

原子線偏極度測定部の磁石の設計に関する検討

A. Tamii

ver 1.0 14-JAN-2005

1 序

^6Li 原子線の偏極度はレーザー誘起蛍光 (Laser Induced Fluorescence, LIF) により測定する。ここでは、磁場の要請に関する検討 [1] に基づき、原子線偏極度測定部の磁石の具体的な設計について検討する。

2 要請

以下、磁石に関する要請を各項目に分けて説明する。

2.1 LIF 測定からの要請

LIF 測定のスเปクトルに関する考察から、LIF 偏極度計の中心部に関する磁場を下記の様に要請している [1]。

- 最大使用磁場 1 kGauss
- 磁場一様性 1%
- 一様性を要する領域
 - 磁場と平行な方向 (水平方向) に ± 5 mm
 - 磁場と垂直な方向 (原子線進行方向) に ± 5 mm
 - 磁場と垂直な方向 (鉛直方向) に ± 20 mm

2.2 磁石形状

原子線の入射方向、出射方向は開いている必要がある。鉛直上側は蛍光測定に使用する予定で開いている必要このため磁極の構造として C 型を想定し、リターンヨークの方向は鉛直下側もしくは斜め方向となる。

2.3 ギャップ

原子線のビームの広がりとして 20 mr を想定している [2]。原子線のノズルから LIF 偏極度計までの距離を 800 mm と想定している ([3] 図面より読みとり) ので、LIF 偏極度計でのビームの広がりには ± 16 mm 程度である。

この観点からは、磁極のギャップは 40 mm 以上あるのが望ましい。しかし、ドップラー効果による源泉吸収線幅の広がりから、磁場方向のビームエミッタンスを全て使用することはできず、上流部でコリメートする必要がある。試算によれば [1]、コリメート後の磁場方向広がりには ± 1.9 mr 程度、LIF 測定部で ± 1.5 mm 程度となる。

この検討では、磁極のギャップを 40 mm とする。

2.4 レーザー導入孔

磁極の中心にはレーザー光を入射する穴が開いている必要がある。対称性の確保およびレーザー光のアラインの為、両方の磁極に同じ大きさの穴を開けることとする。穴の大きさは、鉛直方向に ± 20 mm 以上、水平方向に ± 5 mm 以上である。

この大きさの穴を開けて磁場の一様性 1% を確保できるかどうかポイントの 1 つとなる。

なお、鉛直方向 ± 20 mm の範囲の全領域で一様性 1% を確保できない場合は、鉛直方向に領域を区切って領域毎に偏極度を測定する (レーザーの照射位置を順次移動する) 次善策が考えられる。

2.5 要請に関するまとめ

以上の、磁石設計に関連する要請を下記にまとめる。

1. 磁石形状を C 型とする。
2. 磁石の磁極間ギャップを 40 mm とする。
3. 最大使用磁場 1 kGauss
4. 磁場一様性 1%
5. 一様性を要する領域
 - 磁場と平行な方向 (Y、水平方向) に ± 5 mm
 - 磁場と垂直な方向 (X、原子線進行方向) に ± 5 mm
 - 磁場と垂直な方向 (Z、鉛直方向) に ± 20 mm
6. レーザー光導入孔
レーザーは、磁場と平行な方向に導入する。両磁極に 10 (水平方向) $\times 40$ (鉛直方向) mm^2 以上の孔を開ける。

