荷電した粒子について同一であることをあらかじめ仮定しているのである(これはまったく間違っている可能性があり、そうだとするとホール係数、より正確にはその符号が交代する可能性がある)。

スピン波の場合について得られたマグノンの有効質量

$$m_{\text{eff}} = \frac{\hbar^2}{2Ab^2}$$

が、格子内を伝播する電子の場合と同じであるのは奇妙である ([Feynman] の 13-3 と 15-1 を比較せよ)。奇妙な描像が得られる。1 個の電子全体が格子を通過して飛ぶことと、電子は 1 箇所にとどまっていて、そのスピンだけが反転することとが、エネルギー消費量の点で同一になるのだ!

2 個のスピン波の総エネルギーの場合には、それらのスピン波を独立したものとみなすこと [Feynman, 15-2] が可能だとしても、振幅 (および確率自体) の場合には、ハミルトニアンにおける「項の数は無限個」であるというまことしやかな言明^[訳注]にもかかわらず、やはり相異なった表式が得られる。このように、すべてではない物理量について行なわれた近似は、一様に正しい、観測可能な数値的結果を与える。マグノンをボース粒子とみなしている [Feynman, 15-3] の「論拠」は、きわめて薄弱な裏づけしか与えられていない。なにしろ現実には、そこに存在しているのはまったく同じ 1 個の電子なのである。この場合に上向きまたは下向きの方向を持つことができるのは、他ならぬその電子のスピンなのであって、その状況は、場に沿った、または場と反対の方向を向いた自由電子の場合といかなる点においても異なる。スピンが変化するときには、それらのいずれの場合にも「スピンは 1 だけ変化する」のである。それでもやはりマグノンをボソンとみなさなければならないという必要性は、おそらく、(この対象を用いた場合における量子力学の計算を実験結果と整合させるために)「後知恵」で取られたものなのであろう。

ファインマンの告白はいつも象徴的である [Feynman, 15-4]。「物理屋が実際に第一原理から計算することのできる理由は、彼が簡単な問題だけしか選ばないからであるということをおぼえてはならない。物理屋は、42 個はもちろん、6 個の電子の問題でさえ決して解こうとはしない。これまで、納得し得る精度で物理学者が計算することのできた問題は、水素原子とヘリウム原子の場合だけなのである」。量子力学の何と偉大な「ブレイクスルー」であろうか (しかもその「ブレイクスルー」はつぎはぎだらけだ。最も単純な水素原子の場合でさえ、各準位のエネルギーの計算値は実験値からずれているのだ)!

ファインマンは上記と同じセクションにおける化学的応用に関する話の中で、同一の分子について、反応の種類に応じて A の値を相異なる値とみなす (つまり、つじつま合わせ

[訳注] この「言明」とは [Feynman, 15-2] の次の記述を指している。「要するに、結晶は無限に大きいものであると仮定されていて、項の数は無限個であって、その一部を無視しても大したことはないと考えるのである。なお、邦訳版では「項の数 (number of terms)」が「方程式の数」と訳されている。

を行なう) 必要があると語っている^[訳注]。実際の研究活動においては、例えば化学結合の安定性の発見においても、核物理学における「魔法数」の発見等々においても、常に実験が理論に先立っている(理論物理学の教科書においては、その逆になっている)。分子に関して言えば、無限に長い線状結晶連鎖に対する周期的条件の重ね合わせが、有限な長さの分子(例えば[Feynman, 15-5]の閉環状分子)の場合と同じ結果を必ずもたらすかどうかはまったく明らかではない。

超伝導の研究に対しては既に1度ならずノーベル賞が与えられているが、(偶然成功を収めたいいくつかの実験上の発見を除けば)「荷馬車はまだそこに止まっている [= 事はいっこうにはかどっていない]」。出来立てはややはやの諸「理論」のどれ1つとして、次のような最も重要な疑問に答えることができないでいる。所与の物質について、超伝導状態転移温度 T_c 、臨界磁場 B_c その他の測定可能な物理量や重要な物理量を(より単純なデータあるいは既知のデータから出発して)どのようにして計算するのか? 所与のパラメーター、すなわち T_c 、 B_c その他の性質を持った物質の組成をどのようにして見出すのか? 理論の構築は、このような疑問に答える代わりに、現象の個別的性質の何らかの類似性の原理にもとづいたやり方で行なわれている(例えば、超伝導をそれと同じくらい「理解が進んでいる」超流動によって「説明」しようとする試みがなされている)。

電子と結晶格子の相互作用は、神秘的な電子対への統合の観点から見た場合より、普通の古典的共鳴の観点から見た場合のほうがむしろ分かりやすいはずである。前者の観点によると、「対をつくっている2個の電子は、本当はかなりの距離にわたって広がっていて、それらの電子対間の平均距離は、1個の対の大きさ自身よりも相対的に小さい(!)」[Feynman, 21-5]とされている。対をつくっている2個の電子は、それらの近傍のいくつかの電子の「頭越し」に、いったいどうやって結合するのか? そしてそもそも、ここでは系全体の単一の波動関数ではなく、対を考察する必要があるのはなぜなのか(新物理学の原理的要件はどこに消えてしまったのか)? ここでも再び、量子力学的モデルへの**信仰**が出发点として取られ、理論にとって必要とされるサイズに合わせて**サイズがつつま合わせされた**にすぎない(電子対のそのサイズの大きさは、いかなる直接的実験によっても、立証することも反証することも可能とは思われない)。

