

イオンや電子などの粒子ビームは加速器を使って作られ、原子核や素粒子物理、物性研究などの基礎科学や、産業・医療分野において非常に重要な役割を果たしてきました。そして最近では電荷を持たない中性子もその対象になり、これらのビームは更なる高度化が必要とされてきています。加速器自身の小形化、高性能化、高機能化などの推進のために、それぞれに**要素技術の開発**が重要で、一方、加速される**ビーム自身の振る舞いの研究**も重要です。これらを総称する「**ビーム物理**」の研究を推進しています。

## 国際リニアコライダー(ILC)要素技術の開発

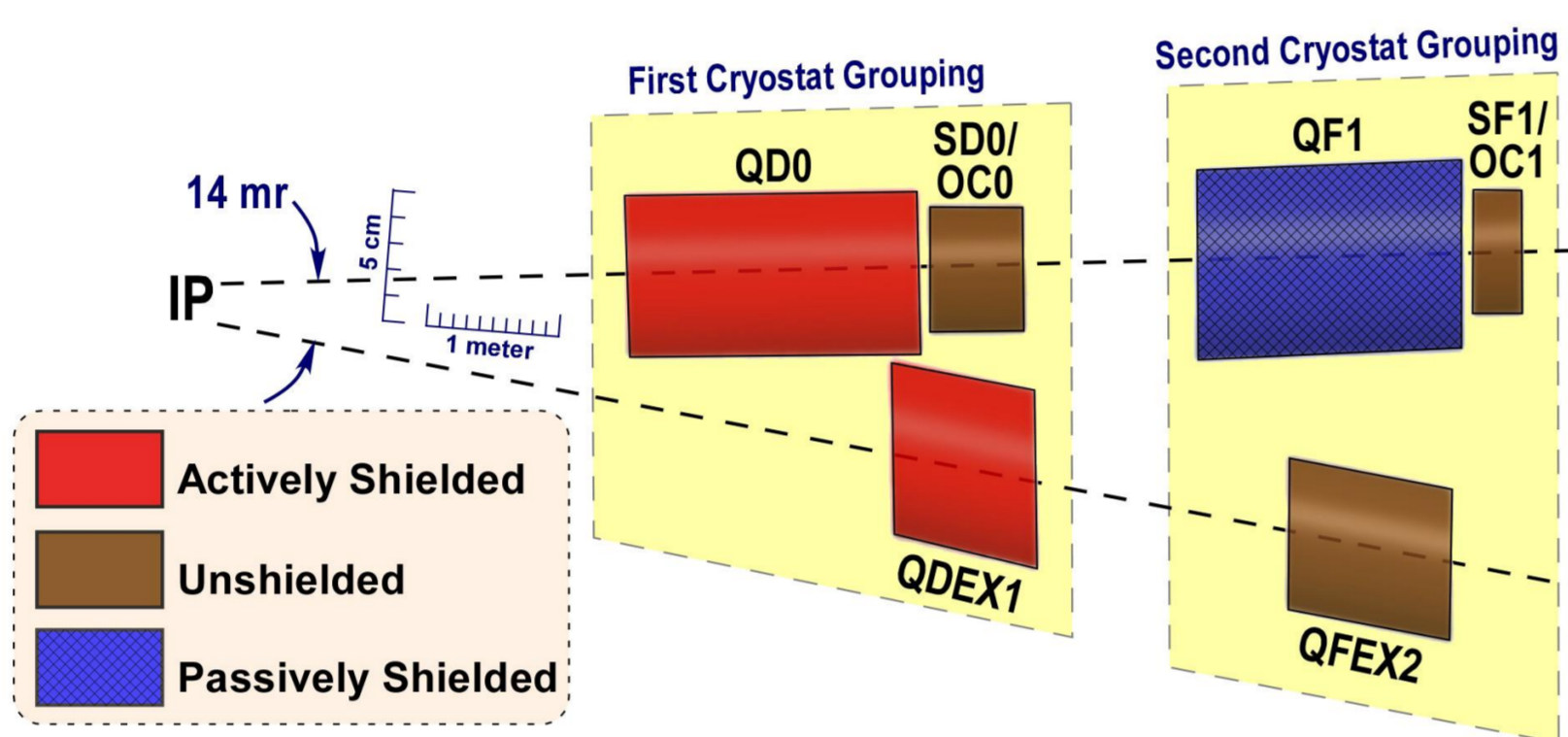
### 最終集束系四極永久磁石

現在、LHC(大型ハドロン衝突型加速器)で発見された**ヒッグス粒子の性質の精密測定**を目指し、最大エネルギー1TeVで電子・陽電子の衝突実験を行うILC計画が、国際協力のもと勢力的に推進されています。

