

課題名 (タイトル) :

不安定核生成における熱負荷および放射線損傷計算

利用者氏名 : 大西 哲哉

所属 : 和光研究所 仁科加速器研究センター

実験装置運転・維持管理室/RI ビーム分離生成装置チーム

1. 本課題の研究の背景、目的、関係するプロジェクトとの関係

2007 年度に稼働した RI ビームファクトリーでは、超伝導 RI ビーム生成装置 BigRIPS を用いて放射性同位元素ビーム (RI ビーム) を生成し、様々な不安定核実験が行われている。BigRIPS は超伝導四重極電磁石、常伝導双極電磁石、生成標的システム、ビームダンプシステム、真空チェンバー及び各種ビーム診断用機器等で構成されている。RI ビーム生成時には大量の荷電粒子及び中性子が生成され、特に標的直後やビームダンプ近辺に設置された超伝導電磁石に対し、多大な熱負荷や放射線損傷を与える。また、その他のビームラインに設置されている機器に対しても、放射線による影響を及ぼす。本研究では、シミュレーション計算を用いて熱負荷分布や放射線の発生場所及び軌跡を調査し、遮蔽物による対策について検討を行うことを目的としている。

2. 具体的な利用内容、計算方法

計算は原子力科学研究所にて開発されている重イオン輸送総合コード Phits を使用し、MPI ライブラリを用いた並列計算でモンテカルロシミュレーションを行っている。計算では入射粒子と標的との反応による生成粒子だけでなく、様々な機器から生成される粒子に対しても輸送計算を行い、物質との反応過程を取り込んでいる。ここで、不安定核の生成という統計事象を取り扱っているため、様々な核種の影響及び電磁石コイルの局所分布などをみるためには計算回数(統計)を上げる必要がある。そのため RICC のクラスタシステムを利用した大規模計算を行っている。

3. 結果

今年度は、大強度 ^{48}Ca ビームと BigRIPS を使った中性子過剰不安定核の実験が行われた。その際、標的直後に設置された超伝導四重極電磁石内部にある液体 He を使って冷却されている 4K 領域への熱負荷を実際に測定することができた。この熱負荷測定は、超伝導電磁

石冷却システムにおける液面制御(液面が一定になるように過冷却防止ヒーターを調整する)を用いて、ビームによる熱流入を評価したものである。このようにして得られた結果と、実験パラメーター(標的、磁場設定、ビーム強度など)を使用した計算結果の比較を行った。

表 1 に、今回の比較で用いた ^{48}Ca ビーム実験の設定と測定された 4K 領域への熱負荷、そして、計算による結果を示した。表 1 における ^{31}Ne , ^{32}Ne 設定は 2008 年に行われたもので、 ^{240}O , ^{33}Al 設定は 2010 年に行われたものである。また 2010 年での実験では、生成標的直後に遮蔽スクレーパーが設置されている。

表 1 標的直後の超伝導電磁石への熱負荷

目的の不安定核	^{31}Ne	^{32}Ne	^{240}O	^{33}Al
実施年	2008 年	2008 年	2010 年	2010 年
標的	Be 15 mm	Be 20 mm	Be 15 mm	Be 10 mm
磁気剛性	8.2 Tm	8.4 Tm	8.1 Tm	7.0 Tm
平均ビーム電流値	0.53 μA	2.3 μA	3.5 μA	3.7 μA
測定値	11.9 W	42.6 W	32.7 W	26.8 W
計算値	12.0 W	63.8 W	45.9 W	34.4 W

表 1 の結果をみると、計算が測定値をよく再現していることが分かる。計算値の方が 1.3~1.5 倍ほど測定値より大きい値を与える傾向にある (^{31}Ne の場合はほぼ 1 倍)。

次に、標的直後での超伝導電磁石内における熱負荷分布を図 1 で示した。図 1 において、上図がビーム水平面、下図がビーム垂直面での熱負荷分布を表している。これらの分布は ^{240}O 設定での計算結果である。この場合では標的直後に遮蔽スクレーパーが設置されており、大部分の荷電粒子や中性子がこれにより遮蔽されている。しかしながら、標的からの放出角度が小さい荷電粒子は、この遮蔽スクレーパーで止めることがで

きない。その中でも陽子などの軽い荷電粒子は磁石内での軌道が目的とする不安定核とは大きく異なるため、磁石の内側から 4K 領域に侵入してしまう。その結果大きな熱負荷を与えることとなる。

図 1 で磁石内側に熱負荷が分布しているのは、これらの理由によるものである。

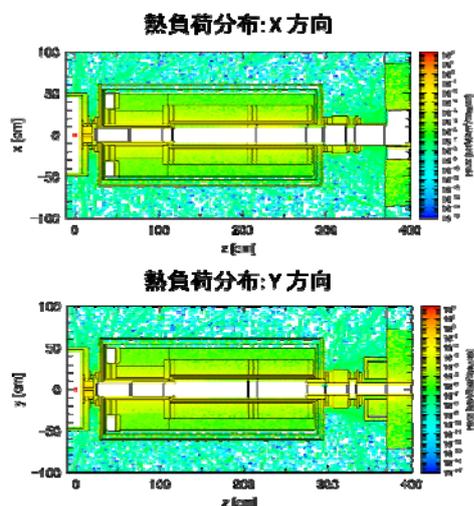


図 1 生成標的直後の超伝導電磁石における熱負荷分布(計算は ^{24}O 設定の時。)

単位 MeV/source は 6×10^{12} 個のとき 1W となる。

ビームは図中左からやっていくる。

また、遮蔽スクレーパーの効果は、表 1 における ^{31}Ne と ^{24}O 設定を比較することで得られる。これは標的厚及び磁気剛性の値が近いためである。同じビーム電流値にスケールして比較すると、計算では約 40% 程度熱負荷を下げる事ができるのに対し、実際は約 58% 程下げることができた。熱負荷と同様によく再現していると言える。

4. まとめ

今年度はこれまで計算しなかった熱負荷を実験で測定することができた。その結果計算と実験値を比較し、計算がよく再現することが分かった。これは、今後の大強度ビームを用いた実験での熱負荷や放射線損傷などの評価にとって非常に有益な結果である。また、さらに熱負荷を下げるための遮蔽スクレーパーの設計に役立つものである。

5. 今後の計画・展望

今回得られた結果を踏まえ、より熱負荷を下げるための遮蔽スクレーパーの設計を進めていきたい。また、

今回比較した ^{48}Ca ビームだけでなく、クリプトンやキセノンまたはウランなどのビームでの熱負荷も、測定と計算との比較が重要である。

平成 22 年度 RICC 利用研究成果リスト

【国際会議などの予稿集、proceeding】

T. Ohnishi, K. Kusaka, and T. Kubo: “RADIATION TRANSPORT CALCULATION USING PHITS CODE FOR RADIATION HEAT LOAD AND DAMAGE TO SUPERCONDUCTING RADIOACTIVE ISOTOPE BEAM SEPARATOR BigRIPS AT RIKEN “, Progress in Nuclear Science and Technology, in press.

【その他】

ポスター発表

T. Ohnishi, K. Kusaka, and T. Kubo: “RADIATION TRANSPORT CALCULATION USING PHITS CODE FOR RADIATION HEAT LOAD AND DAMAGE TO SUPERCONDUCTING RADIOACTIVE ISOTOPE BEAM SEPARATOR BigRIPS AT RIKEN “, SNA+MC 2010, 一橋メモリアルホール 東京、2010 年 10 月 17-21