

KEK Internal 2018-3  
August 2018  
R

# Lecture Note Education for Radiations using Cgview

H. Hirayama and Y. Namito

*High Energy Accelerator Reserach Organization  
1-1 Oho, Tsukubashi, Ibaraki, 305-0801 Japan*



High Energy Accelerator Reserach Organization

**High Energy Accelerator Research Organization (KEK) Notices for  
KEK Internal 2018-3 and its included software**

**Use:** This report and its included software should be used for non-commercial purposes only. Contact KEK regarding commercial use.

**KEK disclaimer of liability:** KEK makes no representations or warranties, express or implied, nor assumes any liability for the use of this report or its contents, including software.

**Maintenance of notices:** In the interest of clarity regarding the origin and status of this report and its included software, this and all the preceding KEK notices are to: (1) remain affixed to any copy or derivative of this report or its software made or distributed by the recipient of this report or its software; and (2) be affixed to any copy of a document or any software made or distributed by the recipient that contains a copy or derivative of this report or its software.

For the information on the copyright of the EGS5 Code System, please visit the URL below.  
<http://rcwww.kek.jp/research/egs/egs5.html>

©High Energy Accelerator Research Organization (KEK), 2018

KEK Reports are available from

High Energy Accelerator Research Organization (KEK)  
1-1 Oho, Tsukuba-sh  
Ibaraki-ken, 305-0801  
JAPAN

Phone: +81-29-864-5137  
Fax: +81-29-864-4604  
E-mail: [irdpub@mail.kek.jp](mailto:irdpub@mail.kek.jp)  
Internet: <http://www.kek.jp>

**Lecture Note  
Education for Radiations  
using Cgview**

**Hideo Hirayama and Yoshihito Namito**

*High Energy Accelerator Reserach Organization  
1-1 Oho, Tsukubashi, Ibaraki, 305-0801 Japan*

# Contents

<b>Japanese Parts</b>	<b>1</b>
1 はじめに	2
2 EGS5 及びモンテカルロ法の簡単な説明	2
2.1 モンテカルロ法	2
2.2 EGS5	2
3 飛跡表示システム (Cgview) の使用方法	3
3.1 Cgview の起動	3
3.2 飛跡計算プログラムの使用	3
4 Cgview を使用した放射線に関する教育例	6
4.1 0.1-10 MeV の光子と Al、Fe、Pb との相互作用の調査	6
4.2 放射線検出器によるガンマ線のエネルギー測定シミュレーション	9
5 必要なファイルの入手方法	14
6 おわりに	14
<b>English Parts</b>	<b>15</b>
1 Introduction	16
2 Brief Explanation about Monte Carlo Method and EGS5	16
2.1 Monte Carlo method	16
2.2 EGS5	16
3 How to Use Trajectory Display System(Cgview)	17
3.1 Start operation of Cgview	17
3.2 How to use EGS5 user code	17
4 Examples of Practices using Cgview	20
4.1 Study of interactions of 0.1-10 MeV photons with Al, Fe and Pb	20
4.2 Simulation of $\gamma$ -ray energy measurement by a radiation detector	23
5 How to get Files	25
6 Summary	25

Cgview を使用した放射線教育  
(Japanese Parts)

# 1 はじめに

放射線は見えないことが、放射線に対する理解を妨げる大きな要因になっている。その解決策の一つとして、PC上に表示された放射線の飛跡を活用する方法が考えられる。PCを活用する方法は、受講者が関心を持ちやすく、なおかつ粒子の飛跡情報を調べる事が物質中での放射線の挙動の理解に役立つ事から非常に有益な方法であると思われる。

高エネルギー加速器研究機構では、電磁カスケードモンテカルロコード EGS5[2] で計算した光子、電子及び陽電子の飛跡を表示するシステムを開発してきた [1]。飛跡のデータを作成するプログラムは、本来は EGS5 についての十分な理解がないと作成することは難しいが、扱う問題を限定する事により、対話形式で使用する形にすることができる。

以下では、飛跡表示システム (Cgview) の使用方法と放射線教育用に作成した EGS5 ユーザーコード (実行形式のプログラムと物質データ:shield.exe, shield.data, detecc.exe 及び detec.data) と飛跡表示システムによる教育への応用例を示す<sup>1</sup>。

実際に講義で PC を使って実習を行う前に、EGS5 やモンテカルロ計算についての最低限の説明や関連する分野でのモンテカルロコードの使用状況についても紹介しておく事、また、できればチェックソース等を使用した実験とここで紹介するシステムを併用して使用する事が望ましい。

## 2 EGS5 及びモンテカルロ法の簡単な説明

### 2.1 モンテカルロ法

乱数を用いて行う計算を一般に「モンテカルロ法」と呼ぶ。モンテカルロ法という名称は、1945 年頃 J. von Neumann と S. M. Ulam によって導入されたものである。南ヨーロッパのギャンブルの町、モナコ公国の首都モンテカルロと関連するとも言われている。

モンテカルロ法で物質内での放射線の動きを追跡する場合には、乱数を用いて光子や電子の反応位置、散乱あるいは吸収等の反応の種類、反応後の粒子のエネルギーや方向等を決定する。これを利用して、例えばがん組織への吸収線量評価や、X 線写真の雑音評価などが可能である。人体中の線量分布のような複雑な体系内でのいろいろな相互作用が関与した計算を、モンテカルロ法では比較的容易に行うことができる。放射線シミュレーション分野でのモンテカルロ計算の利用は急速に広がっている。<sup>2</sup>

### 2.2 EGS5

EGS5 は、光子・電子・陽電子の輸送計算をモンテカルロ法によって行うコンピュータプログラムである。

EGS5 で扱う物理現象は、光子では光電効果、コンプトン散乱、対生成、レイリー散乱、電子ではモラー散乱、制動輻射、連続減速、陽電子では電子の現象に加えて、バーバー散乱、消滅などである。EGS5 は診断、治療、放射線検出器シミュレーション、遮蔽計算、高エネルギー物理など広い分野で使用されている。

---

<sup>1</sup>例では、医学物理分野の学生を対象とした授業を想定している。

<sup>2</sup>モンテカルロ計算による粒子輸送を、簡単な例を含めて実感する事を目的とした講義録 [3] が KEK Internal として出版されている。

### 3 飛跡表示システム (Cgview) の使用方法

#### 3.1 Cgview の起動

Cgview の最新版である cgview-3.0.7 アイコンをクリックすると次の Main Display が表示される。

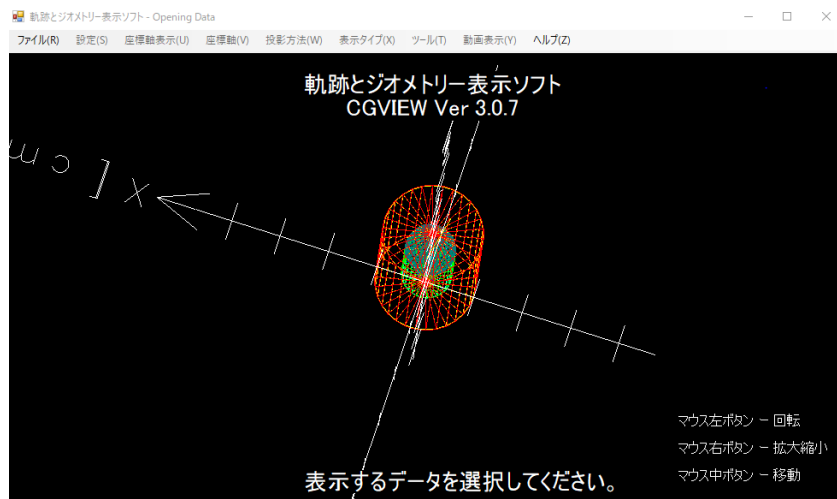


Figure 1: Main display.

画面の大きさは、マウスを使用して自由に変更する事ができる。

1. 拡大・縮小: マウス右ボタンを押したままマウスを移動させる。  
ボタンを押したポイントから下方向で拡大、ボタンを押したポイントから上方向で縮小。
2. 移動 マウス右左ボタンの同時押し、もしくは中ボタンを押したままマウスを移動させる。
3. 回転 マウス左ボタンを押したままマウスを移動させる。
4. 範囲指定して拡大 Shift キーとマウス右ボタンを押したままマウスを移動させる。移動させると白い枠線が表示されるので範囲を指定する。

#### 3.2 飛跡計算プログラムの使用

Cgview を起動する。

”ファイル”をクリックし、”DOS 画面を開く”を選択するとコマンドプロンプトのウィンドウが開く。Cgview の背後で開くようになっているので、Cgview を移動するか、小さくしてコマンドプロンプトにアクセスする。

以下では、`c:\¥education¥shield.exe` を使用するとして説明を行う。

現在のディレクトリーが `c:\¥education` と異なる場合には、`cd c:\¥education` を入力して、`shield.exe` のあるディレクトリーに移動する。

コマンドプロンプト (MS-DOS プロンプト) で、`shield.exe` と入力し、プログラムを実行する。問いに対してパラメータを入力する。

##### 1. Key in Material number

1:Al, 2:Fe, 3:Pb, 4:Air, 5:PMMA, 0:end

物質番号を入力する。(2)

2. 鉛を選んだ場合には、  
**Do you want to produce fluorescence X-ray ? (0:no, 1:yes)**  
 に対して 0 又は 1 を入力する。(光電吸収後に特性 X 線を発生させるかどうか)
3. **Key in particle type**  
**-1:electron, 0:photon, 1:positron, 9:new material**  
 線源の放射線の種類を入力する。(0)
4. **Key in particle kinetic energy in MeV (0 means new particle)**  
 粒子の運動エネルギーを入力する。(0.5)
5. **Key in slab thickness in cm (0 means change energy)**  
 遮蔽体の厚さを入力する。(3)
6. 50 個の線源についての計算が終了すると、再び Key in slab thickness in cm (0 means change energy) が表示される。
7. Cgview に戻り、"File" をクリックし、"体系・飛跡データ読込" を選択する。"shield.exe" を実行しているディレクトリーに移動し、表示データの書かれたファイル (egs5job.pic) を選択し、OK をクリックする。  
 Cgview の"表示タイプ"をクリックし、面表示になっていることを確認する。線表示になっていた場合は、面表示に変更する。

