

Target Design for Spallation Neutron Sources Using 2GeV Protons

Y. Kiyanagi

Department of Nuclear Engineering, Faculty of Engineering,
Hokkaido University, Sapporo 060, Japan

Abstract

Neutronic calculations are made to study target designs of spallation neutron sources using 2GeV protons. Optimal target size found is as follows: radius is 5cm and length 32 cm. They are not different from values obtained for 0.8 GeV protons. Intensity of high energy neutrons above 15 MeV is greater than that in 0.8 GeV case. Heavy metal material should be placed around the target to shield these neutrons.

2GeVプロトンを用いたスパレーション中性子源ターゲットの設計

1. はじめに

中性子散乱実験用の中性子源としては、現在、原子炉と加速器中性子源が用いられている。しかし、原子炉は炉心設計における熱除去などの技術的問題からここ20年程中性子束強度は増えていない。加速器中性子源では最初、電子加速器を用いて中性子を発生していたが、単位発熱当りの中性子発生数が非常に小さいために、中性子強度を容易に上げることができなかった。しかし、高エネルギープロトンを用いた核破砕（スパレーション）反応による中性子の発生では、単位発熱当りの中性子発生数が電子加速器を用いる場合に比べ約2桁、核分裂と比較しても約1桁大きくなる。そのため、最近ではスパレーション中性子源が中性子散乱実験用の強力中性子源として建設され、実用に供されてきている。

これまで建設されてきたスパレーション中性子源では、プロトンエネルギーは0.8GeV以下のものだけであった。しかし、スパレーション反応による中性子発生量はエネルギーと共にある程度多くなる。従って、より強力な中性子源を作るためにはプロトンエネルギーを上げることが一つの方法として考えられる。プロトンエネルギーを2GeV以上にしても、中性子強度はあまり増加しないので、ここでは2GeVプロトンを用いたときのターゲットの設計に関して中性子工学の観点から検討する。ここで得られる知見と既に0.8GeVの時に得られているものとを比較すれば⁽¹⁾、プロトンエネルギーが増大したときにターゲット設計に及ぼす影響が推測できる。

2. ターゲット半径と中性子強度

ターゲット材料としてはウランが最も良いことが知られているが、取扱が大変であるので非核分裂性の重金属物質が使われる事も多い。その中では、タングステンが最も良い特性を示す物

質の一つであるので、ここでは、ウランとタングステンをターゲット物質として考える。ターゲットサイズは半径5cm、長さは32cmである。入射プロトンのビームサイズは半径2.35cmとした。

強スパレーション中性子源においては減速材をターゲットの上下に2個ずつ計4個おくことが、通常行われる。ターゲットの半径を大きくすれば、スパレーション反応によって発生する中性子強度が増加するが、一方、減速材とターゲット中心間の距離が大きくなるために、減速材-ターゲット間のカップリングが悪くなる。そのため、減速材から放出される低エネルギー中性子強度があるところから減少することが考えられる。このことを調べるために、中性子輸送計算を行った。計算はNMTC/JAERI⁽²⁾によってスパレーション中性子の計算をターゲットについて行い、15 MeV以下の中性子を減速材集合体での中性子輸送に対する中性子源として用いた。中性子輸送計算にはモンテカルロコードMORSE-DD⁽³⁾を用いた。図1に計算に用いた減速材集合体体系を示す。ここでは、減速材はターゲット上部に2個しか置いていないが、今の目的には十分である。ターゲット半径と減速材から放出される約0.9eV以下の中性子の強度との関係を図2に示す。ビーム半径として2.35cmのほか1.25cmについても示してある。最大強度と成る半径はビームサイズが2.35cmでは約5cmで0.8GeVのときと殆ど変化が無い。ビームサイズが細い方が強度が強くなり、最大強度となるターゲット半径が小さくなる傾向が見られる。

