

J-PARC 中性子基礎物理ビームライン (BL05/NOP) での 中性子の重力相互作用の検出

京都大学理学部 2020 年度課題研究 P2

小林滉一郎

2021 年 3 月 17 日

1 実験の目的

中性子の重力相互作用を見ることが実験の目的である. この測定を行うために, BL05 の中性子ビームをお借りした.

2 実験の概要

実験は 2 月 19 日から 2 月 24 日の間, 中性子ビームライン (BL05) をお借りして行った. 19 日から 21 日の間は前の実験グループの方がビームを利用していたため, 実験の準備期間, 具体的には DAQ・解析マクロの準備, また, 実験装置の不具合がないかの確認を行った. 22 日から 24 日の早朝 5 時半までテスト測定, 本測定を行い, 24 日の午前中に実験装置の片付けを行い, 撤収した.

実験の概念図は図 1, 図 2 のようになっている. ビームラインのすぐ前にコリメート用 Cd スリットを固定した. 検出器は図 2 で暗幕の中に覆われていて, スリットからの距離は 6.533 m である.



図 1: 中性子ビーム (奥からビームが来る)

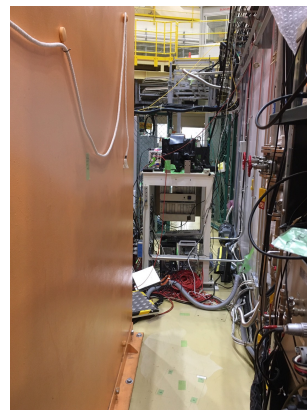


図 2: 検出器 (手前からビームが来る)

3 DAQおよび測定データ

中性子観測のために,ZnS(^6Li を添加) シンチレータを用いて, 光検出器としてマルチアノード PMT(受光面 49 mm×49 mm) を用いた.PMT の信号処理のために CAEN の digitizer (型番:DT5740) を使用した. これは depth を 192000 とし,1/16 にダウンサンプリングすることで約 49 ms の時間領域を記録することができる. 図 3 は中性子が検出された時間と検出された位置 (鉛直方向) をプロットしたものである.

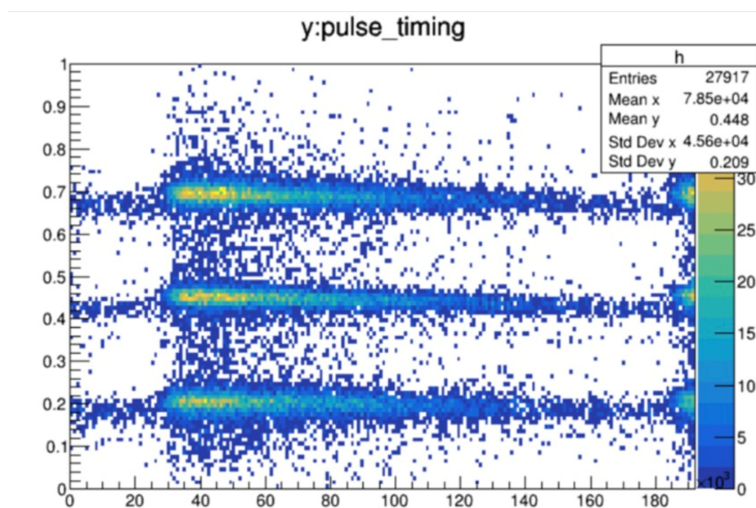


図 3: 取得データのヒストグラム. 横軸が時間 (1 メモリは 128 ns), 縦軸が中性子が検出された高さ y(1 メモリは 5 cm)

4 感想

実験では様々なことに悩まされた. 特に悩まされたのは, 信号処理用の CAEN の設定の中でトリガー位置の設定を変えても, 予想された位置に変わらないというバグが起きることだった. 幸いにも同じ run の中でトリガー位置が変わるといったことはなかったため, 解析に問題はなさそうなので助かった. 中性子を測定することに関してはスムーズにすることができ, 図 3 のようにデータ取得ができた. このプロットから時間の遅い中性子の方が高さが低いところで検出されていることが分かる. またこの実験から, 自分たちが考えた検出器がうまく測定できるものだとなり今までの頑張りが報われ, とても感動した.

今後はシミュレーションと比較してさらに解析を進め, 最終的には重力定数を導く予定である.

5 謝辞

本実験にあたり,BL05 装置責任者の三島様には大変お世話になりました. この場をお借りして御礼申し上げます.

