

表面イオン化器の磁場についての検討

A. Tamii

ver 1.0 23-NOV-2004

1 序

偏極 ${}^6\text{Li}$ 原子線は、表面イオン化器 (Surface Ionizer) において高温に熱した酸化タングステンに照射することにより 1 価にイオン化され、グリッド電極により加速されて引き出される。このイオン化の過程では、偏極を保持するための外部一様磁場を要する。

このメモでは、表面イオン化器の磁場の要請に関して検討する。ただし、1 価イオンの引き出しのトランスポートが未検討であるため最終的な要請とはならない。現段階では現偏極からの要請のみが検討されており、参考程度である。

2 磁場強度

表面イオン化器の磁場の主たる役割は、イオン化の過程における偏極の保持である。

例えば、 ${}^6\text{Li}$ 原子が、イオン化後に電子捕獲した後に再イオン化されたり、原子の励起状態や脱励起の過程を経由してイオン化されたりして引き出された場合には、電子のスピンと原子核のスピン間の超微細相互作用により原子核のスピンが方向を変え、減偏極をすることがある。

このような効果のほとんどは最外殻電子のスピンと原子核のスピン間の超微細相互作用により引き起こされるものである。超微細相互作用は最外殻電子が $2S_{1/2}$ 状態にいる時に最も大きいため、 $2S_{1/2}$ 状態の超微細相互作用を脱結合するだけの磁場強度があれば、減偏極は抑えられると期待できる。

$2S_{1/2}$ 状態の超微細相互作用の臨界磁場は $B_c=81.5$ Gauss で [1]、通常この臨界磁場の 4 倍程度以上の磁場強度があれば十分とされる [2]。実際 Heidelberg では ${}^6\text{Li}$ に対して $B_c=82$ Gauss の 4 倍の磁場を [2]、FSU では ${}^7\text{Li}$ ($B_c=287$ Gauss) に対して 1 kGauss の磁場をかけている。したがって今回の偏極 ${}^6\text{Li}$ の生成に対しては、330 Gauss 以上であれば良いと考えられるが、将来的に 1 価の偏極 ${}^7\text{Li}$ を作る可能性も含めて、1 kGauss の磁場を生成できることを要請する。

その他に考慮すべき要因として、グリッドで加速して引き出す場合の磁場による回転半径がある。FSU と同様に酸化タングステンを原子線に対して 45° の角度に設置し、タングステンに対して垂直に加速された 1 価の ${}^6\text{Li}$ を磁場により 45° 回転させて鉛直上向きに引き出す予定である。FSU では、 ${}^6\text{Li}$ の場合は 800 Gauss 中で 450 V の相対電圧で加速し、 ${}^7\text{Li}$ の場合は 1 kGauss 中で 850 V の相対電圧で加速している。この時の磁場中での回転半径は約 10 cm である。本イオン源の開発でも同程度の回転半径を想定している。この回転半径の調整は引き出しグリッド (表面イオン化器の容器と同電位) の電位を調整することで可能である。

3 磁場一様性

${}^6\text{Li}$ 原子の状態では原子核のスピンは電子のスピンの方に巻きついているが、1 価にイオン化された時にスピンの方向が固定される。そのため、1 価のイオンの原子核のスピン方向がばらつかない程度に、磁場の方向が揃っている必要がある。

この効果による減偏極はコサインで効くため、条件としては非常に緩いものとなる。たとえば、磁場の方向が 10° 傾いている場所でイオン化された場合の原子核スピンの減偏極は $1 - \cos 10^\circ = 1.5\%$ 程度である。

また、磁場の大きさのばらつきは減偏極には関係しないと考えて良い。

4 磁場の一様性を要求する領域

FSU の表面イオン化器のタングステンは、ノズルから 370 mm の位置にある [3]。同位置にタングステンを設置する場合、ビームの広がりとして 20 mr を仮定していることから [4]、タングステン位置でのビームの広がり、 ± 8 mm である。タングステンを 45 度の角度に設置している為、原子線進行方向も ± 8 mm の領域が必要である。なお、FSU のタングステンの大きさは 2×2 cm である [3]。

このことから余裕をみて、磁場一様性を要請する範囲を表面イオン化器の中心から半径 10 mm の球内とする。

5 その他の条件

表面イオン化器の磁場は、1 価イオンビームのトランスポートに直接影響する。したがって、最終的な磁場の要請の決定には、1 価イオンビームのトランスポートの検討が不可欠である。

6 まとめ

表面イオン化器の磁場に対する、減偏極の検討からの要請を挙げる。

- 最大使用磁場 1 kGauss
- 一様性: 磁場の主磁場方向に対する角度が 10° 以下であること。
- 一様性を要する領域: 中心から半径 10 mm の球内

最終的な磁場の要請の決定には、1 価イオンビームのトランスポートの検討が不可欠である。

磁極の構造として C 型を想定している。原子線の入射方向、原子線偏極度計の方向、1 価イオン引き出し方向、および鉛直下部 (タングステン引き出し方向) は開いている必要がある。従って、リターンヨークの方向は斜め方向以外の解は難しい。

タングステンの電位は、最終加速電圧 (19 kV) と同程度である必要がある。表面イオン化器の容器は引き出しグリッドと同電位であり、引き出し電圧はタングステンの電圧との相対で -500 から -900 V 程度であるから、表面イオン化器の容器は 19 kV 程度の電位になければならない。磁石も容器と同電位に設置するものと予想される。

参考文献

- [1] A. Tamii, 「 ${}^6\text{Li}$ 原子の超微細構造」, ver 1.1.
- [2] E. Steffens *et al.*, Nucl. Instrum. and Methods **143** (1977) 409.
- [3] E.G. Myers *et al.*, Nucl. Instrum. and Methods in Phys. Res. **B56/57** (1991) 1156.
- [4] A. Tamii, 「 ${}^6\text{Li}$ 原子のオプティカルポンピングに必要なレーザー強度に関する検討」, ver 1.3.