

【 71 】

氏 名	高 橋 旦 たか はし たん
学位の種類	理 学 博 士
学位記番号	論 理 博 第 239 号
学位授与の日付	昭 和 43 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 5 条 第 2 項 該 当
学位論文題目	<b>Recombination Luminescence in the Scintillation of High Pressure Helium Gas Induced by Alpha Particles.</b> (高圧ヘリウムガスの $\alpha$ 線により誘起されたシンチレーションにおけるイオン再結合について)
論文調査委員	(主 査) 教授 四手井綱彦 教授 安見真次郎 教授 武藤二郎 教授 柳父琢治

論 文 内 容 の 要 旨

この論文は、高圧ヘリウムガス中に $\alpha$ 線によって誘起されたシンチレーションに、イオン再結合による発光の寄与を調べ、その発光機構を取り扱ったものである。常圧における $\alpha$ 線シンチレーションの機構について多くの研究があるにもかかわらず、まだ定説がない。申請者はまずこの常圧での発光の問題をとりあげ、イオン再結合による発光は認められないという結果を得た(参考論文1および2)。

主論文では、高圧ヘリウムガス中の $\alpha$ 線シンチレーションに、再結合による発光の寄与の有無をまず調べた。実験につかったシンチレーション容器には、7mm 間隔で平行になっている 20mm×20mm の電極があり、 $^{210}\text{Po}$  線源からの $\alpha$ 線はコリメートされてこの電極間を通る。15気圧以上では、 $\alpha$ 線の飛程は、電場の一様な範囲内に納まる。発光量は $\alpha$ 線トラックに直角に観測し電極に流れるイオン電流と発光量の減少との相関を調べるようにつくられている。発光量の測定には、wave lengthshifter としてサルチル酸ソーダを用い、光増倍管回路の clipping timeとして、50 $\mu$  sec, 0.5 $\mu$  sec, 20n sec, および 0.5n sec をつかった。実測の結果は、イオン電流飽和時の発光量の減少は、clipping time 50 $\mu$  sec, 0.5 $\mu$  sec および 20n sec いずれのときも、30気圧で8%, 50気圧で18%であり、ヘリウムガスの圧力の増大にともなってイオン再結合による発光の寄与が増大することを示した。

上述の実験結果に基づいて、イオン再結合による発光機構を次のように論じている。ヘリウムガス中の $\alpha$ 線のトラックに沿ってまず $\text{He}^+$ ができ、この原子イオンは次式であらわされるような三体衝突によって $\text{He}_2^+$ をつくる。この反応で $\text{He}^+$ は mean life  $1.3 \times 10^{-8} \text{p}^{-2}$  sec で $\text{He}_2^+$ に変わることが知られている。



従って10気圧以上の場合 0.1n sec の間にすべての原子イオンは分子イオンに変わると考えられる。

$\alpha$ 線のトラックの単位長さ当たりの発光量は直接励起による $\text{L}_e$ とイオン再結合による $\text{L}_v$ とに分けられる。 $\text{L}_e$ は圧力 $p$ に比列するとしてよいが、 $\text{L}_v$ の圧力依存性は再結合過程のあり方に関係する。ま

ず次のような二体の解離性再結合を考える。



この場合  $\alpha$  線のトラックとして円筒形を考え、その中が一様にイオン化しているとし、再結合はトラック内で行なわれると仮定する。この仮定に基づいて、実測で得られる  $\Delta L = Lv/Le$  を計算すると、近似的に次の関係が得られる。ここで  $a$  は再結合係数の  $\alpha$  を含んだ定数であり、

$$T_1 \text{ は } \Delta L \propto 2.5a T_1 p^3 / (1 + a T_1 p^3) \quad (3)$$

積分の上限で、clipping time によって定まる場合も考えられるし、また次に述べるように  $\text{He}_2^+$  の relaxation time とも考えてよい。 $T_1$  が分子イオンの振動の relaxation time できまるときは  $T_1 = Tr/p$  とおける。このとき (3) 式は  $\Delta L \propto 2.5a Tr p^2 / (1 + a Tr p^2)$  となる。もし  $Tv < 1 \mu \text{ sec}$   $\alpha \leq 10^{-6} \text{ cm}^3/\text{sec}$  であれば  $\Delta L$  は近似的に  $p^2$  に比例する。clipping time が  $Tv/p$  より十分大きいときは  $\Delta L$  は clipping time によらないことになる。

三体衝突による再結合がおこる場合は、同様な取り扱いにより、 $T_1$  が小さければ  $\Delta L$  は  $p^6$  に比例し、 $\Delta L$  は clipping time により大幅に変わることが予想される。

観測値  $Lv/(Le+Lv)$  より  $\Delta L$  を求め、その圧力依存性を調べると、 $\Delta L$  は  $p^2$  に比例すると結論できる。さきの二体衝突の場合の計算式を液体ヘリウムの密度まで延長すると  $\Delta L = 2.4$  となり、これは  $Lv/(Lv+Le) = 0.7$  であり、Hereford and Moss の実験値 0.7 とたいへんよく一致する。

