

Option Rayonnements ionisants et radioprotection

Pr. Abdel Mjid NOURREDDINE
Abdelmjid.nourreddine@ires.in2p3.fr
Institut Pluridisciplinaire Hubert Curien
UMR 7178 CNRS/in2p3 et UdS
B.P 28 - 67037 Strasbourg Cedex 2



A. Nourreddine

Option L2-S4 : Rayonnements ionisants et radioprotection

1/chapitre-1

RAPPELS

- 1. SYSTEME INTERNATIONAL**
- 2. MULTIPLES ET SOUS MULTIPLES DECIMAUX**
- 3. RELATIONS RELATIVISTES**
- 4. INTERACTIONS FONDAMENTALES**
- 5. STRUCTURE ATOMIQUE**

A. Nourreddine

Option L2-S4 : Rayonnements ionisants et radioprotection

2/chapitre-1

Les unités dans le système international

❖ **XI^e Conférence Générale des Poids et Mesures (1960) :**

⇒ **7 unités de base du Système International d'unités (SI)**

(fondé sur le système métrique décimal)

❖ **Publication du premier décret n°61-501 du 3 mai 1961:**

- ✓ n°66-16 du 5 janvier 1966
- ✓ n°75-1200 du 4 décembre 1975
- ✓ n°82-203 du 26 février 1982
- ✓ n°85-1500 du 30 décembre 1985
- ✓ **n°2003-165 du 27 février 2003**



obligation du système métrique décimal et suppression de la notion d'unités supplémentaires

Les 7 unités de base dans SI

Quantité	Unité	Symbole	Définition
Longueur	mètre	m	Le mètre est la longueur du trajet parcouru dans le vide par la lumière pendant 1/299 792 458 de seconde. (1983)
Masse	kilogramme	kg	Le kilogramme est la masse du prototype en platine iridié, déposé au Bureau International des Poids et Mesures. (1889)
Temps	seconde	s	La seconde est la durée de 9 192 631 770 périodes de la radiation correspondant à la transition entre les deux niveaux hyper fins de l'état fondamental de l'atome de césium 133. (1967) précision : 10 ⁻¹²
Courant électrique	ampère	A	L'ampère est l'intensité d'un courant constant qui, maintenu dans deux conducteurs parallèles, rectilignes, de longueur infinie, de section circulaire négligeable et placés à une distance d'un mètre l'un de l'autre dans le vide, produirait entre ces conducteurs, une force égale à 2.10 ⁻⁷ newton par mètre de longueur. (1948)
Température	kelvin	K	Le kelvin est égal à la fraction 1/273,16 de la température thermodynamique du point triple de l'eau. (1967) Le degré Celsius est égal au kelvin.
Quantité de matière	mole	mol	La mole est la quantité de matière contenant autant d'entités élémentaires qu'il y a d'atomes dans 0,012 kg de carbone 12. (1971) La mole (mol) est l'abréviation de molécule par gramme.
Intensité lumineuse	candela	cd	La candela est l'intensité lumineuse, dans une direction donnée, d'une source qui émet une radiation monochromatique de fréquence 540.10 ¹² hertz (<i>longueur d'onde 0,555 μm</i>) et dont l'intensité énergétique dans cette direction est 1/683 watt par stéradian. (1979)

Multiples et sous multiples décimaux

Valeur	Préfixe	Symbole légal (O/N)	année	Observations	origine
10 ³³	vendeka	V			
10 ³⁰	weka	W			
10 ²⁷	xenna	X			
10 ²⁴	yotta	Y	1991	octo ⁸ , huit (10 ²⁴ n=8)	
10 ²¹	zetta	Z	1991	hepta ⁷ , sept (10 ²¹ n=7)	
10 ¹⁸	exa	E	1975	hexa, six (10 ¹⁸ n=6)	
10 ¹⁵	peta	P	1975	penta, cinq (10 ¹⁵ n=5)	
10 ¹²	tera	T	1960	teras, monstre ou teta quatre	
10 ⁹	giga	G	1960	gigas, géant	grecque
10 ⁶	méga	M	1870	megas, grand	
10 ³	kilo	k	1795	khiloi, mille	
10 ²	hecto	h	1795	hekaton, cent	
10 ¹	déca	da	1795	deka, dix	
10 ⁻¹	deci	d	1795	decimus, deci	
10 ⁻²	centi	c	1795	centimus, centi	latine
10 ⁻³	milli	m	1795	millesimus, milli	
10 ⁻⁶	micro	μ	1870	mikros, petit	grecque
10 ⁻⁹	nano	n	1960	nanos, nain	
10 ⁻¹²	pico	p	1960	piccolo, petit	italienne
10 ⁻¹⁵	femto	f	1964	femten, 15 (même racine que fifteen)	daquoise
10 ⁻¹⁸	atto	a	1964	atten, 18 (même racine que eighteen)	
10 ⁻²¹	zepto	z	1991	même racine que zetta	
10 ⁻²⁴	yocto	y	1991	même racine que yotta	
10 ⁻²⁷	xenna	X			
10 ⁻³⁰	weka	W			
10 ⁻³³	vendeko	v			
10 ⁻⁴	myria		1795	myriade : myrias, mille et -ados, dix	grecque
10 ³	hectokilo		1919	non légal depuis 1961	
10 ¹⁴⁰	asankhveya			origine bouddhique	
10 ⁸⁰⁰	centillaon				
10 ^{10¹⁰⁰}	gogolplex		1955	Kasner et Newman	

