

La Physique des 2 Infinis

Alexia HOCINE
Physicienne subatomique & Développeuse

Les Vendredis de l'Astronomie

Vendredi 1^{er} Décembre 2023

Introduction

Présentation de mon Parcours

Licence Informatique

- ▶ Université de Rouen-Normandie
- ▶ Stage chez SIQUAL
 - ▶ Site et Application Web
 - ▶ Construction de Base de Données

Licence Physique

- ▶ Université de Rouen-Normandie
- ▶ Stage au GPM (Groupe de Physique des Matériaux)
 - ▶ Information Quantique
 - ▶ État des lieux de la Recherche actuelle

Master Physique Subatomique

- ▶ UCBL (Université de Claude Bernard Lyon 1)
- ▶ Stage au CRAL (Centre de Recherche d'Astrophysique de Lyon)
 - ▶ Influence du comportement du disque protoplanétaire avec une planète formée rapidement
 - ▶ Interprétation de simulations numériques
- ▶ Stage à l'IP2I (Institut de Physique des 2 Infinies)
 - ▶ Équipe CMS, FCC (CERN)
 - ▶ Construction de Simulation numérique à la Recherche du Boson de Higgs

Introduction

Objectifs de cette conférence

De quoi est constitué l'Univers ?

1. Quelles sont les constituants élémentaires ? Quelles sont leurs interactions ?
2. Quand ? Où ? Comment se sont-ils formés ?
3. Les connaissons-nous tous ?

Introduction

Sommaire

La Physique des 2 Infinis

Vers l'infiniment petit

Vers l'infiniment grand

Vers l'au-delà

Vers l'infiniment petit

Sommaire

La Physique des 2 Infinis

Vers l'infiniment petit

Vers l'infiniment grand

Vers l'au-delà

Qu'est-ce que la Matière ?

Définition (La Matière [1])

- ▶ ce qui compose tout corps,
- ▶ objet qui occupe de l'espace et qui ont une masse.

Réciproquement, tout ce qui a une masse est de la matière.

De quoi est composé la matière ?

De quoi est composée la Matière ?

Intuition de Démocrite (460-370 avant J.-C.)[2]

La matière est composée d'objets élémentaires *indivisibles*.

Aristote, Nouveau Testament, ...

- ▶ Nommé "**atome**" (partie de matière indivisible)

Définition (L'Atome[3])

- ▶ Petit corps
- ▶ La plus petite partie d'un corps simple pouvant se combiner chimiquement avec un autre.
- ▶ Les constituants élémentaires de toutes les substances solides, liquides ou gazeuses.

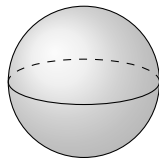


Figure – 1^{re} vision de l'atome

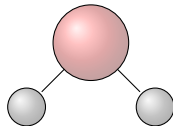


Figure – Représentation d'une molécule d'eau

L'Électron

Historique

- 1838-51 Prédiction de l'électron par Richard Laming :
- ▶ Afin d'expliquer les propriétés chimiques des atomes
- 1894 Stoney pose le mot "électron" :
- ▶ "électrique" + "-on" suffixe des particules subatomiques
- 1897 Découverte de l'électron par Joseph John Thomson
- ▶ 1^{re} particule élémentaire découverte

Description

- ▶ Particule élémentaire
- ▶ Charge électrique unitaire négative

Rôle dans l'atome

- ▶ Appartient à l'atome
- ▶ Permet la liaison entre les molécules

Propriétés

Masse $9,109 \times 10^{-31}$ kg
(= 551 keV/c²)

Charge -1 eV
(= $-1,602 \times 10^{-19}$ C)

Durée de Vie Stable

Dimension Ponctuelle

Le Modèle atomique de Thomson

Le Modèle du *cookie aux pépites de chocolat*

Historique

1838-1851 Prédiction de l'électron par Richard Laming

1897 Découverte de l'électron par Joseph John Thomson

Modèle atomique de Thomson

1904 L'atome composé de charges positives et de particules négatives.

1909 Invalidation du modèle par Rutherford

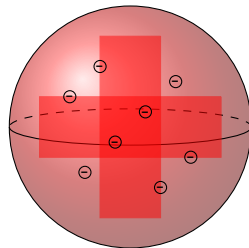


Figure – Vision de l'atome de Thomson

L'expérience de Rutherford (1909)

L'expérience de la feuille d'Or

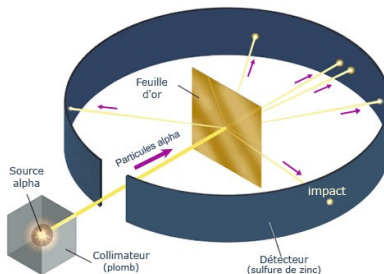


Figure – Expérience de Rutherford

1. Émission de particules α (noyau d'Hélium : ${}^4_2\text{He}^{2+}$)
2. Une feuille d'Or de 6 000 Å (Å = 10^{-10} m)
3. Un écran de Sulfure de Zinc (ZnS)
 - Lors d'une collision ($\alpha + \text{ZnS}$), on observe un scintillement lumineux