そしてそもそも、ここでボソンが何の関係を持っているのか? ボソンのうち最も敏捷なもの——光子——でさえ、結晶を透過するとしても、**そのすべてが透過するわけではない**のだ(例えば、同じ超伝導金属内であっても、不透明領域や減衰、散乱、等々が存在する)。結晶の場合、光子の透過は普通の古典的共鳴周波数の観点から完全に理解することができる。既存理論は、物質の密に配列した原子により、電子がまったく散乱しなくなる(事実上、温度接触による不可逆的なエネルギー交換に関与しなくなる。——かつて微小中性粒子 Lesagen の着想に対して生じた問題を思い出そう)のはなぜなのかという根本的な疑問にまったく触れていない。

その先を読もう。超伝導状態における多くの効果(理想的な反磁性、マイスナー効果、等々)の計算による説明は、「この効果の量子力学的な起源が理解されるずっと以前に」提

[訳注] ファインマンはベンゼン分子の光による励起に関する議論の中で、「実験データに合わせるには、 A の値を1.4ないし2.4電子ボルトに選ぶ必要がある。すなわち、この A の値は化学結合のエネルギーから予測される値よりも2倍ないし3倍程度大きくなっている」と述べている。

案されたものである [Feynman, 21-6]。つまりこれは、そのような量子力学的「説明」に対する特別の必要性は生じていなかったことを意味している。

ファインマン [Feynman, 21-6] は超伝導体内への磁場侵入長さの計算を行なう際、得られる2つの解 ($\exp[-\lambda x]$ と $\exp[+\lambda x]$) のうち、 \mathbf{A} に関して、内部に入るにしたがって減少していく側の解のみを恣意的に選び取り、「それは増大することはできない。なぜなら、そうなるといくらでも大きくなってしまふからである」と述べている。第1に、 \mathbf{A} の値自体は独立した物理的意味を持っておらず(そうでないとすると、多くの代入値と不変値が「駄目になってしまう」)、それゆえ、任意の値を取ることができる(「いくらでも大きくなる」ことについては、もっと物理学的な論拠をあげるべきであった)。第2に、有限なサイズの導体において2番目のタイプの解が破棄される理由についての論拠が示されなければならない(例えば障壁について思い出してみよう。障壁が無限大の場合は減衰解のみが取られるが、有限の場合には両方のタイプの解が考慮され、境界においてそれらの接続が行なわれる)。環(リング)の本体の内部では電流密度はゼロであること [Feynman, 21-7] の論拠も厳密ではない(少なくとも、検討されている効果——電流の量子化、等々——の大きさに関して)。そして閉曲線に沿った勾配がゼロではないとする根拠に対しては、数学者はもう思う存分嘲笑を投げかけることができるはずだ。要するに、もしあなたがここで導出されている方程式や「物理学的」論拠の厳密性を信じているとすると、電流の量子化という結果は得られないであろうが、位相因子を含んでいる波動関数 ψ に関する単純な表式からなら、そのようなまことしやかな言明を引き出すことができるかもしれないということだ。

一般的に言えば、環内部の磁場の維持(あるいは環の表面より外への磁場の押し出し(排除)その他の効果)に対しては、(超伝導流だけではなく、また必ずしも超伝導流ではなく)一定方向に揃った電子スピンの寄与している可能性があり、その場合、電子の諸特性値に対する整除性という意味で、諸量も量子化されていることが判明する可能性がある。そしてこのことは、古典論の観点から見たほうがより理解しやすい。さらに、超伝導の力学 [Feynman, 21-8] の方程式において、「量子力学的エネルギー」の項は、「超伝導状態になっている領域が1個だけの場合には、……実際問題としてはほとんど確実に無視することができる」とされ、ここでも再び古典的方程式(それは簡略化された方程式、つまりモデル的な方程式でさえある!)が得られていることも興味深い。ジョセフソン接合の理論における周波数に対する電流の依存性および各種の共鳴効果は、古典的起源をも持っている可能性が十分にある(少なくとも、このことにおかしな点は何もない)。

量子力学には、「何々は本質的な重要性を持たない」といったタイプの言説がいたるところに散りばめられている。例えば [Landau & Lifshitz, §102] では、「我々はスピンの影響を完全に無視することにする。概して言えば、多原子分子におけるその影響は取るに足らぬものだからである」と述べられている。あらかじめ分析を行なうことなしに、「何々が取るに足らぬ」などと、どうすれば主張することができるのか? 例えばある理論によればスピンは磁気の原因とみなされており、他ならぬ複雑な分子からなる磁性化学物質が既に存在している。また、きわめて複雑な分子を含んだいくつかの物質において高温超伝導が発見されている。そこではスピンもある役割を演じているが、それは「一番下っ端の役」とはみなされていない。

量子力学は、宣言めいた親相対論的言説なしにはどうしてもやっていけない。「粒子同士の磁気相互作用は相対論的効果である」[Landau & Lifshitz, §110]。何の根拠があってそんなことが言えるのか？ そこでは何がほぼ光速で運動しているのか（20世紀まで、どうして誰もそれに気づかなかったのか、どうしてそれなしでやってこれたのか?!）？ さらに、量子力学は、表式や用いられている量（例えば一般化運動量やベクトルポテンシャル）の物理的意味についていかなる根拠づけも行なうことなく、古典論の既知の結果と表式を「ずたずたに引き裂いて」いるにすぎない。

O.H.デレヴェンスキーの論文「量子論のトリック」[8] (<http://newfiz.info/qua-opus.htm>) [邦訳あり]では、量子力学に関する諸問題が驚くほど正確に、かつユーモアを交えて論じられている。これは、「目から鱗を取り除く」ために、そして「これは古典的な類例のない、純粹の量子力学的効果である」などという「オウムの呪文」を二度と唱えないようにするために、すべての物理学者がぜひとも読むべき論文である。この論文で論じられている最も重要な問題点や論点の概要を、短く要約して引用しよう。