A. Nourreddine

Option L2-S4 : Rayonnements ionisants et radioprotection

5/chapitre-1

Unités dérivées

Grandeur	Unité			
	nom	symbole	expression	
angle plan	radian	rad		1 m/m
angle solide	stéradian	sr		1 m ² /m ²
fréquence	hertz	Hz		1 s ⁻¹
force	newton	N		1 kg m s ⁻²
pression, contrainte	pascal	Pa	1 N/m ²	1 kg m ⁻¹ s ⁻²
énergie, travail, quantité de chaleur	joule	J	1 N.m	1 kg m ² s ⁻²
puissance, flux énergétique	watt	W	1 J/s	1 kg m ² s ⁻³
charge électrique, quantité d'électricité	coulomb	C		1 A.s
potentiel électrique, différence de potentiel, tension, force électromotrice	volt	V	1 W/A	1 kg m ² s ⁻³ A ⁻¹
capacité électrique	farad	F	1 C/V	1 kg ⁻¹ m ⁻² s ² A ²
résistance électrique	ohm	Ω	1 V/A	1 kg m ² s ⁻³ A ⁻¹
conductance électrique	siemens	S	1 Ω ⁻¹	1 kg ⁻¹ m ⁻² s ³ A ⁻¹
flux d'induction magnétique	weber	Wb	1 V.s	1 kg m ² s ⁻² A ⁻¹
induction magnétique	tesla	T	1 Wb/m ²	1 kg s ⁻² A ⁻¹
inductance	henry	H	1 Wb/A	1 kg m ² s ⁻² A ⁻²
température Celsius	degré Celsius	°C		1 K
flux lumineux	lumen	Lm	1 cd/sr	1 cd.m/m
éclairage	lux	Lx	1 lm/m ²	1 cd.m ⁻²
activité d'un radionucléide	becquerel	Bq		1 s ⁻¹
dose absorbée, énergie massique communiquée, kerma, indice de dose absorbée	gray	Gy	1 J/kg	1 m ² s ⁻²
équivalent de dose, indice d'équivalent de dose	sievert	Sv	1 J/kg	1 m ² s ⁻²

Exemples :

- ✓ Vitesse en m/s
- ✓ Énergie en joule :
1 J = 1 N.m
- ✓ Dose absorbé en gray :
1 Gy = 1J/kg
- ✓ Pression en pascal :
1 Pa = 1 N/m²
- ✓ Eclaircement en W/m²
- ✓ Induction mag. en tesla :
1T = 1 Wb/m² = 1 kg/s².A

A. Nourreddine

Option L2-S4 : Rayonnements ionisants et radioprotection

6/chapitre-1

Relations Relativistes

● **Équation d'Einstein :**

Équivalent masse-énergie (1905) : $E = mc^2$ $c = 2,997\ 10^8$ m/s célérité de la lumière

Dans S.I $\Rightarrow E = mc^2$ est l'énergie au repos de 90 PJ/kg.

\Rightarrow En France : 80% de l'énergie électrique à partir de cette formule.

● **Relativité restreinte :**

● L'équation *d'Enstein* n'est valable qu'au repos /référentiel choisi.

