

原子論と力學

(Naturwissenschaften 大正十五年一月より)

Kopenhagen大學教授 Niels Bohr

古典的理論

物體の均衡及び運動の解析は單に物理學の基礎であるばかりでなく、純正數學の方法の發展に對して非常に有效であるところの數學的思索に對して豊汎な適用範域をもつてゐます。力學と數學との間のこの結合を我々は既に昔 Archimedes, Galilei 及び Newton の研究のうちに見出します。彼等の手で力學的現象の解析へ適應した概念の形成が緒言的決定を得ました。Newton 以後の時代に於きましては、力學的問題の論究方法の發展が數學的解析の發展と交互關係のもとに進行してゐます。そのさい我々は例へば Euler, Lagrange 及び Laplace の名を想起すべきであります。Hamilton に起源する力學のその後の發展もまた、數學的方法の完成即ち變分法及び Invariantentheorie の完成と非常に緊密な交互關係のもとに起りました。この間の關係は輒近 Poincaré の研究においてもまた明瞭に認められます。

力學はその最も重大な結果をおそらく天文學の領域において到達しました。しかしながら、力學の最も興味ある適用領域は第十九世紀において力學的熱理論において發生しました。Clausius 及び Maxwell によつて基礎づけられた氣體運動論によりますと、氣體の本性は大體において相互に飛走してゐる原子或は分子の力學的交互作用の結果として記載されます。特に我々はこの氣體運動論によつてあたへられたところの熱力學の兩法則に對しての説明を想起いたしませう。その説明においては、熱力學の第一法則はエネルギー保存の力學的原理の直接結果として生じ、一方熱力學の第二法則即ちエントロピー法則は Boltzmann の處置に従ふと、大數な力學的統計的行狀へ歸着づけられます。そのさい統計的考察は單に原子の平均行狀を記載することができるようでなく、Brown 運動の研究のさいに原子を數へるさいふ期待されてゐなかつた可能性をあたへるところの振動現象をも記載することが出來ます。特に Gibbs が貢獻した統計力學の系統的構成に對して、微分方程式の系の典型的型の數學的理論が適應した方法をまさしくあたへます。

力學的觀念の決斷的擴充は、Oersted 及び Faraday へ歸因してゐるころの、第十九世紀後半においての電磁理論の發展をもたらしました。しかしながら我々は、若しも我々が反對に力學的觀念を電磁場論へ歸着づけやうと試みるならば、自ら生ずるところの利益をたゞちに洞見したでもありませう。電磁場論においては、エネルギー及び力積は物體をよりかこんでゐる空間に局限されてゐるを考へられることによつて、保存則が基礎づけられてゐます。しかしながら就中左様することによつて、輻射現象の自然的な説明が到達されます。この理論は現今の技術において大きな役目を演ずるところの電磁波の發見への直接的動機でありました。さらに Maxwell によつて基礎づけられた電磁的光學理論は、Huygens に歸着するころの、光波の理論に對して合義的基礎を提供します。そして原子理論に關して光の發生及び光が物質を通過するさいに起るころの現象の一般的記載を可能づけます。そのさい、原子は均衡の位置のまはりに振動することができるところの電氣的微小體からなるを假定されます。他方においてこの微小體は光波においての電氣的力のために、拘束振動をすべきであります。このころは原子が端初において第二次波となるさいふころをもたらします。個々の原子からくるころの球波を振動的の光波との干涉によつて、光の反射及び屈折のよくしられた現象がおこります。もしも投射波の振動数が原子の自由振動の數とほぼ一致しますときは、共鳴作用があらはれます。この共鳴作用においては微小體は特に力強く共振します。このころによつて我々は共鳴輻射及びその物質のスペクトル線の附近にあるころの光に對しての物質の變則な分散の現象の自然的説明を得ます。氣體運動論において全く同様に、光學的現象の電磁的意義において單に多數の原子の平均作用が考察されるだけでなしに、光の傳播のさいに、原子の不規則な分布のために、個々の原子の作用が、原子を直接的に算へることを可能づけるころの或る方法において、あらはれます。それ故に Rayleigh は傳播するころの青い天光の強さから大氣中にある原子の數を評價しました。この評價は Brown 運動において Perrin によつて完成された原子の計算と、満足な程度において一致してゐます。電磁場論の合義的數學的敘述はベクトル解析學或はもつと一般的にのべるに、多次元性なテンソル解析學の適用にもつづいてゐます。Riemann によつて基礎づけられたこの科學の領域は Einstein の相對性理論の構成への適當な方法

