

# Introduction au Laboratoire de Physique III Physique Nucléaire et Corpusculaire

Alessandro Bravar  
([Alessandro.Bravar@unige.ch](mailto:Alessandro.Bravar@unige.ch))

<http://dpnc.unige.ch/tp/>

# Le Laboratoire de Physique nucléaire

*Expériences classiques* de la physique nucléaire et des particules qui ont marqué le développement de la physique subatomique pendant les premières ~60 années du siècle passé, mais *avec des détecteurs et appareillages modernes* (i.e. les mêmes que nous utilisons aujourd'hui au CERN).

## Ce que l'on apprend :

- Différentes techniques de détections des particules élémentaires avec détecteurs à semi-conducteurs et détecteurs à scintillation
- Mise en route d'un appareillage simple mais complet
- Différents dispositifs électroniques
- Calibration d'un détecteur
- Acquisition des données
- Analyse des données (logiciel ROOT en C++, graphes et histogrammes, ...)
- Interprétation des données
- Programmation

On travail avec l'appui constant d'un assistant

(mais la plupart ne parle pas le français, donc en anglais).

On peut travailler seul ou à deux.

# Expériences

Différents projets sont proposés :

Expérience de Rutherford - 1911

structure de l'atome

Mesure du temps de vie des muons - 1947

interactions faibles

Mesure du flux de rayons cosmiques - 1912

nous sommes exposés en continuation au rayons cosmiques

Spectroscopie  $\alpha$ ,  $\beta$  et  $\gamma$  - ~1920

structure et transitions nucléaires

Diffusion Compton – 1923 (en préparation)

le photon est un corpuscule

Photo-détection avec détecteurs à silicium - ~2000

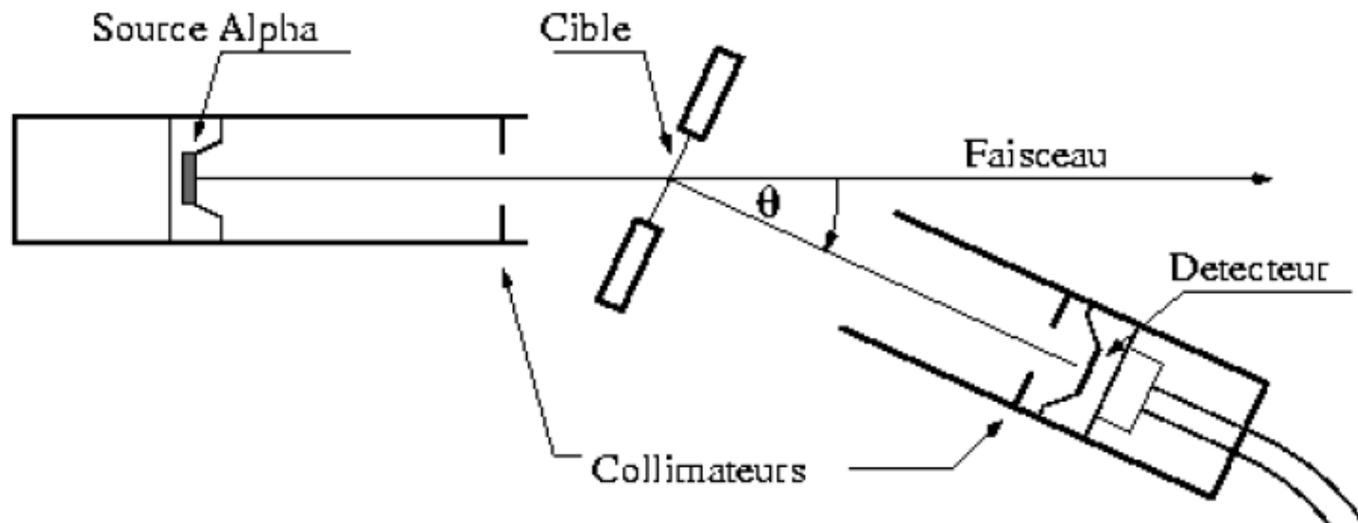
# Expérience de Rutherford

Dans cette activité, on refait l'expérience de Geiger et Marsden (1911), qui est à la base de la physique atomique et nucléaire.

Cette expérience a montré **l'existence d'un noyau chargé positivement dans l'atome**.

Il s'agit de mesurer la section efficace différentielle  $d\sigma / d\Omega$  pour la diffusion de particules  $\alpha$  sur une cible en or ou autre matériel.

L'expérience consiste à envoyer un faisceau de particules *alpha* ( $\alpha$ ) sur une mince feuille d'or et à observer la distribution des angles de diffusion. Les particules  $\alpha$  sont produites dans la désintégration d'une source de  $^{241}\text{Am}$  et mesurées avec un détecteur à semi-conducteur de silicium.