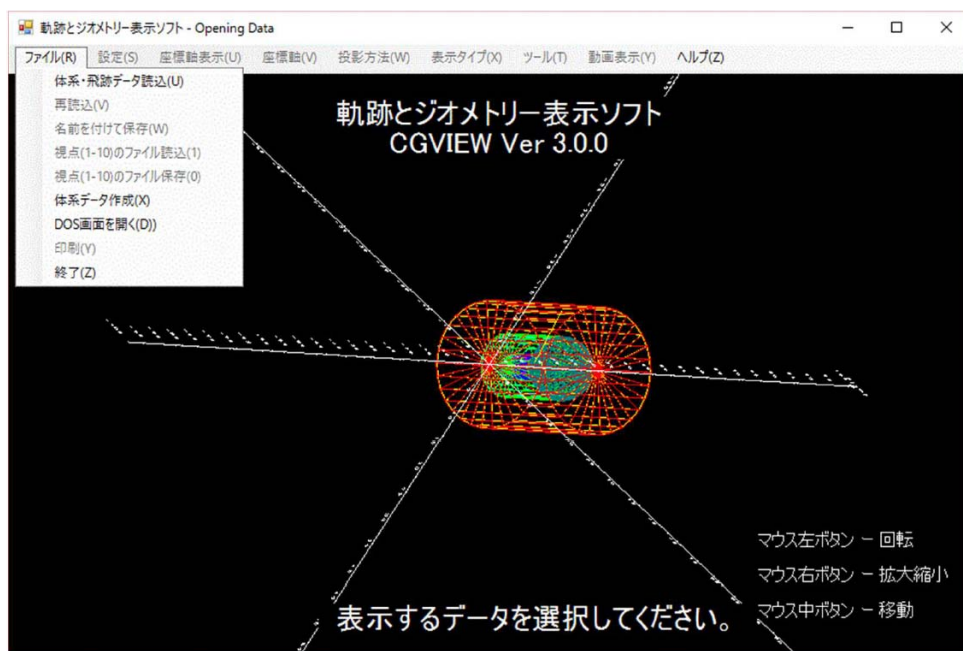


Figure 2: 飛跡ファイル指定画面.

表示された飛跡について、次のような操作を行うことができる。

- Shift キーとマウス右ボタンを押したままマウスを移動させる。移動させると白い枠線が表示されるので範囲を指定する。この操作を繰り返して、更に拡大する事が出来る。



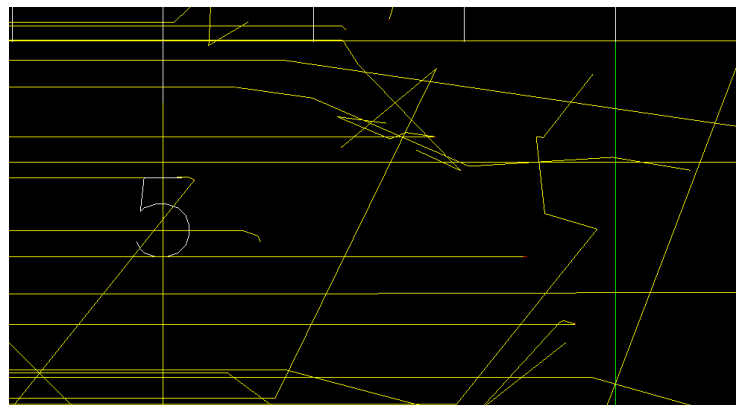
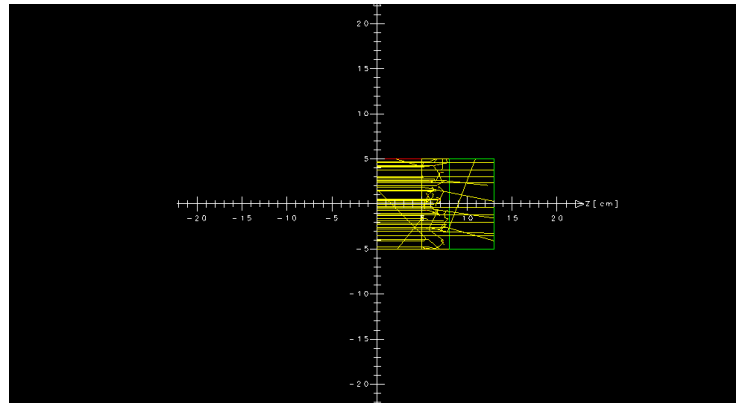


Figure 3: 鉄 3cm に 0.5MeV 光子が 50 個入射した場合の飛跡とその拡大図。

- マウス左ボタンを押したままマウスを移動させる回転する。
- 「設定」をクリックし、「粒子の表示設定」を選び、表示を解除すると、その粒子の飛跡を表示しないようにすることができる。
- 「設定」をクリックし、「画面表示設定」を選び、Title の領域に付けたいタイトルを入力し、「タイトル表示」選択し、「保存」とすると設定することができる。表示されたタイトルは、マウスで移動することができる。タイトルと別にメモを表示することもできる。
- 同じ「画面表示設定」で、「粒子の凡例を表示する」を選択し、「保存」とすると、凡例が表示される。

## 4 Cgview を使用した放射線に関する教育例

以下では、受講者が Cgview 等必要なファイルがインストールされた PC を使用できる状況にあるものと仮定している。

### 4.1 0.1-10 MeV の光子と Al、Fe、Pb との相互作用の調査

Cgview2 と shield.exe を使用する。

**A:** システムの操作方法の説明 (出来れば、講師が液晶表示などを使用して操作しながら説明する事が望ましい。)

1. Cgview のアイコンをダブルクリックする。
2. 「ファイル」の「DOS 画面を開く (D)」を選択する。
3. コマンドプロンプト窓が現れるので、shield と入力する。<sup>3</sup>
4. Key in Material Number に対して、1 を入力。(これは、Al を意味する。)
5. Key in Particle Type に対して、0 を入力。(これは光子を意味する。)
6. Key in particle kinetic energy in MeV (0 means new particle) に対して、0.1 を入力。
7. Key in slab thickness in cm (0 means change energy) に対して、1.0 を入力。
8. Key in slab thickness in cm (0 means change energy) が現れたら、表示システムに戻り、「ファイル」の「体系・飛跡データの読み込み」を選択し、表示データの書かれたファイル (egs5job.pic) を選択し、OK をクリックする。
9. 粒子の飛跡が表示される。
10. 非散乱線と散乱線を数える。
11. 厚さが 1 cm の場合には、1 番目と 2 番目に多い反応の種類を調べる。
12. 反応の種類の設定は、図 4 を参照する。
13. X 線を発生する光電吸収とコンプトン散乱の識別法
  - 「表示」の「表示設定画面」の「粒子表示設定」で、光子のエネルギー範囲指定の下限を、K X-線の最も高いエネルギーより、少し高い値に設定する。鉛の場合は、0.088MeV にする。
  - 「ファイル」の「再読込」を行った際に、書かれない光子は、光電吸収後に発生した X 線であり、消えない場合にはコンプトン散乱と判定する。
14. 調査が終了すれば、コマンドプロンプト窓に戻り、新しい厚さを入力する。
15. Key in slab thickness in cm (0 means change energy) が現れたら、「ファイル」の「再読込」を行い、8 以降を繰り返す。
16. エネルギーを変更する場合は、7 で 0 を入力すると、6 になるので、ここで次に調べたいエネルギーを入力する。
17. 物質を変える場合には、エネルギーとして 0 を入力する。5 になるので、ここで 9 を入力すると 4 になる。以下同じ事を繰り返す。

**B:** 受講者への課題例

1. 平板に光子が入射した場合に、相互作用をせずに透過する光子の割合 (P) および相互作用をした後で透過する光子の割合 (S) を求めよ。平板の材質は、Al、Fe、Pb、光子エネルギーは 0.1、1.0、10.0 MeV とする。平板の厚さは、1、2、5、10 cm とする。shield.exe では入射粒子数は 50 である。飛跡が重なっていて正確に数えることが困難な場合には概算でよい。  
1 cm の場合にのみ、1 番目と 2 番目に多く起こる反応は何か？数えて記録せよ。必要に応じて拡大機能を使用せよ。

<sup>3</sup>shield.exe と shield.dat は同じディレクトリーの置かれているものとする。

- 厚さの関数として、P を片対数プロットせよ。(厚さ 0 cm に対する 1 の印もプロットせよ。) さらに、指数関数で回帰計算を行え。この回帰曲線の傾きから平板に光子が入射した場合に、P が最初の 1/e になる厚さを求めよ ( $e=2.72$ )。この厚さを「光子の平均自由行程」(mfp) と呼ぶ。平均自由行程の物質およびエネルギー依存について考察せよ。また、平均自由行程の物理的意味について述べよ。(ヒント：片対数で回帰計算したのはなぜか?)
- 物質を Pb、エネルギーを 60、80、100、120 keV として平均自由行程を求め、そのエネルギー依存を考察せよ。
- $(P+S)/P$  は光子数の「再生係数」と呼ばれる量である。再生係数の厚さ、エネルギー、物質依存について考察せよ。
- エネルギーと物質によって光子と物質の主な相互作用がどのように変化するか考察せよ。また、放射線診断、治療で各相互作用がどのように利用されたり、雑音になったりしているか述べよ。
- 今回求めた Al, Fe, Pb の 1 MeV 光子に対する平均自由行程の値と、Al, Fe, Pb の平均自由行程の理論値との比較を行え。<sup>4</sup>

