

新量子力學の發展 (1)

(Die Entwicklung der neuen Quantenmechanik)

コペンハーゲンに於て **ベ・ヨ ル ダ ン**

(Die Naturwissenschaften 誌 1927第30號所載)

W. Heisenberg の短かな一文 Über quantentheoretische Umdeutung kinematischer und mechanischer Beziehungen が Zeitschrift für Physik 誌上に發表されたのは、僅か一年有餘の以前である。此の論文は實に今日の量子力學の基礎を供したものである。即ち、量子や原子の世界に於ける物理學的法則を、在來の物理學がマクロスコピツシユな世界の法則を叙述する事が出來たと同じ位に、正確に又完全に掴まんとする問題を確立せんとする理論物理學の一分派の基礎を與へるものであつた。

Planck が熱輻射の法則から出發して、物質に於てのみならず、エネルギーに於ても又要素的な不連續性が行なはれて居ると言ふ手がかりを得た事は人の知る所であるが、更に Planck や Einstein やボールの研究は、斯くの如き不連續性は實際最も要素的な物理學的の現象に屬する事を確かならしめた。即ち、一つ一つの原子は連續的に無數に異なつた状態をこる事は出來なくて、寧ろ、不連續的に異なつた状態のみを取る事が出来る——此の事に關して、Stefan-Gerlach の實驗は最も印象深き證明の一つを與へるものである——而して、同時に原子の狀態の變化も亦、不連續的に即ち飛躍的に起ると言ふ事が確められて來たのである。在來の理論に依れば、原子の内部に於て廻つてゐる電子は絶えず電磁波を放射せねばならぬ。従つて次第に連續的に、其のエネルギーを失つて行かねばならぬと言ふ結果になるのであるが、實際は唯、原子の量子飛躍を結びついた不連續的なエネルギーの放出のみが存在する、而も此の際、光のエネルギーは方向をもつた一光量子としてまとまつてゐるのである。此の見解に従へば實驗的事實の驚くべき程多くを性的に了解する事が出來、大體の骨組に於ては量的にも又説明する事が、かの地鎖的とも言ふべき Bohr の發見に依つてなし得られるに致つた事は言ふまでもあるまい。然しながら、此の『古典的な量子論』は眞實な、正確な量子力學に到る一階段を意味するに

過ぎない事が明らかであつたのだ。實際此の古典的な量子論には、根本的に見苦しいそして不満足な方法に於て、在來の考へ方と量子論的の考へ方が相交雜してゐたのである。例へば、御存知の通り、原子の定常的な状態のエネルギーと原子のスペクトルの振動数とを計算するには、先づ、在來の力學の法則を原子内の運動に應用し、それから、在來の理論から可能な連續的な無數の状態のうちから、所謂『量子條件』に依つて、量子論的に可能な状態を選び出さんとしてゐたのであるが、更に又、原子から放射されたり、原子に吸収されたりする光の振動数は在來の理論で計算した原子内の電子の公轉振動数を問題としないのみか、之れは全く無關係に Bohr の振動数條件に依つて決定されると言ふ甚だ不自然な假定をなさねばならなかつたのである。此のやり方は、水素原子の場合には正しい振動数を與へるが、もつゝ複雑な場合には、必然的に、其れ自身矛盾撞着のある結果を導びき出すと言ふ事は容易に論證する事が出來たのである。如何かなれば、輻射に依る原子相互の間の相互作用は、正に原子の電子と電子との間に可能的な力學的相互作用の特別な場合に過ぎないからである。此の特別な場合に對して若し全く在來の考へでない相互作用の經過を假定するならば、一つの原子の電子のもつゝ微細な相互作用は、全く一般的に古典的な法則とは異なつた法則に従ふであらうと言ふ事を覺悟せねばならなかつたのである。實際、更に研究が展開進歩するにつれて、一方に於ては此の處分法に依つて得られた結果が實驗的所見を大略に於て正しく表はす事は出來ても全く正しくは決して表はす事が出來ないやうな例が澤山發見されて來たのであるが、他方又、例へばヘリウム問題に於て、此の半ば古典的な理論の應用が完全に否定されるやうな場合が發見されるに到つた。此の外、水素原子の理論すらもはや其理論から望まれた事柄をすべて與へると言ふわけには行かなくなつた。即ち、スペクトル線の振動数の他に、なほ(有利な實驗條件のもとに於ては)其強さも亦、完全な理論によりて豫言されねばならぬやうな觀測出來る量であるのであるが、然しすべてのスペクトル線の強さの問題に對しては、在來の理論は正確な數式のかわりに、單に大凡の評価を與へんと試みただけに過ぎなかつたのである。