1. 放射平衡のエネルギースペクトル密度に関するプランクの半経験的（つじつま合わせ的）な公式は、周波数による表記形式の場合と波長による表記形式の場合とでは、相異なる点（!）において最大値（ kT 単位）を持っている（それぞれ $4.97kT$ と $2.82kT$ ）。当然のことだが、このことは、これらの表記形式の少なくともいずれか一方について、その「正確な実験的裏づけ」なるものを否定している。

2. 波長数万キロメートルの電波は、それが光子である以上、瞬間的に放射・吸収される——第1回ソルベイ会議の決議による（シリーズ「量子力学の現代的解釈の歴然たる手抜き」より）。

3. 1個の量子が放射されるためには、振動はいかなる振幅で、何回生じなければならないか？ これはつまらない問題ではない。同じ周波数 ω を持つ相異なるレーザーからは安定した（静的な）干渉像は観測されず（これもやっかいな問題だ!）、したがって干渉は同一の量子の場合にしか生じ得ない。しかし、なにしろ、干渉は λ に数百万の差がある場合に可能なのである。すなわち、量子の長さはきわめて大きくなければならぬ。ところで、望遠鏡の解像度は口径が大きくなるほど向上するのだから、量子の幅もきわめて大きくなければならぬ。では、小さな原子による放射・吸収は、目にどのように見えるのか、あるいはどのように生じるのか（現実の物理的メカニズムはいかなるものか）？

4. 固定されたある1つの軌道 m から別の所与の軌道 n に移動するとき、他の周波数ではなく、まさに具体的な周波数 ω_{mn} を持った振動が生じる物理的メカニズムはいかなるものか？

5. 古典的運動（遠心力、等々）が存在しないのだとすると、何が原子を内破させないでいるのか？ すなわち、そのために量子力学が必要になったのだとされている原子の安定性という問題は、結局解決されてはいないのである。

6. 原子およびそのスペクトルの安定性はいかなる力によって確保されているのか？ また、物質内において原子同士が絶えず衝突した後に電子軌道を回復させているのはいかなる力なのか？

7. 電子束を2つに分裂させることはできていない（もっと重い原子と同様に!）。——電子にスピンはあるのだろうか？

8. 量子（そして電子）のエネルギーは、その波動関数に従ってどのように広がっているのか（局所化の問題もけっしてトリビアルな問題ではない）？

9. NaCl 分子はどのように形成されているのか？ 第1点：熱エネルギーは Na 原子がイオン化するには不十分である。第2点：Cl 原子内における新たな電子の結合は、 Na^0 内におけるよりも弱い。第3点：有名なアーンショーの定理によれば、電荷系は安定的であることができない……。

10. バンド理論全体、——それは一電子近似（つまりまったくの欺瞞）である。すなわち、電子は静的なイオン骨格とのみ相互作用し、残りの電子とは相互作用しない。バンド理論は具体的な金属の電気伝導率の大きさを予測しない。

11. 量子力学の教科書で喧伝されている2つのスリットにおける回折は、電子の回折の場合でさえ、純然たる欺瞞である。電子のド・ブROI波長は原子間距離のオーダーである、すなわち、そのような2つのスリットを創出したり覆ったりすることは不可能であるからである。

12. もし原子の放射・吸収が正確に共鳴エネルギー（共鳴周波数）においてのみ行なわれるのだとすると、第1に、それらの原子は平衡放射熱交換には関与しないはずであり(!)、第2に、分子は存在しないはずである。なぜなら、それらの共鳴エネルギーが正確に一致することはないからである。

13. 実験は、光電子が**量子に向かって**飛び出すことを示している！ そのような場合、光圧現象は存在するのだろうか？ レベデフの実験は、鏡面反射体の場合の力について、黒色反射体の場合の1.2~1.3倍の大きさを与えている（理論によればそうでなければならぬはずの2倍ではない）。それゆえ、それはラジオメーター力である。光子たちは1つの準位を占めようと突進するなどと言うのか？ では、実験家たちがレーザーにおいてシングルモード動作を達成するのにあれほど長くかかったのは、いったいなぜなのか？

14. 真空中における電磁場の伝播について。振動運動するためには、平衡に対して回転する力が必要であるが、真空中において、いったい何が振動することができるのか？ そしてそもそも、場は連続媒質として無限個の自由度を持っており、 kT はそのそれぞれの自由度に対応している。すなわち、場のエネルギーは、任意の $T \neq 0$ のときに無限大でなければならぬはずだ！ 無限大への発散をめぐる問題、例えば場の自己相互作用をめぐる問題も解決されていない。量子化された形での場の概念に関する諸問題もやはり消え去ってはいない！

15. メスバウアー効果は、**一体としての**結晶との相互作用（反跳）と結びつけて考えることはできない。この効果にとって、結晶中に異方性が存在するからである。鉄の場合、メスバウアー吸収は 1046°K にいたるまで観測されるが、鉄のデバイ温度はそれよりはるかに低く、 467°K なのである！

以上手短かに紹介したこの論文の原文をぜひお読みいただきたい（読んでよかったと思うこと間違いなし!）。原文では、ここに紹介した以外の数多くの事柄がより詳しく、しかも魅力的な筆致で書かれている。

このように、どんなに「もったいぶった外見」を取り繕おうと、我々を取り囲む現象への量子力学の実際的応用のレシピは、蒸留残留物に含まれる無味乾燥な残り滓しか与えてくれない。