を提供しました。Einstein の相對性理論は、おそらく古典的理論の終局として認められ得る Galilei の靜力學を超越したところの概念を導入してゐます。

量 子 論

力學的及び電磁的觀念を原子理論へ適用した上述のあらゆる結果にもかかわらず、下の發展は深遠な、そして内的な困難をあらはしてゐます。もしも我々が原子理論において、熱運動に關聯してゐる輻射に關しての適當な知識をもつてゐるでもありませうならば、熱輻射の一般的法則は直接的説明に到達するでもありませう。けれどもあらゆる期待に反して、斯様な基礎に立脚したところの計算は、觀測とこの法則との一致を論證することは決して可能ではありませんでした。このことに關して Planck は傑れて、熱力學第二法則に關する Boltzmann の説明をみこめて、熱輻射の法則は古典的理論に未知な、そして原子過程の記載のさいに不連續性をもつた要因を要求するといふことを示しました。均衡の位置のまはりに調和振動を行ふところの微小體の統計的行狀において、 ω がこの微小體の振動數を、 h が所謂 Planck の作用量子であるところの一般常數をあらはすならば、「量子」 $h\omega$ の整數倍の Energie をもつてゐる振動狀態のみが惹起されるといふことに Planck の發見は基因してゐます。しかしながら、量子論の内容の精密な構成はもしも我々が、これまでの理論のあらゆる概念が連續的變化の可能性を要求するところの觀念へ歸着するといふことを想起しますならば、極度に困難な問題を提供します。この困難は特に Einstein の非常に有意義な研究によつて特筆されました。Einstein の研究に従ふと、光の前進は光と物質との間の交互作用の本質的特徴であるところの波の展開によつて行はれるのではなくて、小さい空間領域内に集中し、そして ν を光の振動數とするとき、Energie $h\nu$ を含んでゐるところの「光量子」によつて起るといふことを要求します。この振動數の定義及び測定は全然波の觀念にもこづいてゐるために、上の陳述の形態的特性はたしかに明瞭であります。

原子の構成分

その様な深遠な限界において眞實を證してゐたところの古典的理論に關して、元素の本性の解析によつてこの觀念が段々に完成されるといふ期待が以前にはありました。この期待は量子論がうまれるすぐ前に Zeeman によつて發

見されたところのスペクトル線に対する磁場の作用によつて支持されました。Lorentz が示すことが出来た様に、多くの場合においてこの作用は古典的な電氣動力學に従つて期待せられるでもありませうところの、振動してゐる電氣的微小體の運動へ作用するところの影響をまさしく對應します。とくに Zeeman 効果のこの説明は軽い負荷電微小體即ち電子があらゆる原子の共通な構成成分として認識されるところのその氣體荷電の領域内に於いての Lenard 及び Thomson の實驗的發見と美事に一致するところの、振動してゐる微小體のその本性に關しての結論を下すことができます。就中多くのスペクトル線の所謂「變則な」Zeeman 効果は古典的理論に對して深刻な困難をつくりました。Balmer, Rydberg 及び Ritz の研究によつてあきらかにされたところの、スペクトルの振動數の簡單な經驗法則を電氣動力學のモデルのたすけによつて研究のさいに踏み潰すところのその困難と同様に特に、スペクトル法則の説明は原子内にある電子の數の評価と、Thomson が X 線の分散に關しての觀測から古典的理論に關してスペクトル法則を説明し得た様に、調和することは困難な様にみへます。

この困難は、電子を原子内に保存してゐるところの力の根源に關しての我々の知識の缺乏に長い間もついてゐることが出来ましたが、この事情は原子構成の研究に對しての新方法をあたへたところの放射能性の領域に於いての經驗的發見によつて完全に變化させられました。かくて Rutherford は放射能物質から放射された微小體が物質を誘過することに關しての研究から、核原子の觀念に對しての信憑し得べき基礎づけを達成することができました。この觀念に従ふと、原子の質量の最大部分の支持物は正(+)に荷電した核であります。この核のまはりに、核よりも軽い、しかも負(-)に荷電した若干數の電子が運動してゐます。原子構成の問題はこの方法において天體力學の問題と非常に深い程度にいたるまで近似してゐます。しかしながら詳細な研究はそれにもかゝらず、原子と遊星系との間には根本的相異があるといふことをたゞちに示しました。即ち、我々は力學的理論には全然未知な特性をあらはすところの安定性を原子に對して要求しなければなりません。それ故力學的法則は可能運動の連續的變分を可能づけます。この連續的變分は元素の本性の決定性では全然代表不可能であります。もしも我々が放射される輻射の構成に關して問ひますな

らば、原子と力學的モデルとの間の相違が明瞭にあらはれます。一體運動の特性的振動数が連続的に Energie とともに變化するところのその考へられた種類の力學的モデルに對しては、古典的理論による輻射の振動数は放射中連続的に變化し、従つて元素の線スペクトルと何等の類似性をも持ちません。