● Si l'objet à une vitesse $v \Rightarrow T$: énergie cinétique et $p = \gamma m_0 v$: quantité de mouvement

$E = m_0 c^2 + T = \gamma m_0 c^2$ avec $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}}$ facteur de Lorentz $\beta = \frac{v}{c}$ vitesse réduite

● Relations quantité de mouvement et énergie cinétique :

$$E^2 = m_0^2 c^4 + p^2 c^2 \quad \text{et} \quad p^2 c^2 = T^2 + 2Tm_0 c^2$$

● Expression générale de l'énergie cinétique $T = m_0 c^2 \left((1 - \beta^2)^{-1/2} - 1 \right)$

cas particulier $\beta \ll 1 \Rightarrow T = \frac{1}{2} m v^2$

Les interactions fondamentales

On distingue **4 forces fondamentales** dans la nature :

● **Interactions nucléaires ou fortes : I = 1 (portée 10^{-15} m)**

responsables de la cohésion des nucléons dans le noyau atomique

$$F_F = g \frac{e^{-\mu r}}{r^2}$$

● **Interactions faibles : I = 10^{-7} (portée $< 10^{-18}$ m)**

régissent certains processus intranucléaires comme la désintégration β

● **Interactions électromagnétiques : I = 10^{-4} (portée infinie)**

réactions chimiques et phénomènes électriques

$$F_C = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

● **Interactions gravitationnelles : I = 10^{-40} (portée infinie)**

Forces d'interaction entre les masses des objets

$$F_G = G \frac{M_1 M_2}{r^2}$$

*La théorie qui décrit la gravitation est la **relativité générale**,
celle qui décrit les trois autres est le **modèle standard***

L'homme s'est longtemps interrogé



Penseur de Rodin

"De quoi le monde est-il fait ?"
et
"Qu'est-ce qui le maintient uni ?"

Historique : structure de la matière

❖ **Philosophes Ioniens** : premières hypothèses sur la structure de la matière

✓ *Thalès* (VII^{ème} siècle avant J.C) ⇒ eau : matériau de base

✓ *Leucippe et Démocrite* (V^{ème} siècle avant J.C) ⇒ **unités indivisibles** ne diffèrent que par leur forme ou leur taille

terme actuel **atome** ⇒ **atomos** = qu'on ne peut pas couper

❖ **Philosophes latins** : premières publications

✓ *Lucrèce* (98 à 55 avant J.C) : « **de la nature des choses** » (*la natura rerum*)

Chaque être subsiste jusqu'à l'instant où il reçoit un choc

égal à la puissance qui unit ses principes .

Rien ne s'anéantit et la destruction ne produit que la séparation des éléments.

Les corps ne sont pas anéantis.

De leurs débris, la nature forme de nouveaux êtres.

Étapes expérimentale du noyau atomique

CHRONOLOGIE

- ☞ 1808 Première base expérimentale de l'hypothèse atomique (**Dalton**, UK)
- ☞ 1811 Distribution entre atome et gaz, loi des gaz (**Avogadro**, It)
- ☞ 1815 Introduction du nombre de masse : unité de base l'atome H (**Prout**, UK)
- ☞ 1868 Classification périodique des éléments (**Mendeleev**, Ru)
- ☞ 1896 Découverte des rayons X (**Röntgen**, De)
- ☞ 1896 Découverte de la radioactivité de l'uranium (**Becquerel**, Fr)
- ☞ 1897 Mesure de la charge de l'électron et nombre d'Avogadro (**Thomson**, UK)
- ☞ 1903 Identification des α et des noyaux d'He (**Rutherford**, UK)
- ☞ 1905 Équivalent masse-énergie (**Einstein**, Ch)

A. Nourreddine

Option L2-S4 : Rayonnements ionisants et radioprotection

11/chapitre-1

Modèles atomiques

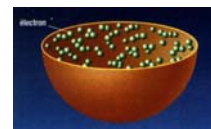
❖ **Modèle de Dalton** (1803) :

La matière est faite d'atomes de formes sphériques insécables, pouvant se combiner avec d'autres atomes



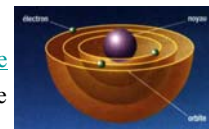
❖ **Modèle de Thomson** (1898) :

les électrons, chargés négativement, et des particules plus massives, de charge positive, se trouvent confinés dans une sphère de rayon 100 Å.



