物理学実験 III

高嶋隆一[*]
京都教育大学

平成 19 年 4 月 16 日

1　はじめに

物理学実験 III では、実験を自分で考えながら行うことという点を重視する。テーマは 6 つ行う。テーマ毎にレポートを作成し、2 週間毎に発表する。レポートは実験の目的、方法、結果、考察、まとめ、参考文献等の項目をつくりまとめること。実験目的、方法についても、自分で思い付いた課題があれば加えたり、示された手続きのうち必要ないと思えばけずっても良い。できれば platex を使用してレーポートを作成することが望ましい。自分でノートパソコンを買った人は windonws にいれてもよい。またノートパソコンのハードディスクを分割して Linux をいれてもよい。

本実験では発展する現代の科学と教員養成と理科系大学基礎教育の間の橋渡しをすることを視野に入れて課題を構成することをこころがけている。少し難しい面があれば、実験する人の問題意識で、課題の変更も考える。この他にも行いたい実験があれば提案すること。

今年度は新たな実験機材として、波高分析装置、インターフェース社 PCI4301 の GPIB インターフェース 2 台、USB 接続の 6 台のデジタルボルトメーターがある。これらを使った実験を新たに考えて欲しい。酸化物超伝導体の実験、ショ 糖の旋光性の測定。マイケルソン干渉計による気体の屈折率の測定などもテーマとしてはあります。

---

[*] 高嶋研

2　過冷却の実験

デジタルマルチメーターを使った温度計測プログラムを使って冷蔵庫のなかの水の温度を計測する。

2.1　準備

パソコン (ボードつき)、温度計測器、恒温そう、水

2.2　実験方法

ケースレー 195A を使って温度計測ができるようにする。センサーを水をいれたスチロール樹脂に入れて恒温そうに入れる。凍る前に取り出してふると瞬間的に凍るかどうかをしらべよ。

2.2.1　測定プログラムの解説

keisanki というフォルダ中のの hello というフォルダを開く。この中の hello というファイルがソースファイルである。これをダブルクリックすると Visual C++の開発環境が立ち上がる。プログラムは C 言語で書いてあるがやっていることは単純である。まず General Purpose Interface Bus 略して GPIB を初期化してやる。この GPIB の関数ライブラリの解説は CONTECW95￥Gpib5td というヘルプファイルに詳しく書かれているのでこれを見ながら以下の文を読んで欲しい。Visual C++の開発環境ビルドメニューの設定のところでリンクのライブラリ名に apiGpib1.lib, apiGpiib2.lib, apiGpib3.lib, apiGpib4.lib が含まれていないとコンパイルできないので注意する。このコード hello.c は高嶋の Wiki ページにアップロードした。

2.2.2　測定方法

サーモスコープの電源を入れて、水の冷却を開始する。設定温度はできるだけ低くしておく。温度が 5 度ぐらいになったらプログラムを開始して、記録をはじめる。30 分ぐらいの計測で冷却の様子がわかる。これをカレイダグラフを使ってグラフにプロットする。

2.3　考察のヒント

過冷却で安定する温度はいくらの範囲となるか?凍るときに温度が上がるのはなぜか。

3　宇宙線の観測と計数

プラスチックシンチレータを使って宇宙線の観測と計数を行う。計数を行うための信号処理、回路モジュールについて学ぶ。

3.1　準備

フォトマル用高圧電源、プラスチックシンチレーションカウンター、オッシロスコープ、NIM 電源 BIN、ディスクリミネーター、カウンター、デジタルボルトメーター、時計ドライバー

3.2　実験方法

プラスチックシンチレーションカウンターの信号をオシロスコープで観測する。光電子増倍管のアノード A1,A2 のどちらか一方には 50 オームのターミネーターがささっている必要がある。ケーブルを接続する場合は 50 オームの細いケーブルを使うときは、外すときにスリーブを持って行う必要がある。ケーブルのロック機構について前もって良く見ておくこと。宇宙線の信号と、光電子増倍管の信号の違いについて、オシロスコープで確認する。トリガーレベルと、時間軸ノブ、電圧ノブを調整して、信号を見る。信号は負極性で、立上り時間が 20nsec 程度である。信号のピーク電圧は数百 mV である。高電圧を徐々に 1.7KV までかけていって信号が大きくなってくることを確認する。

ディスクリミネーターに、光電子増倍管の信号を接続し宇宙線のみを計数するように、スレッシュホールドレベルを調整せよ。通常は 100mV 程度であることが多い。ディスクリミネーターの出力パルスは立上りの速い負極性の 600mV 程度のパルスである。このパルスのことを NIM 信号と呼ぶ。これは ECL(Emitter Coupled Logic) 信号のベースラインを 0V になるように移動したものである。この信号を計数回路に接続し 10 秒あたりの宇宙線の数を 20 回程度計数せよ。

また計数の信頼性を調べるために左右の信号をディスクリミネーターに入力し、左右の信号の同時計数をコインシデンス回路というものを使うことによって行え。このとき、コインシデンス回路に入力される片方の信号を遅らせることによって同時計数の値がどう変わるかを調べよ。

