

19世紀も終わろうとする頃、目に見える現象はニュートンらを祖とする力学で、また電磁気や気体の圧力など、目に見えない現象もマクスウェルらにより体系化された電磁気学、統計力学などで全て矛盾無く説明でき、物理学は一見完成の域に達しているかに思われました（現在ではこれら〇〇学の前に、「古典」という枕詞を挿入すべきですが）。

このような中であって当時の物理学者を悩ませている問題がありました。ここでは後に質量の再定義にも関わる事となる、当時の問題を2つ取り上げます。

その一つ目は黒体放射。鉄やガラスは熱せられると赤黒くなり、温度の上昇につれてまばゆく青白くなります。当時製鉄や窯業が盛んになるにつれ、温度と高温の物体から放射される光との関係が研究されていました。黒体とはそのための温度と放射の関係を探る装置です。実験装置の一例は図1に示すとおりで、熱せられた空洞の中は表面の分子の振動によって様々な電磁波（光）を発生します。その光は空洞内部の別の表面に吸収され、全体としては温度Tが一様な定常状態になっていると考えられます。そしてのぞき穴から内部の明るさを観測すれば、温度と放射光の関係が判ります。

当時黒体の温度と放射光の関係（色々の振動数の光がそれぞれどれだけあるかの関係）は図2のように実験的に判っていました。低温では赤外線だけで殆ど可視光はなく、温度が高くなるにつれ可視光が増加し、さらに紫外線よりの強度が増す事を示します。

一方当時知られていた電磁気学と統計力学から温度と放射光の関係を求めると、温度によらずに放射光の強度が紫外線に寄りに無限に増加する、という矛盾が生じてしまいました。

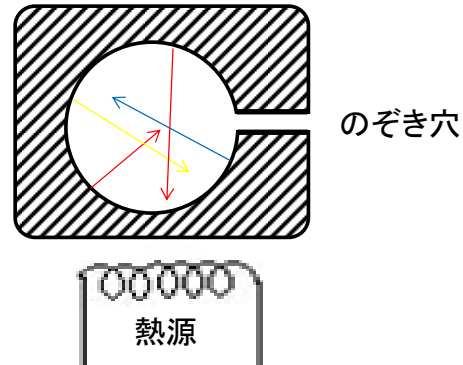


図1. 黒体放射実験装置の一例

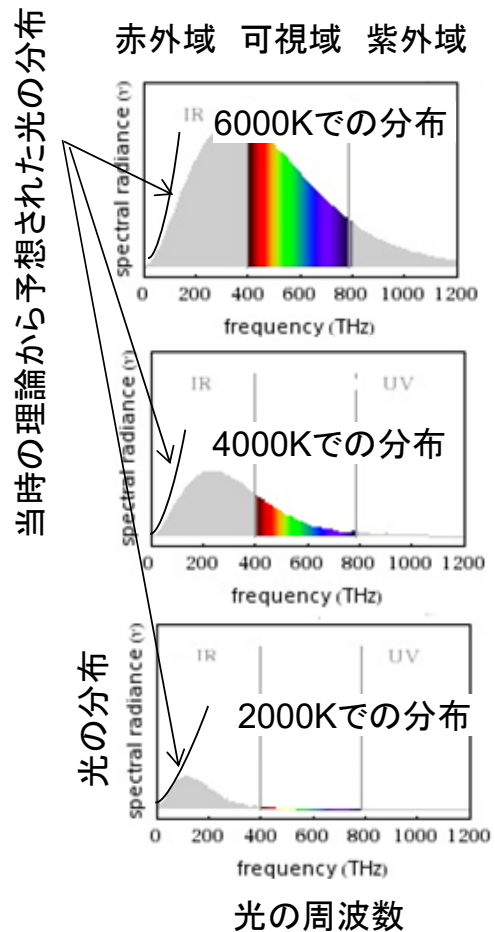


図2. 黒体放射（温度と光の分布）の例

この問題に対してマックス・プランク（独・1858-1947年）は、

- ・電磁波のエネルギーは任意では無く、最小エネルギーの整数倍しか取り得ない
- ・その最小エネルギーは電磁波の周波数に比例する

という二つの仮定を用いて見事に矛盾を解消しました。数式にすると

$$\varepsilon = h\nu \quad (1)$$

ε はその最小エネルギー単位、 ν （ニュー）は電磁波の周波数、 h は比例定数。それまでの電磁気学ではエネルギー（電磁波の振幅）がゼロから連続的にどんな値も得られるとしたところ、一度にやりとりできるエネルギーには最小値があるという、後の量子力学につながる考えを導入したのです。そしてその最小値は周波数に比例するため、周波数の低い赤外線は容易に発生する一方、高周波になるほど電磁波として発生させるためのエネルギー（閾値）が大きくなり、容易に発生しません。これは実際の光の分布をよく示しています。言わば周波数毎に図3に示すような階段状のエネルギー分布しか取り得ないことになります。

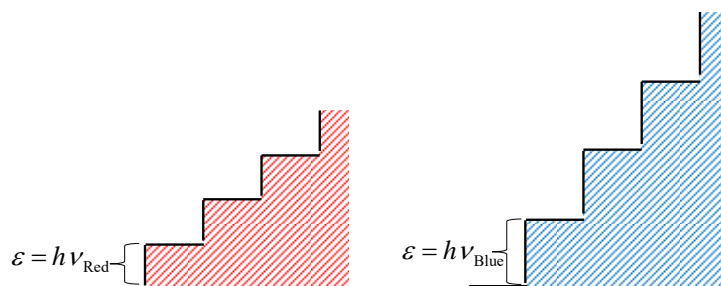


図3. 赤い光（周波数 428TH）と青い光（周波数 670TH）が取り得るエネルギー

彼は当時得られていた実験結果からその最小エネルギーを与える h を今日得られる値と1パーセント余りしか変わらない精度で報告しています[1]。これが後に「プランク定数」と呼ばれることになります。比例定数 h の単位は、周波数(1/s)を掛けると左辺のエネルギー(ジュール)になることから、「ジュール・秒(Js)」となることが判ります。身の回りのエネルギーが階段状の飛び飛びの値になる、といっても、何しろ h はべらぼうに小さい値(6.62×10^{-34})なので、我々の感覚で実感することは出来ません。プランク自身は黒体放射のメカニズムを説明するために導入した定数でしたが、後に原子吸光やLEDの発光原理など、エネルギーの変換に関わるあらゆるミクロな現象がこのプランク定数で説明できることが明らかになります。

さて、前報では質量をエネルギーで示すことが出来るのでは、と思考しました。ここに出てきたプランク定数なる、なにやら微小な値がそれに相当するのでしょうか。その前に同時代にやはり物理学者を悩ませていた二つ目の問題、光の速度にまつわる問題について紹介する必要があります。

本項続く（多分）

[1] Planck, M. (1901). "Über das Gesetz der Energieverteilung im Normalspektrum". Annalen der Physik 309 (3): 553-563.