

Курсовую работу выполнила: студентка 2 курса

Лычагина Ольга Егоровна

Научный руководитель: д.ф.-м.н. Никитин В.А.

Гамма-спектроскопия

Gamma-spectroscopy

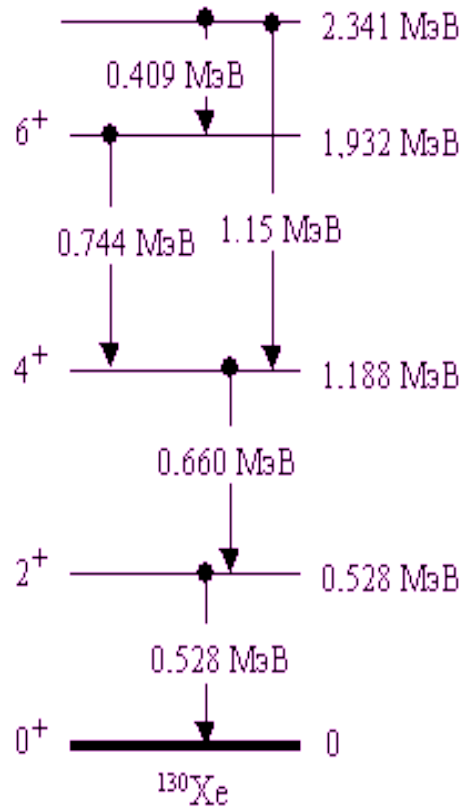
МГУ им. М.В. Ломоносова, физический факультет

Кафедра физики элементарных частиц

Москва, 2018



введение

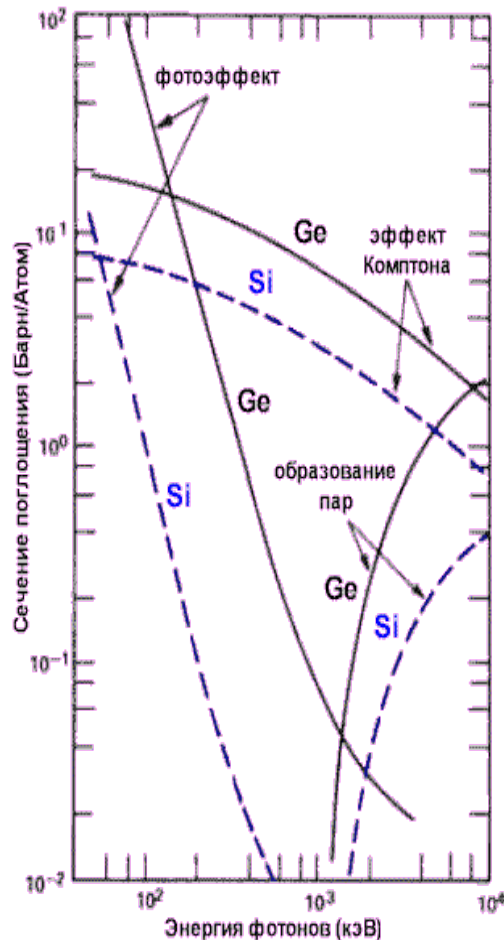


*Схема γ -переходов между уровнями ядра.
Нижний уровень – основное состояние
ядра.*

- **Гамма-спектроскопия** – раздел физики атомного ядра, посвященный исследованию энергетических спектров гамма-излучения, испускаемого атомными ядрами в распадах и реакциях. В более широком смысле гамма-спектроскопия включает в себя исследование всех характеристик γ -излучения, испускаемого не только ядрами, но и атомами и элементарными частицами.



Гамма-спектрометр



Зависимости сечений неупругих взаимодействий гамма-квантов от энергии для германия и кремния.

Гамма-спектрометр – прибор для определения энергии γ -квантов.

Взаимодействие γ -кванта с веществом в гамма-спектрометре идёт по трем каналам (типам) взаимодействия:

фотоэффект;

комpton-эффект;

рождении пары электрон-позитрон.

Ниже порога рождения пары γ -кванты регистрируются по комptonовским электронам и фотоэлектронам. В области совсем малых основную роль играет фотоэффект. При высоких энергиях – образование пар.

