中性子発生装置ターゲットからの ^3H ガスの放出†

阪元 重 康

東海大学工学部原子力工学科

渋谷区富ヶ谷 2-28

1971年 8月23日受理

1. 諸 論

中性子を得るための反応には種々のものがあるが、なかでも D-T 反応は低加速エネルギーで多量の中性子が得られるため、各方面で利用されている。

そのためのターゲットとしては、銅、タングステンなどの支持物質に $10\mu\text{g}/\text{cm}^2 \sim 10\text{mg}/\text{cm}^2$ のチタンまたはジルコニウムを真空蒸着したものに、 $1 \sim 6\text{ Ci}$ のトリチウムを吸収させたものが使われている。

この種のターゲットは密封線源として取り扱われているが、 250°C 以上の温度では、トリチウム outgas が生ずるといわれており、加速器のターゲット部分の冷却には十分な配慮がなされている¹⁾。

しかし、ターゲットが高真空中に置かれ、高速の荷電粒子によって照射されるという、使用条件を考えると、冷却が完全に行なわれたとしても、トリチウム outgas が生ずる可能性があると考え、つぎの3項目の測定を行なった。

- 1) 粒子加速器に使用した真空ポンプ油中のトリチウム検出。
- 2) ターゲットから放出されるトリチウム outgas の温度による変化。
- 3) 加速器の運転に伴うトリチウムの放出。

2. 測定とその結果

2.1 拡散ポンプ油のトリチウム汚染

ターゲットからトリチウムが放出された場合、微量のトリチウムが真空ポンプ油中に残留するものと考えられ、その蓄積が多い場合には廃油の取扱いなどに注意を払う必要があるので、 $1 \sim 2$ 年間使用した油拡散ポンプの油、3点についてトリチウムの検出を試みた。

その結果、いずれの試料からも、ほぼ同じ強度の放射能が検出され、 2π ガスフローカウンタを用いた自己吸収曲線の測定結果 (Fig. 1) から、この放射能がトリチウムによるものであることを確認した*。

Fig. 1 Measurements of self-absorption of samples.

また比放射能は、F.L. Jacksonら²⁾の測定した自己吸収曲線との比較から、およそ $1 \times 10^{-7}\text{Ci/cc}$ となり、油中のトリチウム総量は $5 \times 10^{-5}\text{Ci}$ 程度と推定される。

2.2 ターゲットからのトリチウム outgas の温度依存性

トリチウム outgas の原因としては、ターゲットの温度上昇が第一に考えられるので、一定温度に保ったターゲットからのトリチウム放出量と、その時間的変化を測定した。

試料は、ウォーターバスに入れて内部を一定温度に保った 3 l のフラスコ中に入れ、5分～60分の間放置したのち、フラスコ内の空気を有効体積 1.5 l の気体試料用電離箱に導入し、その放射能を測定した。

測定は室温 (24°C) から 97°C までの7点で、4個のサンプルについて数回ずつ測定を行ない、いずれの試

* このような、核種の確認を行なったのは、真空ポンプ油または不純物が放射化されている可能性があるためである。

† Tritium Outgas from Zirconium-Tritium Target, Shigeyasu SAKAMOTO: Tokai University, Tomigaya, Shibuya-ku, Tokyo

Fig. 2 Temperature-dependent tritium outgas from Zr-T target.

Fig. 3 Relationship between the storage time and tritium outgas.

Fig. 4 Relationship between the storage time and tritium outgas.