用いられる加速器は、円形加速器だとシンクロトロン放射しやすく、エネルギー損失が起こりやすいという問題点が存在するため**線形加速器**となります。この場合衝突回数は1回のみとなり、**ルミノシティ**が必然的に小さくなってしまいます。ルミノシティの減少を防ぐためには衝突点でのビームサイズをいかに小さく絞るかという課題が存在します。ILCでは**37nmビームサイズの実現**を目指しています。

最終集束系で用いられる磁石として、常伝導磁石ではILC計画が要求するエネルギーを持つ電子ビームを集束するための磁場勾配を実現

できないので、超伝導磁石による集束が予定されています。ただしこの場合冷却用にクライオスタットが必要となり、液体ヘリウムの振動による磁石中心のずれ等の影響が危惧されます。

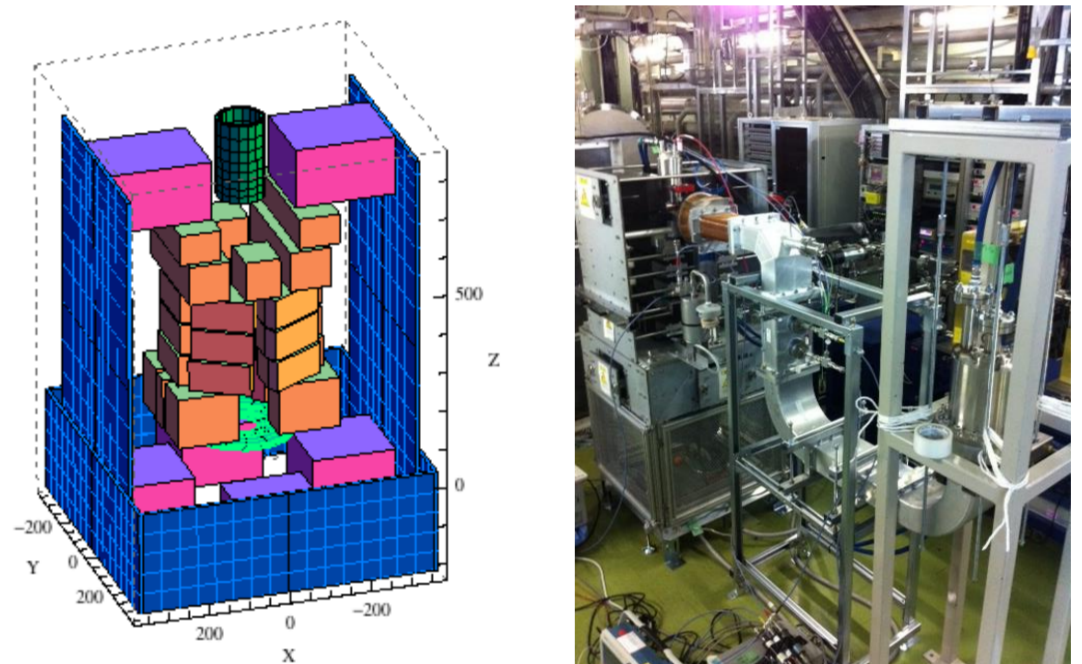


そこで私たちは運転中に振動が発生せず、ビームを集束させる強度可変の強力な**永久磁石**を用いた最終集束系を提案しています。さらに、ビームを強集束することができる**四極永久磁石の製作、及びその性能評価**を行っています。