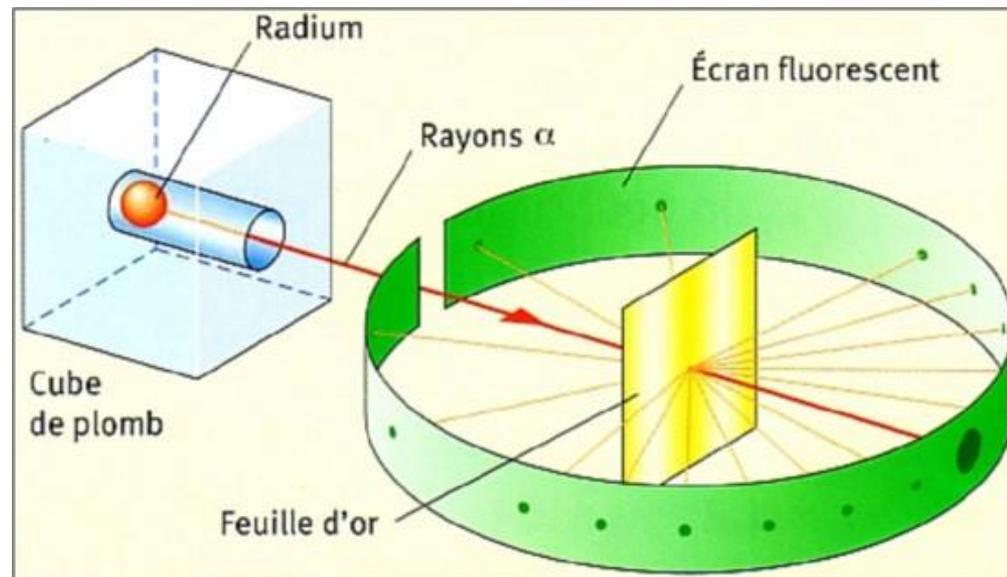


# Expérience

## Expérience de Rutherford - 1911

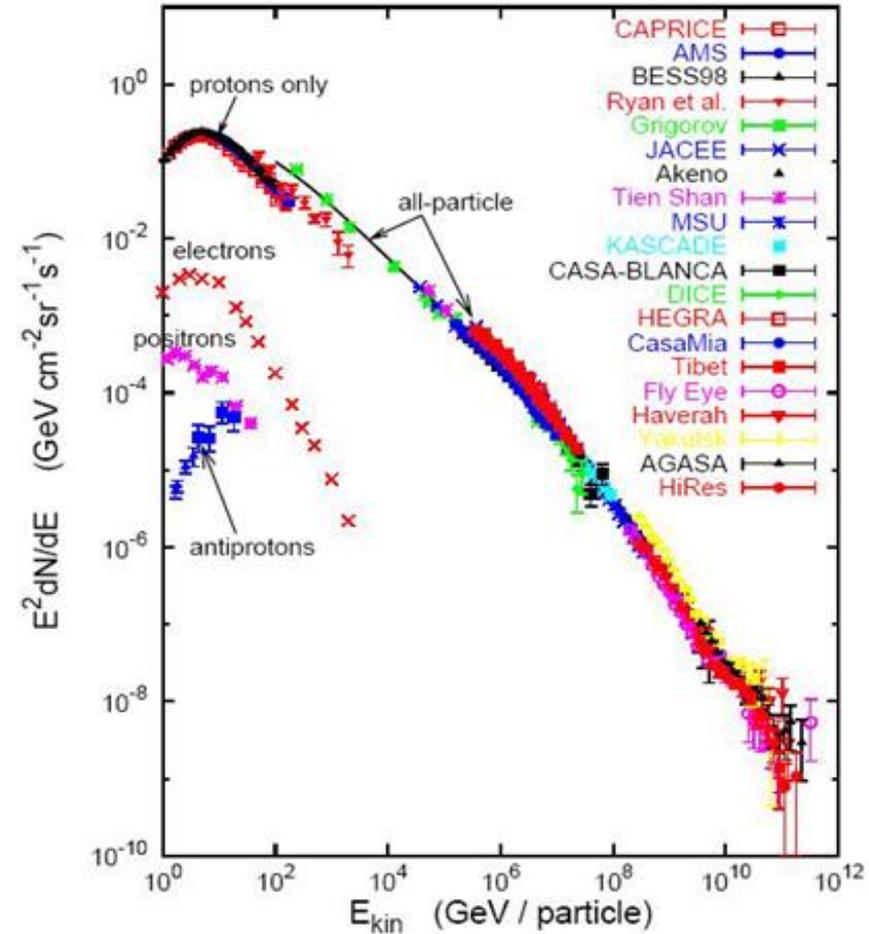
- activité de la source  $\alpha$
- absorption de particules  $\alpha$  dans la matière
- spectroscopie  $\alpha$
- diffusion des particules  $\alpha$  sur une mince feuille d'or  $\rightarrow$  découverte du noyau
- détection avec détecteurs à silicium (semi-conducteur)
- calibration d'un détecteur à silicium

