

目的

これまでの熱電子を用いた3極型フランク-ヘルツの実験装置では、プランク定数の測定、あるいは光の粒子性などを同時に行なうことは、原理的に不可能である。

そこで、グリッド、稀ガス入3極、または4極型光電管を試作し、プランク定数の値をフィルターを用いず測定すると同時に、光電子と稀ガス原子との衝突によるフランク-ヘルツの実験を行ない、原子のエネルギー準位の存在を実験的に示す。

これらの測定結果から光電効果→光の粒子性→光電子放射→プランク定数の測定→原子内電子と光電子との相互作用→原子のエネルギー準位の実証→原子の構造へと広い範囲にわたって、体系的に物理現象を実験、説明する。

概要

1. 原理

(1) フィルターを用いないプランク定数の測定

図1において、点線はミリカンの方法により、光電管の前面にフィルターを取り付けた場合に得られる電圧-電流特性曲線である。実線はフィルターを用いない場合に得られる電圧-電流特性曲線である。屈折点の電圧軸は入射光の振動数 V_1 , V_2 ...などに対する限界電圧 V_1 , V_2 ...などに対応している。これから (eVn, Vn) $n=1,2,\dots$; 電気素量の組を求め、各々の組を (eV, V) 座標にプロットし、得られる直線の傾き、あるいは最小自乗法によりプランク定数を求めることができる。

(2) 光電管によるフランク-ヘルツの実験

図2の光電面Cから放出される光電子を加速電圧 V により加速し、プレートPに向かわせる。こ

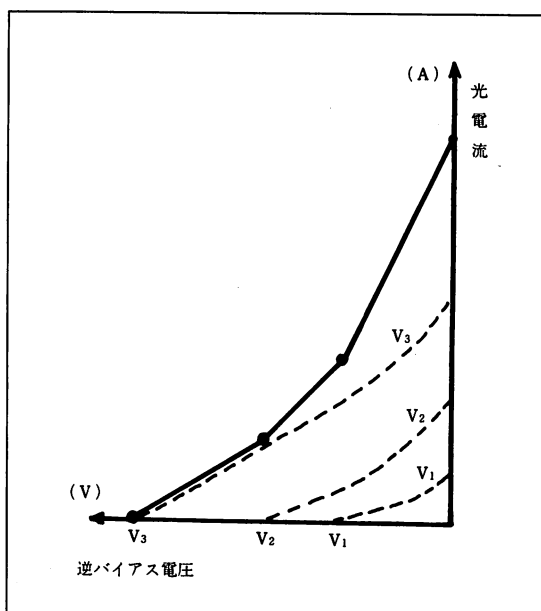


図1 電圧-電流特性曲線

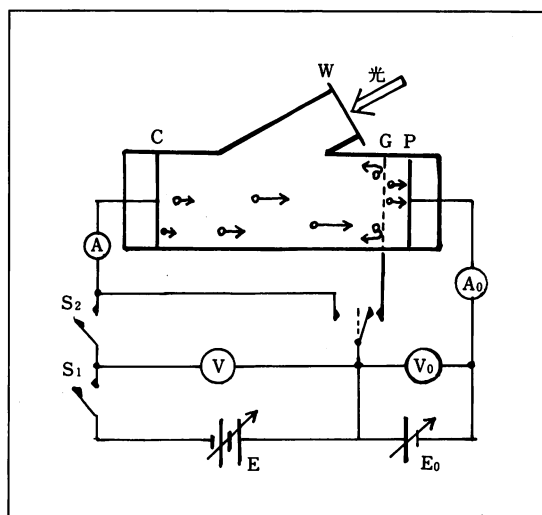


図2 フランク-ヘルツの実験

のときグリッドGとプレートP間に比較的低い減速電圧 V_0 をあたえておき、加速電圧をしだいに高

めると光電子は封入した稀ガス原子と衝突をくり返しながらプレートに達し、プレート電流の周期的な増減が観測される。プレート電流の増減周期から共鳴電圧を求め、原子のエネルギー準位の存在を実証することができる。