### クライストロンビーム集束用永久磁石

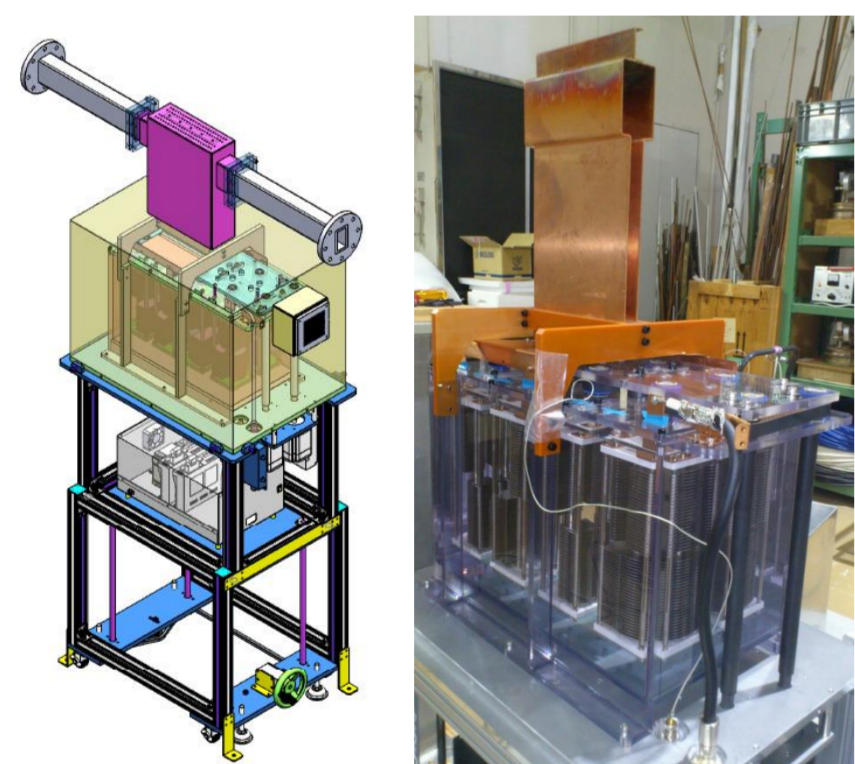
ILC計画の高周波電力供給方式として、8000台に及ぶクライストロンユニットを配置してそれぞれの故障率をできるだけ下げることが重要となります。クライストロンのビーム集束用の磁石として電磁石を従来は使用していましたが、この場合コイル電源、冷却水系、電磁石自身において故障が生じる可能性があるため、永久磁石に置き換えることを考えました。

本研究では、コストパフォーマンスの良いクライストロンビーム集束用の永久磁石の設計・製作を行いました。製作した集束磁石を用いたクライストロンのパワーテストを高エネルギー加速器研究機構(KEK)において実施し、電磁石を用いた場合との比較を行いました。結果として、電磁石を用いた場合の93.7%の出力が得られることが分かりました。