結 論

以上述べてきたように、量子力学の現状を分析した上で、その「成果」を現実即して評価してみると、量子力学の理論的基礎、理論の数学的な具現化、実際上の方法と結果は、確実な物理学的、論理的あるいは数学的な根拠、厳密性、アルゴリズムの内部整合性という点で精彩を欠いていることが分かる。最も楽観的な見方をした場合には、量子力学に対して近似的確率理論としての地位をいくつかの領域においては与えることができるかもしれない。量子力学の大部分はどうかと言えば、それはむしろ、記憶術の規則、ad hocな（具体的・個別の場合のための）仮説、そして実験から得られた既知の結果に合わせた後知恵によるつじつま合わせからなる、途切れなく続く堆積物の山を思い起こさせる。

ファインマンは「現実の世界の基本状態とはどんなものか」のセクション [Feynman, 8-3] において「量子力学による自然の一般的記述はどのようなものであることが判明するか」という問題について予測を試み、我々は今のところそれを知らないであることを正直に認めている。筆者もまた、現在一般に認められているアプローチ、すなわち諸現象の区分（スケール別、時間別、エネルギー別等々の区分）と結びついたアプローチが確実なものかどうかはまだ分かっていないという点に同意する。問題の核心は何かと言えば、それは、量子力学的な理解によれば、もし今我々がある1つの現象について知っている（それを記述することができる）ならば、我々はそれに類する諸現象をいかに記述すべきかを推測することができるかとされているが、しかし、我々はより一般的な諸現象の記述については何も確信をもって語ることはできない、ということである。特に、粒子および運動の内部構造を考慮した場合、その結果、その場合における（別の原理にもとづいた）記述のほうが、量子力学によって許容されているよりもさらに正確な記述であることが判明する可能性がある（一種の隠れた変数）。なにしろ、今では、波動論によって局在化や集束等々に対して課せられている禁止を回避することが可能であることが発見されている（ナノ技術が発展しつつある）からである。量子力学は波動力学とのアナロジーにもとづいて構築されている以上、量子力学における数多くの禁止（例えば不確定性原理）も克服可能であることが判明する可能性がある。未来がそのことを証明してくれるであろうと筆者は考えている。筆者にとっては、少なくとも、現在の形態における量子力学は厳密な科学理論の模範とみなすことはできず、したがって将来、より完全な理論に取って代わられることは明白であると思われる。

付論：類縁関係にある理論および代替理論に関する簡単なコメント

今日、物理学諸理論のスペクトルは高度に科学的な理論から高度に不条理な理論（疑似科学理論）まで、驚くほどの広がりを持っている。しかも悲しむべきことに、高度に不条理な理論のかなりの部分がアカデミズム科学に属している。これら2種類の理論を区別するための形式上の補助的基準の一つとみなすことができるのは、実験的に検証可能な結果の量に対する繁文縟礼の量、すなわち人為的原理、補助的概念、数学的装いおよび測定不可能量の量の比率である。この指標は、実験結果そのもの、また優れた現象論や高度に科学的な理論の場合は1(実験結果そのものの場合)から10までの範囲内にあるのに対して、高度に不条理な疑似科学理論の場合は何十、何百、何千に達している（愚かさには限りがなく、いかさま行為には道徳的なブレーキがない）。

膨大な情報が流れるこの自由なインターネットの時代にあつては、マイクロ世界の分野におけるすべての代替的アイデアについて多少なりとも本格的な概観を行なうことは、とても手に負える仕事ではない。しかも、筆者は代替理論には通じていない（代替理論について本格的に調べたい方は一次資料を読まれたほうがよい）。多くの代替的提案はその発展の初期段階にあり、ごく一部の研究者によってしか検討されていないものの、十分細部まで検討されたアイデアやしっかりとした研究方向がかなり多数存在している。それゆえここでは、描像を完全なものにするためにマイクロ世界に関連するいくつかのアイデアについて簡単に言及し、ごく表面的なコメントと評価を与えるにとどめる（筆者が既に知っている理論も含め、すべての代替理論について分析できないことをあらかじめお詫びしておきたい）。

自明なコメントから始めよう。ある理論が別の疑似理論（例えば特殊および一般相対性理論、相対論的宇宙論、ビッグバン理論、等々）に依拠している場合、あるいはそれを含んでいる場合には、次なる新たな疑似理論しかその結果となり得ないことが、ただちに明らかになる。ここでその実例となるのは、相対性理論（疑似理論）と量子力学（仮設構造物）から何か一匹の怪物を合成しよう（つまり、ハリネズミとヤマカガシを交配して、物理学者たちをコントロールするための鉄条網を作出しよう）試みている弦理論（および超弦理論）である。当然のことだが、（今後100年間、嘘がばれるのを恐れることなく）沢山のお人よしたちをおとぎ話で魅了し、間抜けな連中から資金供与を受けられるようにするため、弦（ストリング）のレベルは最も奥深い所——亜原子レベル以下——に置かれている。そりゃあ、当たり前だろ！ なにしる我々は、亜原子レベルより上のすべてのレベルについて、「非常に根本的なところから」既に解明し尽したのだから（物理学の終焉が近づいているぞ！）！ つまり、疑似科学者たちにとっては、4次元空間、ブラックホールやモグラの穴、暗黒エネルギーや暗黒物質に関するおとぎ話だけでは足りないのだ！ 食欲を満たしてやるために、彼らに10次元時空でも26次元時空でもくれてやれ！ そこにはいかなる物理学もない。その代わりに、そこには何と素晴らしいポエジーが、そして数学ゲームのための何と広大な空間が広がっていることか！ これらの理論やそれに類する理論（M理論、ループ量子重力理論）については、分析することはおろか、言及する気にすらなれない。