2. 特徴

- (1) 光電子と原子の衝突によりフランク-ヘルツの実験を行なうことができるようにするため、光電管内にHe、Ne、またはArなどの稀ガスを封入した。さらに、棒状プレートの周囲にらせん形に巻いたグリッドを設けた。
- (2) プランク定数を測定する場合、Hg、Cdランプなど数本の線スペクトルを放射する光を光電面に直射させ、得られる光電流の屈折点から限界電圧を測定し、フィルターを用いない新しい方法を採用した。
- (3) 試作した稀ガス入、3極型光電管を用いてプランク定数の測定とフランク-ヘルツの実験を同時に行なうことができるので、光の粒子性から出発し、原子の構造までの物理現象を発展的、統一的に実験、説明することができる。

学習指導方法と教具の製作方法

1. 教具の製作方法

- (1) 光電管 光電面：Sb—Cs、16mmφ長さ22mmの半円筒状、分光感度波長範囲3000～6500Å。プレート：1mmφ長さ25mm線状。グリッド：0.1mmφのNi線を6mmφのらせん形に10～30巻。管球：外径26mmφ長さ50mmの硼硅酸ガラス。封入ガス、圧力：Ar、He、またはNe、0.1～5.0Torr。

- (2) 測定回路 図4に測定回路を示す。

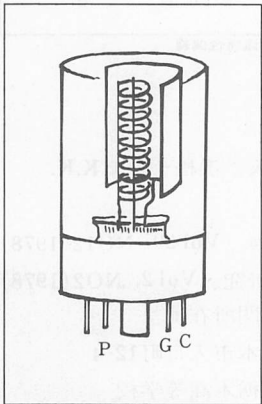


図3. 3極型光電管の構造

S：Hg、Cd、Naランプなどの光源、点灯器は蛍光灯安定器を転用した。

S₁～S₃：ON、OFF イッチ。S₄：切替スイッチ。E、E₀：電池(E：60V、E₀：6V)

V、V₀：電圧計
A、A₀：電流計(nA計)
X—Yレコーダーを使用することもできる。

R、r、R₀、r₀：可変抵抗

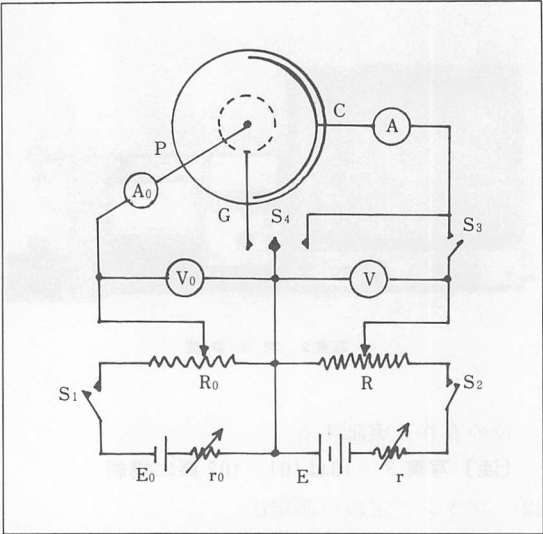


図4 測定回路

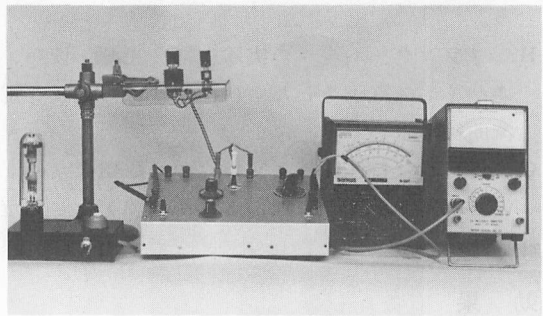


写真1 光電管と測定回路

(R、1kΩ 他500Ω)。これらを写真1に示すように29×21×10cmのアルミケースに収納した。

2. 学習指導方法

- (1) フランク-ヘルツの実験法

- A. 図4のS₁～S₃をON、S₄をグリッド側に倒し、R₀をスライドさせグリッド、プレート間に一定の逆バイアス電圧を印加する。
- B. 光源からの光を光電面に直射させ、電源Eからの起電力をG—C間に印加する。
- C. R、rをスライドさせG—C間の印加電圧をしだいに高め、その値をVにより測定する。同時にプレート電流をA₀により測定する。または、写真2に示すX—Yレコーダーにより電圧—電流特性曲線を求める。
- D. 得られた特性曲線の周期的なピークからHe、Ne、Arなどの共鳴電圧を測定し、エネルギー準