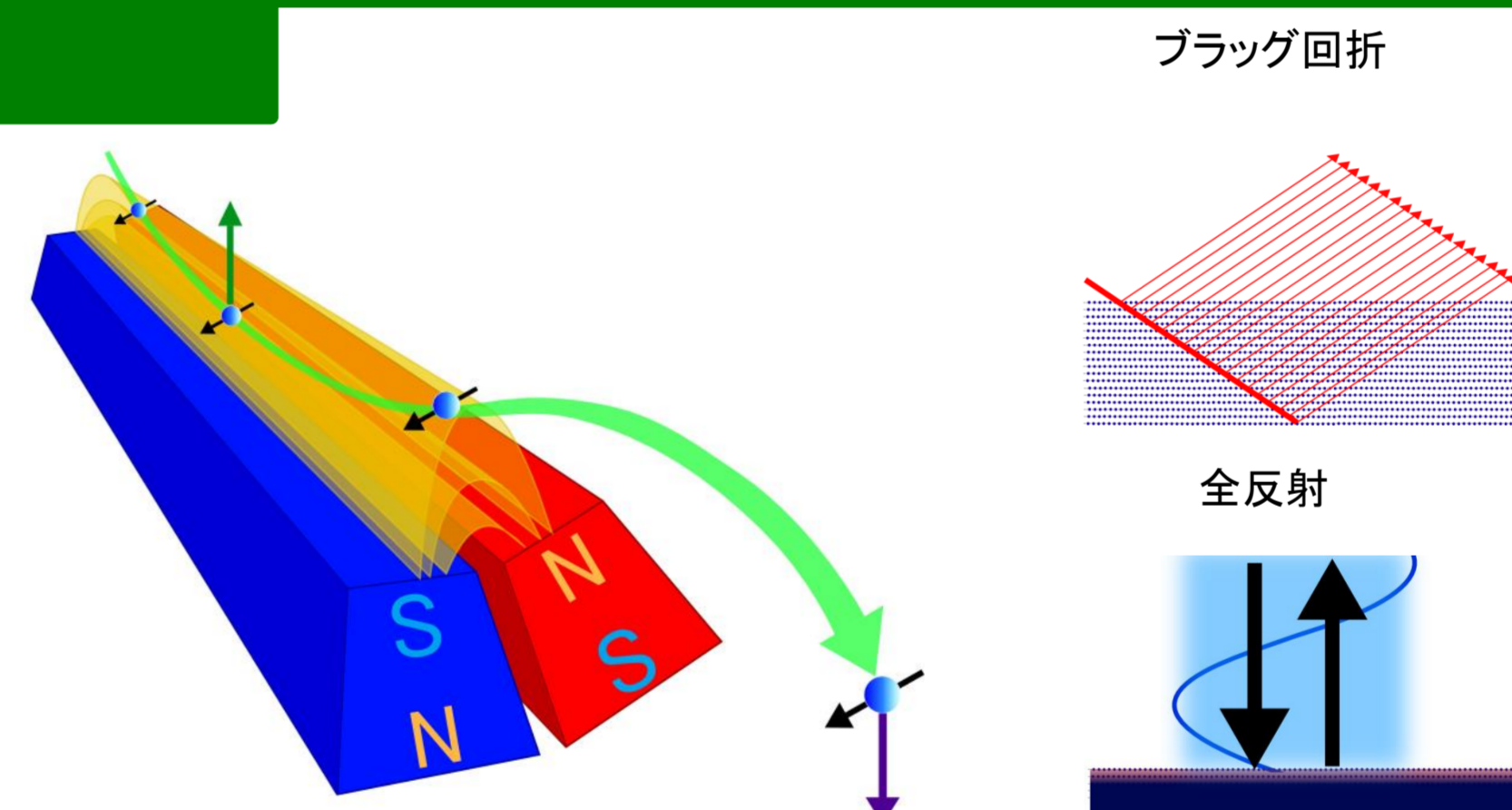
## 中性子光学・基礎物理

電荷を持たず電場の影響をほとんど受けない中性子は、 $10^{-3}$  eV以下の低エネルギーにおいて物質の分子構造やサブミクロン領域の未知の短距離力、重力などを精密に測定するための非常に有用なプローブとなります。中性子は磁場勾配中ではスピンの力を受けて運動を変化させ、多層膜結晶中ではX線のように**ブラッグ回折**し、 $10^{-7}$  eV程度のエネルギーでは数十ナノメートル以上の大きな波長をもつために物質表面で**全反射**を起こします。これらの性質を利用して中性子ビームを光学的に取り扱い、様々な実験を行うのが中性子光学です。



超冷中性子リバンチャー

我々のグループは中性子が内部に持つと予想される非常に微小な電気双極子の大きさの測定を目指しています。この大きさは素電荷の電気双極子で表すと最低でも  $10^{-27}$  cm 以下となります。このような精密測定をより有効に行うために我々は実験容器中に低エネルギー中性子を集束させて詰め込むレンズの役割をする装置「**超冷中性子リバンチャー**」を開発し、その集束原理が正しいことを2011年に実証しました。中性子は磁場勾配から力を受けるため、たとえば磁場に入射する際にはスピンの向きに従って中性子は加速ないし減速を受けますが、磁場から脱出する際にはその逆の作用を受けて磁場中の加減速はキャンセルされてしまいます。そこで磁場中にスピンフリップパーを設置してNMRの要領で中性子のスピンを反転させ、磁場の影響をキャンセルさせないようにするのがこの装置の動作原理です。我々は現在、より高い集束効率を目指してその改良機を開発中です。