次のコメント。ある新たな理論が本書で検討されている量子論を不変要素として含んでいて、後者を拡張しようとしている場合、その理論は、本書において見出された後者のすべての「小児病」（根拠の欠如、矛盾、問題点、不十分さ）を自動的に受け継いでいることになる。例えば量子電磁力学や量子色力学はそのような理論に分類することができる。当然、それらの理論においては、それ独自の固有の問題点（無限大の真空エネルギー、真空の重力場、再規格化、級数や積分の発散性、原理的に抽出不可能な粒子、でっちあげられたいわゆる量子数、等々の幻想的な色や悪臭）が付け加わっており、問題点の総数は増える一方である。数学化されたこれらすべての理論がもたらした成果は指で数えるほどしかないにもかかわらず、それらをめぐってマスメディアにおいて人為的に（しかも既にかなり長期間にわたって）引き起こされている騒音はあまりにも大きく、その結果、まるでそれらの理論のうちに人類のための万能薬があるかのように考えてしまいそうな状態となっている。それらの数学おもちゃに対しては、さらに注意を払うよう促す気にもなれない。その話はもううんざりだ。

我々は観念論的な理論（神の見る夢、情報理論、プログラム理論、プロジェクト理論、等々^{〔訳注〕}）や天地創造論（分極理論、レプトン理論、波動理論、単一理論、等々）についても議論しない。なぜなら、我々が関心を持っているのは、本書で検討されてきた具体的な諸分野における実験的に検証可能な結果であるからである（無限を抱擁することはできない）。

自明のことだが、代替理論の提唱者たちに対して、彼ら以前に何十万人もの先行研究者たちによって検討されてきたあらゆる現象を完全に説明し、記述するよう要求するのは不合理かつ不適切である。我々が行なうことができるのは、それらの提唱者によって具体的になし遂げられた事柄を評価し、検討されている研究対象に関する先行者たちによる同様の結果と比較することに限られる。あらゆる理論は暫定的に次の2つのグループに区分することができる。1) 観測される現象を記述しているだけで、現在実験的に研究することのできるレベルを超えてさらに深く掘り下げようとはしない理論、2) 記述される現象の法則性を発見するだけでなく、その内部を覗き込み、その原因を発見しようと試みている理論。

次のコメントは、そもそも粒子の存在を否定し、この世界におけるすべてを波動構造（波、渦、ソリトン、等々）の所産とみなしている諸理論に関するものである。そのような形成物の安定性が限られていること、またそれらの形成物が相互作用後における自己復元力を持っていない（粒子は相互作用後もその識別可能な離散的性質を保持し続ける）ことに関連したそれらの諸理論に対する当然の反論に加えて、波動形成物は相互を通り抜けて進んでいくのに対して、粒子は相互に衝突し、反跳（反射）さえするという点に注意を払う必要がある。例えば全空間についてのフーリエ展開について考えていただきたい。調波は媒質なしでは相互作用しない。しかも、我々の巨大な宇宙の中で、どの調波が何に属しているかを、どのようにして決定するのか？

量子力学のコペンハーゲン解釈は非常に多くの研究者に不満を抱かせた。そのような研究者たちは「隠れた変数」（D. ボーム）、反論の根拠、あるいは代替的説明を求め続けた。

〔訳注〕 この宇宙の森羅万象は神が見ている夢である、あるいは神の計画に従って進行しているといった類の宗教的な言説。インテリジェント・デザイン理論を想起されたい。

現代量子力学に対する代替案の1つは、ゆらぎ理論を援用して (Horsthemke, W., Lefever, R. 『ノイズによる誘導遷移』といったタイプの研究にもとづいて) ミクロ世界の諸現象を古典的に記述しようとする試みである。確かに、理論的には、ノイズの作用の下で離散的準位が生じ、それらの間で遷移が起こる可能性がある。しかし、この現象は実験的に解明可能な現象よりも深いレベルに横たわっている可能性がある。すなわち、数学の一層の複雑化に加えて、我々は原因から結果へではなく、その逆の順序に従って進んで行くこと、つまり、方程式と目に見えない過程に対する信仰に立脚し、結果にもとづいて原因を (非一意的に) 導き出すことを余儀なくされることになる。それゆえ、科学が今よりもう一段深いレベルに降りて行き、我々の結論を裏づけてくれる時を待たなければならない。もしかしたら、我々はその時を迎えることができるかもしれない。

さらにもう1つの代替量子力学と呼ぶことができるのは、パイロット波理論 (D. ボーム) である。いわゆる「弱測定」のアプローチを利用した新たな実験 (A. スタインバーグ^[訳注*]) は、その要点をつづめて言えば、量子力学に反して、粒子は確定した軌道を持っていること、つまり、例えば、具体的な1つのスリットを通過することを証明した。これこそ当然予測すべきことであった。これに対しては何とどうすべきか——「いいぞ、でかした！」と言おう (不正のない実験は常に歓迎し、支持する必要がある)。

