



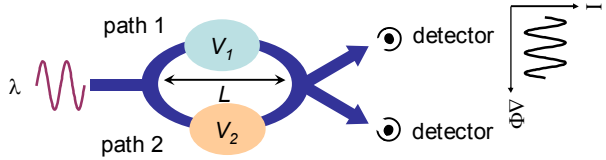
多層膜冷中性子干渉計の開発



基礎物理への応用を目指して

中性子干渉計とは？

中性子を2経路に分けて、経路間の位相差を変化させることで干渉縞を観測



位相差

$$\Delta\phi = 2\pi \frac{m\lambda L}{h^2} \Delta V$$

m: 中性子質量, λ: 中性子波長,
h: Planck 定数, L: 相互作用距, ΔV = V₁ - V₂

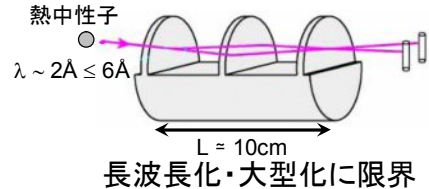
→長波長中性子に適用できる大きな干渉計で高感度測定が可能

中性子干渉計は分離した波動関数に働く相互作用の違いを分波を重ね合わせて生じる干渉縞の位相差から読み解きます。検出する位相差は中性子波長と使用する干渉計の大きさに比例するので、長波長中性子に適用できる大型干渉計が高感度の装置になります。

中性子干渉計はシリコン単結晶から切り出された熱中性子干渉計によって初めて実用化されました。この干渉計を使って、重力の効果による波動関数の位相変化の検出、スピノルの4π回転対称性の検証、中性子散乱長の精密測定などの実験が行われてきました。

めざましい成果を挙げてきたシリコン単結晶熱中性子干渉計ですが、問題点もあります。まず、中性子波の分波に結晶の周期性を用いているため格子定数の2倍を超える長波長中性子には使用できません。さらに、干渉計の大きさも育成可能な単結晶の大きさに制限されてしまいます。

従来のSi単結晶熱中性子干渉計

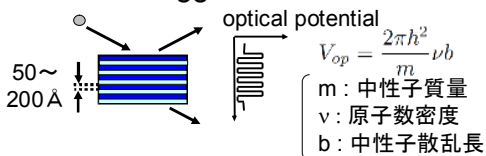


長波長化・大型化に限界

多層膜冷中性子干渉計 ~長波長化・大型化~

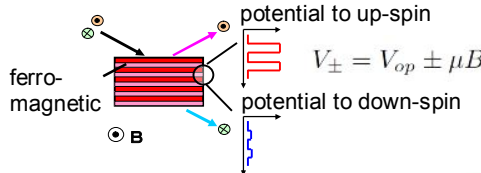
多層膜ミラー

冷中性子をBragg反射する人工1次元格子



磁気多層膜ミラー

スピンの向きについて選択的に反射

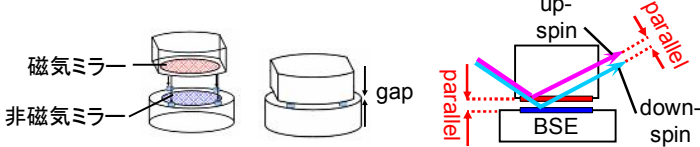


私たちのグループでは多層膜ミラーを用いて中性子干渉計の長波長化・大型化に取り組んでいます。

多層膜ミラーとは中性子に対する光学ポテンシャルの異なる2種類の物質を交互に積層したもので、冷中性子(λ = 数Å ~ 数十Å)をBragg反射するの最適の中性子光学素子です。一方の物質に強磁性体を組み合わせると、中性子スピンの向きについて選択的に反射する磁気多層膜ミラーにすることができます。

ビームスプリッティングエタロン (BSE)

多層膜をエタロンの高精度平行面に製膜



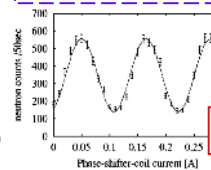
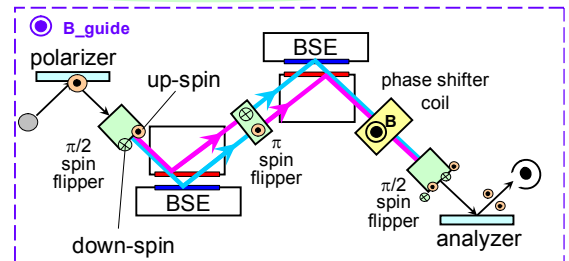
多層膜による冷中性子干渉計の開発は当初ミラーの位置あわせが困難でしたが、私たちはレーザー光学で用いられる超平面度基板“エタロン”を応用することでこれを緩和しました。

多層膜ミラーをエタロンの高精度の平行面に製膜し対向させたビームスプリッティングエタロン(BSE)は、入射する中性子を分波するとともに反射される2経路が平行であることを保証します。

私たちは2個1組のBSEを用いてJamin型干渉計を構成し、コントラスト60%という大変明瞭な干渉縞を確認することに世界で初めて成功しました。

→位相決定精度1.7mrad(干渉縞1周期の1/3800, 1.3feV相当!)

Jamin型多層膜冷中性子干渉計

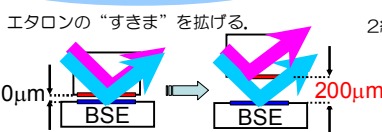


干渉縞の観測に成功!
4ミラー独立懸架では世界初!

$$\frac{1}{2} (\psi_{up} + e^{i\chi} \psi_{down})^2 = 1 + \cos \chi$$

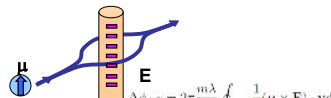
さらなる大型化と基礎物理の精密測定

2経路の完全分離

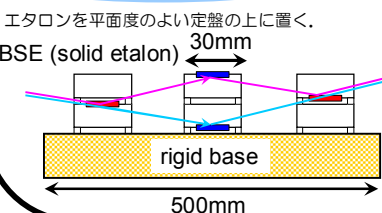


Aharonov-Casher効果

2経路が電荷の周りを囲む幾何学的配置を実現。



Mach-Zehnder型干渉計



重力の量子力学的効果

2経路の囲む面積が大きい干渉計が測定に適す。

$$\Delta\phi_g = -2\pi m^2 \frac{g}{h^2} A \sin \theta$$



実験施設



J-PARC (現在建設中)
物質・生命科学実験施設
パルス中性子源

実験は現在原研で行っています。

数年後にはJ-PARCでパルス中性子源が稼動し、広い波長帯域に渡って大強度中性子ビームが得られる予定です。

日本原子力研究開発機構 改3号炉
単色冷中性子ビームライン MINE2

この新たな中性子源を有効利用した高統計測定を実現するため、白色ビームに対応した多層膜干渉計の開発も行っています。