Modèle de Rutherford (1909)

Résultat de l'expérience de Rutherford

≈ 99,99% des particules α ne sont pas déviées

- ▶ donc l'atome est principalement constitué de vide

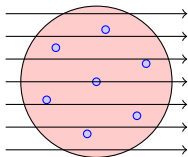


Figure – Modèle de Thomson

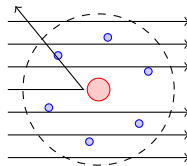


Figure – Modèle de Rutherford

Modèle de Rutherford, Modèle planétaire

Noyau

- ▶ de charge positive
- ▶ très petit
- ▶ au centre

Électron

- ▶ de charge négative
- ▶ qui "gravitent" autour du noyau

Modèle de Schrödinger (1925)

Électron

- ▶ Objet quantique, dualité onde-corpuscule
- ▶ pas de localisation précise, mais une probabilité de présence

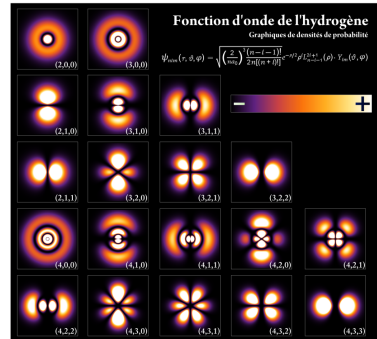


Figure – en fonction de 3 nb quantiques : l'énergie de l'électron, son moment angulaire et la projection de ce moment angulaire sur un axe donné.

Le Noyau

Les Nucléons

- ▶ particule subatomique **non** élémentaire
- ▶ de masse $\approx 1,674 \times 10^{-27}$ kg
 $\approx 939,5$ MeV/c²
- ▶ A le nombre de masse (ou de nucléon)

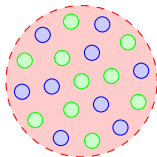


Figure – Représentation schématique d'un noyau

Proton (nucléon)

- ▶ de charge électrique positive
- ▶ détermine la nature de l'élément chimique

Masse 938,272 MeV/c²

Charge $+e = 1$ eV =
 $1,602\ 176\ 565 \times 10^{-19}$ C

Durée de vie Stable

Neutron (nucléon)

- ▶ sans charge électrique
- ▶ détermine l'isotope

Masse 939,565 4 MeV/c²

Charge 0

Durée de vie 880,3 s mais stable
dans un noyau

Les différents atomes

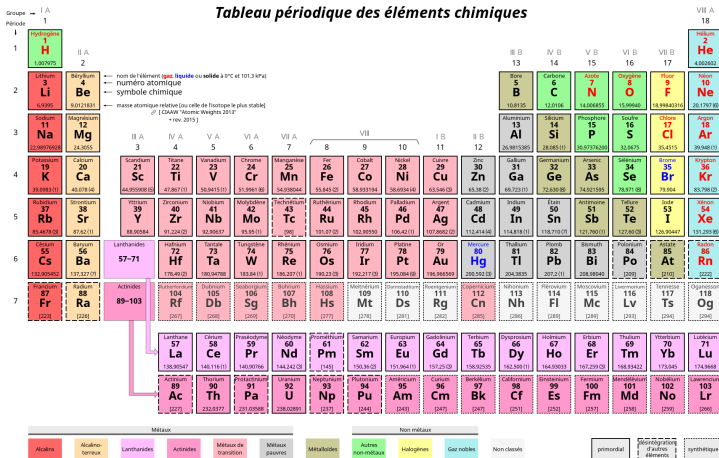


Figure – Tableau de Mendeleïev de 2016 avec 118 éléments[4]

Les Nucléons

Nucléon

- ▶ Baryon : particule composée de 3 quarks
 - ▶ particule élémentaire

Proton

- ▶ 2 quarks **u**
- ▶ 1 quark **d**

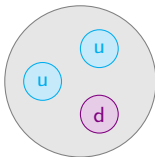


Figure – Proton

Proton

- ▶ 1 quark **u**
- ▶ 2 quarks **d**

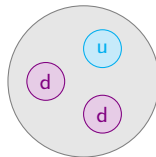


Figure – Neutron

Bilan de la composition de la Matière

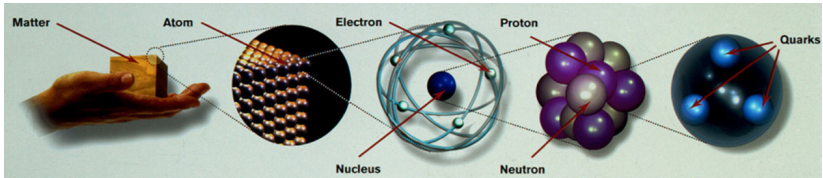


Figure – Décomposition de la Matière

La Matière hadronique

Les Quarks

Historique

1964 Hypothèse de Murray Gell-Mann et George Zweig

1968 Découverte des 1^{ers} quarks **u**, **b** et **s**

1969 Prix Nobel pour Murray Gell-Mann

► particule élémentaire

	Nom	Masse [en GeV/c ²]	Prédiction	Découverte
	u up	0,003	1964	1968
	d down	0,006	1964	1968
► 6 saveurs :	s strange	0,1	1964	1968
	c charm	1,3	1970	1974
	b bottom	4,3	1973	1977
	t top	175	1973	1995

► particules confinés dans des **hadrons**

► le quark **top** est le seul observable !