(多くの現代理論が疑似数学的性格を持っているのは異なり) すべてのエーテル理論が事物の深奥を洞察し、諸現象の原因とメカニズムを理解しようと試みている、まさに物理学の理論であること、すなわち先にあげた2番目のグループに属していることは明らかである。(現代の諸理論がすべての現象を説明できていないだけでなく、数多くの問題点や内部矛盾を抱えていることには目をつぶり) この世界に存在するあらゆる現象を一度に説明し尽せという不可能なことを理論に対して要求する敵対者を最も多く持っているのは、エーテル理論である (そのような敵対者は、高水準の教育を受けた半物理学者兼半数学者たちの中にもいるし、科学界の取り巻きの流す宣伝を何も考えずに信じ込んでいる専門家たちの中にもいる)。エーテル理論はきわめて多様であり、すべての提唱者を列記することすら困難である。それゆえ、ここではいくつかの特徴的な例をあげるにとどめよう。それは例えば、エーテルを気体状とする理論 (V. A. Atsyukovsky^[訳注**], P. D. Prussov), 電子-陽電子または光子とする理論 (A. V. Rykov), 粒状とする理論 (A. I. Zakazhikov), エーテルは分域構造を持つとする理論 (K. A. Khaidarov), 相異なる符号のチャージを持つとする理論 (F. F. Gorbatsevich), 単一の符号のみのチャージを持つとする理論 (V. I. Mirkin), 固体状とする理論 (Ye. V. Gusev), 液体状とする理論 (V. M. Antonov) であり、その他にも数多くの理論が存在する。エーテル自体の微粒子についても、その微粒子は等方的または異方的である、数種類存在する、一連の複雑な性質を持っている、転換する、等々、様々な見方がある。いくつかの理論はかなり十分詳細に練り上げられているが、様々な方向性の中で、本格的な分析の対象とすることができるのはどのような方向性なのだろうか? 自明のことだが、あれこれの理論を立証または反証する、あるいはすべての理論を棄却させることができるのは、**実験的に裏づけられた新たな予測**の総体のみである (ただし、正統派

[訳注*] A.M. Steinberg については <http://www.physics.utoronto.ca/~aephraim/aephraim.html> を参照されたい。

[訳注**] サイト「物理の旅の道すがら」<http://naturalscience.world.coocan.jp/> に掲載されている V.A.アツェコフスキー『相対性理論の基礎に関する批判的分析』および『エーテル動力学的自然科学の始動』を参照されたい。

科学によって喧伝されている実験を決定実験とみなすことはできないのは明らかである)。現段階では、そのような諸理論の「内部」問題に関して次のようなコメントをすることができる。エーテル粒子が転換能力を持っているとすれば、我々の世界の多くの対象物が持っている実験的に立証可能な自己同一性と離散性の自己復元および保持のメカニズムは、どのようなものなのか？ 複雑な性質を持っているエーテル粒子の場合には、それらの性質（その性質の生起および作用の原因とメカニズム）の説明という問題が再び生じることになる。例えば、両方の符号のチャージを持つエーテルについて検討する場合、これまで未解決の問題、すなわち、単一の統一体としての各チャージを維持しているのはどのような力なのか、反対符号のチャージ同士が引きつけ合うメカニズムはどのようなものなのか、相異なる符号のチャージ同士はなぜ中性化しないのか、といった問題がそのまま残る（つまり、問題が再びより深いレベルに持ち越される）ことになる。また、もしエーテルが互いに反発し合う単一符号の粒子であるとした場合、我々の世界が純粋に気体状の世界ではない（エーテルが凝縮して固体状や液体状の物体にもなっている）のはなぜなのか？ 固体状エーテルの場合における主要な「内部」問題は、何がその固体状形成物を1つにまとめ続けているかという問題である。また、銀河から素粒子にいたるまでの、大きさとエネルギーがまったく異なる諸物体がその固体状形成物を通り抜けて運動するメカニズムを説明する必要がある（確かに、光子は結晶を通り抜けることができるし、電子も金属中で運動することができる。しかし、固体中においてそのようなことが生じるのは一部の対象物の場合のみであり、しかもそれは限られたエネルギー範囲内においてである）。

あらゆる理論に対して期待したいことは何か？ それは、少なくとも、1) 内部矛盾のない、諸現象に対して首尾一貫したアプローチを取ること、2) 検討される諸現象の全体について、内部整合的なアルゴリズムに従って単一の仕方で記述する（それぞれの個別の場合のための個別的仮説を設けたり、答えを覗き見たりしない）こと、3) 人為的にでっち上げられたガラクタを弄ぶ数学ゲームを得るのではなく、第一原理から出発して、実験的に検証可能なすべての量を得ること、4) 実験的に検証可能な新たな予測を行なうこと、5) 諸現象の原因とメカニズムを可能な限り説明することである。

あとがき

三角形の三つの角が正方形の二つの角と等しいという真理が、もし誰かの支配権、あるいは支配権を有する者の利益と矛盾していたならば、幾何学のこの原理は、議論によって否定されなかったとしても、……幾何学に関するすべての書物を焼き尽くす方法で抹殺されていたであろうということを、私は疑わない。
(トマス・ホップズ)

「そもそも、どうしてこんな批判書が必要なんだ？ この本では完成した理論が提案されていないのだから、なおさらだ」と思われる方がおられるかもしれない。お答えしよう。あらゆる仕事は必要な時に必要な場所で、所要の質と量に従ってなされなければならない。さもないと、それは「シジフォスの労働 [= 徒労]」に終わってしまう。新しい様々な基本的アイデアに対するサラリーマン研究者たちの態度が示しているように、アカデミズム科学界は今のところ、量子力学によって「支配」されている領域においてさえ、いかなる新理論も受け入れる用意ができていない。

言うまでもなく、量子論が抱える何らかの部分的不整合や問題点に出会った人々は、これまでも数多く存在した。しかし、彼らはおそらく、この理論に含まれているつじつま合わせ、こじつけ、矛盾、人為的仮説や内部問題の体系全体をすべて知り尽くしていたわけではないのではなかろうか。それゆえ、本書のこの第1部は、人々の「目から鱗を取り除き」、存在する様々な問題点やそれらに対する対応の仕方について、自立的に深く考えるための手助けをすることを課題としていた。そのためには、いつか昔に暗記した即席の既成知識を記憶から引っ張り出すのではなく、すべてを自覚的に、「目を見開いて見る」ことを学ぶ必要がある。かつて物理学の岐路において、なぜあれこれの物理学上の決定やアイデア、法則、方法論が選択されたのか、その理由を知らなければならない。これまでに蓄積されてきた事実や経験の観点に立って過去のアイデアに対して評価を下す力を身につけ、必要な場合はその「岐路」に立ち戻り、より正しい選択を行なわなければならない。