assistant : Yannick Demets

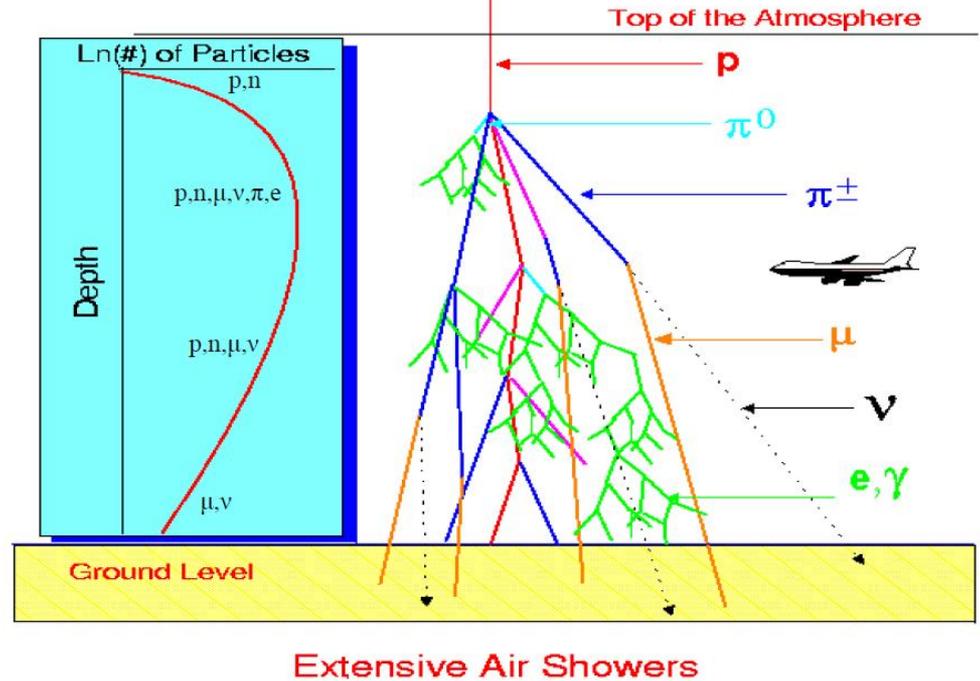


# Les Rayons Cosmiques

flux des rayons cosmiques primaires



développement d'une gerbe de particules

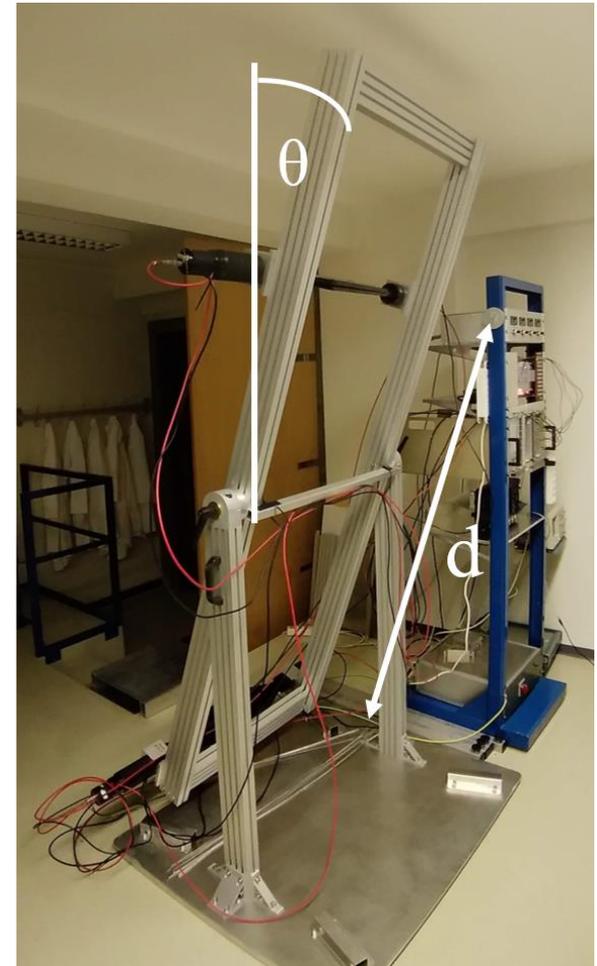


# Expérience

## Mesure du flux des rayons cosmiques - 1912

- détection des particules chargées dans les rayons cosmiques
- flux de rayons cosmiques au sol
- provenance des rayons cosmiques (modulation jour / nuit)
- distribution angulaire de rayons cosmiques
- détection avec des scintillateurs plastiques et photomultiplicateurs
- acquisition des données avec une carte FPGA (bases logiques et programmation)
- analyse des données avec ROOT
- simulations (calcul de l'angle solide)

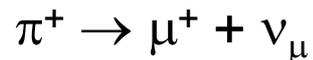
assistant : Riccardo Poggi



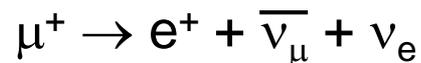
# Temps de vie des muons

Des pions sont produits dans l'interaction des rayons cosmiques de haute énergie avec le gaz dans la haute atmosphère (~30 km).