3.3　考察のヒント

光電子増倍管の仕組みについて文献で調べること。高電圧は負極性である。光電子増倍管の出力パルスが負極性であることの理由を述べよ。プラスチックシンチレーターの発光機構について調べよ。荷電粒子と物質の相互作用について調べよ。地上で観測されるのはミューオンと呼ばれる粒子である。これについて調べよ。よくつかわれる電気パルスには TTL(Transister Transister Logic) 信号と ECL 信号があるがこれについて文献で調べよ。

4　分光スペクトル装置による光のスペクトルの観測

物理第三実験室の分光スペクトル装置を使い、光のスペクトルの観測を行う。分光分析の出力は微小なので、光電子増倍管を使う。光電子増倍管は強い光をいれると劣化するので、迷光がはいらないように注意する。

4.1　準備

計算機とPC-LINK、三和デジボル、分光器、光電子増倍管、電流計測装置、光源

4.2　実験方法

分光器は手動で分光操作を行う。1nmステップでPC-LINKで記録する。リターンで記録されるようになっている。

4.3　考察のヒント

光源として、紫外光源のスペクトルなど、未知のスペクトルを測定することが望ましい。

5　パルス発生器と伝送線の実験

情報技術において重要なことの一つにパルス信号をいかに高速に高い信頼性で伝えうるかということがある。パルス信号を伝える伝送線のインピーダンスについて学ぶ。

5.1　準備

テクトロニクス デジタルスコープ、パルス発生器、10m ケーブル、5m ケーブル、終端抵抗 (0 オーム,50 オーム等)、シグナルデバイダ

5.2　実験方法

パルス発生装置から TTL 信号にレベルを会わせた信号を発生させる。これは 0V、5V からなる信号のことである。これをシグナルデバイダでふたつに分割し片方をオシロスコープで観察しもう片方に 10m ケーブルを接続する、オシロスコープのもう一つの入力には分岐コネクタを接続し、50 オーム、0 オームの終端抵抗を入れた場合、開放した場合のシグナルを観測する。5m のケーブルをつないでから同様に抵抗を入れたときの信号を観測せよ。

同軸ケーブルの、容量とインダクタンスを測定する。LCR メータの電源を入れると容量をはかるモードになる。画面には C_p と表示されている。容量なので終端は開放のままはかる。次にインダクタンスを測定する。左側上の列の Meas Ptmtr ボタンを押して、測定モード選択画面にする。次に L_s と表示されるところが点滅するように右の方にあるカーソルキーを押す。エンターキーを 2 回押すと L_s 測定モードになる。終端を短絡ができるようになっているコネクターを取り付けてインダクタンスを測定する。この二つの値を使って、ケーブルの中を伝わるパルスの速度 v_c と特定インピーダンス Z_c を求めよ。これらについては「物理のためのエレクトロニクス」p178 に解説がある。これらは以下の式のようにあらわされることがしられている。

$$v_c = \frac{1}{\sqrt{LC}}, Z_c = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

5.3　考察のヒント

信号ケーブルのインピーダンスはどのように決まっているのか。またインピーダンスはケーブルの単位長さあたりのインダクタンスと容量で決まっているがこれを測るやりかたを考察せよ。

6　測定器シミュレーター GEANT4 と物体モデリング

6.1　概要

GEometry ANd Transport 4 は C++でかかれた測定器シミュレーターである。使用者は例題を変更して使い方を学ぶ。この例では geant4.3.0/examples/N02 をかえて my02 を作成した。これを使って、大規模なツールキットの使用法を学ぶ。物体モデリングは athena 環境の v-atlas と言うスクリプトを利用する。

6.2　目的

計算機シミュレーションの実際的なり用法に触れる。

6.3　準備

119 号室の hepatx1 を linux で使用

6.4　実験方法

My02DetectorConstruction.cc :測定器の材質、大きさ、配置の決定、測定場所 SD

My02DetectorMessenger.cc

My02EventAction.cc ：イベントの最初の処理

My02MagneticField.cc

My02PhysicsList.cc ：物理プロセスの定義 N02 に加えて N04 のハドロンプロセスを付加

My02PrimaryGeneratorAction.cc ：粒子を飛ばす向きの設定

My02RunAction.cc ：ランの最初の処理

My02SteppingAction.cc

My02SteppingVerbose.cc ：Verbose（冗長）パラメータに応じた出力の記述

My02TrackerHit.cc ：Sensitive Detector から情報をもらって描画、値の出力

My02TrackerSD.cc ：測定器としての動作の記述、Hit 情報、物質へのエネルギー付加量の取得

My02VisManager.cc

7　半導体素子の物理

7.1　概要と目的

現代の情報科学の発展を支えているのは、半導体素子を利用する技術の発展であるといえる。半導体素子の諸特性を計測し、半導体に関する物理法則を学ぶ。

7.2　準備

パソコン (buatx5,Linux)、LCR メーター、Keithley2000 デジタルマルチメーター、バイアス電源、GPIB プログラマー (電源制御用) など