残念ながら、いわゆる「物理学における偉大な革命」の時代以来、明らかな劣悪化が生じている。真理への誠実な関心を持つ、自立した輝かしい個性たちからなる科学者共同体は、真の科学者が相対的にわずかな割合しか占めていない、きわめて惰性的な灰色の機構へと次第に転化していった（まさにその少数の真の科学者たちが、今後幾世紀もの間科学に残るであろう恒久的なものを今も決定づけているのではあるが）。自己浄化と自己組織化のプロセスはほとんど機能しなくなった。現在の科学界においては、科学者たちを暫定的に次の4つのグループに分類することができる。1) 真の科学者、2) 単なる給料取りのサラリーマン研究者、3) 科学界の役人、4) 疑似科学者。

疑似科学者たち（自分の利益のためなら喜んで「黒を白と言いくるめる」者たち）も数は多くはないとは言え、事実上すべての「CM タイム」は彼らが握っている（現代宇宙論および2つの相対性理論は、疑似理論に対する正統派科学の責任の範囲に含める必要がある）。

科学界の役人たちは厳格な官僚制を維持する役割しか果たしていない。彼らは「風向き次第で有利なほうへ動く」人間たちであり、いつでも支配的な意見の「先頭の旗」とともにいようとする。

科学者共同体の圧倒的部分は単なる給料取りのサラリーマン研究者たちによって構成されている。彼らの多くは、科学研究とは、その対価としてカネが支払われるところのものであるとあけすけに語り、どんな分野でもいいから市場の求めに応じてあらゆる儲け仕事に従事する用意のある人間たちである。誠実に働こうという気持ちを持っている者も確かに多いが、しかしそれは、誰かによって配置された境界表示用の赤旗の範囲内においてである。そしてサラリーマン研究者たちの著しい部分は、科学とは何かについて、あるいは科学者の活動の倫理的側面については考えようもしない（彼らの潜在意識には、「最終目的として世間に認められることを渴望して絶えず忙しく働き続け、あらゆる出土品を平気で秘宝と偽る発掘者」というステレオタイプが浸透しているのではないかという印象を受ける）。

真の科学者の姿勢は、次の言葉のうちに鮮やかに照らし出されている。「真理を発見しようとする者は、論敵の主張や推理のうちに、論敵に劣らぬほど熱心に真理を探し求める。……彼は、論敵がその考えを最も正確に表現するための言葉を見出せるようにするため、論敵に力を貸そうと努める。彼は、論敵自身が自らを理解している以上に深く、論敵を理解しようと試みる。具体的な問題に関する論争の参加者は、論敵が主張している事柄を覆したり、貶めたり、ぶち壊したりする目的で論敵の論拠の個々の弱点を利用するのではなく、論敵の主張から、真理の発見に役立つあらゆる価値あるものを抽出するべく努力を払わなければならない」（T. コタルビンスキ^{〔訳注〕}）。

真理の探究と論争の進め方に対して真の科学者としての態度を取っている者は、はたして多いと言えるのだろうか？ 科学理論というものを、「陽のあたる場所」をめぐる動物的な競争本能の精神に従って受け止めてはならない！ もう、「問題をカーペットの下に掃き入れる」という卑しい習慣を捨てようではないか。そしてそれとは逆に、物理学理論のうちに存在する不整合、他の事実や検証済みの理論との間の矛盾、アルゴリズムを欠いた手法、ad hoc な追加的仮説、物理学上、哲学上、方法論上あるいは数学上の未解決の諸問題に関する情報を正直に伝え合うようにしようではないか。これらの問題が正直に明るみに出されたとき、あらゆる研究者はそれらを解決しようと試みることができるようになる。我々の世代がそれらを解決できなかったとしても、我々に続く諸世代は、きっとそれを成し遂げることができるに違いない。重要なのは、将来の各新世代がゼロから出発して、「それらの問題をカーペットの下から、まるで地下活動のように人目を避けてこっそり引っ張り出す」ようなことをする必要がなくなるようにすること、そして、最も若く、最も生産的な年齢の人々がそれらの問題について考え、解決することに全力を集中することができるようにすることである。（例えば、「傑出した」物理学者たちによる科学の終焉に関する

〔訳注〕 タデウシュ・コタルビンスキ (Tadeusz Kotarbiński) は、戦間期ポーランドにおけるポーランド学派 (ルヴフ-ワルシャワ学派とも言う) の代表的な哲学者。ポーランド学派は、文化史上稀に見る社会的色彩の濃い文化運動を担った、論理学者・哲学者・数学者らの総称である (『岩波哲学・思想事典』の「ポーランド学派」の項目等を参照した)。

愚痴話とは違って、「〇〇に関する未解決の諸問題」という題名のついた数学書は、常に人にインスピレーションを与えてくれるものである。）

科学者の倫理的質と誠実性、また自分の研究遂行の際および他の科学者たちの研究の評価の際における公平性についての**自主的な**評価の基準を、科学の主要スポンサーとしての国家が策定するのも悪くはないかもしれない。少なくとも、そのような問題を提起すれば、それだけで多くの人々がそれについて深く考えざるを得なくなるだろう。そうなったとき、現在権力の座についている言葉の本来の意味での疑似科学者たちを一掃し、科学界の役人たちの派閥主義と権威主義を消滅させる、科学界の自己浄化プロセスが再び始まる可能性がある。科学に携わる人々が、この活動分野における「自分だけの陽のあたる場所」を追い求めるのではなく、本物の真理の探究に取り組むことを希望する。そして、真の科学者たちが科学界により多く存在するようになることを願う。科学という活動の舞台には、競争心に燃えたせっかちな連中ではなく、互いに志を同じくする仲間である、正直で誠実な人々しか存在してはならない。