### C: 理論値

得られた平均自由行程等との比較のための理論値を以下に示す。

Al,  $\rho=2.699\text{g/cm}^3$

Energy	$\mu/\rho$	$\lambda = 1/\mu$	Photo/Total	Compt/Total	Rayl./Total
0.1MeV	0.1704	2.17cm	0.11	0.84	0.05
1.0MeV	0.06146	6.03cm		1.00	
10.0MeV	0.02318	16.0cm		0.64	

Fe,  $\rho=7.874\text{g/cm}^3$

Energy	$\mu/\rho$	$\lambda = 1/\mu$	Photo/Total	Compt/Total	Rayl./Total
0.1MeV	0.3717	0.342cm	0.55	0.37	0.08
1.0MeV	0.05995	2.12cm	0.006	0.99	0.004
10.0MeV	0.02994	4.24cm	0.0004	0.48	

Pb,  $\rho=11.35\text{g/cm}^3$

Energy	$\mu/\rho$	$\lambda = 1/\mu$	Photo/Total	Compt/Total	Rayl./Total
0.1MeV	5.549	0.0159cm	0.95	0.02	0.03
1.0MeV	0.07102	1.24cm	0.26	0.71	0.03
10.0MeV	0.04972	1.77cm	0.01	0.25	0.0006

<sup>460</sup>Co の  $\gamma$  線による実験を行っている場合には、実験値と比較させて考察させても良い。

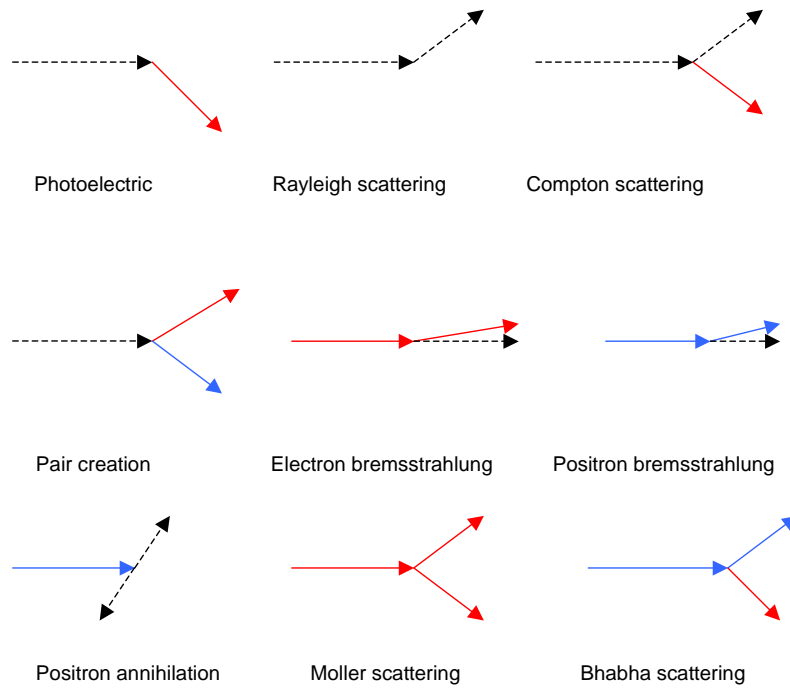


Figure 4: 各反応の模式図。光子：黒破線、電子：赤字実線、陽電子：青実線 (ディスプレイでは、光子は通常、黄色実線で示されている。)

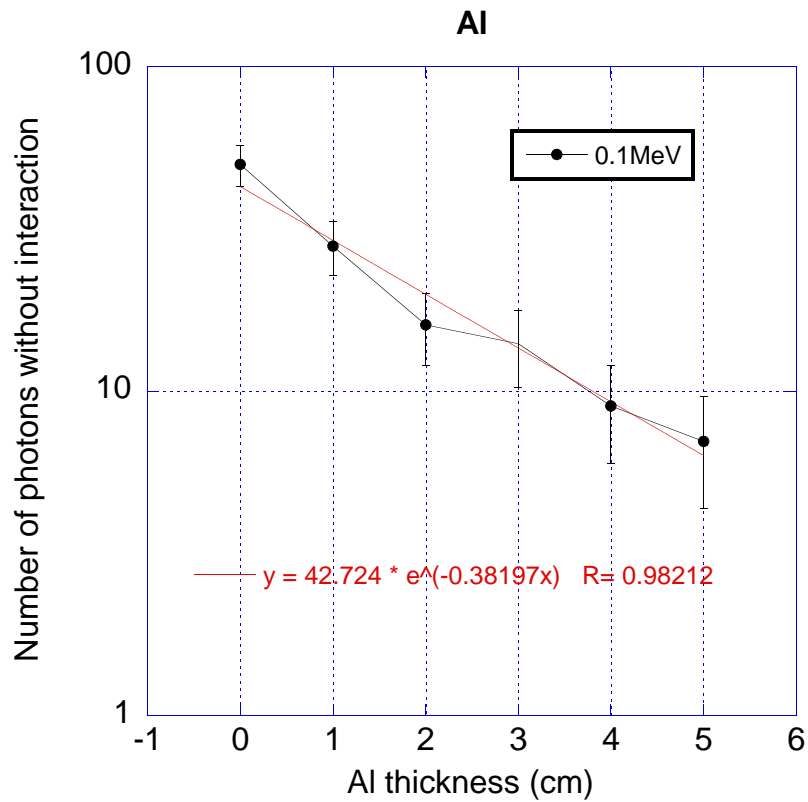


Figure 5: 減衰曲線のプロット例.

## 4.2 放射線検出器によるガンマ線のエネルギー測定の実シミュレーション

Cgview と放射線検出器によるガンマ線のエネルギー測定をシミュレートする `detecc.exe` を使用する。検出器は、直径 3 インチ (7.62 cm) の円筒形状で、検出器の厚さ及び検出器の種類は、受講者が選ぶことができる。検出器の種類としては、Ge, NaI 及び BGO が用意されている。以下の例では、3 インチ厚さの NaI を想定している。

### A: システムの操作方法の説明

1. Cgview のアイコンをダブルクリックする。
2. 「ファイル」の「DOS 画面を開く (D)」を選択する。
3. コマンドプロンプト窓が現れるので、`detecc` と入力する。<sup>5</sup>
4. Key in absorbed energy spectrum form  
に対して、希望するフォーマットを選択する。0 の場合はエネルギービンの中心のエネルギーとレスポンスの値が、1 の場合はエネルギー下限とエネルギー上限のついて同じレスポンスの値が出力される。どちらを選ぶかは、使用するグラフソフトに依存する。
5. Key in Material number (1:Ge, 2:NaI, 3:BGO, 0:End of run) に対して、2 を入力。(これは、NaI を意味する。)
6. Key in Particle type (-1:electron, 0:photon, 1:positron) に対して、0 を入力。(これは光子を意味する。)
7. Key in slab thickness in cm  
(0.0 means change energy) に対して、7.62 を入力。
8. Key in particle kinetic energy in MeV  
(0.0 means change material and particle) に対して、1 を入力。(これは、1.0MeV を意味する)
9. Key in number of cases (0 means change thickness) に対して、1 を入力する。
10. 計算が終了すると再び  
Key in number of cases (0 means change thickness)  
が現れるので、表示システムに戻り、「ファイル」の「体系・飛跡データの読み込み」を選択し、表示データの書かれたファイル (`egs5job.pic`) を選択し、OK をクリックする。
11. 粒子の飛跡が表示される。
12. 飛跡をスケッチし、反応の種類、検出器内ですべての粒子が吸収されたかどうかと吸収エネルギーを記録する。(必要であれば、拡大の機能を使用する。)
13. X 線を発生する光電吸収とコンプトン散乱の識別法
  - 「表示」の「表示設定画面」の「粒子表示設定」で、光子のエネルギー範囲指定の下限を、K X-線の最も高いエネルギーより、少し高い値に設定する。鉛の場合は、0.088MeV にする。
  - 「ファイル」の「再読込」を行った際に、書かれない光子は、光電吸収後に発生した X 線であり、消えない場合にはコンプトン散乱と判定する。
14. 記録が終了すれば、コマンドプロンプト窓に戻り、9 以降を繰り返す。
15. 20 回行ったら、Key in number of cases (0 means change thickness) に対して、5000 を入力し、吸収エネルギー分布を調べる。(吸収エネルギー分布は、`egs5job.17o` というファイルに出力されている。)
16. 終了したら、Key in number of cases (0 means change thickness) に対して、0 を入力し、8 以降を繰り返す。

<sup>5</sup>`detecc.exe` と `detec.dat` は同じディレクトリーに置かれているものとする。

## B: 受講者への課題例

1. detecc.exe を使用して NaI 平板に 1 MeV の光子を 1 個ずつ入射させ、飛跡をスケッチし、反応の種類、検出器内ですべての粒子が吸収されたかどうかと吸収エネルギーを記録せよ。これを 20 回行え。(図 6 及び 7) (粒子が側面から逃げたかどうかは、Y 軸周りに 90° 回転させて調べる。)  
20 回の記録の後、次の点を考察せよ。
  - (a) 検出器内で粒子がすべて吸収される場合の吸収エネルギーはいくらか?
  - (b) 検出器で粒子の一部が吸収される場合の吸収エネルギーはいくらか?
  - (c) 粒子が検出器を素通りする場合の吸収エネルギーはいくらか?
2. 上記条件で、粒子数を 5000 個に増やして吸収エネルギー分布を計算せよ。(図 9) また全効率とピーク効率を記録せよ。ピーク効率は、入射エネルギーの全部が吸収される確率である。全効率は、吸収エネルギー分布の合計である。
  - (a) 全エネルギー吸収ピークは、飛跡観察におけるどのような反応に対応しているか。
  - (b) 他のピークがある場合、どのような反応に対応するか。(ヒント: K-X 線 ( $K_{\alpha}=0.028$ ,  $K_{\beta}=0.033$ )、または消滅ガンマ線 (0.511 MeV) が逃げる場合にピークとなる。)
  - (c) 連続部分は、飛跡観察でのどのような反応に対応しているか。また、この部分はなぜピークとならず連続的な分布となるか?
3. 光子エネルギーを 0.3 MeV および 3.0 MeV に変更して 1 MeV と同じように飛跡スケッチと吸収エネルギーの計算を行え。
4. 連続エネルギー部分の右端のエネルギーとピークエネルギーの差 ( $\Delta E$ ) は何に起因するか?  $\Delta E$  を入射エネルギーの関数としてプロットし、理論式と比較せよ。  
(ヒント) コンプトン散乱光子エネルギー  $k_c$  (MeV) は入射光子エネルギー  $k_0$  (MeV) と散乱角  $\theta$  から次の式で計算できる。 $k_c = k_0 / \{1 + k_0(1 - \cos \theta) / 0.511\}$  ここで  $\theta = 180^\circ$  の時、 $k_c$  は最小になる。この  $k_c$  の最小値が上記理論式である。
5. 全効率およびピーク効率が入射エネルギーによってどのように変わるか考察せよ。
6. その他、NaI の応答関数やその基礎である相互作用について問題を設定し、それについて考察せよ。