Les leptons

- ▶ particules élémentaires
- ▶ 6 saveurs

Les leptons chargés

		Nom	Masse [en GeV/c^2]	Prédiction	Découverte
▶ 3 saveurs :	e^-	électron	0,000511	1874	1897
	μ^-	muon	0,106	×	1936
	τ^-	tau	1,7771	×	1975
▶ seul l'électron est stable					

Les leptons neutres ou neutrinos

		Nom	Masse [en GeV/c^2]	Prédiction	Découverte
▶ 3 saveurs :	ν_e	électron	$< 2,5 \times 10^{-9}$	1930	1956
	ν_μ	muon	$< 0,17 \times 10^{-6}$	1940s	1962
	ν_τ	tau	$< 18 \times 10^{-3}$	1970s	2000
▶ masse très faible mais non nulles					
▶ stable (<i>mais oscille</i>)					

Interaction Électromagnétique

- ▶ Charge électrique
 - ▶ Les signes opposés s'attirent
 - ▶ Les signes identiques se repoussent
- ▶ Portée infinie
- ▶ Force additive

Interaction Faible

Interaction Forte

Interaction Gravitationnelle

Bilan des constituants de la matière et des interactions fondamentales

L'anti-matière

Vers l'infiniment petit

Vers l'infiniment grand

Vers l'au-delà

Le modèle du Big Bang en physique des particules, l'origine de la matière ?

Vers l'infiniment grand

Les 3 premières minutes

Vers l'infiniment grand

Fond Diffus Cosmologique

Vers l'infiniment grand

Les premiers trous noirs et les premières étoiles

Vers l'infiniment grand

Les différentes générations d'étoiles, Diagramme HR

Vers l'infiniment grand

Les réactions astronucléaires, la formation des métaux

Vers l'infiniment grand

Bilan sur le modèle Standard de la Cosmologie

Vers l'infiniment petit

Vers l'infiniment grand

Vers l'au-delà

Vers l'au-delà

Problème de la Matière manquant

La matière baryonique : visible & invisible

Vers l'au-delà

Problème de la Matière manquant

Matière noire ?

Vers l'au-delà

Problème de la Matière manquant

Gravité modifiée ?

Vers l'au-delà

Problème de la Matière manquant

Hypothèses supplémentaires

Vers l'au-delà

Problème de l'expansion accélérée

Énergie noire, Vide ?

Vers l'au-delà

Problème de la relativité quantique

Vers l'infiniment petit

Vers l'infiniment grand

Vers l'au-delà

Conclusion

Bilan de la présentation

Conclusion

Limites de cette présentation

Conclusion

État de la Recherche dans ce domaine

Conclusion

Merci de votre attention !

Sommaire

Vers l'infiniment petit

La Matière

L'Atome

L'Électron

Les Modèles

atomiques

Le Noyau atomique

Les Nucléons

Bilan sur la
composition de la
matière

La Matière hadronique

Les Quarks

Les leptons

Les Interactions

Physique des particules

L'anti-matière

Vers l'infiniment grand

L'origine de la Matière ?

Les 3 Premières minutes

Fond Diffus Cosmologique

Les premiers trous noirs et les
premières étoiles

Les différentes générations
d'étoiles, Diagramme HR

Les réactions astronucléaires,
la formation des métaux

Bilan sur le modèle Standard
de la Cosmologie

Vers l'au-delà

Problème de la Matière
manquant

Problème de l'expansion
accélérée

Problème de la relativité
quantique

References I



Wikipédia.
Matière.



Wikipédia.
Démocratie.



Wikipédia.
Atome.



Wikipédia.
Tableau périodique des éléments.
Par Scaler, Michka B — Travail personnel, CC BY-SA 3.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=8985780>.



Wikipédia.
Tableau périodique des éléments.



Annexes

L'évolution de la représentation de l'atome

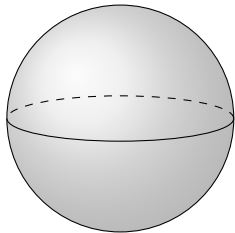


Figure – Vision de l'atome indivisible

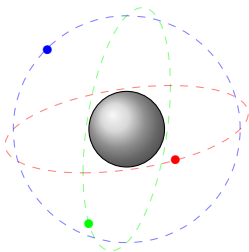


Figure – Vision de l'atome de Rutherford

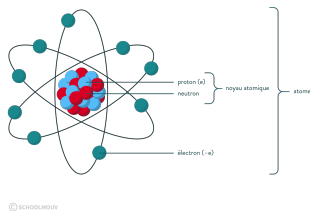


Figure – Vision de l'atome