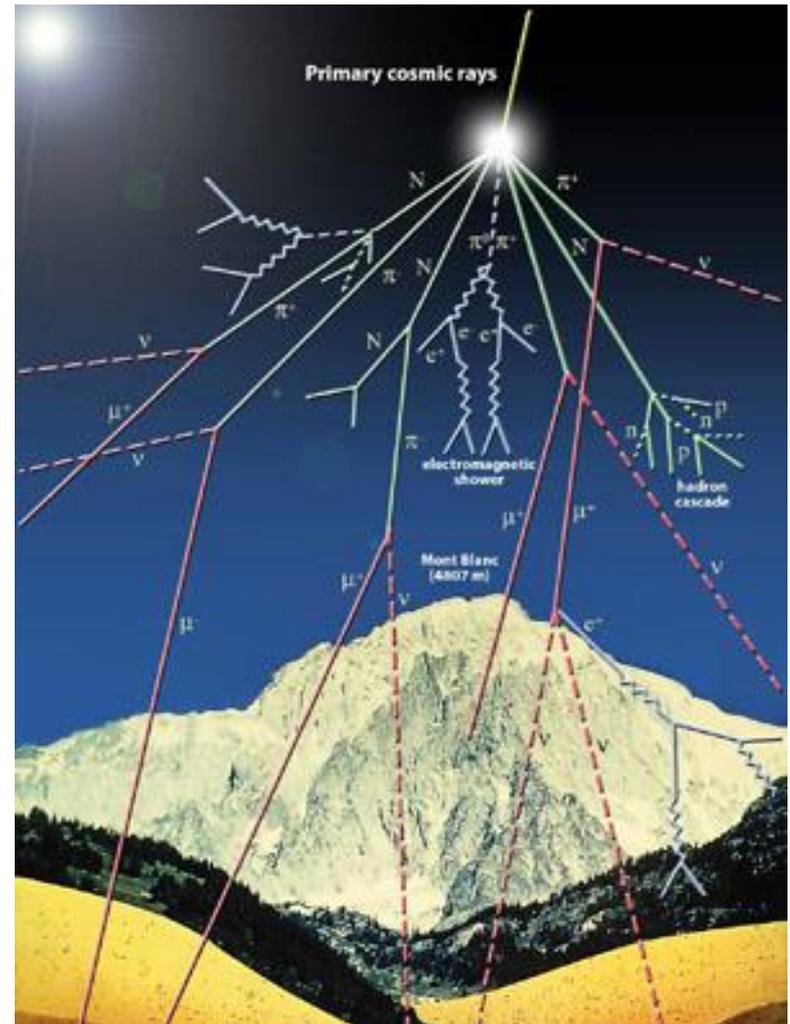
Ensuite, les pions se désintègrent en muons, p.ex. :



Les muons sont aussi des particules instables, qui se désintègrent, p.ex. :



L'expérience consiste à mesurer la distribution des temps de vie de ces muons.



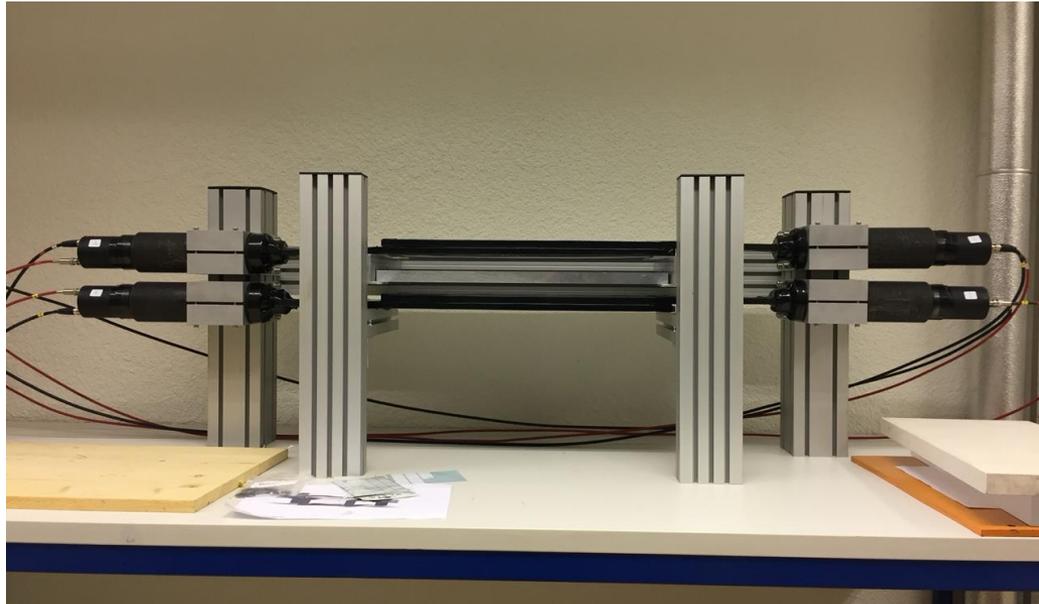
**Le temps de vie des muons** permet la détermination de la constante de couplage faible  $G_F$  (approx. basse énergie de l'interaction électro - faible).

# Expérience

## Mesure du temps de vie des muons (interactions faibles) - 1947

- détection des muons créés par les rayons cosmiques
- désintégration de muons → vie moyenne
- absorption des muons dans la matière / capture nucléaire
- détection avec des scintillateurs plastiques et photomultiplicateurs
- acquisition des données avec une carte FPGA (bases logique et programmation)
- analyse des données avec ROOT

assistant : Tomoya Iizawa



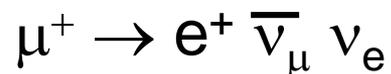
# Technique de détection

## Scintillateur :

lors du passage d'une particule chargée à travers le scintillateur, de la lumière est émise et transformée en signal électrique par le photomultiplicateur (détection).