При не очень больших энергиях, в результате взаимодействия энергии гамма-кванта



Типы гамма-спектрометров

- **Сцинтилляционный** (под действием электронов, создаваемых γ -квантами, возникает кратковременная вспышка света, преобразуемая в ФЭУ в электрический импульс)
- **Полупроводниковый** (γ -кванты обычно регистрируются в монокристалле германия. Электроны, образуемые γ -квантами, производят электронно-дырочные пары, которые под действием приложенного электрич. поля создают импульс тока, амплитуда которого пропорциональна энергии электрона)
- **Магнитный** (по траектории движения в магнитном поле определяются энергии комптоновских электронов или электрон-позитронных пар, создаваемых γ -квантами в тонком радиаторе)
- **Кристалл-дифракционный** (измеряет длину волны γ -кванта)
- **Спектрометр, основанный на регистрации черенковского излучения** (излучения от электронно-фотонных ливней, создаваемых γ -квантами в радиаторах из тяжелого прозрачного вещества, напр. свинцового стекла)



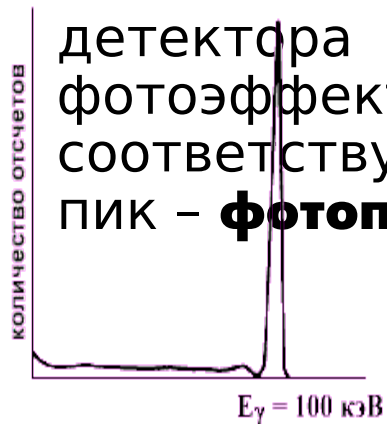
Физические процессы и формирование сигнала в гамма-спектрометре

■ Фотоэффект

$$E_e = E_\gamma - E_b - E_r,$$

где E_γ – энергия гамма-кванта, E_b – энергия связи электрона и E_r – энергия ядра отдачи

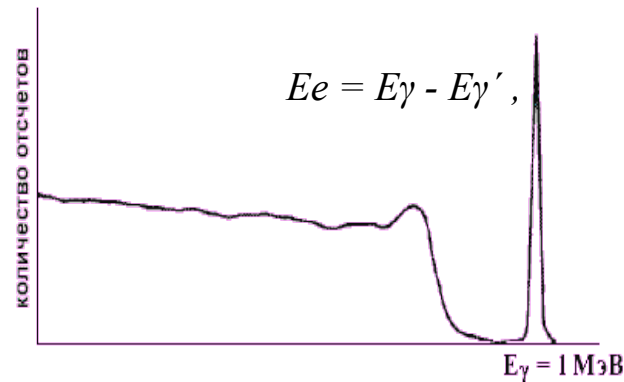
В функции отклика детектора фотоэффекту соответствует пик – **фотопик**.



■ Комptonовское рассеяние

Электронам передается только часть энергии

$$1 + \frac{E_\gamma}{mc^2} (1 - \cos \theta)$$



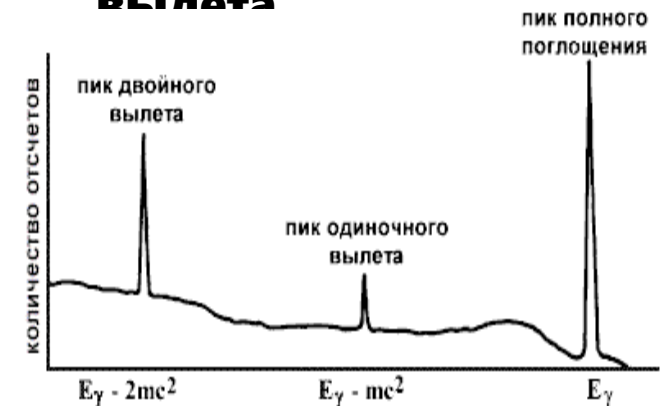
Пик обратного рассеяния

связан с комптоновским рассеянием на материалах, окружающих детектор под углом $\sim 180^\circ$, которые затем попадают в детектор и вызывают фотоэффект.

■ Образование пар

Если вся энергия γ -кванта поглотится в веществе детектора – **пик полного поглощения**.