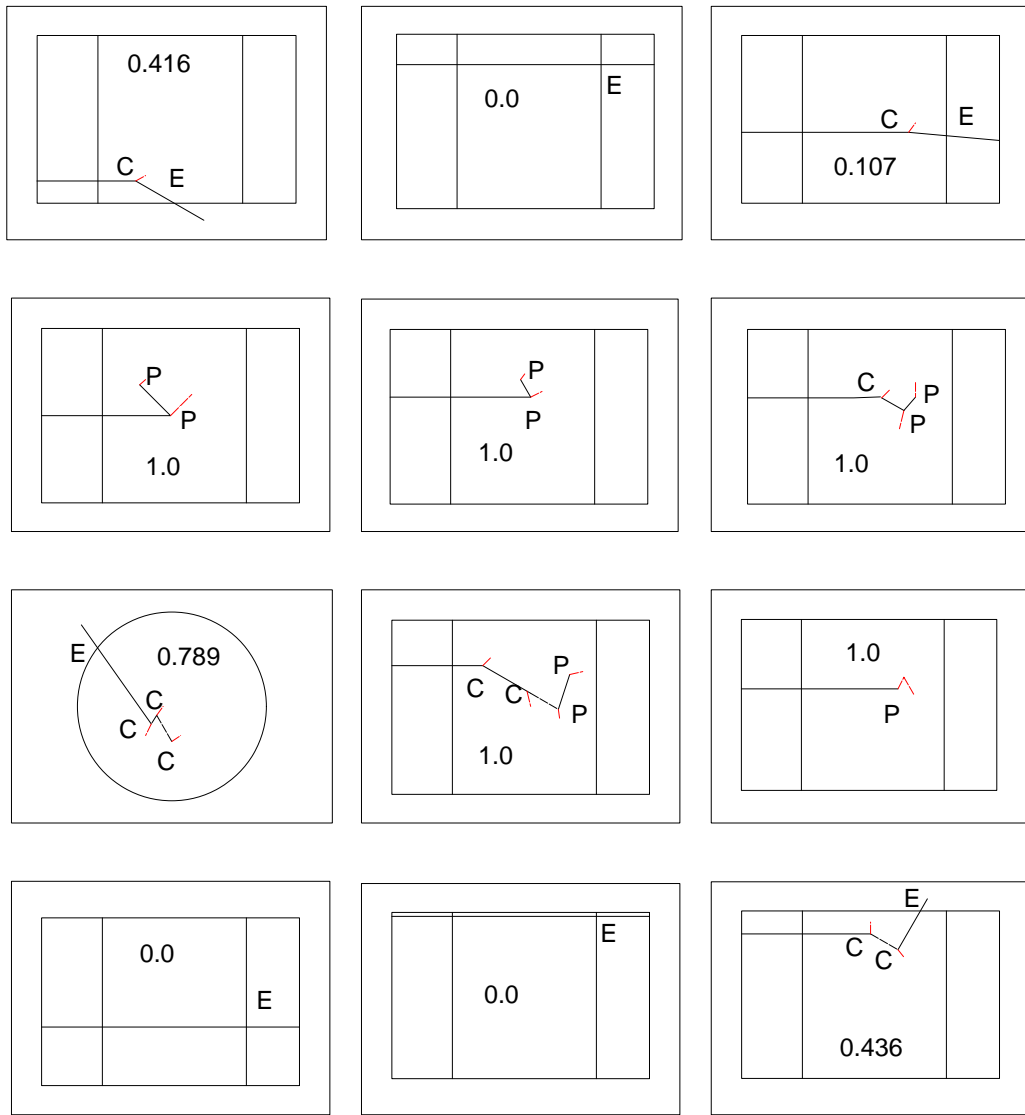


Figure 6: 飛跡の記録例。電子の飛跡は、一般的に短くて見えにくいので、実際よりも長く書いている。図中の C, P, E は、それぞれコンプトン散乱、光電効果、検出器外への逃げを示す。また、コマンドプロンプト窓に表示された吸収エネルギーも図中に記録している。

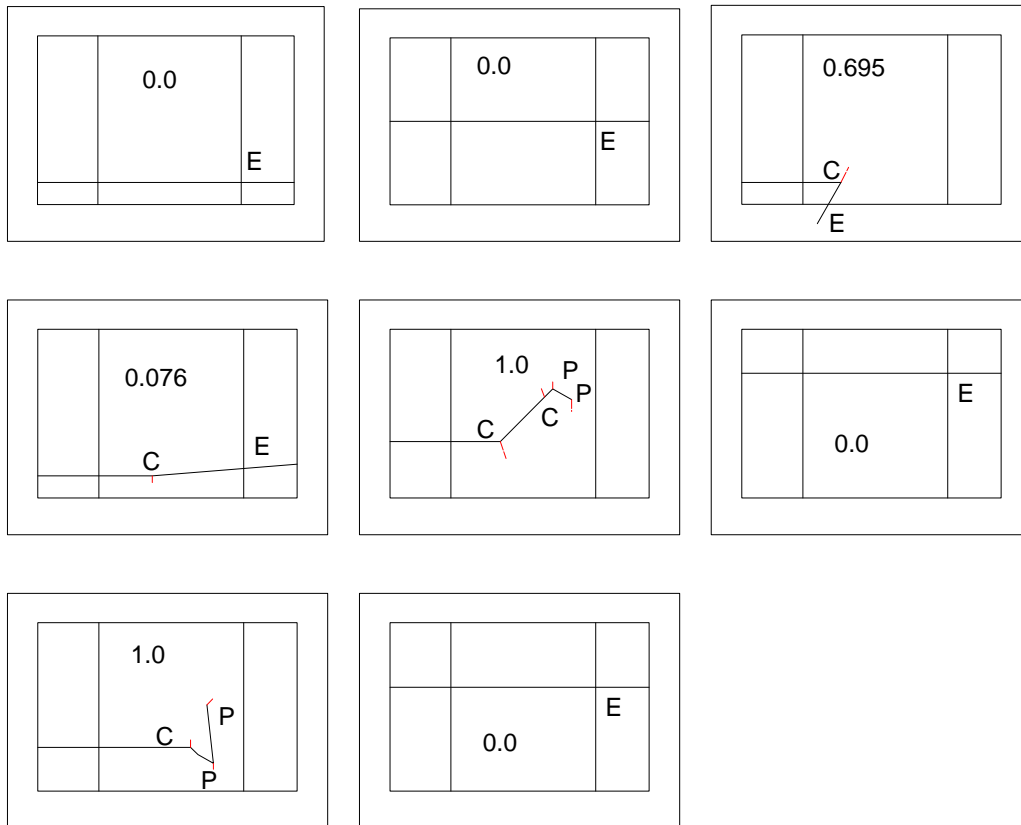


Figure 7: 飛跡の記録例。電子の飛跡は、一般的に短くて見えにくいので、実際よりも長く書いている。図中の C, P, E は、それぞれコンプトン散乱、光電効果、検出器外への逃げを示す。また、コマンドプロンプト窓に表示された吸収エネルギーも図中に記録している。



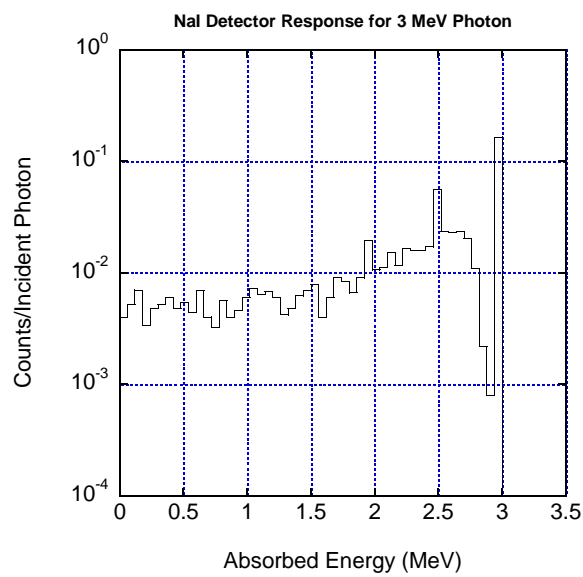
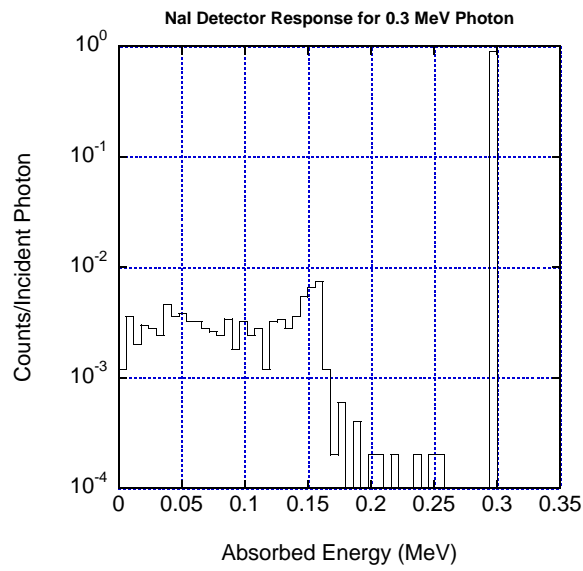
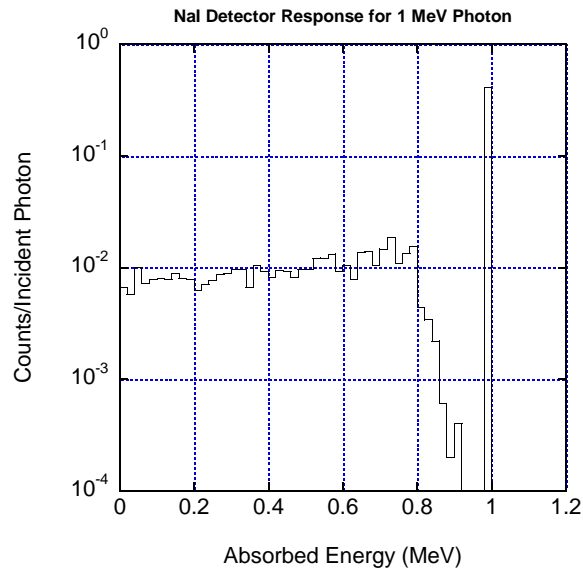