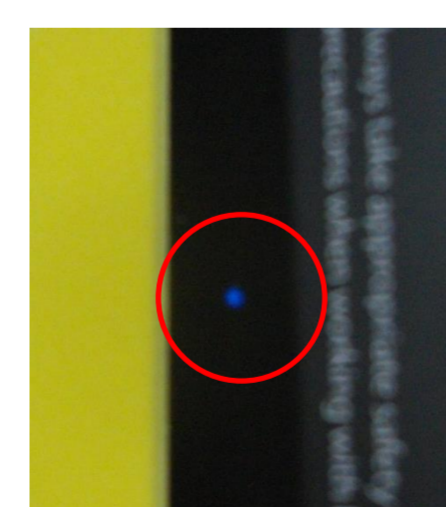
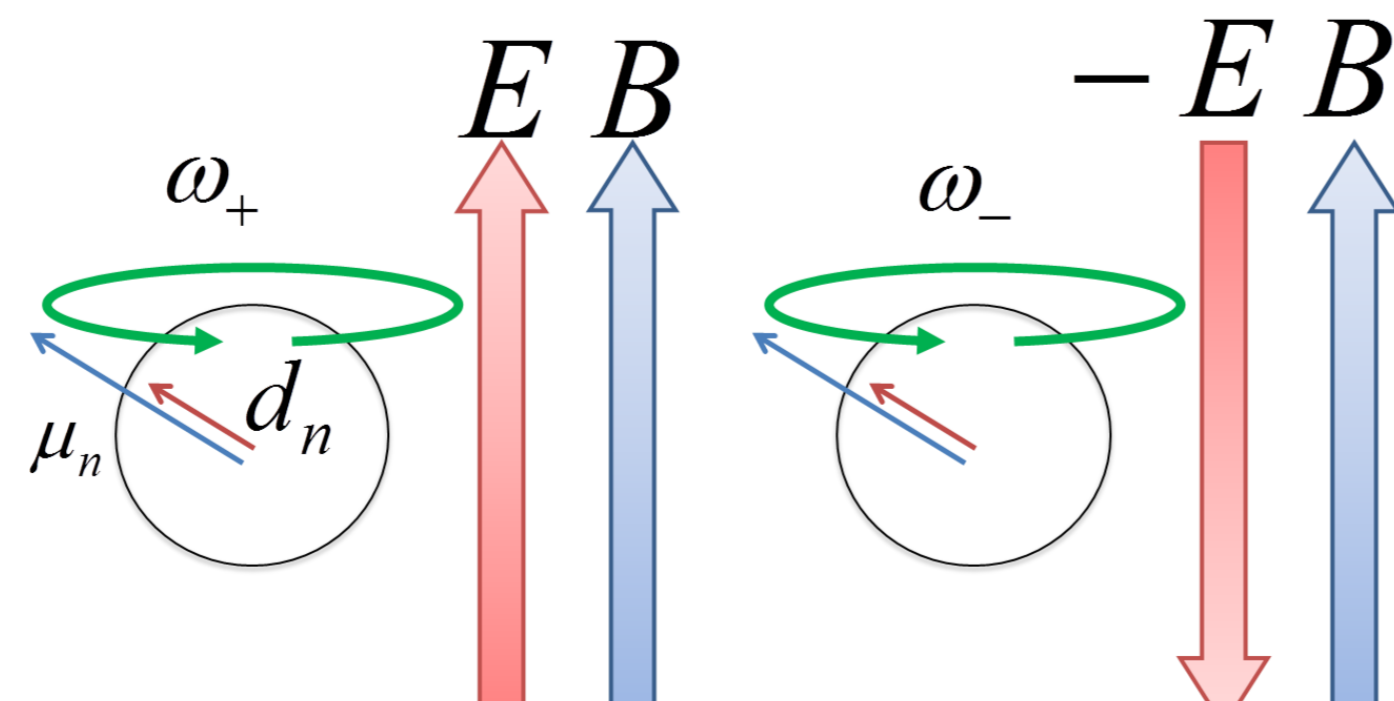