## Absorbeur :

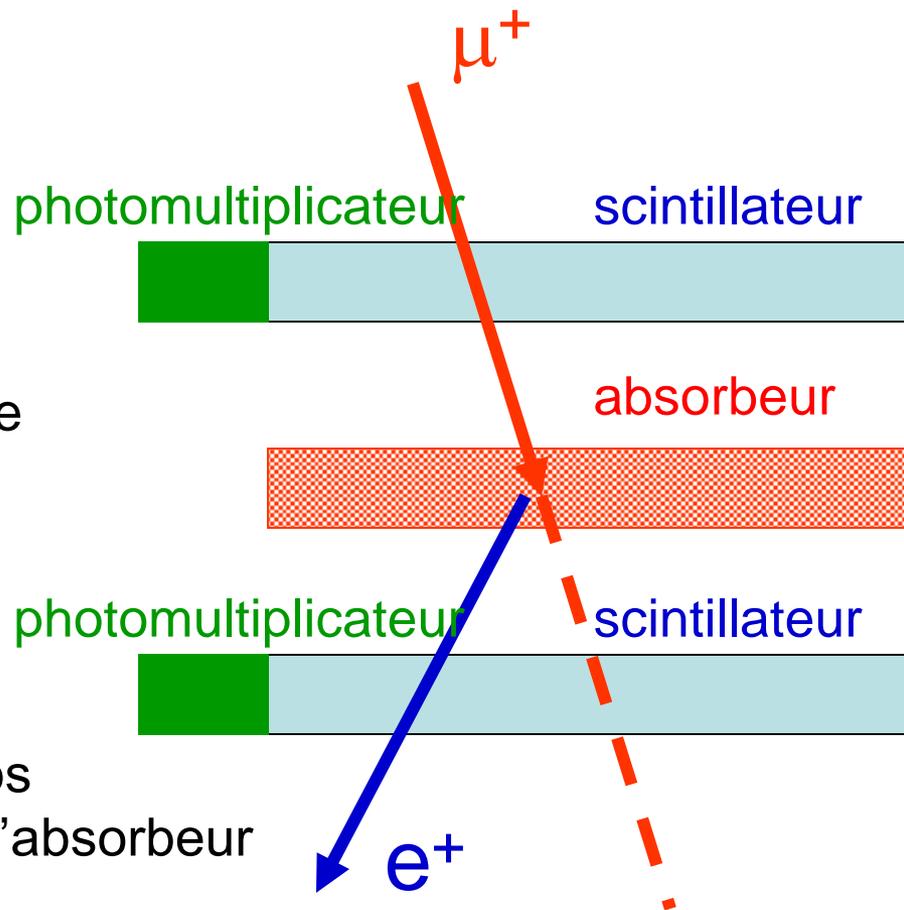
certain muons perdent toute leur énergie dans l'absorbeur où ils sont stoppés. Après un temps caractéristique, ils se désintègrent :



L'expérience consiste en mesurer le temps entre l'instant quand le muon entre dans l'absorbeur et l'instante quand l'électron sort.

La distribution de ces temps nous permet de déterminer **le temps de vie du muon**.

On utilise aussi différents absorbeurs (Cu et Al) pour étudier la capture des muons négatifs ( $\mu^-$ ) par le noyau.



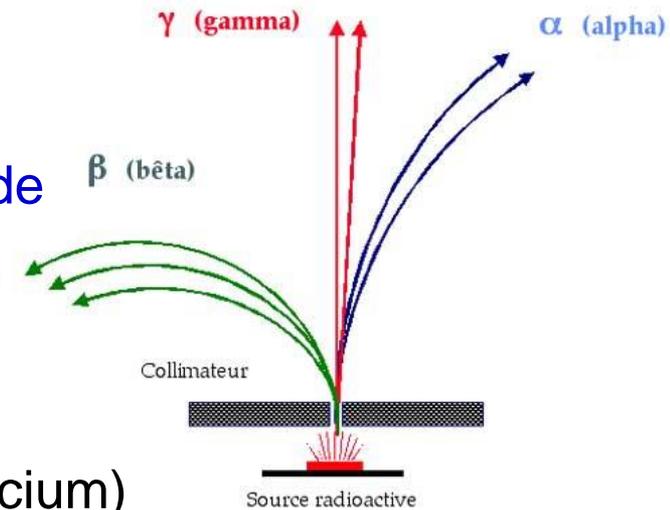
# Spectroscopie $\alpha$ , $\beta$ et $\gamma$

Mesure du spectre en énergie des particules issus de la désintégration de plusieurs isotopes radioactives, tels que  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{22}\text{Na}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{152}\text{Eu}$ , ...