原子構造の量子理論

上述の困難を除去することが出来るでもありませんところの量子論の概念を精密にするこゝに關しての研究は今や次の公準の建設へこゝそゝみました。即ち

- 1, 「定常状態」——これには一般には Energie の値の分離した系が對應します——及び本來的安定性——原子を一つの定常状態から他の定常状態へ遷移するさいにその原子の Energie の各々の變化が成立しなければならないといふこゝのうちにあらはれてきます——をもつてゐる状態の或る多様性を原子系は所有してゐます。
- 2, 他方において原子の輻射の、放射或は吸収の可能性は原子の Energie 變化の可能性と次の様な關係で結びついてゐます。即ち、輻射の振動数は端初及び終局状態の間の Energie の差 $h\nu = E_1 - E_2$ なる公式によつて結合されてゐます。

古典的觀念によつての説明から異なつてゐるこれらの公準は元素の物理學的及び化學的本性の一般的記載に對して適當な基礎づけをあらはす様にみへます。特にこれらの公準によつて、スペクトルの經驗的法則の基本的特質が直接的説明を見出します。この基本的特質は、即ち Ritz の「スペクトル線の結合原理」は、ひとつのスペクトル内にある各々の線の振動数は考察されてゐるところの元素に對しては本來的であるところの澤山のスペクトル項のうちの二つの項の間の差によつてあらはされるといふこゝをあらはしてゐます。即ち、我々はこの項は原子の定常状態の Energie を h で割つたものによつて恒等化されうるといふこゝを知ります。その上に、スペクトルの根源に關してのこの説明は吸収及び放射スペクトル間の特性的相違に對しての直接的解明をあたへます。一體これらの公準によりますと、或る振動数の輻射の選擇吸収——二つの項の間の結目に對應します——に對しての條件は、原子はより小さな Energie の状態にあらねばならないといふ條件であります。しかるに斯様な輻射の吸収のさいには、原子はより大きな Energie の状態になければなりません。

概して上述の解釋は、スペクトルの生起に關しての經驗的結果と最も緊密に一致してゐます。このことは Franck 及び Hertz の發見において特にあらはれてゐます。この發見によりますと、自由電子と原子との衝突のさいに、電子から原子への Energie の遷移は Spektralterm だけ計算されたところの定常狀態の Energie の差に丁度相等しい量だけ起り得ます。そのさい一般には、原子は同時に放射へも刺戟されます。同様にして Klein 及び Roseland の處分に従ひますと、刺戟された原子は衝突によつてその輻射能性を消失します。そのさい衝突する電子はそれに對應する Energie 増加を得ます。(續く)―(北條理人譯)

Conrad Burtshy 師

去る1926年八月の末の或る日、京都のキョト・ホテルに泊つてゐる一米國人から自分へ電話がかゝつて來た。聞くと、
「私は Burtshy と申すもので、今、米國から支那の武昌へ行く宣教師ですが、Miss Furness の紹介で、あなたに是非御目にかゝりたいのです」
さいふ、そこで、
「では、明日午前中、大學天文臺でお待ちして居ますから御出下さい」
と返事した。

約束の日はちようど日曜であつた。自分は大學へ行つて待つてゐると、九時頃、二人の米國人がやつて來た。入口に迎えて挨拶すると、脊の低い方が Burtshy 氏、他は其の同じ宣教師仲間で、やはり支那へ行く人であつた。さりあへず、自分の室へ案内し、暫く話す。話しの據れば、兩氏は公教の宣教師であるが、米國を立つ前、Vassar College で Furness 教授に會ひ、變光星の觀測を大に奨められ、尙ほ
「東洋へ行つたら、京都のヤマモト教授に會ひ、いろいろ、實地の指導を受ける

が宜しい」

と言はれたのだといふ。けれど、Burtshy 氏は天文に興味を持ち、今度も、支那へ渡來するにつき、八時の反射鏡を持参して、大に星を見るとの事。それで、自分は、大喜び、變光星觀測上の種々の注意事項を話し、圖や書物を見せ、又、東洋方面に於ける此の種の研究の大切なことを話した。それから、天文臺の内外を案内し、十三時や十時の反射鏡、18センチの屈折機、新しい分光太陽寫眞機等を見せ、最後に屋上から、京都の景色や、比叡山の形などを説明した。

正午少し前、兩氏は自動車に送られて、Good-bye をくり返しながら、ホテルへ歸つて行かれた。

最近、Burtshy は自分の紹介で、英國の British Astronomical Association に入會することゝなつた。氏の居所は

c/o Catholic Mission,

Wuchang, (武昌), Hupeh, (湖北),
China.

である。(山本)