Heisenberg は、前に挙げた彼の仕事に於て、問題をその根本的方面から擱んだ。彼は、ほんこの量子論的な力學を作らうとする問題をもち出した；其の量子論的な力學に於ては、定常的な状態や飛躍的な状態變化の觀念が、在來の力學に於て、各質點は空間に於て或る連續的な軌道曲線を描かねばならぬと言ふ考へが其他の力學的な諸法則と關係して居るのと同じ位に自然的なそして内的な方法で其他の諸法則と結ばれてゐるやうな量子論的な力學なのである。

實際、Heisenberg は此の問題の解法への正しい道を發見したのである。此の研究は引き續いて一方 Dirac に依つてなされ、又一方 Born, Heisenberg 及び Jordan に依つてなされたが、此等の研究は、Heisenberg の思想の體系的な進展に、正確なる量子論的な力學の基礎を與へた。——即ち所謂マトリックス力學なるものがそれである。此の新理論の應用は上述の人達や其他 Pauli や L. Mensing に依つてなされたのであるが、それに依れば、此の新理論が實際すべての場合に於て、實驗的に正しい結果を與へると言ふ事は、疑ふ事は出来ないやうに思はれる。

此れ等の研究がぐんぐん進んで居る間に一方に於ては E. Schrödinger の研究が出現した。彼は其の研究に於て、L. de Broglie 及び Einstein の考へ方に因んで、水素原子の問題を取扱つたのであるが、その際彼は古典的な力學の微粒子力學的な問題を波動力學的な問題に依つて置きかへたのである。其後 Schrödinger 自身ならびに、Pauli 及び Eckert は、此の Schrödinger の問題の處理法は、マトリックス論的なやり方と、數學的に著しいそして全く豫想もつかなくつたほど密接な關係に在ると言ふ事を證明する事が出來た；即ち此れ等の兩理論は其の形式に於て全く相異つてゐるに拘らず、實は全く數學的に相對應するものであつたのである。而して、若し或る量子力學的な問題を Schrödinger の方法で解く事が出來たならば、單に簡単な數學的な計算のやりなをに依つて、其の問題のマトリックス論的な解を得る事が出来るのである。故にマトリックス理論は Schrödinger の理論の要求する所であり、又逆に、Schrödinger の理論はマトリックス理論を數學的に完成し深める事であると言ふ事が

出来る。

然しながら、Schrödinger はマトリックス理論を數學的に深める事を以て自ら満足しなかつた：即ち彼は彼の數學的な公式に因んで、量子力學の新しい物理學的意味を展開しやうと試みた。而もその意味は、Heisenberg の思想に對してのみならず又、Planck や、Einstein や Bohr の觀念にも峻烈に据抗する所のものである。此れ等の研究者達は、古典的理論で了解する事の出来ない物理學的な不連続性を存在するものとして認識し、其の性質に従つて解折せんことを志したのであるが、Schrödinger は、自然現象に於て、不連続性と言ふやうな觀念を全く抹擦して仕舞ふと試みた。微粒子力學から波動力學への推移は、Schrödinger に依れば、定常状態どこ量子飛躍と言ふやうなすべての考へ方を無用の長物とし、そして量子の物理學を單に連續的に變り得る量のみを以て計算する古典的な力學の體系にあてはめれば足ると言ふ。Schrödinger の仕事が理論物理學者の圈外までも大いなる印象を與へたと言ふ事は、大部分次の事柄に基くと言ふ事は過言ではあるまい；即ち Heisenberg は古典的な考へ方をさうしても放棄せねばならぬ事を高唱したのに、Schrödinger は、量子物理學を古典的理論に於て見る事の出来るやうな形象に依つて説明する事が出来るであらうと言ふ希望を呼び醒した事。然しながら、此の疑似古典的とも言ふべき Schrödinger の考へは、同時に量子力學の進展にたづさはつた他の學者達の賛成を得なかつた。即ち彼の考へは、熱力學の一般法則や Planck の熱輻射の法則や其他吾々の全量子物理學の實驗的經驗との解く事の出来ない矛盾撞着に絡まつてゐるやうに見える。

故に以下の議論に於ては量子力學の物理學的意味に關しては、専ら Heisenberg に依つて基調づけられた觀念を説明しやう。——従つてこの考へに依れば Schrödinger ガーの理論は其の本質に於てマトリックス力學の數學的完成と見る事が出来る。——而して全量子力學は、Bohr が彼の對應原理に於て作つたプログラムを一つ一つなしめて行くと言ふ事に外ならぬのである。然しながら更に理論を展開せしむるに事によつて、量子力學の形式上の法則がもつて一般的な方法で明らかにされたのみならず、此の