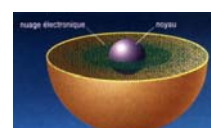
❖ **Modèle de Rutherford et de Bohr**

- ✓ **Rutherford** (1911) : L'atome est constitué principalement de vide
- ✓ **N. Bohr** (1913) : modèle planétaire et théorie de quanta d'énergie



❖ **Modèle Quantique**

- ✓ **Schrödinger** (1926) : nuage électronique probabilité de présence
- ✓ **Heisenberg** (1927) : principe d'incertitude

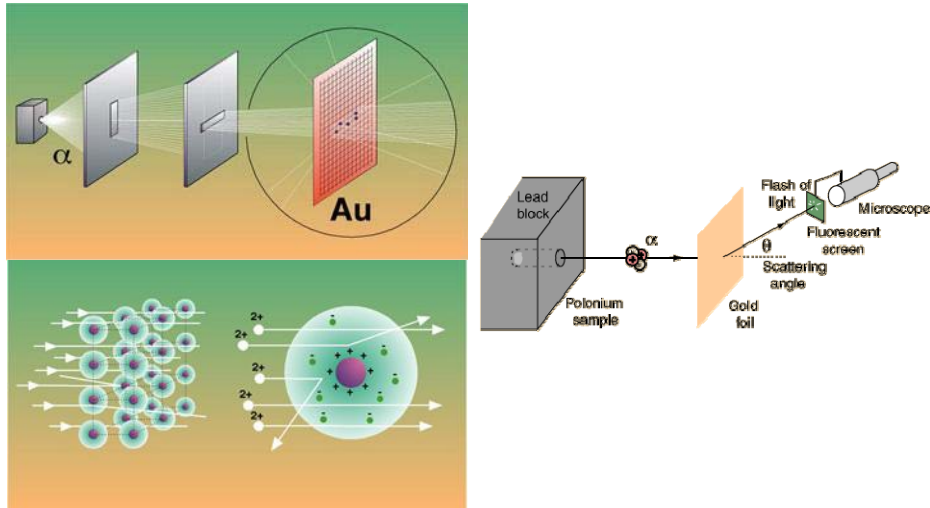


A. Nourreddine

Option L2-S4 : Rayonnements ionisants et radioprotection

12/chapitre-1

Expérience de Rutherford



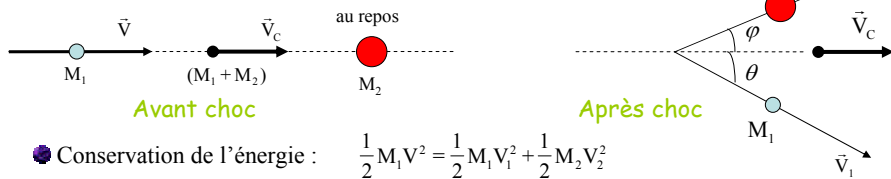
A. Nourredine

Option L2-S4 : Rayonnements ionisants et radioprotection

13/chapitre-1

Théorie de la diffusion élastique

● Système de laboratoire (SL)

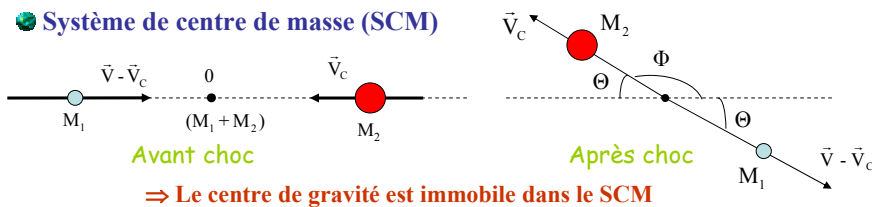


● Conservation de l'énergie :

● Conservation des quantités de mouvement :

$$M_1 \vec{V} = (M_1 + M_2) \vec{V}_c \Rightarrow V_c = \frac{M_1}{M_1 + M_2} V \quad \text{SCM se déplace // à } M_1 \text{ avant, pendant et après choc}$$

● Système de centre de masse (SCM)



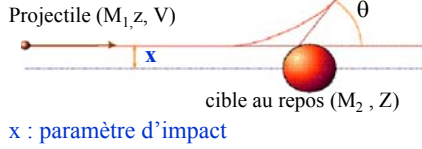
A. Nourredine

Option L2-S4 : Rayonnements ionisants et radioprotection

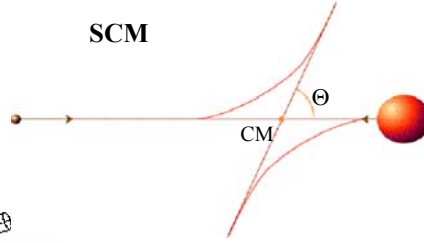
14/chapitre-1

Diffusion coulombienne

SL

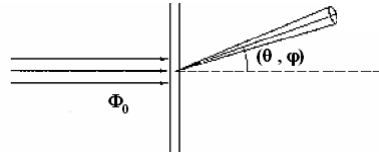


SCM



Nombre de particules diffusées

$$dN_d = \Phi_0 n_c \left(\frac{d\sigma}{d\Omega} \right) d\Omega$$



● Section efficace par unité d'angle solide

$$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega} \right)_\theta = \frac{b^2}{16} \frac{1}{\sin^4 \frac{\Theta}{2}}$$