3 磁石の形状

前節の要請をもとに、磁石のデザインを行った。設計案を図 1 に示す。

以下にポイントをまとめる。

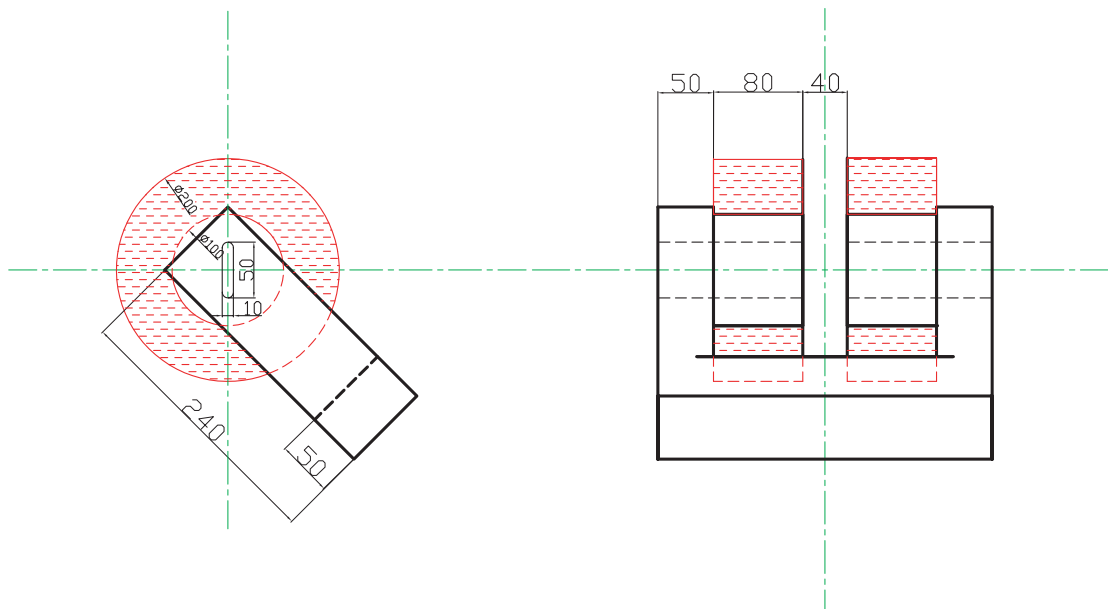


図 1: 磁場計算に使用した電磁石の構造。

- 磁極間ギャップを 40 mm としている。
- 磁極は直径 100 mm の円筒形。
- リターンヨークの厚さは 50 mm。
- フィールドクランプなし。
- コイル断面は 50(径方向)×80(軸方向) mm² (さらに小さくできる)。
- 起磁力 1880 AT/Coil。この場合の中心磁場は、1124 Gauss。
- レーザー導入孔は 10×50 mm² R5 の長孔。
- 80%のコイルパッキング率を仮定すると、コイル断面積は $S=0.8 \times 5 \times 8=32 \text{ cm}^2/\text{Coil}$ であるから、電流密度は、

$$J = \frac{AT}{S} = \frac{1880 \text{ A}}{32 \text{ cm}^2} = 59 \text{ A/cm}^2 \quad (1)$$

銅の体積比抵抗として $\sigma=2 \times 10^{-8} \text{ } \Omega \text{ m}=2 \times 10^{-6} \text{ } \Omega \text{ cm}$ [4] を仮定する。コイルの平均長は $\bar{L}=2\pi \times 7.5 \text{ cm}=47 \text{ cm}$ であるから、発熱量 W は、

$$W = J^2 \sigma \bar{L} S = (59 \text{ A/cm}^2)^2 \times 2 \times 10^{-6} \text{ } \Omega \text{ cm} \times 47 \text{ cm} \times 32 \text{ cm}^2 = 11 \text{ W/Coil} \quad (2)$$

4 シミュレーション

前節の磁石の形状を仮定し、Opera3D TOSCA を用いて磁場分布のシミュレーションを行った (LIF003)。

磁極、リターンヨーク、フィールドクランプの材質として、TOSCA に内蔵されている tenten を用いた。

軸上の磁場分布を添付図 2,3,4 に示す。

1880 AT/Coil の電流を流した場合、中心磁場は 1124.3 Gauss、一様性を要求している領域内の最大磁場は 1131.6 Gauss (+0.6%)、最小磁場は 1119.6 Gauss (-0.4%) であった。

一様性 1% 以内という要請にほぼ一致する結果が得られている。

5 まとめ

このシミュレーションにて想定した磁石は、要請される性能をほぼ満たしていると考えられる。

- 磁極直径 100 mm
- 磁極ギャップ 40 mm
- フィールドクランプなし
- 起磁力 1,880 AT/Coil

シムを付けるなどの改善策を施すことにより、さらに一様性を上げることができる可能性がある。真空容器は磁石と一体物でも構わない。レーザー導入孔の窓や、LIF 観測用の窓を付ける必要がある。

参考文献

- [1] A. Tamii, 「原子線偏極度測定部の磁場についての検討」, ver 1.0.
- [2] 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.
- [3] A.J. Mendez, Phd Thesis, Florida State Univ., 1993, unpublished.
- [4] 理科年表 2002 年版、(丸善,2001) pp. 424 より 0°C で 1.55、 100°C で 2.23 ($10^{-8}\Omega\text{m}$).