Если один из этих аннигиляционных гамма-квантов вылетит из детектора – **пик одиночного вылета**



Разрешающая способность и эффективности детекторов

- Разрешающая способность гамма-спектрометра характеризует возможность разделения двух линий γ -излучения, близких по энергии. Количественно она определяется отношением $\Delta E/E$, где ΔE – ширина линии (в единицах энергии) на половине ее высоты.

- Величина R получается в результате сложения четырех компонент:

$$R^2 = R_s^2 + R_c^2 + R_n^2 + R_{in}^2$$

где R_s^2 обусловлено статистическими процессами в детекторе, R_c^2 – шумами, R_n^2 – внутренним разрешением сцинтиллятора и R_{in}^2 – флуктуациями в светосборе.

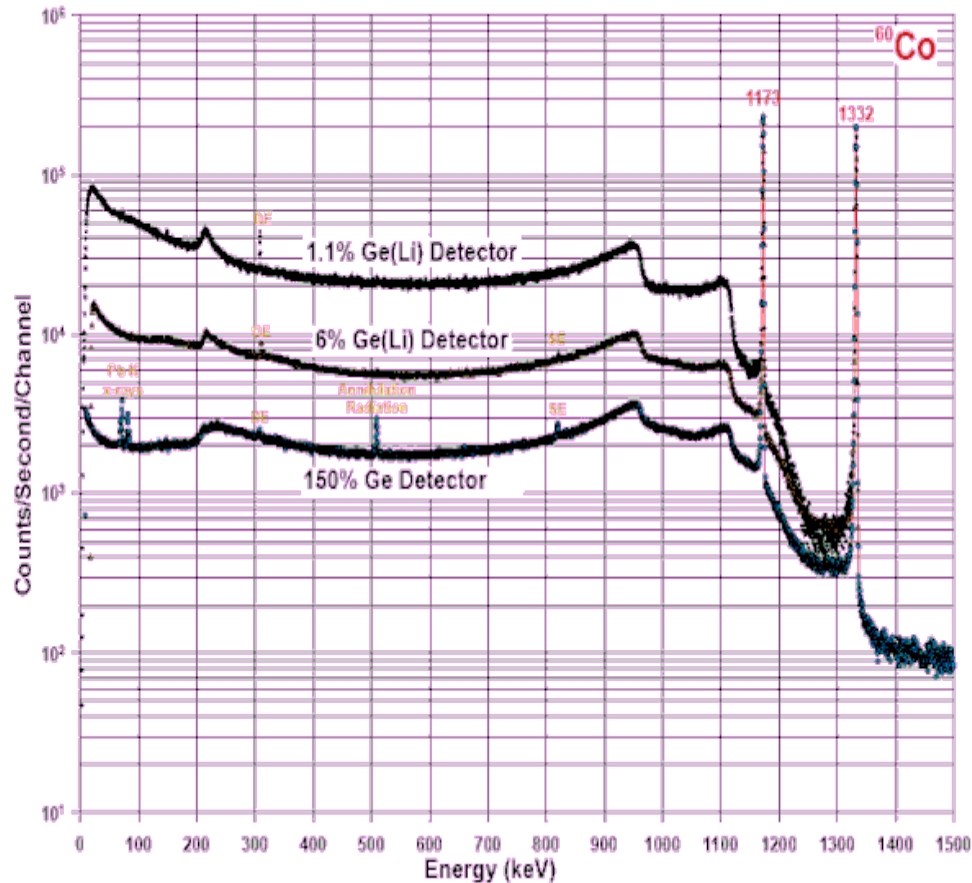
- Типы эффективностей:

– Абсолютная эффективность $\epsilon_{abs} = n_{det}/n_{em}$

– Внутренняя эффективность $\epsilon_{int} = n_{det}/n_{str}$



Разрешающая способность и эффективности детекторов



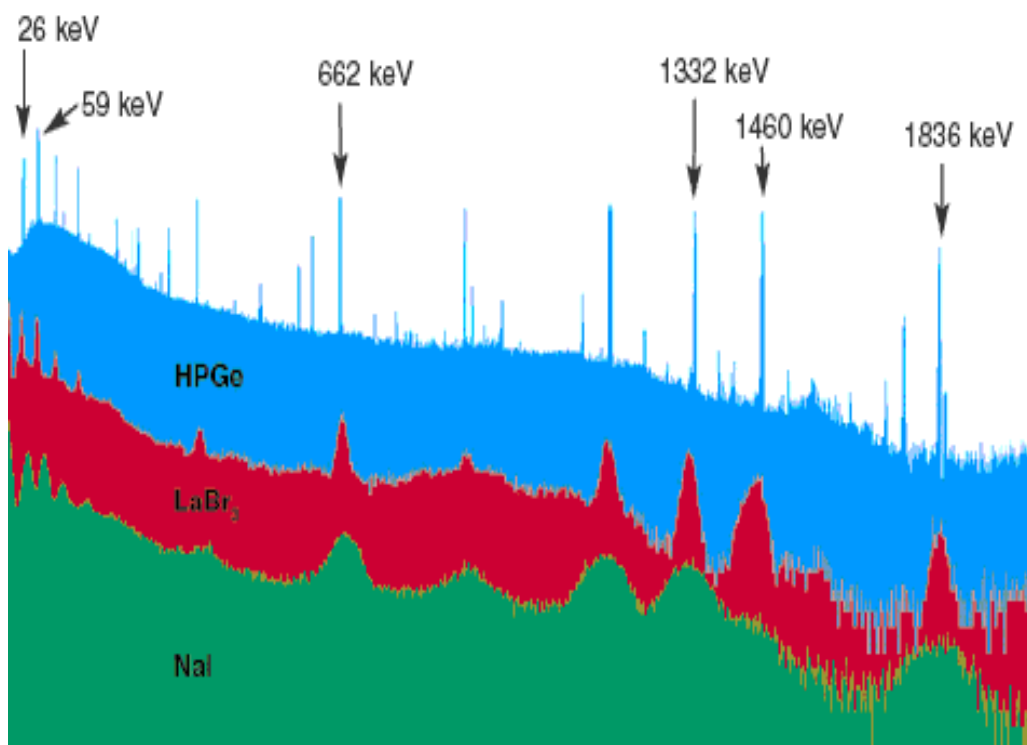
Спектры ^{60}Co измеренные тремя германиевыми детекторами различного объема. DE — пик двойного вылета, SE — пик одиночного вылета. На спектре измеренном с детектором большого объема видны также пики, возникающие за счет процессов в защите детектора — характеристические рентгеновские и аннигиляционные фотоны.

- Увеличение объема детектора ведет к заметному уменьшению вклада комптоновского распределения. От объема детектора зависят также вклады пиков одиночного и двойного вылета.

- В спектре измеренном с детектором небольшого объема виден только пик двойного вылета (DE), пик одиночного вылета незаметен. При увеличении объема вклад пика двойного вылета уменьшается, а вклад пика одиночного вылета (SE) растет.



Разрешающая способность и эффективности детекторов



Сравнение спектров, измеренных с Ge, LaBr₃(Ce) и NaI(Tl) детекторами

- Среди сцинтилляционных детекторов, лидирующее положение занимают детекторы NaI(Tl). Они могут быть изготовлены большого объема, соответственно большой эффективности. Детекторы из германата висмута (BGO) имеют худшее по сравнению с NaI(Tl) детекторами разрешение, но из-за большего Z имеют лучшее отношение пик/комpton. Детекторы из бромида лантана LaBr₃(Ce) обладают разрешением приблизительно в два раза лучшим, чем детекторы NaI(Tl).



калориметры

- Для регистрации энергии частиц и поиска новых используются **калориметры** – наборы детекторов в количестве 100 и более.
- Энергетическое разрешение калориметра изменяется с ростом энергии следующим образом:

$$\frac{\sigma_E}{E} = \frac{const}{\sqrt{E}}$$

Калориметры

(по типу детектируемых частиц)

Гетерогенные

Калориметры
(по геометрии)

Электромагнитные Адронные

Гомогенные



Список литературы

- [1] Д. Перкинс Введение в физику высоких энергий — М. Энергоатомиздат, 1991 — 429 с.
- [2] Ю.К. Акимов Фотонные методы регистрации излучений — Дубна, ОИЯИ, 2014 — 323 с.
- [3] <http://nuclphys.sinp.msu.ru/enc/e039.htm>