Figure 8: 1MeV, 0.3 MeV 及び 3MeV 光子に対する吸収エネルギー分布。

## 5 必要なファイルの入手方法

KEK 放射線科学センターホームページから pict\_edu5c3.zip をダウンロードする。  
(<http://rcwww.kek.jp/research/shield/education/index.html>)  
リンク切れ等の場合には、「EGS 放射線教育」というキーワードで検索する。  
PCにおいて、pict\_edu5c7.zip を解凍すると以下のファイルを得ることができる。

- Cgview (Application と関連するファイル)
- shield.exe
- shield.dat
- detecc.exe
- detecc.dat

## 6 おわりに

以上では、医学物理分野の受講者を対象とした講義への適用例を紹介したが、他分野の受講者への適用も可能であるし、このシステムで別の課題を設定することも可能である。

又、当然の事ながら、課題や対象は分野によって異なる。EGS5 に使用を理解すれば、それぞれの目的にあった飛跡を作成するユーザーコードを作る事は難しい事ではない。

本システムを使った講義が様々な場所で行われ、放射線に対する理解を深める役に立つことを期待している。

## References

- [1] Y. Namito, H. Hirayama, A. Takamura and T. Sugita, “EGS Particle Trajectory and Geometry Display Program cgview Ver 1.2”, *KEK Internal 2004-8* (2004).
- [2] H. Hirayama, Y. Namito, A. F. Bielajew, S. J. Wilderman and W. R. Nelson, “The EGS5 Code System”, *KEK Report 2005-8* and *SLAC-R-730* (2005).
- [3] H. Hirayama and Y. Namito, “Lecture Notes of Radiation Transport Calculation by Monte Carlo Method”, *KEK Internal 2000-20* (2001).

**Education for Radiations using Cgview**  
**(English Parts)**

# 1 Introduction

The features that we cannot see or feel radiations causes the difficulty for understanding radiations. The use of radiation trajectories shown on a personal computer(PC) will be useful to overcome this difficulty.

The use of PC will be interesting for students and the study of radiation trajectories will be very effective way for understanding radiation behaviors inside materials.

The system called “Cgview” to show trajectories, such as photons, electrons or positrons, calculated with the electro-magnetic cascade Monte Carlo code, EGS5[2] has been developed at KEK[1]. This system runs on the most of PC under Microsoft Windows even the geometries treated in this system are restricted to cylinders and planes. If the EGS5 user code is written for the specified program to be used for this display system, it is possible to control various conditions like a type of particle, an energy of particle etc. by communication with program.

We explain the newest version of our display system (Cgview) and the two EGS5 user codes (shield and detecc) written for the education purpose on radiations together with examples of a practice.

It is desired to explain about the EGS5 code system and the uses of the Monte Carlo code used at the related fields briefly. It is more effective to use this system connected with the practice of a radiation measurement using calibration source.

## 2 Brief Explanation about Monte Carlo Method and EGS5

### 2.1 Monte Carlo method

The calculation using the random number is generally called as “Monte Carlo method”. The name of Monte Carlo method was introduced by J. von Neumann and S. M. Ulam around 1945. It may be related to the name of Capital of Monaco, Monte Carlo which is famous as the place for gambles.

In a radiation transport calculation using Monte Carlo method, a behavior of radiations inside a material is followed by determining a interaction point of radiations like photon and electron, a type of interaction, scattering or absorption, etc. using the random number. It is possible to apply for the various problems like a absorbed dose calculation to a cancer or a noise of a X-ray film. The Monte Carlo method can be possible to apply the complex geometry like a real human body and its uses in the medical physics are increasing drastically together with the increase of the performance of computer.<sup>1</sup>

### 2.2 EGS5

The EGS5 code system is the Monte Carlo code to treat electro-magnetic particles like photons, electrons and positrons inside materials.

In EGS5, the following interactions are treated:

- photons – photoelectric effect, Compton scattering, pair creation and Rayleigh scattering,
- electrons – Møller scattering, bremsstrahlung, multiple scattering and continuous energy loss,
- positrons – Bhabha scattering, bremsstrahlung, multiple scattering, continuous energy loss and annihilation in flight and at rest.

EGS5 are used wide areas like in the medical physics, the high energy physics, the radiation shielding and the radiation physics.

---

<sup>1</sup>Lecture Notes about the particle transport by Monte Carlo method which include simple example by hand calculation is published as KEK Internal[3].

## 3 How to Use Trajectory Display System(Cgview)

### 3.1 Start operation of Cgview

When you double click cgview-3.0.7 icon , which is the newest version of Cgview system, following display appears first.

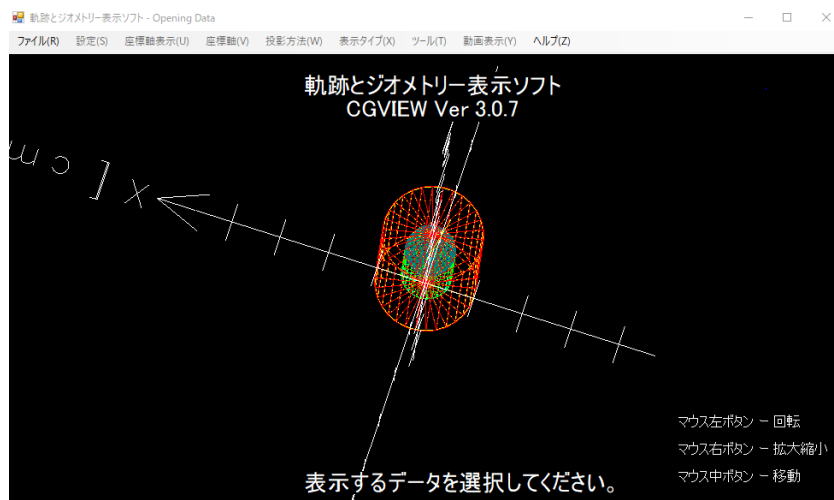


Figure 1: Main display.

The display size can be changed by using a mouse.

**Zoom in/out** Move the mouse while pushing the right button of the mouse. Zoom in and out by moving the mouse downward and upward, respectively.

**Parallel movement** Move the mouse while pushing both the right and left buttons or the central button of the mouse.

**Rotation** Move the mouse while pushing the left button of the mouse.

**Specified Range** Move the mouse while pushing the shift key and right button. Expand up to the specified white frame area.

### 3.2 How to use EGS5 user code

We will explain how to use the EGS5 user code using shield.exe including in this tool kit.

When a user needs to open a DOS window to run an EGS calculation, select [File]- [Open DOS window] in the main menu. Then command prompt window shows up.

It is supposed to use `c:/education/shield.exe`.

If the current directory is not "`c:/education`", change directory by type in "`cd c:/education`".

Start programme by type in `shield.exe`.

Key in parameter for a given question.

#### 1. Key in Material number

**1:Al, 2:Fe, 3:Pb, 4:Air, 5:PMMA, 0:end**

Enter the material number. (2)

#### 2. If you select lead as the material, a following question will appear.

**Do you want to produce K X-ray of Lead ? (0:no, 1:yes)**

You must key in 0 or 1 depending your requirement for K X-rays production.

3. **Key in particle type**

**-1:electron, 0:photon, 1:positron, 9:new material**

Enter the type of source particles.(0)

4. **Key in particle kinetic energy in MeV (0 means new particle)**

Enter the kinetic energy of source particles in MeV unit. (0.5)

5. **Key in slab thickness in cm (0 means change energy)**

Enter the thickness of the shield in cm. (3)

6. When the calculations for 50 sources is finished, “Key in slab thickness in cm (0 means change energy)” will be displayed again.

To read in file, select [File]-[Read geometry/trajectory data] in the main menu. Then, file dialog is displayed. Specify the file to be read in.

7. Particle trajectories will appear.

Check the geometry display type. If it is “Wire frame”, change to “Polygon”, with selecting [Display Type]-[Polygon] in the main menu.