avec

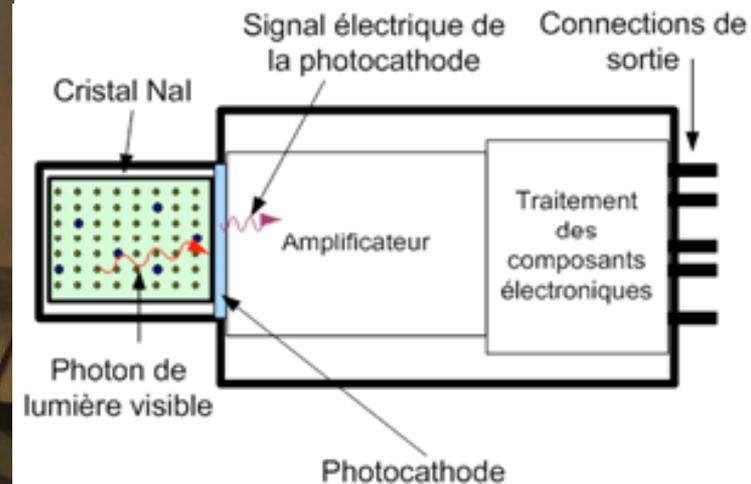
détecteurs semi-conducteurs (Germanium et Silicium)

détecteurs à scintillation (photomultiplicateur + cristal NaI ou scint. plastique)



Performance du détecteur :  
calibration en énergie  
résolution en énergie  
efficacité de détection

Spectre d'une source  $\beta$



# Expérience

## Spectroscopie $\alpha$ , $\beta$ et $\gamma$ (structure et transitions nucléaires)

- désintégration des nuclides naturels et artificiels
- détection des particules  $\alpha$ , électrons et photons
- mesure de l'énergie des particules  $\alpha$ ,  $\beta$  et  $\gamma$  issues des désintégrations nucléaires
- détection avec détecteurs à semi-conducteur (Si et Ge) et à scintillation (cristal NaI)
- calibration d'un détecteur à germanium
- identification des isotopes radioactifs responsables du bruit de fond naturel
- mesure de «l'âge» d'une source d' $^{241}\text{Am}$  par l'analyse détaillée de son spectre
- identification d'un échantillon radioactif de nature inconnue

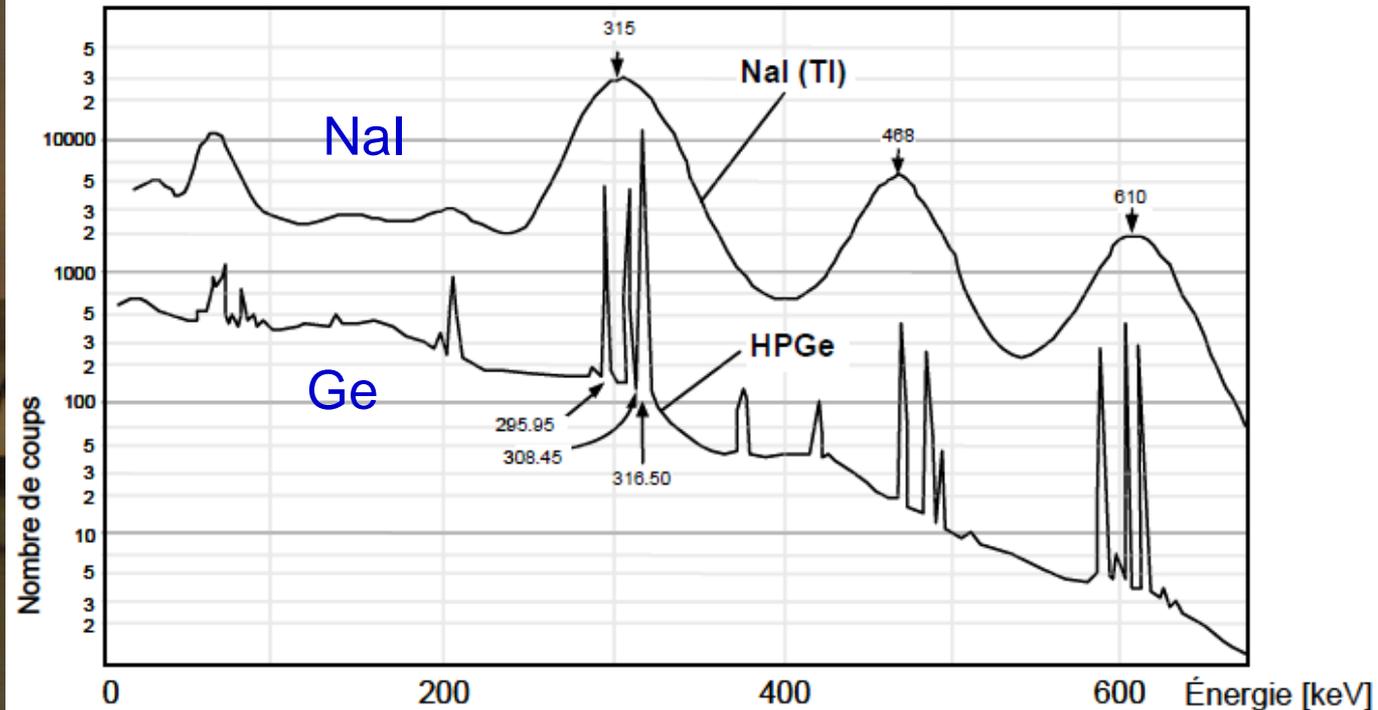
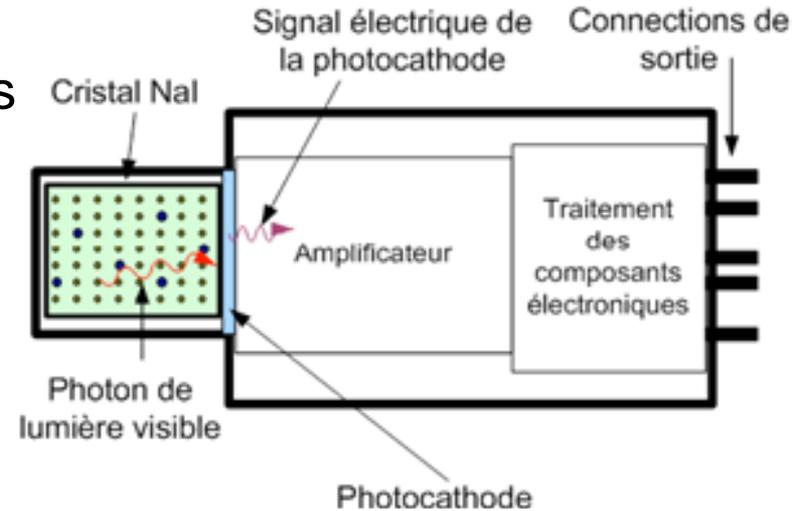
assistant : Herjuno Nindhito