文 献

- [1] S. N. Arteha『相対性理論の基礎に対する批判』, モスクワ, LKI/URSS 出版社, 2007, 全 224 頁. [邦訳はサイト「物理の旅の道すがら」<http://naturalscience.world.coocan.jp/>に掲載されている。]
- [2] R. Feynman, R. Leighton, M. Sands『ファインマン物理学』, 第3巻, モスクワ, Mir, 1977; 第9版, モスクワ, LIBROKOM/URSS 出版社, 2014.
[本書の露訳版と邦訳版は巻の構成および章番号が異なっている。アルテハによる本書(文献 [2], [4], [5])からの引用箇所は, 邦訳版ではすべてファインマン, レイトン, サンズ『ファインマン物理学 V: 量子力学』(砂川重信訳, 岩波書店, 1979) 1冊に含まれているので, 本訳書では原文に記載されている引用指示番号と頁番号を省略し, 上記邦訳版の章節番号を用いて, 例えば [Feynman, 1-1] のように表記した。本書の原著書はサイト <http://www.feynmanlectures.caltech.edu/> (Volume III) で入手可能である。邦訳版の章節番号は原著書と一致している。なお, アルテハによる引用は語句を必要最小限まで省略した形でなされているため, 文意をつかみにくいことがある。そのような場合には, 省略されている語句を復元して訳した(次項 [3] も同様。)]
- [3] L. D. Landau, E. M. Lifshitz『量子力学 (非相対論的理論)』, モスクワ, 国営物理学・数学文献出版社, 1963.
[本訳書では原文に記載されている引用指示番号と頁番号を省略し, 例えば [Landau & Lifshitz, §1] のように表記した。本書の邦訳版はランダウ, リフシッツ『量子力学——非相対論的理論 (ランダウ=リフシッツ理論物理学教程)』((1) 佐々木健, 好村滋洋訳 / (2) 好村滋洋, 井上健男訳, 東京図書, 1983) である。この邦訳版は入手困難なため, 訳者は参照することができなかった。ただし, 日本で「大教程」と略称されている本書の基礎概念を簡潔に体系化した『量子力学——ランダウ=リフシッツ物理学小教程』(好村滋洋, 井上健男訳, 東京図書, 1975; ちくま学芸文庫, 筑摩書房, 2008) にはアルテハによる引用箇所のうちのかなりの部分が含まれているので, その箇所にほぼ相当する記述が「小教程」に見つかった場合に限り, その節番号を用いて, 例えば [小教程§1] と付記し, 参照の便を図った。「小教程」には引用部分の一部しか含まれていない場合は [一部のみ小教程§1] とした。本書には複数の英訳版があり, ネットで入手可能である。それらは原著書の版が異なっているため, 一部の章立てが相異なっている。本訳書では https://archive.org/details/QuantumMechanics_104 に掲載されている英訳版の章立てに従った。]
- [4] R. Feynman, R. Leighton, M. Sands『ファインマン物理学』, 第8巻, モスクワ, Mir, 1966; 第8版, モスクワ, LIBROKOM/URSS 出版社, 2014. [上記 [2] 参照]
- [5] R. Feynman, R. Leighton, M. Sands『ファインマン物理学』, 第9巻, モスクワ, Mir, 1967; 第8版, モスクワ, LIBROKOM/URSS 出版社, 2014. [上記 [2] 参照]
- [6] S. N. Arteha「相対性理論のいくつかの側面に対する批判」, 『空間・時間・引力. 第9回国際科学会議(2006年8月7~11日)資料』(サンクトペテルブルク, Tessa, 2007), 7~17頁所収. [邦訳はサイト「物理の旅の道すがら」に掲載されている。]

追加文献

- [7] T. A. Lebedev 『現代物理学のいくつかの論争的問題』, レニングラード工業大学, 1955, 第2部.
- [8] O. H. Derevenskii 「量子論のトリック」, <http://newfiz.info/qua-opus.htm> [邦訳はサイト「物理の旅の道すがら」に掲載されている。]
- [9] R. V. Fyodorov 『物理学：危機的問題，新たな原理』, チェルノフツィ, Prut, 2005, 全400頁.
- [10] Yu. I. Petrov 『物理学の基本的理解のパラドックス』, モスクワ, URSS, 2012, 全336頁, 第2版.
- [11] J. J. Smulsky 『相互作用理論』, ノヴォシビルスク, ノヴォシビルスク大学出版部, ロシア科学アカデミーシベリア支部地質学・地球物理学・鉱物学合同研究所学術出版センター, 1999, 全294頁.
- [12] L. A. Shipitsin 『電気力学と量子力学の流体力学的解釈』, モスクワ, MPI 出版社, 1990, 全49頁. [邦訳はサイト「物理の旅の道すがら」に掲載されている。]
- [13] A. L. Shalyapin, V. I. Stukalov 『古典電気力学・原子物理学入門』, UMTS UPI 出版社, エカテリンブルク, 2006, 全490頁.
- [14] B. M. Moiseev 『光量子の物理的モデル』, モスクワ, LIBROKOM 出版社, 2011, 全80頁.