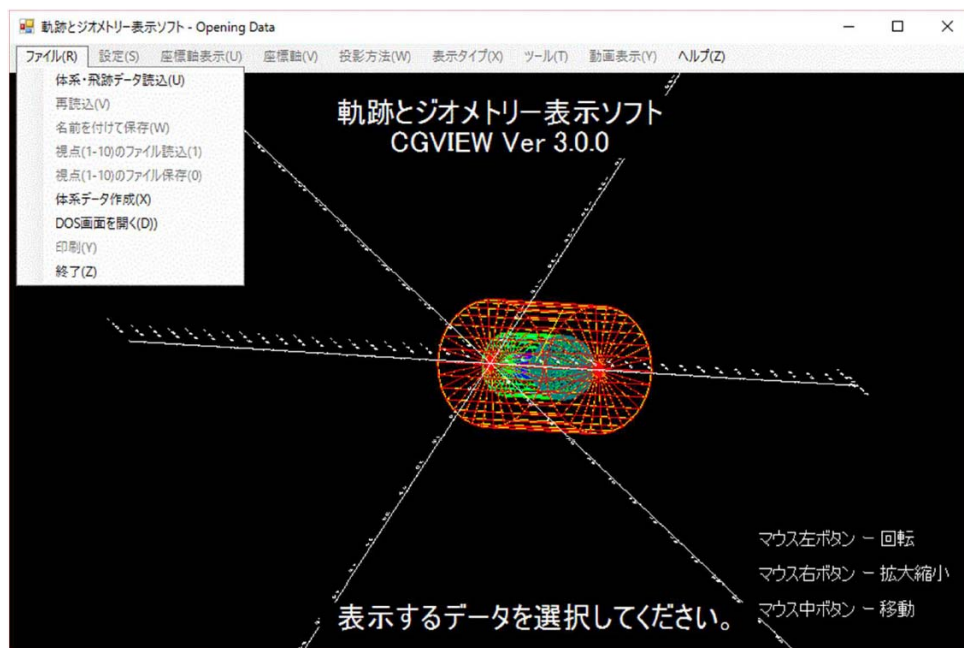


Figure 2: Define the file which includes the particle trajectories.

Following procedures can be possible to apply for the shown display.

- Move mouse while pushing the shift key and right button. Expand up to the specified white frame area.

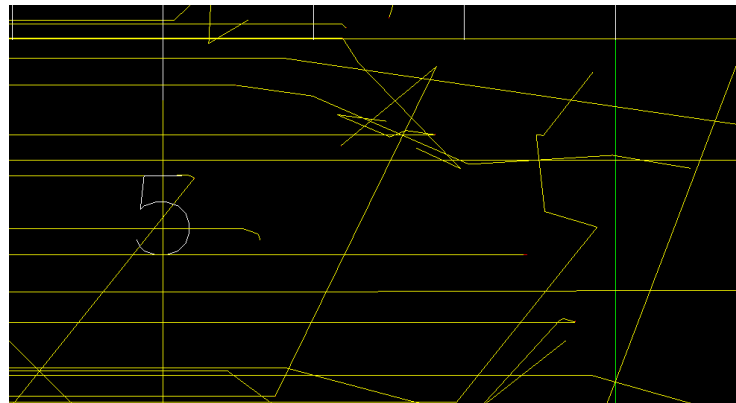
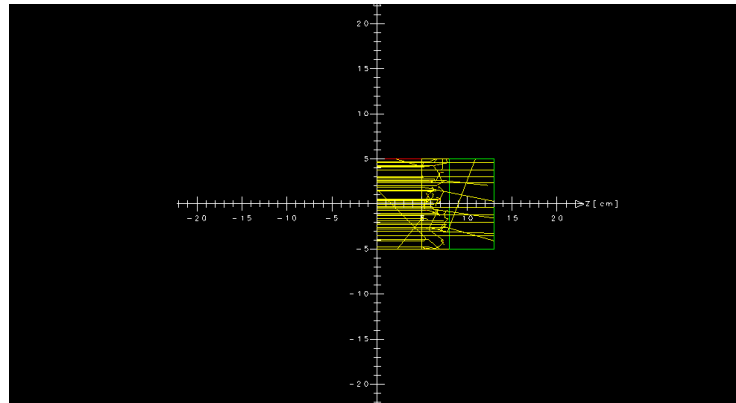


Figure 3: Trajectories inside 3 cm iron for 50 photon incidents with 0.5 MeV and its expanded display.

**Rotation** Move the mouse while clicking the left button to rotate the displayed objects.

**Change items** The following items can be changed regarding the particle trajectory display: history region, line color and line type for each kind of particle, and energy region. Select [Environment]-[Environment for Display] in the main menu to make a change.

**Title** A title can be displayed in a window. Please check [Title Display] in the General display. Then, a sample title appears in an input box, as shown in the following figure. The title can be typed in here. Also, a displayed title can be moved inside the main window by a left click.

**Legend of Particle Display** Legend to show the color and the line type of each particle can be included inside the display window by selecting "Legend of Particle Display".

## 4 Examples of Practices using Cgview

In the following examples, it is assumed that the PC in which Cgview and files necessary are installed is prepared for a each student.

### 4.1 Study of interactions of 0.1-10 MeV photons with Al, Fe and Pb

In this example, Cgview and shield.exe are used.

**A:** Explain how to use the system to students. (It is desired to show the way of handling using the projector connected to a PC.)

1. Double click the Cgview icon.
2. Shows up the command prompt by selecting [File]-[Open DOS window] in the main menu.
3. Enter shield on this prompt.<sup>2</sup>
4. Enter 1 for “Key in Material Number”. (This means that the material is aluminum.)
5. Enter 0 for “Key in Particle Type”. (This means that the particle type is photon.)
6. Enter 0.1 for “Key in particle kinetic energy in MeV (0 means new particle)”.
7. Enter 0.1 for “Key in slab thickness in cm (0 means change energy)”.
8. When “Key in slab thickness in cm (0 means change energy) will appears again, return to the display system.  
Select [File]-[Read geometry/trajectory data] in the main menu. Then, file dialog is displayed. Specify the file (egs5job.pic) to be read in.
9. Counts the type of interactions for 1 cm shield.
10. For determining the type of interactions, Fig. 4 will be used.
11. How to distinguish between K X-ray emission after photoelectric effect and Compton scattering.
  - Set the cut-off energy of photon to a slightly higher than the highest energy of K X-rays. In the case of lead, set to 0.088MeV.
  - If the trajectory of this photon disappears, the interaction is photoelectric effect.
12. If the above counting is finished, return to the Command prompt (MS-DOS prompt) and repeat procedure after 7.
13. If you enter 0 at the step 7, you will return to the step 6 and change energy of source particles.
14. If you enter 0 as the energy, you will return to the step 5. Enter 9 and repeat from the step 4.

**B:** Example of subjects to students

1. Calculate the probability of un-collided photons (P) and that of transmitted scattered photons (S) by counting the un-scattered and transmitted scattered photons during 50 source photons for the following cases.
  - material – Al, Fe and Pb
  - incident photon energy – 0.1, 1.0, 10.0 MeV
  - plane thickness – 1, 2, 5, 10 cm

---

<sup>2</sup>Change directory to the one that shield.exe is included if shield.exe is not included in the current directory.



2. Count the type of interactions for 1 cm case. Use the “EXPAND” function to determine the type of interaction.
3. Plot P on a semi-logarithmic graph as the function of thickness including 1 for 0 cm for each material and an incident photon energy.
  - Perform a regression calculation with an exponent.
  - Calculate the thickness at that the P becomes 1/e (e=2.72).
  - This thickness is called as “photon mean free path (mfp)”.
  - Consider the material or incident photon energy dependence of the mean free path.
  - Express the physical meaning of the mean free path.
4. Consider energy dependence of the mean free path of Pb for the incident photon energy of 60, 80, 100 and 120 keV.
5. (P+S)/P is the quantity called as a “number buildup factor”. Consider the dependence of the number buildup factors to the plane thickness, the incident photon energy and the material.
6. Consider how the main interaction varies depending on the source energy and the material.
7. Express how is each interaction used at the diagnostics or the treatments using photons.
8. Compared the obtained mean free paths of Al, Fe, and Pb for 1 MeV photons with the theoretical ones.<sup>3</sup>

**C: Theoretical values of photon cross sections**

Al, $\rho=2.699\text{g/cm}^3$					
Energy	$\mu/\rho$	$\lambda = 1/\mu$	Photo/Total	Compt/Total	Rayl./Total
0.1MeV	0.1704	2.17cm	0.11	0.84	0.05
1.0MeV	0.06146	6.03cm		1.00	
10.0MeV	0.02318	16.0cm		0.64	

Fe, $\rho=7.874\text{g/cm}^3$					
Energy	$\mu/\rho$	$\lambda = 1/\mu$	Photo/Total	Compt/Total	Rayl./Total
0.1MeV	0.3717	0.342cm	0.55	0.37	0.08
1.0MeV	0.05995	2.12cm	0.006	0.99	0.004
10.0MeV	0.02994	4.24cm	0.0004	0.48	

Pb, $\rho=11.35\text{g/cm}^3$					
Energy	$\mu/\rho$	$\lambda = 1/\mu$	Photo/Total	Compt/Total	Rayl./Total
0.1MeV	5.549	0.0159cm	0.95	0.02	0.03
1.0MeV	0.07102	1.24cm	0.26	0.71	0.03
10.0MeV	0.04972	1.77cm	0.01	0.25	0.0006

---

<sup>3</sup>If the corresponding measurement using <sup>60</sup>Co  $\gamma$ -rays was done in advance, it is better to compare with the experimental ones.

