

放射線治療リニアックの 10 MeV 電子に基づく光中性子源の設計
著者リンク オーバーレイパネルを開く M. タタリ, A.H. ランジバル

ハイライト

- ・ [光中性子源](#)は 10 MeV の電子 [リニアック](#)を用いてモデル化します。
- ・ [モンテカルロシミュレーション](#)を用いてターゲットの寸法を最適化しました。
- ・ [ジェットインピンジメント](#)冷却法は、あらゆる熱流束の温度を計算するために用いられます。
- ・ 適切な [タングステン](#)の半径を決定するための [パラメトリックスタディ](#)が行われます。

概要

[タングステン](#)を制動器の生産標的とし、重水を光中性子生成と熱交換媒体の二重の役割として利用することで、コンパクトで経済的かつ単純な[光中性子](#)生成の最適化が研究されています。モンテカルロコード MCNPX は、ターゲットの形状や反射体の形状を最適化し、光中性子の収率を可能な限り高い速度で増加させるために用いられています。制動生成の過程でタングステンターゲットが非常に高温化し、350K 未満まで冷却する必要があります。MATLAB コードとジェットインピンジメント冷却法を用いて、タングステンターゲットの温度と電子電流の比較や重水冷却材の速度を測定しました。ジェットインピンジメント冷却法は、タングステンターゲットの温度を電子電流およびジェット速度に対して制御するために用いられました。結果は、350 K の温度でタングスの半径が 15.7 cm となり、これは 10 MeV 電子の最大電子電流に合致していることを示しました。ターゲットの最適化寸法と厚さ 50cm のベリリウム層を反射材および γ 汚染変換器として適用した結果、中性子収率は 1.25×10 であることが判明しました¹¹ 10 MeV 電子に対して n/mA/s です。

紹介

電子加速器を用いた光中性子生成の研究は 1950 年から続いており (Barber and George, 1959, Berger and Seltzer, 1970, Seltzer and Berger, 1973)、近年大きく進展しています。このいわゆる現象は、中性子活性化解析 (NAA) (Oprea ら、2011)、ホウ素中性子捕獲療法 (BNCT) (Nigg ら、1997)、爆発物、麻薬、アルコール飲料の検出 (Jones, 2003、Yang ら、2007) など、科学、医学、産業分野で多くの応用があります。放射性源ではなく加速器を使用する光中性子源には、高中性子強度 (桁数単位) の発生、遮蔽なしで停止できる可能性、低ガンマ線汚染など、いくつかの好ましい側面があります。線形電子加速器 (linac) を用いた中性子生成に関するいくつかの研究が、放射線撮影、断層撮影、BNCT に用いられています (Rahmani and Shahriari, 2010、Huang ら、2006、Auditore ら、2005)。彼らはハイブリッド光中性子ターゲット BeD を導入しました。 ${}^2+W$ は光中性子生成の断面積が高く、閾値エネルギーが低いため、BNCT の適切なターゲットとして W を選びます (Rahmani and Shahriari, 2010)。マイクロトロンおよびベータトロンによって生成される光中性子の角度分布、エネルギー、フラックスに関する多数の計算と測定が行われています (Chakhlov et al., 1999, Jallu et al., 1999, Eshwarappa et al., 2005, Patil et al., 2010)。異なる最適化ターゲットに 510 MeV 電子を送った中性子に対して、測定と

MCNPX シミュレーションの間に良好な一致が見られました(Quintieri ら, 2012)。重水からの光中性子収率の測定に関するいくつかの研究が行われています(Coceva ら、1988 年、Golovkov ら、1989 年、Vasina ら、1989 年)。Dale と Gahl は MCNP コードを用いた 10 MeV 電子直線加速器を用いた重水ターゲットの光中性子収率をモデル化し、MCNP モデルと実験結果を比較しました(Dale and Gahl, 2001)。最適化されたコンバーターは、線形電子加速器のヘッドに取り付けられることで、中性子の供給源として利用される可能性が高まります。

光中性子生成の過程では、電子インピンギングターゲットおよびフォトンインピンギングターゲットの形状や特性が中性子生成フラックスに大きな影響を与えます。特に、光中性子ターゲットおよび光中性子断面における中性子の結合エネルギーを克服するために必要な光子エネルギーの閾値は非常に重要です。 ${}^2\text{D}(\gamma, n){}^1\text{H}$ と ${}^9\text{Be}(\gamma, n){}^8\text{Be}$ 反応は光中性子生成の閾値エネルギーが最も低く、その断面積は多くの研究者によって得られています(Mobley and Laubenstein, 1950、Jakobson, 1961, Guth and Mullin, 1949)。