諸法則の物理學的意味も亦始めに Heisenberg が考へたよりもつこ一般的に又より決定的に擱まれるやうになつた。此の方向に特に進歩したのは、一方 Born の衝突經過の量子力學に關する研究であり、他方量子飛躍の考への正確な解拆を取扱つた Heisenberg 及び Jordan の仕事である。最後に、今日文字通りの量子力學的法則に與へる事の出来る最も一般的な最も完全な物理學的意味は Dirac 及び Jordan の二つの仕事に依つて展開せられた。

量子力學の一般的法則が漸次明らかにされて行つたのと同時に、その理論は多くの學者達に依つて色々の問題に應用され、理論の正しい事が實驗的結果と相照して證明されて來た。此れ等の特種な研究のうちで最も重要なものに屬するものは Heisenberg 及び、Dirac の仕事であるが、これは一方原子構造に關する所謂 Pauli の原理なるものゝ量子力學的意義を明らかにし、以て澤山の電子をもつてゐるやうな原子の量子力學的理論を作る基礎を供給し、他方に於ては理想瓦斯體に關する Einstein の量子論を量子力學に配するものである。故に此の論文に於ては、新説の基礎及び應用の現今の狀態を通覽する事をつとめるつもりである。

然し此の論文の内容から見ても又外延から見ても、異常の忍耐堪忍を以てせなければ到底此の論文を読む事は出事ない事を讀者諸君にお詫びして置く。著者はなるだけ解り安くする爲めに多くの點に於て、理論のオリジナルな筋道を作り變へた。然しそれにもかゝわらず、なほ多くの了解に苦しむ點があるだらうと思ふが、もしそうであつたならば、それは今日の量子力學の根本思想を廣い範圍の讀者諸君に説明せんとする試みには當然ぶつつかる實際の困難であるので、此の點は篤き讀者諸君の御寛容を願ふ次第である。此の困難は其の源を、かの量子力學の發生の一年有半の間たえず續いてゐた進展の暴風的時代に、そして多くの點に於て理論が未だ完成の域に到達してゐないと言ふ點に有するのみならず、又一般に、近代實驗物理學者と理論物理學者との間には多くの點に於て可なり遠くはなれた考への相違があると言ふ物理學進歩の事情にも存するものである。理論物理學の狀態は、(多くの個々の事柄については輝かしい結果を修めたにかゝ

わらず), 理論の根本に關しては全く不確な所があつた. 此の事は長い間, 理論家をして彼等の想念を數學的に明らかに起草する事をさまたけたのみならず, 又實驗家にも, 數學的物理學的な議論を實驗的に追究する事から離れさせた. 量子論の根本的考への一部分が明らかに非常に簡單であると言ふ事(例へば定常状態や量子飛躍)は, 最近二十年間の最も重要な實驗的發見の數々をなしこけ, 且つ, 數學的概念の助けを借りる事なく(例へば電子衝突の實驗だとか, メタスタビールなヘリウムの發見だとか Stefan-Gerlach の研究其の他多くのものを想い起せ)例へばかの非常にむづかしい數學的な理論から出て來たの Heinrich Hertz の實驗とは全く反對に, 極く簡単にそれ等發見の意義を得了解する事を容易ならしめた. 兎も角吾々の量子論的の認識の最後に來るべき安定は, 實驗と理論との相互交渉によつて彌々益々確立されるであらうと思ふ. (荒木俊馬譯)

~~~~~

南の友より

## 奉呈山本博士

昭和二年 南半球の冬 南條 榮

雲切れて 黃道光を 語る夜

伯都大西洋岸北端にメレなる區あり——

レメの海 南十字の 浮ぶ宵

南極や 大西洋に 下(さが)る星

オメガ星團暑さを忘れしむる夜あり——

オメガに 花爛漫を 咲く夜かな

夏天, 時にカノブスにより アルデバラン に至る迄一

望の中にあるこそあり——

一等星 七つ列ねて 涼み臺

引越しの そばを配らん センタウロ

三十歳の 春に幸ある カノブス

(山本曰く、南條氏は南米ブラジルのリオ都の日本大使館に勤めてゐられる星の友である。上記の詩は昨年同國を訪れられ、醫學博士藤浪鑑博士に托してはるばる贈られたものである。)