7.3　実験方法

CMOS 半導体の動作原理は表面にキャリアーの存在しない空乏化領域を作ることによって電気伝導度を変えることにある。この実験では PIN ダイオードの空乏化の厚みと電圧の変化でキャリアー濃度を推定する実験を行う。PN 接合のダイオード素子に逆電圧を付加し、逆電圧を変化させながら、P 側と N 側の間の静電容量を計測する。又この測定を静電容量を図るときの交流の周波数を変えながら行う。

プログラムのディレクトリは jikken3/gpib/tkgp。この中のスクリプト cvtest.tcl が計測のスクリプトである。

実験は半導体検出器 (PIN ダイオード) の逆バイアスを変化させ、もれ電流と、容量を計測する。逆バイアスをかけるとき、容量計に電流が流れ込まないように、容量計は AC 接続する。

7.4　考察のヒント

計測に使用した半導体検出器で放射線計測を行う。バイアス電圧を変えていくと接合容量が一定となることが分かる。これは何故か。厚みを 200μ としたときのシリコンのドナー濃度はいくらぐらいか。

8　電子回路教材を使った実験

現代の科学技術は電子回路技術にの発展によるところが大きい。基礎的な回路技術を実習すること無しに、実際の研究の場で使われている測定器の開発研究を行うことはできない。電子回路教材に載っている、いろいろな回路についての実験をおこなう。とくにフリップフロップはもっとも基礎的なデジタル回路の要素となっているので詳しく調べておく必要がある。

8.1　準備

オッシロスコープ、ブレッドボードまたは回路実験キットと指導書

8.2　実験方法

フリップフロップ回路の作成と解析。電子回路実習の中で良く出てくるフリップフロップ回路について実際に作ってみて動作を学ぶ。

単安定マルチバイブレータを使ったパルス回路の作成。発振回路はデューティ比 (on の時の周期に対する比) が 50 %になるがこれでは回路実験には不向きである。デューティ比を変える方法を考えること。

9　ダイオード電流の温度依存性

トランジスターの特性は温度によって変化する。これは半導体のキャリアー濃度が温度があがると増加することによる。恒温槽を使い、温度を変化させて、ダイオードの電流が温度の増加にともなって増えることを調べる。電流は抵抗の両端の電圧計測によって調べる。

9.1　準備

恒温槽、デジタルボルトメータ2台。

9.2　実験方法

ブレッドボード上に計測のための回路をくんで、計測装置に接続する。恒温槽の温度を0度から40度まで変化させる。ブレッドボードのプラスチックが溶けないようにすることが必要。

9.3　考察のヒント

実験の結果とエバース・モル モデルについて比較して考察せよ。トランジスタ技術2006年7月号を参考にすること。

10　ガンマ線のエネルギースペクトルの観察

10.1　準備

コバルト60密封線源、NaI結晶放射線検出器、豊伸電子マルチチャンネルアナライザー(MCA)、ノートパソコン

10.2　実験方法

密封線源を線源ホルダーにセットする。検出器をデシケータから取り出し、ケーブルを接続する。検出器に高電圧を(800V)をセットする。オッシロスコープでパルスを観察する。信号の接続作業をするときは高圧を落として行う。信号線は高圧に帯電している。

10.3　考察のヒント

ガンマ線が単一のエネルギーを持っていることについて考察する。光電ピーク、コンプトンエッジについて調べる。

11　電気分解、電池、メッキなどでの電流と析出物質の質量

11.1　概要と目的

電気分解、電池、メッキなどでの電流と析出物質の質量の間にはファラデーの法則と呼ばれる比例関係があることが分っている。素電荷を 1.6e-19[C] とすると、流れた電流と時間の積が移動総電荷量で、素電荷を 1.6e-19[C] でわると移動電子数がわかる。析出物質の価数と原子量がわかると、数値的なファラデーの法則の確認が出来る。

11.2　準備

さんご実験セット、またはサンワ PC-Link, 亜鉛板、銅版、ビーカー、電子ばかり、導線

11.3　実験方法

ボルタの電池を構成し、電流の流れた時間と量の積が計算できるようにする。銅板に亜鉛が析出するはずなので、銅板と亜鉛板の重さを実験の前後で計測する。

11.4　考察のヒント

亜鉛の価数は 2 価。水の電気分解でも同じことが出来る。その場合は温度と体積の測定が必要になる。

12　その他

酸化物超伝導体の実験、ショ 糖の旋光性の測定。マイケルソン干渉計による気体の屈折率の測定など、機材のあるものから実験課題を作成する。

参考文献

[1] 坂本、高エネルギー屋のためのユニックス入門

[2] 早野、高橋、計算物理、共立出版

[3] 平田、パソコンによる物理計測入門、共立出版

[4] 戸狩、津坂、パソコン計測制御とインターフェース活用法、技術評論社