一方で、入射電子のエネルギーの大部分は光子生成ターゲットで熱に変換され、ターゲット温度は急速に上昇するため、その性質に大きな影響を与えます。ターゲットの酸化と崩壊を防ぐためには、350K 未満の温度まで冷却する必要があります。水冷ターゲット(Korenev, 2004、Auslender ら、2004)、円形液体鉛(Altstadt ら、2007)など、さまざまな冷却方法が導入されています。近年では、ターゲット内の熱を除去するためにインピンギング流体ジェットの使用が提案されています(Kim and Kim, 2009)。これは冷却材をノズルに向けて照射し、ターゲット容器に注入する方法です。MCNPX モンテカルロコードは、タングステンを製動生産標的として円筒形コンテナを設計するために用いられ、D は ${}^2\text{D}$ 光中性子生成ターゲットとして O を選びます。さらに、ターゲット内で熱に変換される大量の電子ビームの電力を除去し、より実現可能な光中性子源を得るために、ジェットインピンジメント冷却法が用いられました。この方法では D_2O は冷却液として用いられ、MATLAB プログラミングソフトウェアに数値コードが実装されました。しかし、提案されている中性子源は比較的安価で、病院で使用できるほどコンパクトで、短時間の治療時間に十分な中性子フラックスを生産することが期待されています。

組織を通じたアクセス

全文へのアクセスは、あなたのサインインから確認してください 組織。

セクションスニペット

$e-\gamma$ コンバータ

原子番号の高い材料は、制動光子の生成に適しています(Knoll, 2000)。タングステンの原子番号が高く、その物理的特性から、光子生成のターゲット材料として選ばれました。タングステンの $e-\gamma$ 変換器として最大限の制動生成を得るために、モンテカルロコード MCNPX がディスクターゲットの寸法最適化に用いられました。SDEF カードでは、小さなディスクが単エネルギー電子源(10 MeV)として使用されています。光子は

結論

タングステンターゲットを $e\text{-}\gamma$ 変換器として、重水を $\gamma\text{-}n$ 変換器および熱伝達液体として機能し、さらに反射材 γ とターゲットを囲むベリリウム層からなる光中性子源が、10 MeV 電子加速器を用いて開発されました。ターゲットの寸法最適化には MCNPX モンテカルロコードが使用されました。最大光子収率は、厚さ約 0.15cm、半径約 1.5cm の円筒形タングステンターゲットで達成されました。

参考文献(33)

- E. Altstadt ら [放射線源 ELBE での飛行時間測定のための光中性子源](#) アン・ニュークル。エネルギー(2007)
- L. Auditore ら [5 MeV 電子直線加速器を用いた中性子源の研究核](#)。インストラム。方法 B (2005)
- V. オースレンダーら。 [強力な産業用電子加速器用の制動式変換器](#) ラジアット。物理化学。(2004)
- V. チャフロフら。 [コンパクトな 10 MeV ベタトロンに基づく光中性子源](#) 核。インストラム。方法 A(1999)
- K. エシュワラッパら。 [可変エネルギーマイクロロンを用いた制動放射で照射されたベリリウム標的からの光中性子収率の推定](#) 核。インストラム。方法 A(2005)
- W. 黄ら。 [放射線撮影用途のための 15 MeV 電子直線加速器による光中性子の測定](#) 核。インストラム。方法 B(2006)
- F. ジャルら。 [高エネルギー電子直線加速器を用いたタングステン、プラセオジウム、銅、ベリリウムにおける光中性子生成](#) 核。インストラム。方法 B(1999)
- S.A. コレネフ [X線製造のターゲット](#)。放射学。物理学。化学(2004)
- B. パティルら。 [FLUKA による \$e\text{-}\gamma\text{-}n\$ ターゲットのシミュレーションおよび加速器ベースの中性子源に対する様々な角度での中性子フラックス測定](#) アン・ニュークル。エネルギー (2010)
- B.J. パティルら。 [6 MeV 直線加速器を用いたパルス熱中性子源の設計:FLUKA シミュレーションと実験](#) 応用。放射。アイソット。(2012)
- L. クインティエリ 他。 [フラスカーティの{INFN}国立研究所ダフネビーム試験施設における光中性子源:設計と最初の実験結果](#) 物理学プロセディア(2012)
- F. ラフマニら。 [電子加速器ベースの BNCT 向けハイブリッド光中性子源最適化](#) 核。インストラム。方法 A(2010)
- Y. ヤンら。 [X線によって生成される光中性子を用いた爆発物検出](#) 核。インストラム。方法 A(2007)
- 地方検事。アレンら。