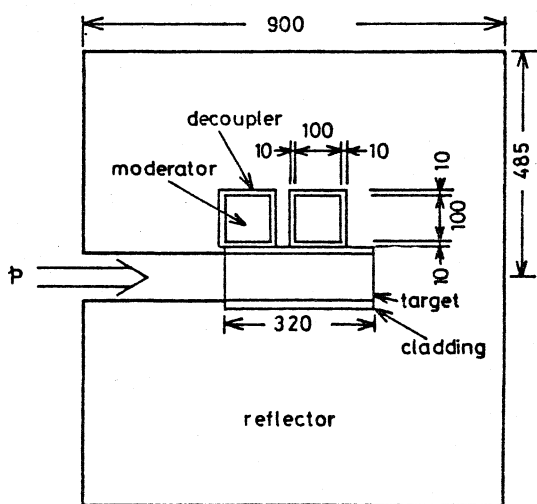


図1 計算に用いた減速材集合体体系

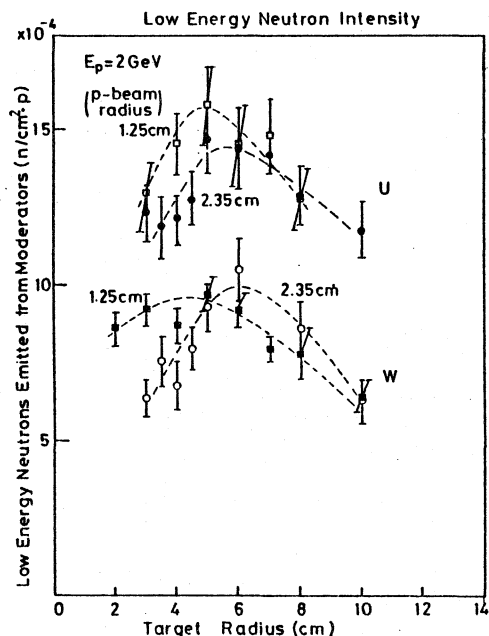


図2 ターゲット半径と低エネルギー中性子強度

3. ターゲット長さとの中性子強度

ターゲット中での15MeV以下の中性子の軸方向分布は図3に示すように、プロトンエネルギーが増加するにしたがって広がって行く。従って、エネルギーによって最大中性子強度となるターゲット長さが変化することが考えられる。図1に示した体系についてターゲット長さを変えて、減速材から放出される中性子強度を計算した。図4はターゲットの長さとの0.9eV以下の中性子強度との関係を示す。約32cm以上で強度が飽和しており、0.8GeVでも30cm程度で十分であるので、エネルギーを高くしても、この点についても変わらないことが分かった。しかし、最大強度となる減速材の位置は、図3からも推測できるように、2GeVの方が0.8GeVに比べて入射ビーム方向からみて奥側になる。

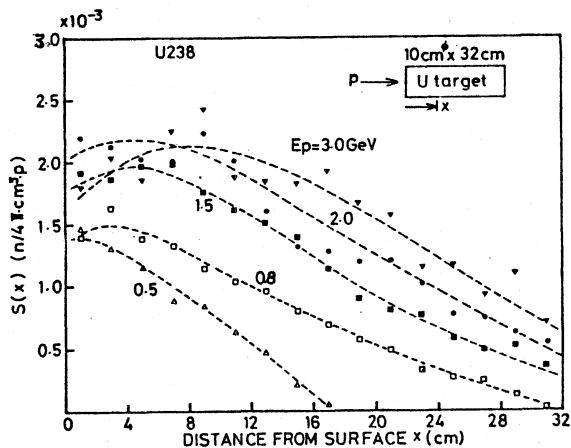


図3 ターゲット軸方向の中性子分布

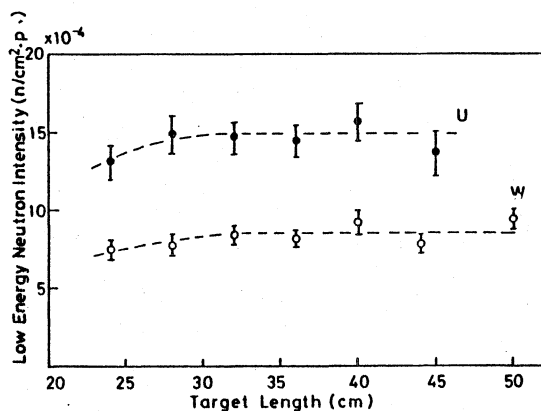


図4 ターゲット長さとの低エネルギー中性子強度

プロトンエネルギーを高くすることによって、ターゲットから放出される高エネルギー中子（15MeV以上）の強度が増加することが考えられる。一例として、ターゲット後方端面から放出される15MeV以上の中子の積分強度を図5に示す。0.8GeVの時と同程度の高エネルギー中子の漏れにしようとする、2GeVでは約50cmのターゲットの長さが必要となる。半径方向についても同様の傾向が見られた。この中子は平均自由行程が長いので、減速材集合体を突き抜け、実験室等のバックグラウンドを上げる原因となるので、十分遮蔽することが必要である。

4. まとめ

2GeVプロトン用いたときのスパレーションターゲットについて、減速材から放出される低エネルギー中子強度が最大となるサイズを求めた。その大きさは半径が約5cm、長さが約32cmであることが分かった。これは0.8GeVの時と殆ど変わっていない。しかし、ターゲットから放出される高エネルギー中子の強度は、同じターゲットサイズでは、2GeVの方が非常に強い。このような中子の遮蔽のためには、ターゲット周囲に重金属でかつ中子反射体としても有効な物質を置くことが、最も効果があると考えられる。

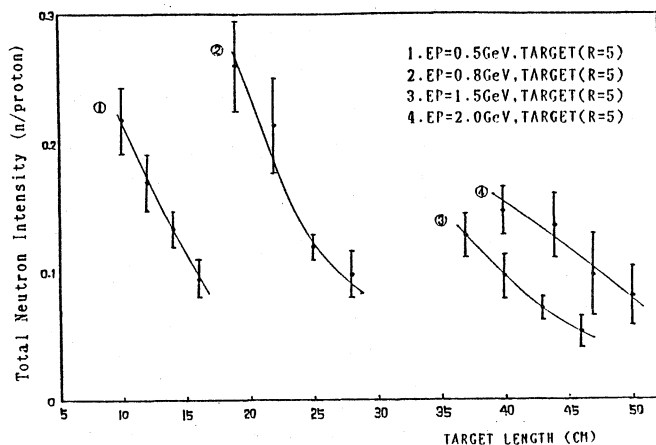


図5 漏洩高エネルギー中子強度

引用文献

- (1) F. Atchison, RL-81-006 (1981).
- (2) Y. Nakahara and T. Tsutsui, JAERI-M 82-198 (1982).
- (3) M. Nakagawa and T. Mori, JAERI-M 84-126 (1984).