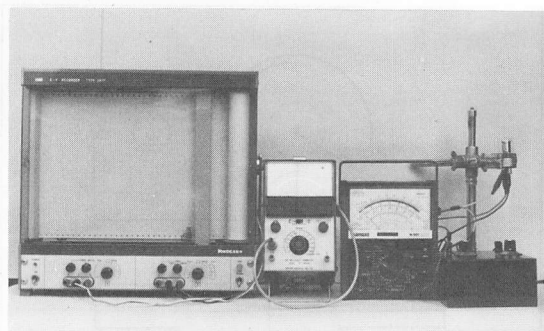


写真2 測定装置

位の存在を実証する。

〔注〕写真3～10は101～102頁に掲載

(2) プランク定数の測定法

- A. 図4の S_2 , S_3 をOFF, S_4 をカソード側に倒し、 E_0 から逆バイアス電圧をP—C間に印加する。
- B. フランカー・ヘルツの実験と同じ光源を使い、逆バイアス電圧をしだいに深めながら電圧—電流曲線を求める。
- C. 得られた特性曲線の屈折点から数組の(eV, V)を求め、測定原理にしたがってプランク定数を求める。

効 果

1. 3極形光電管にNe, Ar、またはHeなどを1.5 Torr封入し、図4に示す測定回路により得られた電圧—電流曲線をまとめて図5に示す。光源は殺菌灯(30W)を使い、それぞれプレート電流の周期的なピークから共鳴電圧はNe: 19~20 V, Ar: 10~11V, He: 20~22Vの範囲内にあることが知られ、エネルギー準位の存在を実証することができた。
2. フランカー・ヘルツの実験と同一の光電管および光源を用い図6に示すような電圧—電流特性曲線を求めることができる。これから測定原理にしたがい、プランク定数、限界振動数、光電面の仕事関数などを求めることができる。
3. 光源と光電面との距離を変えた場合に得られる電圧—電流特性曲線をもとに、光電面から放出される光電子数は、入射光の強さに比例することを実験的に示すこともできた。
4. フランカー・ヘルツの実験と同様にプランク定数を求めることができた。

