

X線の波動性と粒子性

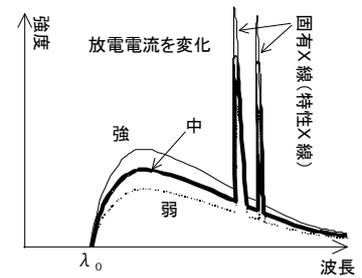
()組()番 氏名 ()

X線 (レントゲンにより、1895年に発見された) についても、アインシュタインの光量子説が成り立つ。レントゲンは高圧放電の際に金属電極からフィルムを感光させる目に見えない光線が出ていることを発見した。これがX線(レントゲン線)と呼ばれる放射線であった。

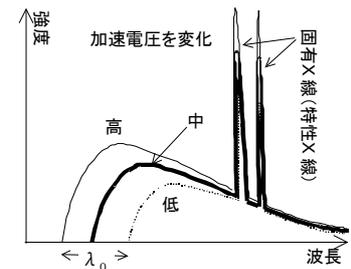
X線の発生

電子を高電圧で加速して金属電極に衝突させる。このとき電子が持っていた運動エネルギーがX線と熱に変わる。したがって、電子が衝突する陽極電極は非常に高い温度になるため高温でも融けない金属(高融点金属、タングステン、モリブデンなど)が使用される。このとき発生するX線の波長を調べてみるとアインシュタインの光量子説の正しさが見えてくる。

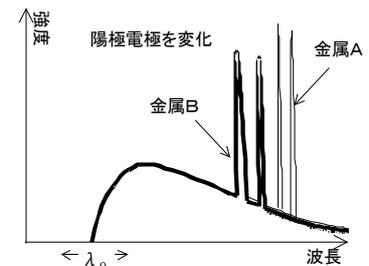
1 陽極に衝突させる電子の数を変化させる(放電電流を変化させる)



2 電子の加速電圧を変化させる(電子のエネルギーを変化させる)



3 陽極電極の材料(金属)を取りかえると、固有X線の波長が変化する。



最短波長の理論

◆ 電子のエネルギー 電子の加速電圧を V [V]とすると、電子が受け取るエネルギーは[] [J]である。

◆ 金属に衝突したとき、電子のエネルギーがX線(光子)のエネルギー[] [J]と、熱 Q [J]に変化する。

第二項の条件より、エネルギー保存の法則を使って、

したがって、最短波長は

また、固有X線が発生する理由は、まもなく学習するボーアの理論で詳細を説明する。

初級 陰極電極を取り替えても発生するX線に違いが出ない理由を答えなさい。

初級 TVのブラウン管からは原理的にX線が発生する。どのようにしてそのX線を防いでいるのだろうか？

X線 (レントゲンにより、1895年に発見された) についても、アインシュタインの光量子説が成り立つ。レントゲンは高圧放電の際に金属電極からフィルムを感光させる目に見えない光線が出ていることを発見した。これがX線 (レントゲン線) と呼ばれる放射線であった。

X線の発生

電子を高電圧で加速して金属電極に衝突させる。このとき電子が持っていた運動エネルギーがX線と熱に変わる。したがって、電子が衝突する陽極電極は非常に高い温度になるため高温でも融けない金属 (タンゲステン、モリブデンなど) が使用される。このとき発生するX線の波長を調べてみるとアインシュタインの光量子説の正しさが見えてくる。

- 1 陽極に衝突させる電子の数を変化させる (放電電流を変化させる)
発生するX線の最短波長と、陽極金属により決まる特性X線 (固有X線) は変化しないが、X線の強度は電流値に比例して大きくなる。
- 2 電子の加速電圧を変化させる (電子のエネルギーを変化させる)
発生するX線の「最短波長が加速電圧に反比例して変化する」 加速電圧が高いほど発生するX線の最短波長は短くなる。
- 3 陽極電極の材料 (金属) を取りかえると、固有X線の波長が変化する。
陰極電極は取り替えても発生するX線に違いは出てこない。

以上のことをどのようにして説明するのだろうか。X線の強度が変化するのの説明がしやすい (電子がたくさん当たるほどX線が比例して強く発生する)。しかし、最短波長の変化は説明しにくい。

最短波長の理論

◆ 電子のエネルギー 電子の加速電圧を $V [V]$ とすると、電子が受け取るエネルギーは $E = eV [J]$ である。

◆ 金属に衝突したとき、電子のエネルギーがX線 (光子) のエネルギー $h\nu \left(= \frac{hc}{\lambda} \right) [J]$ と、熱 $Q [J]$ に変化する。

第二項の条件より、エネルギー保存の法則より、電子が持っていた運動エネルギーがX線と熱に変わるのだから、 $eV = h\nu + Q = \frac{hc}{\lambda} + Q$ の関係式が成立する。

また、発生する熱量は $Q > 0$ だから、発生するX線の波長 λ が満たす条件は $eV \geq \frac{hc}{\lambda}$ になる。このことから、発生するX線の波長は $\lambda \geq \frac{hc}{eV}$ を満たす必要があるので、X線の最短波長が $\lambda_0 = \frac{hc}{eV}$ が存在することになる。

また、最短波長のX線を発生する、「電子のエネルギーが100パーセントがX線に変わるケース」は確率が低いいため、最短波長のX線強度は小さくなる。したがって、実験結果の強度分布が説明できる。

なお、固有X線については今までに習った限りの知識では説明ができない。その理由については、まもなく学習するボーアの理論で詳細を説明する。(量子力学の分野)

初級 陰極電極を取り替えても発生するX線に違いが出ない理由を答えなさい。

ヒータで加熱して、運動エネルギーがゼロとみなせる熱電子が発生する陰極部では、電子のエネルギーが電極材料はまったく関係がない。したがって、陰極電極の材料は、X線発生過程には関与できない。

初級 TVのブラウン管からは原理的にX線が発生する。どのようにしてそのX線を防いでいるのだろうか？

カラーテレビのブラウン管は、色を作る仕組みとしてシャドーマスクという多数の穴があいた金属板が仕込まれている。これに映像を作る加速された電子が衝突するためX線が発生する。これを防ぐために鉛ガラスを使ってブラウン管をつくり、ブラウン管そのものがX線遮蔽材となっている。しかし、正面以外の部分にはそれほど配慮されていないため、側部、後部にはX線が少なからず出ていることも事実である。