なお、diffusion の効果を調べるために、Jaffè の理論をイオン再結合の過程に適用しているが、その場合にも二体衝突の場合は同じく  $\Delta L$  の  $p^2$  依存性が得られ、実験結果をよく説明する。

(1) 式の反応によってできる  $\text{He}_2^+$  は振動の高い励起状態にあるとされている。一方最近の研究によるとこのような状態にある  $\text{He}_2^+$  のみが (2) 式の過程で thermal な電子と再結合し得る。Takayanagi の計算より、この励起状態にある relaxation time を求めると、10気圧で 2~3n sec となり、relaxation time は  $Tv/p$  と表現することができる。一方、さきの簡単なモデルより再結合に要する時間を求めると、50気圧で 10n sec の程度である。したがって、発光機構として (2) 式の反応を考えることは正しいといえる。(2) 式の過程は 10n sec で終わると思われるが、この時間はシンチレーションの減衰時間より少なくとも一桁短い。(2) 式の過程に続いておこる発光が、他の励起種の発光と基本的に同じ過程でおこるとすれば、再結合による発光が加わってもシンチレーションの波形は殆んど変わらないことが予想できる。これは clipping time を大幅に変えても  $\Delta L$  が変わらないという実験結果と一致している。

参考論文 1 および 2 は、常圧におけるヘリウムガスのシンチレーションを調べたもので、主論文の前提となる研究である。参考論文 3~7 は、低レベルの三重水素測定法の開発とそれによる測定結果の報告である。参考論文 8 と 9 では、低エネルギー電子と分子との衝突問題を取り扱っている。参考論文 10 は、 $\text{Dy}^{165}$  の減衰にともなうガンマー線の研究である。

### 論文審査の結果の要旨

希ガスのシンチレーションは、荷電粒子の検出にしばしば利用されているが、その発光機構については未だ解明されていない点が多い。常圧における  $\alpha$  線によるシンチレーションの発光機構について、Nort-

hrop と Gursky はイオン再結合によって説明しているが、Ward はイオン再結合による光はないとしている。これらの報告ではその実験方法もまちまちであり、一般的結論を引き出すのは困難である。申請者は参考論文1および2でヘリウムガスの常圧での $\alpha$ 線による発光を観測し、イオン再結合による発光はみとめられないことを報告している。

主論文では、常圧において観測されなかったイオン再結合による発光が、高圧ヘリウムガスのシンチレーションに現われるかどうかを中心課題としている。この目的のため $\alpha$ 線のトラックに電場をかけるようにし、トラックにおける発光の減少とイオン電流との関係を求めた。また、ヘリウムの発光は主として真空紫外領域にあるため、その測定には wave length shifter を用い、光増倍管による光量の測定には、 $50\mu$  sec  $\sim$  5n sec の広い clipping time をつかう等周的な観測方法を採用している。

実測の結果、再結合による発光は圧力とともに増加し、60気圧においてシンチレーションの全光量の25%を占めることがわかった。このような再結合による発光の圧力依存性を検討して、以下に述べる発光機構を提唱している。

ヘリウムガス中の $\alpha$ 線のトラックにそってまず  $\text{He}^+$  ができるであろう。この原子イオンはヘリウム原子との三体衝突によって  $\text{He}_2^+$  に変わる。10気圧以上では  $\text{He}^+$  は 0.1n sec の間にすべて  $\text{He}_2^+$  になる。次にこの分子イオンが、二体の解離性再結合によって励起状態のヘリウム原子となり発光するものと考えられる。このような再結合による発光の圧力依存性は、 $\text{He}_2^+$  が振動の励起状態にあり、それと電子との再結合が振動の relaxation が続く間おこると仮定することで説明できる。この仮定を採用すると、 $\alpha$ 線のトラックとして一様にイオン化した円筒をとり、その中で再結合がおこるという単純なモデルを考えて、実験で得られた  $\Delta L \equiv Lv/Le$  が圧力の二乗に比例することが説明できる。ここで  $Lv$  は  $\alpha$ 線トラックの単位長さ当たりの再結合による発光量を、 $Le$  は  $\alpha$ 線による直接の励起による単位長さ当たりの発光量をあらわす。また、diffusion を考慮した Jaffè の理論を使っても、二体衝突による発光を考えるときは  $\Delta L$  が圧力の二乗に比例することが説明できる。なお、三体衝突による発光はシンチレーションには寄与しないと結論している。

以上に述べたように、この論文は周到な実験によって高圧ヘリウムのシンチレーションにおけるイオン再結合による発光の寄与を見出し、またその発光機構を論じたもので、その成果は放射線物理学の進歩に貢献するところが少なくない。

よって、本論文は理学博士の学位論文として価値があるものと認める。