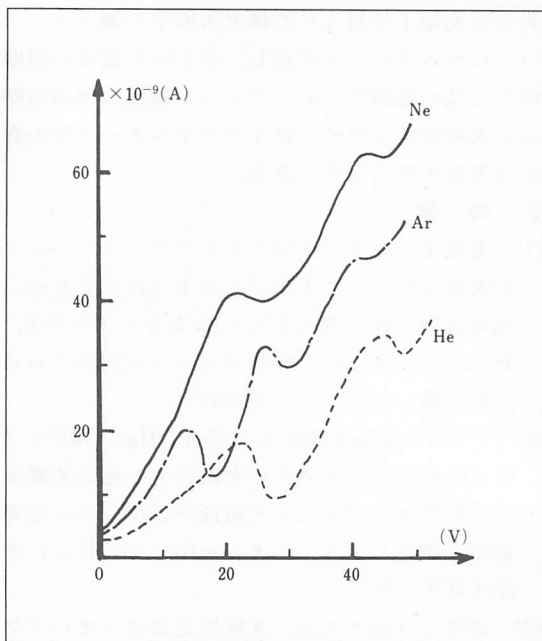


図5 電圧—電流曲線

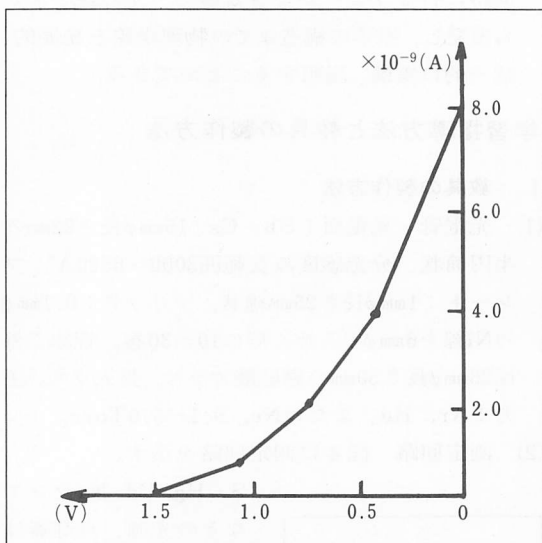


図6 電圧—電流特性曲線

参考文献

- 1) 光電面、グリッド封入：浜松テレビK.K.
浜松市市野町1126
- 2) 進上芳雄：科学の実験、Vol 29, NO12(1978)
- 3) 進上芳雄：科学教育研究、Vol 2, NO2(1978)
研究者の所属機関所在地
〒328 栃木県栃木市入舟町12-4
栃木県立栃木高等学校
TEL(0282)22—2595