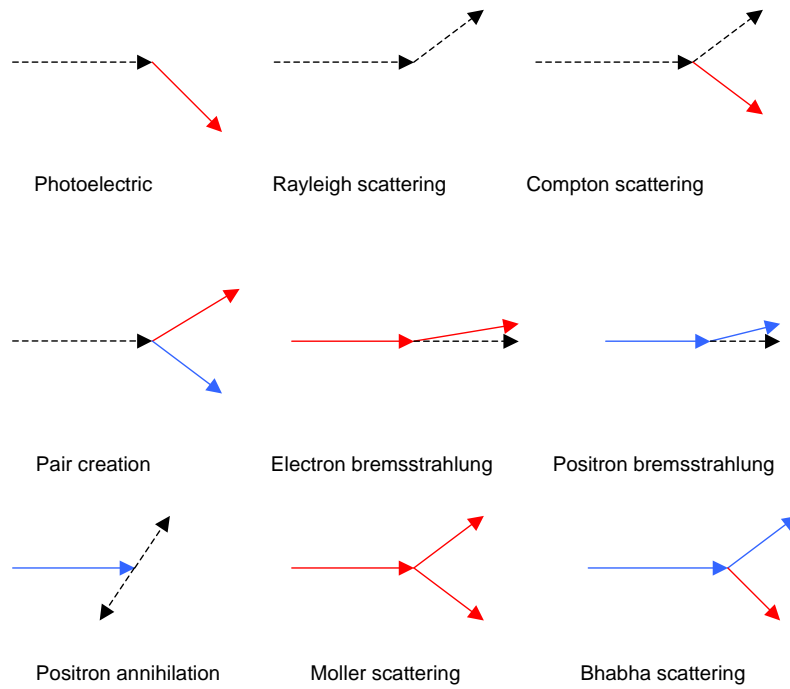


Figure 4: Schematic diagrams of each reaction. photon: black dotted line, electron: red line, positron: blue line. (On display, photons are displayed as yellow line.)

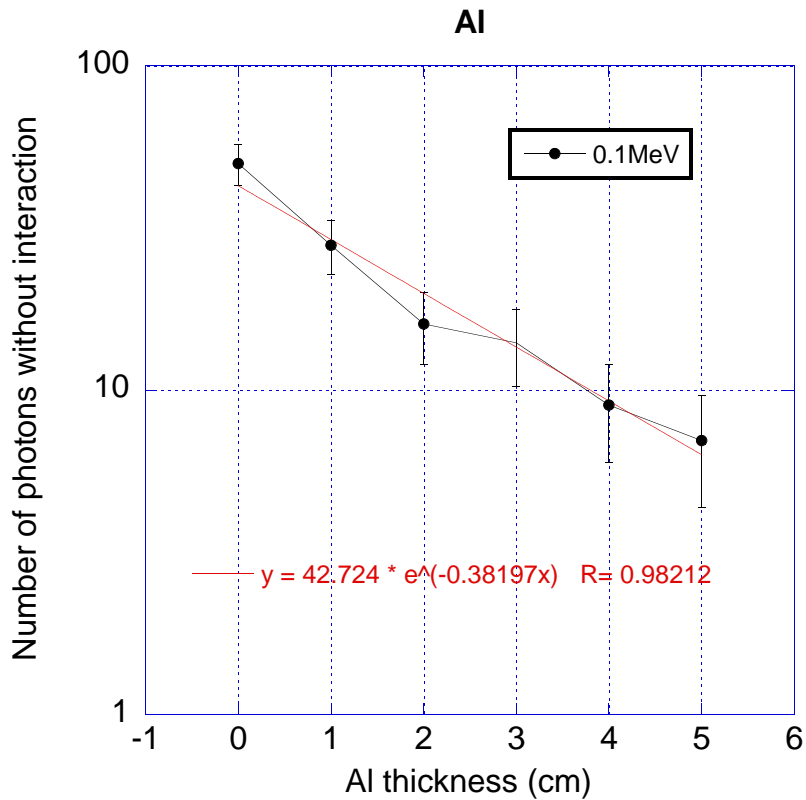


Figure 5: An example of the plot of attenuation curve.

## 4.2 Simulation of $\gamma$ -ray energy measurement by a radiation detector

In this practice, the EGS5 user code `detecc.exe` which is written for the energy deposition calculation of various radiation detector together with `Cgview`. A diameter of the detector is fixed to 3 inches(7.62 cm) but its thickness of the detector can be set by the student. Ge, NaI and BGO are prepared as the detector.

A NaI detector with 3 inches thickness is supposed in the following example.

**A:** How to use the system

1. Double click the icon of the `Cgview`.
2. Shows up the command prompt by selecting [File]-[Open DOS window] in the main menu.
3. Enter `shield` on this prompt.<sup>4</sup>
4. Enter a type of energy spectrum for “Key in absorbed energy spectrum form” depending on the graphic software that student will use.  
**0:** A response is given for corresponding to the middle value of the energy bin.  
**1:** A response is given both for corresponding to the lower and upper energy of the energy bin.
5. Enter 2 as a type of the detector for “Key in Material number (1:Ge, 2:NaI, 3:BGO, 0:End of run)”. (This means that the detector is NaI.)
6. Enter 0 as the type of particle for “Key in Particle type (-1:electron, 0:photon, 1:positron)”. (This means that the source particle is photon.)
7. Enter 7.62 as a detector thickness for “Key in slab thickness in cm (0.0 means change energy). (This means that the thickness 7.62 cm.)
8. Enter 1 as a source particle energy for “Key in particle kinetic energy in MeV (0.0 means change material and particle).
9. Enter 1 as a number of cases for “Key in number of cases (0 means change energy)”.
10. Key in number of cases (0 means change energy) will appear again when a required calculation is finished.
11. Return to the display system.
12. Select `mortjob.pic` as the trajectory data file using a sub-menu “Data file open” of the menu “file” and click “OK”.
13. Particle trajectories will appear by clicking “Redraw”.
14. Sketch trajectories and record a type of interaction and an energy deposited in the detector.
15. How to distinguish between K X-ray emission after photoelectric effect and Compton scattering.
  - Set the cut-off energy of photon to a slightly higher than the highest energy of K X-rays. In the case of lead, set to 0.088MeV.
  - If the trajectory of this photon disappears, the interaction is photoelectric effect.
16. Return to the Command prompt and repeat from the step 9.
17. After 20 times attempts, enter 5,000 as a number of cases for “Key in number of cases (0 means change thickness)” and study a distribution of absorbed energy.  
The distribution of the absorbed energy is written on a `mortjob.17o`.

---

<sup>4</sup>Change directory to the one that `shield.exe` is included if `shield.exe` is not included in the current directory.

18. Repeat from the step 8 by entering 0 for “Key in number of cases (0 means change thickness)”.

**B: Example of subjects for students**

1. Enter a 1 MeV photon to a 3” length NaI detector using detecc.exe, and sketch trajectories. Record the type of interactions and energy absorbed inside the detector. Repeat this 20 times. (see Figs. 6 and 7) (Rotate 90° around Y-axis to see a leak of a radiation from the detector)

Study following items after 20 times trials.

- (a) How is the absorbed energy when all particles are absorbed inside the detector?
  - (b) How is the absorbed energy when part of particles are absorbed inside the detector?
  - (c) How is the absorbed energy when a photon transmits without any interaction?
2. Calculate the absorbed energy distribution for 5000 source photons. (Fig. 8) Record a total and a peak efficiencies. A total efficiency is the sum of the energy distribution and a peak one is a probability that an energy of an incident photon is absorbed inside the detector.
    - (a) What reaction in the sketch of trajectories is corresponding to a full energy absorption peak?
    - (b) What reaction is corresponding to other peaks it they are exists? (Hints: There is a possibility to make a peak if K X-rays( $K_\alpha=0.028$ ,  $K_\beta=0.033$ ) or annihilation photons leaks from the detector.)
    - (c) What reactions in the sketch is corresponding to a continuous part? Why does a peak not appear in this case?
  3. Repeat the same things for 0.3 MeV and 3.0 MeV photons.
  4. What is the reason of the difference between the highest energy of the continuous part and the peak energy ( $\Delta E$ )? Plot  $\Delta E$  as the function of an energy of source photons and compare with a theoretical value.

Hints

- A recoil photon energy,  $k_c$  (MeV), after Compton scattering can be calculated by a following equation for a energy of incident photons,  $k_0$  (MeV), and a scattering angle,  $\theta$ .  $k_c = k_0 / \{1 + k_0(1 - \cos\theta)/0.511\}$
- A recoil energy,  $k_c$  becomes a minimum for  $\theta = 180^\circ$ . This minimum value of  $k_c$  is corresponding to the theoretical value of the above comparison.
- Consider a source energy dependence of total and peak efficiencies.
- Make problems about a response function or basic interactions by yourself and consider about them.

## 5 How to get Files

Get pict\_edu5c3.zip from the “KEK Radiation Science Center” Web page.

(<http://rcwww.kek.jp/research/shield/education/index.html>)

In the case that link was disconnected, please search by the key word of “egs radiation education”.

Extract pict\_edu5c3.zip on PC.

The following files are extracted:

- egs5-cgview (Related files to application)
- shield.exe
- shield.dat
- detecc.exe
- detec.dat

## 6 Summary

We presented examples of the lecture for students in medical physics above. It is possible to apply these examples to students in other fields. It is also possible to make other subjects using the programs including in this system.

Subjects and items to be studied are different for each research field. It is possible to make a user code which produces trajectories suitable for each field if he/she understands how to use EGS5 system.

We hope that this system is used as the tool of various lectures and is useful for understanding of radiations.

## References

- [1] Y. Namito, H. Hirayama, A. Takamura and T. Sugita, “EGS Particle Trajectory and Geometry Display Program cgview Ver 1.2”, *KEK Internal 2004-8* (2004).
- [2] H. Hirayama, Y. Namito, A. F. Bielajew, S. J. Wilderman and W. R. Nelson, “The EGS5 Code System”, *KEK Report 2005-8* and *SLAC-R-730* (2005).
- [3] H. Hirayama and Y. Namito, “Lecture Notes of Radiation Transport Calculation by Monte Carlo Method”, *KEK Internal 2000-20* (2001).