## 高精度共存型NMOR水銀磁束計の開発

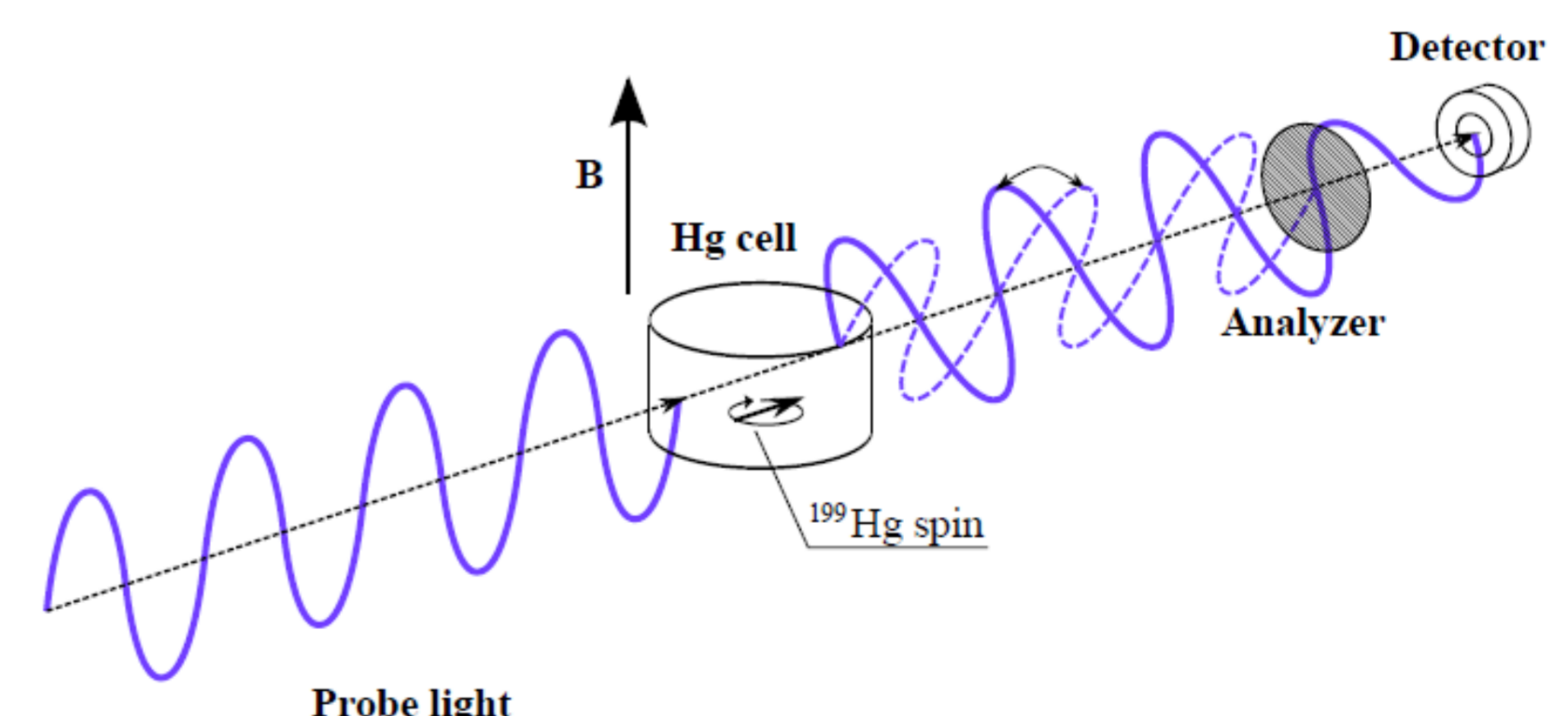
nEDMを測定するためには磁場の精密な測定が必要です。水銀を使った磁束計はILLで行われており、その実験で測定された値が現在のnEDMの上限値となっています。この時の磁場測定精度は $10^{-6}$  [T]に対し $10^{-13}$  [T]の精度(7桁落ち)でした。また、中性子と水銀ガスを同時に蓄積セル内に入れることで、中性子が実際に感じている磁場を精密に測定することができました。このような磁束計をco-magnetometerと言います。我々はNMOR(Non-Linear Magneto Optical Rotation)を利用した共存型磁束計の開発を行っています。これにより $10^{-16}$  [T](ILLの3ケタ上)の精度で磁場を測定することができ、nEDM探索に大きく貢献することができます。

$$\phi(\omega_+ - \omega_-) = \frac{4d_n ET}{\hbar} + \frac{2\mu_n T}{\hbar} \delta B$$

磁場の揺らぎによるノイズの大きさ



使用する光  
254nm UVレーザー



NMORとは...

日本語では非線形磁気光学回転といいます。一般的にはファラデーローテーションとも言われています。磁場中の試料に磁場の方向と平行になるように直線偏光のレーザーを照射すると偏向角が回転するというものです。この場合、偏極させた水銀ガスの磁気モーメントが作る磁場の向きにレーザーを照射することでNMORが起こります。磁気モーメントはらーもあの歳差運動をしているので、偏向角はラーモア周波数で変動します。このため偏向角の時間変化を測定することで磁場の強さを想定することができます。