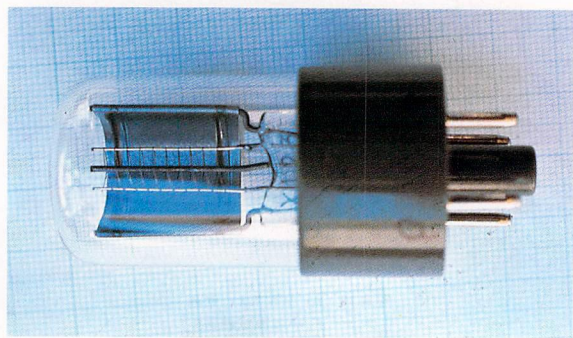


写真3 3極型光電管

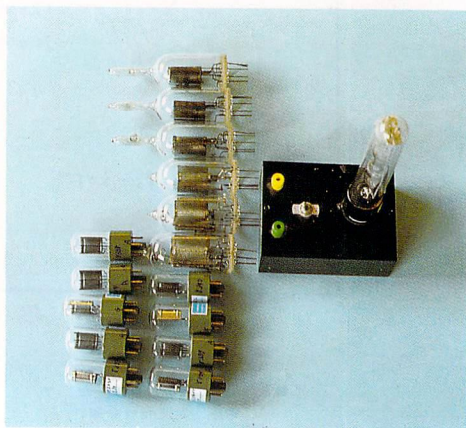


写真4 3極型・4極型光電管

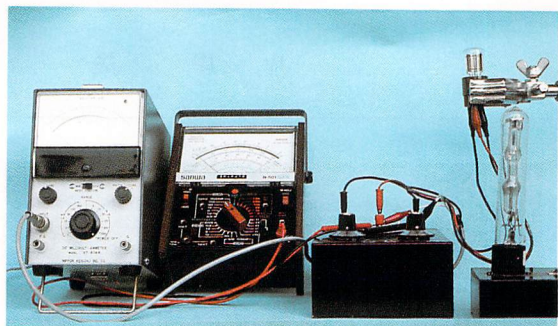


写真5 光電管と測定器

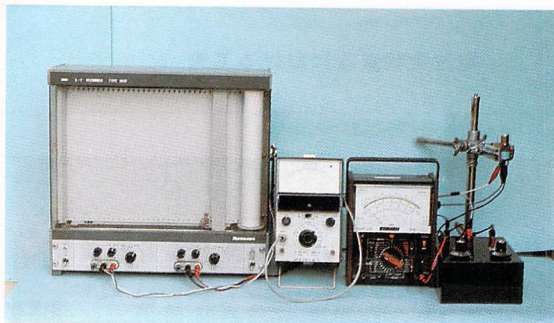


写真6 X-Yレコーダーを含む測定装置

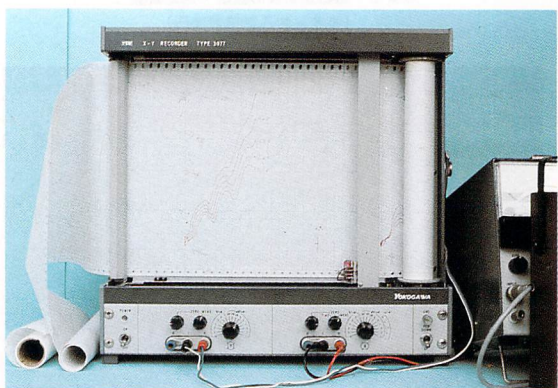


写真7 X-Yレコーダーにより記録したフランクヘルツの実験電圧-電流特性曲線

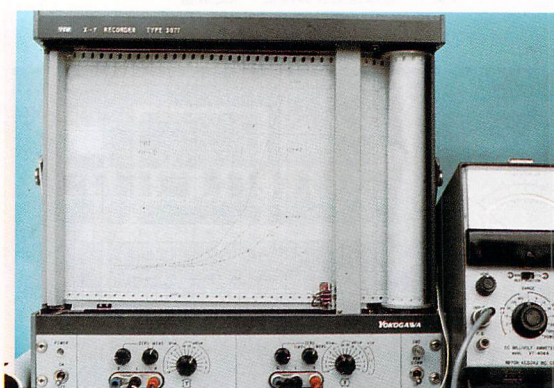


写真8 X-Yレコーダーに示したフランク定数の測定用電圧-電流特性曲線

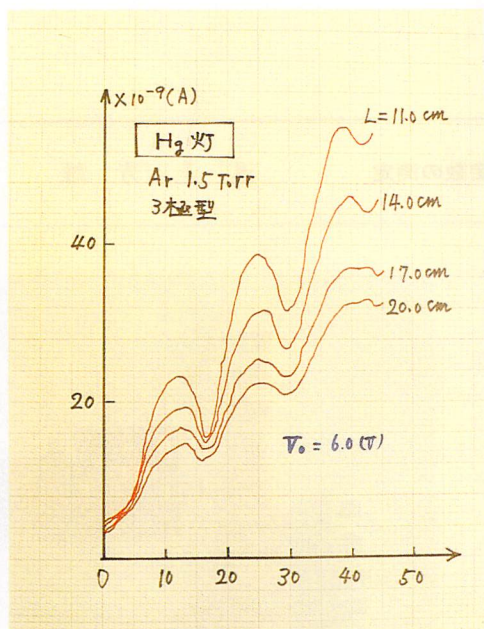


写真9 Ar 1.5 Torr 封入した電圧-電流特性曲線 (光の強さを変えた)

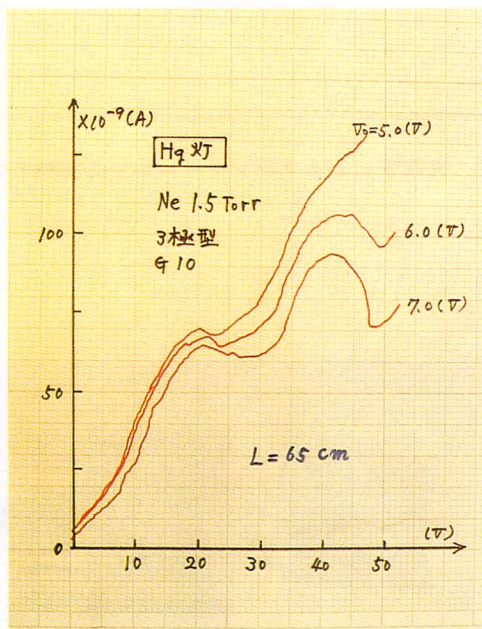


写真10 Ar 1.5 Torr 封入 F.H の実験結果 (減速電圧を変えた)