



実験の手順

- ・ターゲット - グリッド間の電圧 U を変化させて、ターゲット電流 I を測定します。
- ・電流の極大値（もしくは極小値）の間隔 ΔU を求めます。
- ・ ΔU と水銀の励起エネルギーを比較します。

目的

水銀を用いたフランク = ヘルツの実験を行い、電圧 - 電流特性を検証すること。

まとめ

フランク = ヘルツの実験では、水銀蒸気中を通過する電子が非弾性衝突によりエネルギーを与えることが、ターゲット電流により観察できます。水銀原子に与えられるエネルギーは、励起準位により定まったある一定の値でのみ可能ということが分かります。この実験により離散的なエネルギー準位の存在が確認でき、これはボーアの原子モデルで説明できます。

必要機器

品番	品名	数量
U8482550-115	水銀充填フランク・ヘルツ管とヒーター	1
U8482530-115	フランク・ヘルツ実験用電源ユニット	1
U11175	2 現象アナログオシロスコープ・30MHz	1
U118091	デジタルマルチメーター・P3340	1
U11255	高周波リード線	1
U11257	BNC-4mm プラグ変換ケーブル	2
U138021	プラグ付き安全リード線・75cm・15 本セット	1

応用実験

- 仕様は予告なく変更されることがあります。
- 品番・品名をクリックすると製品仕様ページ（外部サイト）が開きます。

基本原理

1914年にフランクとヘルツが行った、水銀蒸気中に電子を加速して通過させる実験です。この時、電子から水銀原子へのエネルギーのやりとりが、ある決まった値の整数倍で起こること、及びその時に水銀原子が紫外領域の線スペクトル ($\lambda=254\text{nm}$) を発することを観測しました。数カ月後にボーアが、この実験が自分の提唱した原子モデルの証拠であることに気づきました。これによりこのフランク = ヘルツの実験は、量子論の古典的な実験となりました。

この実験に使用する真空管は、熱陰極線と熱電子を加速するグリッド、電子を電流として観測するターゲットが順番に並んで入っています。グリッドとターゲットには逆電圧 U_{GA} がかかっています。この真空管には水銀が封入されており、加熱することで約 15hPa の圧力になります。グリッドで加速された電子の内、ターゲットの逆電圧による電場を通過するだけの運動エネルギーを持っているものだけが、ターゲット電流として観測されます。

グリッド電圧 U を大きくするにつれて、ターゲット電流は大きくなっていきます。これは陰極線付近に空間電荷として分布している熱電子が、グリッド電圧による電場により力を受けるためです。

グリッド電圧が $U=U_1$ の時に、水銀原子と非弾性衝突を行い水銀原子を励起します。それまでは水銀を励起するのに必要なエネルギーに足りず、弾性衝突を行っています。非弾性衝突を行うことで電子はエネルギーを失い、グリッド - ターゲット間の逆電圧を通過することができなくなり、ターゲット電流は 0 付近まで落ち込みます。

ここでさらにグリッド電圧を上げてゆくと、再びターゲット電流は増加し始めます。水銀原子を励起しても、残りのエネルギーが逆電圧を通過するのに足りるためです。しかしグリッド電圧を上げ続け $U=U_2$ になると、再度ターゲット電流は 0 付近に落ち込みます。水銀原子と 2 回衝突し、それぞれを励起するため電子が運動エネルギーを失うためです。その後もグリッド電圧を上げ続けると、3 回、4 回と非弾性衝突を行い、そのたびにターゲット電流は急激に 0 付近に落ち込みます。

注意

最初のターゲット電流の極小値は 4.9eV ではなく、陰極とグリッド間の接触電圧の分だけシフトしています。

評価

グリッド電圧 U_1, U_2, U_3 などで起こるターゲット電流の急峻な落ち込みの電圧間隔は、 $\Delta U=4.9\text{V}$ と誤差の範囲で一定となっています。またこの電圧間隔は水銀原子の 1S_0 から 3P_1 への遷移に対応するエネルギー $E_{Hg}=4.9\text{eV}$ ($\lambda=254\text{nm}$) と一致しています。

その為、次の式が成り立ちます。

$$(1) \quad E_{Hg} = e \cdot \Delta U$$

ここで e は素電荷（電気素量）であり、
 $e=1.602 \times 10^{-19} [\text{C}]$

この結果より、非弾性衝突により離散的な値のエネルギーしか水銀原子は吸収できないこと、またここでは励起エネルギーは電子の運動エネルギーによって与えられていることが分かります。

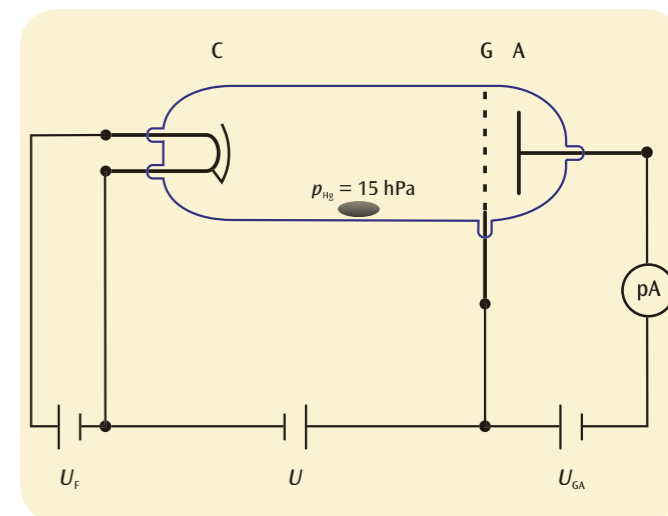


図 1：水銀に対するフランク = ヘルツ実験の回路概念図

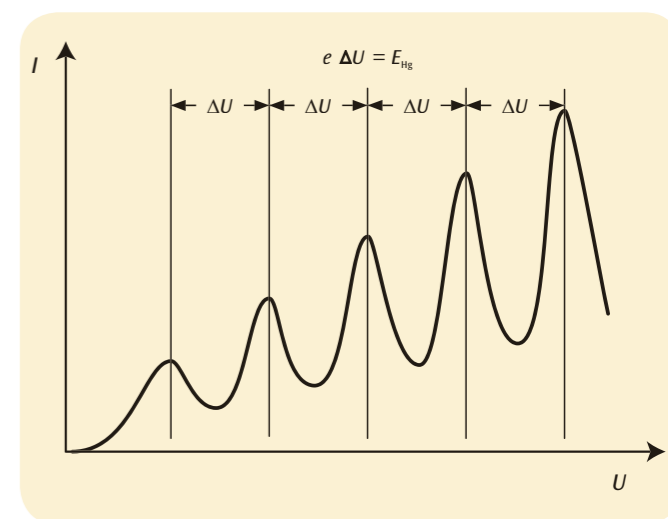


図 2：ターゲット電流 I と加速電圧 U の関係