J-PARC での中性子ビームを用いた重力の測定

京都大学理学部 2020 年度課題研究 P2

中西泰一

2021 年 3 月 18 日

1 実験の目的

我々の目的は中性子に働く重力を測定することである。中性子に働く微弱な重力効果を見るため、低温で発散の少ない、フラックスの大きなビームラインである MLF の BL05 をお借りして実験を行った。

2 実験の概要

実験は 2 月 19 日から 2 月 24 日にかけて行った。このうち、2 月 19 日から 2 月 21 日にかけては実験器具のセットアップやテスト測定、コード開発などを行い、22 日から 24 日の明け方まで測定を行った。24 日の朝から昼にかけて実験装置の解体や放射化のサーベイを行い、撤収した。

実験の概要図は以下の図 1 のようになっている。ビーム出口から出てきた中性子ビームをスリットを用いてコリメートし、スリットから約 6.5 m 離れた位置にある検出器で時間情報と位置情報を記録する。検出された中性子の分布が TOF によってどのように変化していくかを見ることで、重力の大きさを見積もる。

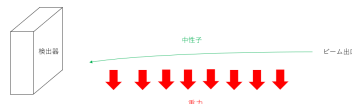


図 1 実験の概要図。中性子が観測された鉛直位置と中性子の飛行時間から重力の効果を見積もる。

3 実験装置データおよび DAQ

コリメート用のスリットには図 2 のようなカドミウムのスリットを用いた。全体の大きさは 50 mm×50 mm であり、5 mm 間隔で 0.5 mm のスリットが合計 9 本入っている。

検出器にはマルチアノード PMT と光拡散用石英ガラス、ZnS シンチレータを用いた。PMT は大きさが 52 mm×52 mm で有効領域が 49 mm×49 mm、光拡散用の石英ガラスは 50 mm×50 mm で厚さが 3 mm、シンチレータは 49 mm×49 mm で厚さが 0.25 mm のものを用いた。PMT の受光面に光拡散用石英ガラスと ZnS シンチレータを張り付けて暗幕で覆い、ステージ上に固定してビームライン上に置いた (図 3)。

検出器の信号を読み取るために CAEN 製の digitizer (型番:DT5740) を用いた。ビーム信号に delay をかけたものをトリガーとし、49.152 ms の時間領域を記録した。

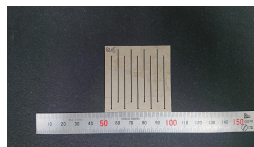


図 2 実験に用いたカドミウムスリット

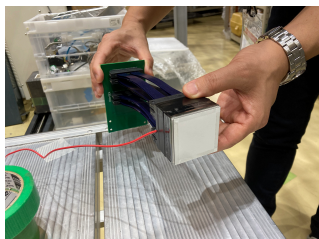


図 3 左が PMT にガラスとシンチレータを張り付けたもの、右がそれを暗幕で覆ってビームライン上に置いた様子 (真ん中にあるのが PMT)

4 測定データ

中性子が観測された時刻と鉛直座標の関係は図4である。今後はこのデータに対してフィッティングを行うことでパラメータを決定し、地上での重力加速度を見積もるという方向で解析をしていきたい。



図4 中性子の測定された時刻と鉛直位置の関係。縦軸はPMT上の位置を表しており横軸が測定された時刻。右の図は左で見えているスリット3本分のデータのうち真ん中のスリットに注目したもの。なお、線はその時刻で観測された中性子の平均の鉛直位置。両端に見えるイベントは隣のパンチのもの。

5 感想

滞在の間は解析用のプログラムを用意することに多くの時間をさくこととなった。実験中にほしいデータがとれているかを確認するためにも、見やすい形のデータを用意することのできるプログラムを書かなければならなかった。ソフトウェアの面については少し遅れていたため測定までに間に合うかを危惧していたが、準備時間として測定までに三日間の猶予があったので何とか間に合わせる事ができた。

データ取得の面では当初想定していたよりもうまくいった。もともと低速部分の中性子速度分布が定かでなく、低速なもののイベント数をためることができるかを危惧していたが、中性子ビームのフラックスが高く、低速部分も想像していたより多かったため、一晚の測定で低速部分の分布がはっきり見える程度まで統計をためることができた。また、J-PARCにおける電氣的なノイズが心配されていたが、想像以上に信号のSN比が良かったため、もともと予定していたところよりもさらに2倍にダウンサンプリングして長い時間領域をとることができたのもうれしい誤算であった。

一方で器具が想定外の挙動を示すというハプニングもあった。その挙動はCAENのdigitizerが正しくコンフィグファイルを読み込まないというもので、コンフィグファイルを変えずに何度か測定を行うと、そのたびに別の設定でデータが記録された。この挙動を起こした原因は不明であるが、装置の性能いっぱいを使っていることなどが関係している可能性もあると考えられる。ただどの設定でデータが記録されるかはわからないものの、一度データ取得のソフトウェアを動かしてしまえば止めるまでは同じ設定で記録され、設定自体もいくつかのパターンのうちのどれかが選ばれるようになっていたので、ある程度は後から予想することでデータが記録されたときの設定を知ることができるだろうと考えられる。

以上に書いたように様々な誤算や時間のなさに苦しめられたところもあったが、測定データに示したように中性子の分布が時間が経つにつれておそらく重力の効果によって落ちているであろうという様子が見えたときは安堵した。

6 謝辞

本実験にあたり、全面的に協力してくださった三島様をはじめとしたKEKの皆様にはこの場をお借りして御礼申し上げます。