料もほぼ同じ結果を示した*。

温度依存性の測定結果の一例を Fig. 2 に示す。この結果から明らかとなり、ターゲット温度が 70°C を越えると、トリチウム outgas が急激に増加する。

また、時間と放出量の関係は、Fig. 3 および Fig. 4 に示すとおり、各温度とも時間に比例して増加する。

気体線源であるので、トリチウム放出量の評価は比較的容易にでき、現在多く使用されている 6 Ci のターゲットでは、60°C 以下の温度では 1 日あたり約 4 μCi 、70°C および 90°C では、それぞれ $1.2 \times 10^2 \mu\text{Ci}$ 、 $4.1 \times 10^2 \mu\text{Ci}$ のトリチウムが放出される。

2.3 加速器の運転に伴うトリチウムの放出

加速器にターゲットを取り付けた場合のトリチウム放出量を調べるため、真空ポンプだけを働かせた場合と、中性子を発生させている場合について、真空装置（油回転ポンプ）の排気中に含まれるトリチウム濃度を測定した。

真空装置から排出する全気体を採取して、その中に含まれる全放射能を測定することが望ましいが、そのような方法が困難であるので、真空ポンプと実験室の排気装置を結ぶ排気パイプの途中からパイプ内の空気を随時サンプリングし、前記電離箱によって測定し、加速器の運転に伴ってトリチウムが放出されるか否か、を知ることに重点を置いた。

その結果、真空装置のみを働かせている場合、排気パイプ内の空気は、実験室内の空気よりいくぶん放射能強度が高いが、有意の差は認められない。

加速器の運転に伴うトリチウム放射能の測定は、パルス状中性子発生用ターゲットホルダー（空冷式）を用い、平均イオン電流 1.3 μA （ピークイオン流 130 μA 、パルス幅 20 μs 、500 pps）、加速電圧 120 kV で行なった。イオン流によるターゲット部分の発熱は 0.3 W であるのでターゲット全体としての温度上昇は無視しうると考える。

排気中のトリチウム濃度は、加速器運転開始から 2 時間前後で増加しはじめ、運転開始から 3 時間後のトリチウム濃度は $7.1 \times 10^{-6} \mu\text{Ci/cc}$ を示した**。その後加速器を停止しても濃度は増加し停止後 2 時間で $1.2 \times 10^{-5} \mu\text{Ci/cc}$ の値を示した（Fig. 5）。

このような時間的遅れ、増加率などは加速器の運転条件、真空装置の構成、排気のサンプリング法などによって相当変化する可能性がある。

* 一度高温にしたターゲットは、その直後のトリチウム outgas が少なく、また長く室温のもとの放置したターゲットからの outgas は初めのうち非常に多い、という履歴性が多少ある。

** 平均イオン電流 4.2 μA の場合、同じく 3 時間後に $2.2 \times 10^{-5} \mu\text{Ci/cc}$ であった。

Fig. 5 Tritium activity measured in the exhaust pipe of the accelerator as a function of time after startup

3. 結 語

中性子発生装置用 Zr-T ターゲットは、従来使用限界温度といわれていた 250°C よりも低い 90°C でトリチウムの放出が急激に増加する。

また、ターゲット全体が十分冷却されていても、荷電粒子で照射することによってトリチウム放出が起こ

る。これは重水素イオンの直接的作用によるものか、Zr 蒸着面の伝熱特性が悪いためにターゲット表面に局所的な温度上昇が起こるかのいずれかであろう。

放出されたトリチウムの一部分は真空ポンプの油中に残り、化学的状態は比較的安定のように思われる。

このような結果から、この種の装置を使用する施設では真空装置の排気を十分希釈して屋外に排出するように配慮するとともに、真空ポンプ油の交換、ターゲット交換などの保守作業、ターゲットの保管に当たっては、トリチウムに対する放射線管理を十分に行なうことが望ましいと考える。

最後に本研究に対し、有益な助言をいただいた当研究室の中土井昭三教授および終始実験に協力していただいた阿部正明（現千代田保安KK）、児矢野泰亨（現京浜工事KK）の両君に厚くお礼申し上げます。

文 献

- 1) J.B. Marion and J.L. Fowler: Fast Neutron Physics, 690, Interscience Publisher, Inc., New York (1960)
- 2) F.L. Jackson and H.W. Lampe: *Anal. Chem.* **28**, 1735 (1956)