$$b = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{2zZe^2}{M_0 V^2} = \frac{2x}{\cotg \frac{\Theta}{2}}$$

$$M_0 = \frac{M_1 M_2}{M_1 + M_2}$$

b : diamètre de collision

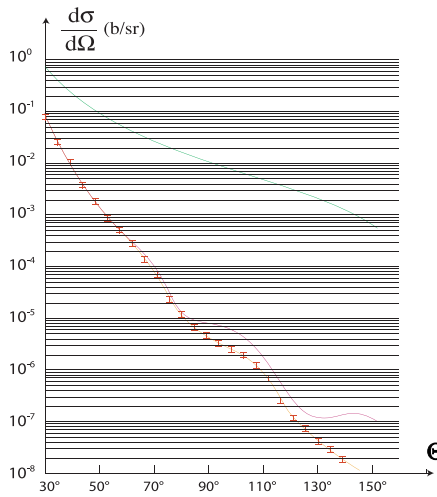
M_0 : masse réduite

A. Nourreddine

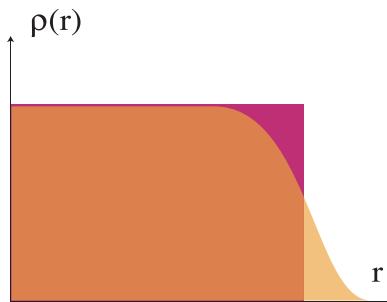
Option L2-S4 : Rayonnements ionisants et radioprotection

15/chapitre-1

Distribution de charge dans le noyau



— Charge ponctuelle
— Sphère dure
— Surface diffuse



A. Nourreddine

Option L2-S4 : Rayonnements ionisants et radioprotection

16/chapitre-1

Modèle en couches de l'atome

Couche	n	l	j	Sous états	Nombre de m _j	Nombre maximum d'électrons
K	1	0	1/2	1s ^{1/2}	2	2
L	2	0	1/2	2s ^{1/2}	2	8
		1	1/2	2p ^{1/2}	2	
		1	3/2	2p ^{3/2}	4	
0	1/2	3s ^{1/2}	2	18		
M	3	1	1/2		3s ^{1/2}	2
		1	3/2		3p ^{1/2}	4
		2	3/2		3p ^{3/2}	4
		2	5/2		3d ^{3/2}	6
N	4	0	1/2	4s ^{1/2}	2	32
		1	1/2	4s ^{1/2}	2	
			1/2	4p ^{1/2}	4	
		2	3/2	4p ^{3/2}	4	
			5/2	4d ^{5/2}	6	
			5/2	4f ^{5/2}	6	
		3	7/2	4f ^{7/2}	8	

A. Nourreddine

Option L2-S4 : Rayonnements ionisants et radioprotection

17/chapitre-1

Mendeleev (1868)



Tableau périodique des éléments

IA																												VIII																											
1		IIA												IIIB		IVB		VB		VIB		VIIB		2																															
1	H	3	Li	4	Be	11	Na	12	Mg	13	B	14	Al	15	C	16	O	17	F	18	Ne																																		
19	K	20	Ca	21	Sc	22	Ti	23	V	24	Cr	25	Mn	26	Fe	27	Co	28	Ni	29	Cu	30	Zn	31	Ga	32	Ge	33	As	34	Se	35	Br	36	Kr																				
37	Rb	38	Sr	39	Y	40	Zr	41	Nb	42	Mo	43	Tc	44	Ru	45	Rh	46	Pd	47	Ag	48	Cd	49	In	50	Sn	51	Sb	52	Te	53	I	54	Xe																				
55	Cs	56	Ba	57	La	72	Hf	73	Ta	74	W	75	Re	76	Os	77	Ir	78	Pt	79	Au	80	Hg	81	Tl	82	Pb	83	Bi	84	Po	85	At	86	Rn																				
87	Fr	88	Ra	89	Ac	104	Unq	105	Unp	106	Unh	107		109																																									
																		58		59		60		61		62		63		64		65		66		67		68		69		70		71											
																		Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu																								
																		90	Th	91	Pa	92	U	93	Np	94	Pu	95	Am	96	Cm	97	Bk	98	Cf	99	Es	100	Fm	101	Md	102	No	103	Lr										

	solid
	liquid
	gas
	synthetic

A. Nourreddine

Option L2-S4 : Rayonnements ionisants et radioprotection

18/chapitre-1