# Spectroscopie Gamma

résolution en énergie des différents détecteurs

comparaison entre le semi-conducteur Ge et le photomultiplicateur avec un cristal NaI

calibration en énergie des détecteurs



# Diffusion Compton (en préparation)

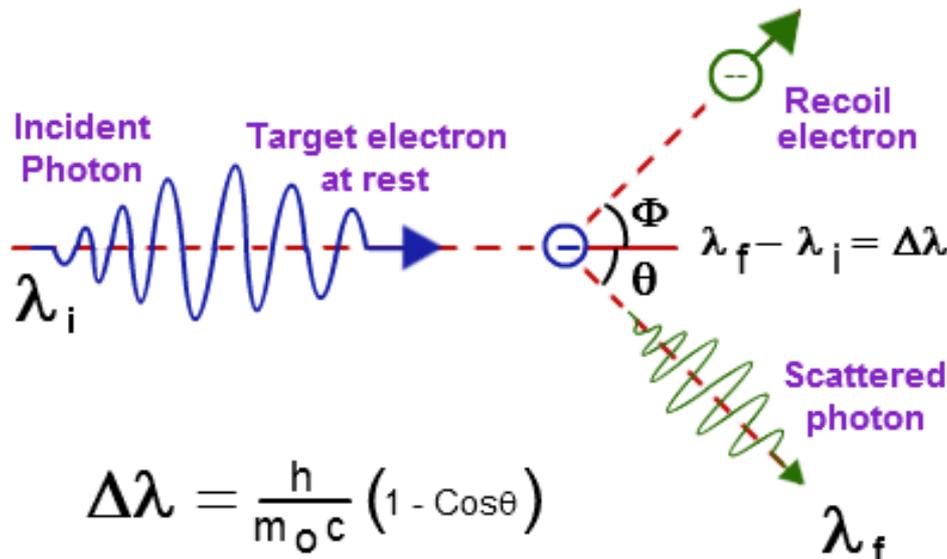
Cette expérience montre que **le photon se comporte comme une particules :**  
**diffusion  $\gamma + e^- \rightarrow \gamma + e^-$**

Source de photons : annihilation du positronium ( $e^+ e^-$ )

le photon a une énergie fixe de 511 keV

Le photon est d'abord diffusé dans un scintillateur en plastique  
puis détecté et analysé (énergie) par un cristal NaI

Il s'agit de mesurer la section efficace différentielle  $d\sigma / d\Omega$  pour la diffusion  
de photons sur des électrons.



# Expérience

## Diffusion Compton – 1923

- formation du positronium et détection des photons issus de l'annihilation  $e^+ e^-$
- détection de photons
- calibration des scintillateurs plastiques et du cristal NaI
- diffusion des photons dans un scintillateur plastique → effet Compton
- corrélation entre l'angle de diffusion et l'énergie du photon diffusé

assistant : Lukas Ehrke

# Programme

En plus de l'activité du laboratoire, nous vous proposerons des brèves introductions aux :

1. Introduction aux expériences aujourd'hui
2. Sources et désintégration radioactives  
Notions de radioprotection aujourd'hui
3. Introduction et familiarisation avec le logiciel ROOT 28.09
4. (notions de) Interactions radiation – matière  
Principes de détection 28.09
5. Rappels de statistique si intéressés

# Prérequis

## Laboratoire II

Connaissances des modèles atomique et nucléaire de la matière et notions de base de la physique des particules

Programmation en C/C++ (bases)

Notions de statistique et d'analyse de données (calcul des erreurs)

Un peu d'électronique

Pas des soucis : vous apprendrez tout ça au cours du laboratoire

Voir aussi les cours :

Particules et noyaux (3<sup>ème</sup> année)