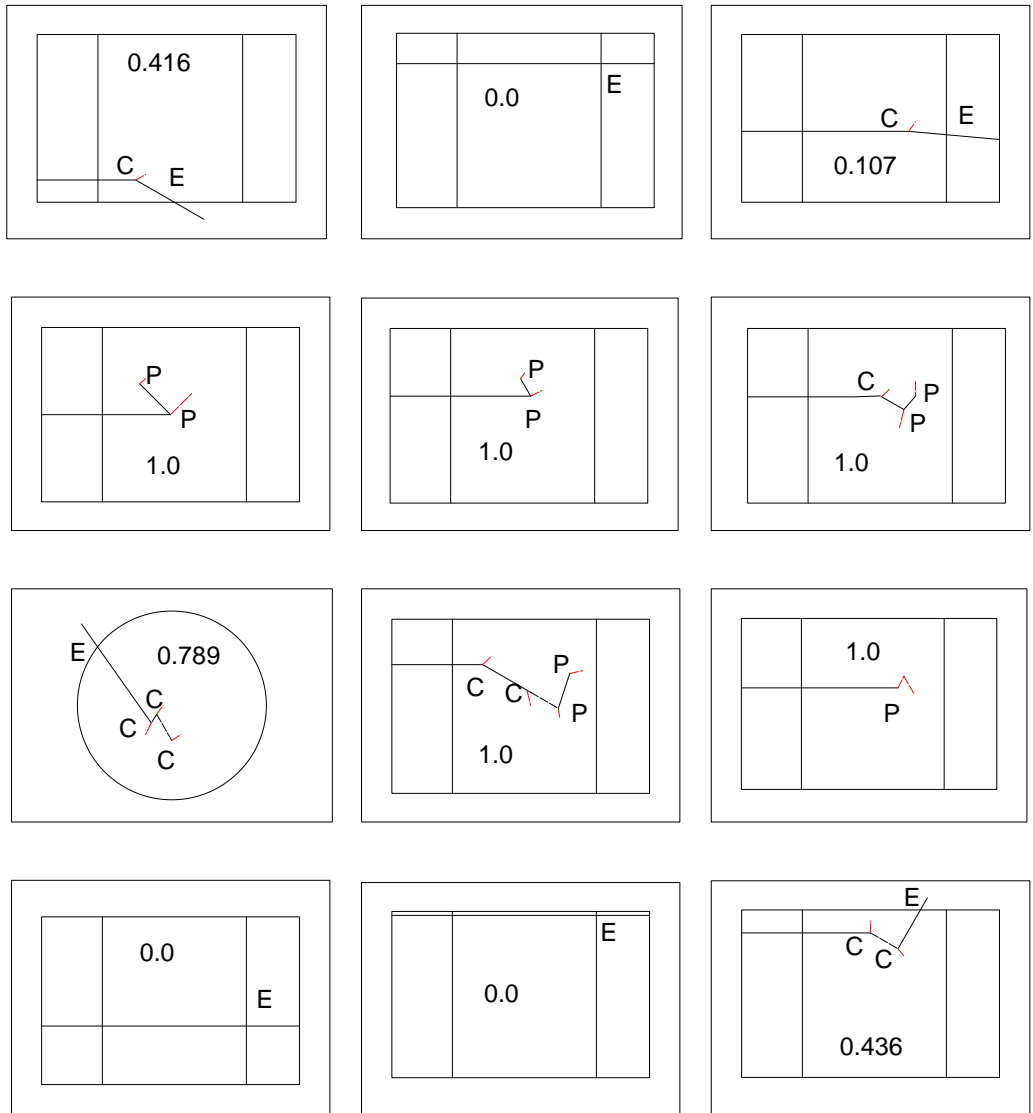


Figure 6: Example of sketches of trajectories. A trajectories of an electron is hard to see due to short distance. Therefore, a trajectory of electron in this sketch is written longer than the real one. C, P, and E in the figure indicate Compton scattering, photoelectric effect and an escape from the detector, respectively. An absorbed energy shown at the command prompt (MS-DOS prompt) is also written for each sketch.

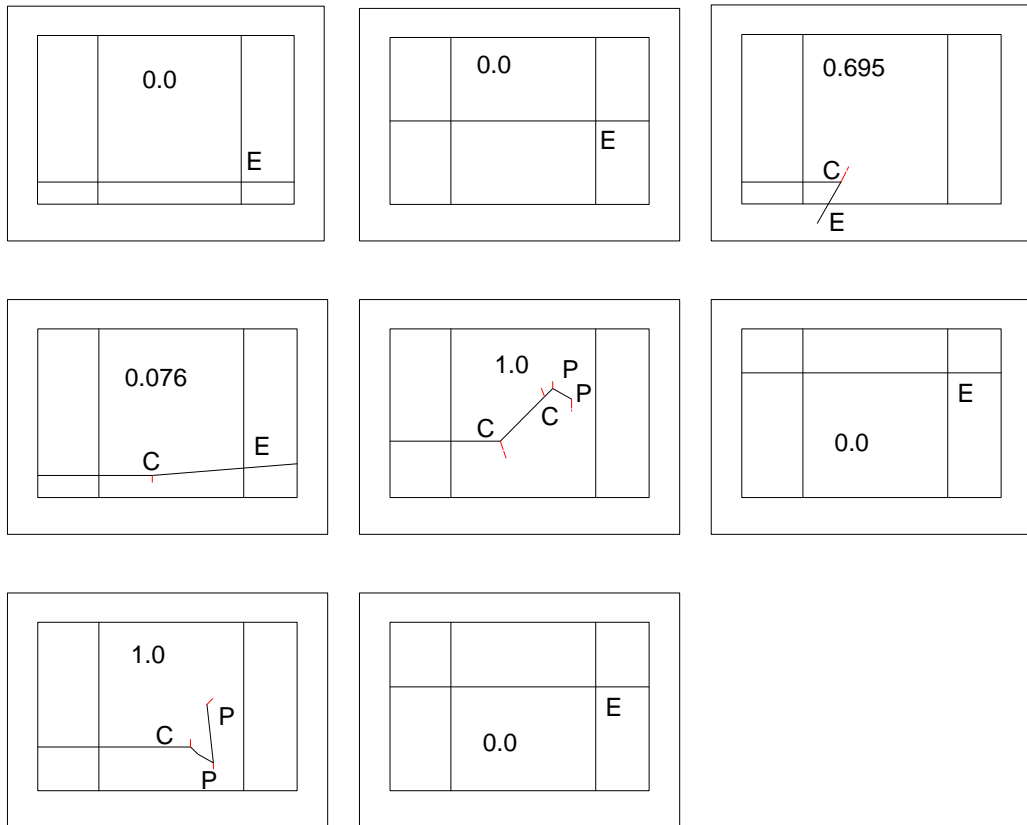


Figure 7: Example of sketches of trajectories. A trajectories of an electron is hard to see due to short distance. Therefore, a trajectory of electron in this sketch is written longer than the real one. C, P, and E in the figure indicate Compton scattering, photoelectric effect and an escape from the detector, respectively. An absorbed energy shown at the command prompt (MS-DOS prompt) is also written for each sketch.

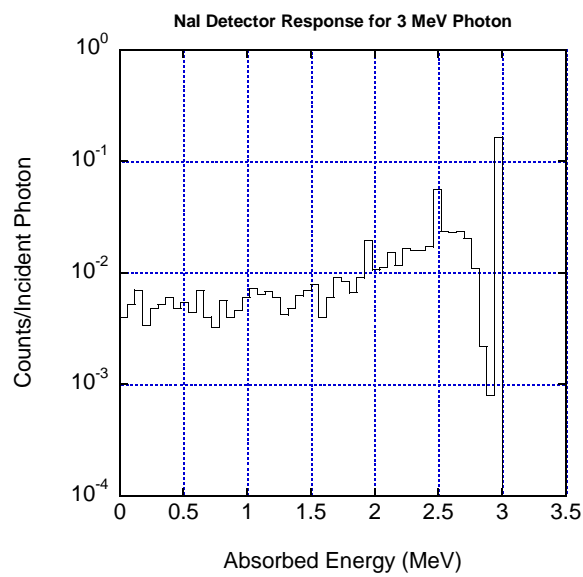
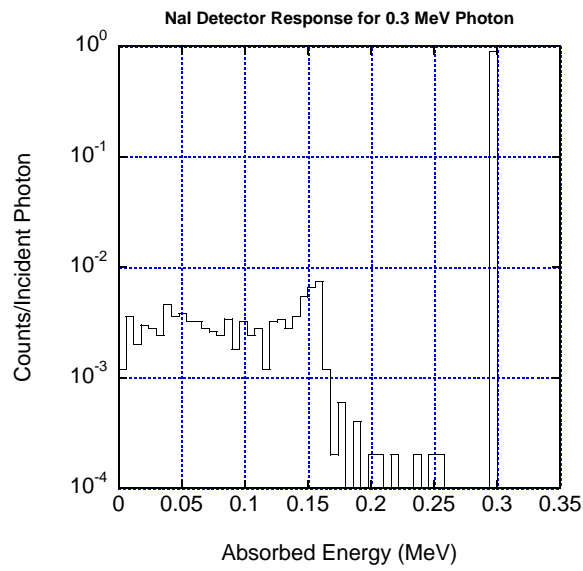
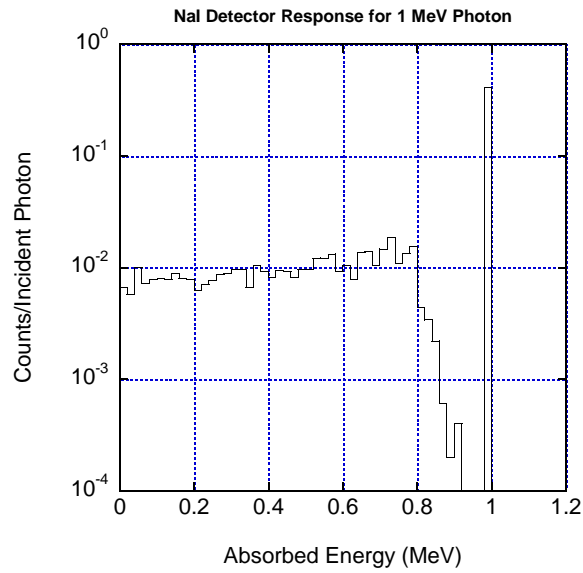


Figure 8: Absorption energy distributions for 1MeV, 0.3 MeV and MeV photons.