Détecteurs et accélérateurs (3<sup>ème</sup> ou 4<sup>ème</sup> année)

Introduction à l'électronique (3<sup>ème</sup> ou 4<sup>ème</sup> année)

Radioprotection (4<sup>ème</sup> année)

# Évaluation

L'évaluation se fera sur la base du travail dans le laboratoire et d'un rapport écrit rendu au plus tard **deux mois** après la conclusion du laboratoire (**donc avant la fin janvier 2021**).  
Les critères sont :

## 1. Travail effectué dans le laboratoire

- motivation et aptitude à manipuler en laboratoire
- acquisitions des pratiques expérimentales
- indépendance au travail

## 2. Le rapport

- historique et théorie à la base de l'expérience
- méthode expérimentale et description de l'expérience (détecteurs et électronique)
- analyse des données avec calculs d'erreurs
- discussion des résultats obtenus et conclusions

3. En plus, un **exposé** (présentation orale) sur l'expérience sera requis vers la fin de la période (**16 / 11 / 2020**).

La note ne sera pas nécessairement la même pour ce qui ont travaillé sur la même expérience.

Vous travaillerez toujours avec l'appui d'un(e) assistant(e), qui vous aidera à démarrer l'expérience, acquérir les données, analyser les données, rédiger le rapport, ... N'hésitez pas à poser des questions à l'assistant ou à moi.

# Sources Radioactives

Nous travaillons dans un laboratoire de physique nucléaire et nous utilisons de sources radioactives pour effectuer nos mesures.

Certaines sources sont déjà installées, des autres sont utilisée selon les besoins. Toutes les sources sont blindées ou scellées par une couche de protection pour éviter toute exposition ou contact avec les substances radioactives. Il faut donc **éviter de les endommager** par des actions mécaniques inconsidérées.

Avant d'accéder au laboratoire, vous recevrez une formation de base sur les radiations, la radioactivité, les effets biologiques, les risques, les précautions à prendre, comment se protéger, comment manipuler une source radioactive, etc.

⇒ Règles / comportement à adopter dans le laboratoire.

**Il faut se protéger des radiations et non pas les craindre !**

Durant ces dernières années (> 10) les doses reçues par les étudiants dans le laboratoire ne se sont pas écartées significativement du bruit de fond (0.05 – 0.1 mSv). **Personne n'a pas été irradiée ou contaminée par nos sources**

# Précautions à prendre au Laboratoire

Dans le Laboratoire nous utilisons des sources radioactives.

**Il faut se protéger des radiations et non les craindre !**

1. Chacun est tenu de prendre toutes dispositions pour éviter l'irradiation inutile de personnes.
2. Aucun travail ne doit être effectué sans le port du DOSIMETRE.
3. Les sources radioactives doivent toujours être stockées dans le coffre (ne pas laisser traîner les sources).
4. **Eviter d'endommager les sources par des actions mécaniques inconsidérées.**
5. Il est strictement interdit de boire, manger, fumer dans la salle.
6. Se laver le mains après l'utilisation des sources et en sortant du laboratoire.
7. Au cas des doutes s'adresser immédiatement aux assistants oui à moi.

**Il est impératif de suivre les règles en ce qui concerne l'utilisation des sources radioactives !**

Durant ces dernières années (> 10) les doses reçus par les étudiants dans le labo ne se sont écartées significativement du bruit de fond (0.05 – 0.1 mSv). **20**

# Règles d'hygiène

CORONAVIRUS

Entrée en vigueur le 24 août 2020 / Coming into force on 24 August 2020

## Masque OBLIGATOIRE dans les bâtiments universitaires

Si la distance sociale de 1,5 mètre ne peut pas être respectée

## Face mask COMPULSORY in university buildings

If social distancing of 1,5 meters can't be maintained



Merci de respecter les règles d'hygiène et de comportement  
*Thanks for respecting the recommendations  
in terms of personal hygiene and social behavior*

# CORONAVIRUS MESURES DE PROTECTION

Entrée en vigueur le 24 août 2020  
Coming into force on 24 August 2020



**Portez un masque si la distance sociale  
ne peut pas être respectée**

Wear a face mask  
if social distancing can't be maintained.



**Maintenez une distance sociale de 1,5 mètre**

Maintain a social distancing of 1,5 meters.



**Lavez-vous régulièrement les mains; tousez  
ou éternuez dans un mouchoir ou dans le creux  
du coude; évitez les poignées de main**

Wash your hands regularly; cough and sneeze  
into a tissue or into the crook of your arm;  
avoid shaking hands.



**Désinfectez les surfaces de travail**

Disinfect the work places.



**En cas de symptômes, restez à la maison  
et faites-vous tester. Suivez les prescriptions  
des autorités sanitaires**

If you experience symptoms, stay at home  
and get tested. Follow the prescriptions  
of the health authorities.

# Règles d'hygiène semestre d'automne

Les Laboratoires se font **en présentiel**



Port obligatoire du **masque** dans les laboratoires (salles)

Les assistants en plus du masque portent une visière



En cas d'absence (quarantaine, isolement, etc.) séances de rattrapage

Aération fréquente des laboratoires (salles)

Se désinfecter les mains de l'entrée au laboratoire.