

0/ Introduction

1/ Détecter quoi $\leftrightarrow$ pourquoi

2/ Interaction particules matière

3/ Généralités sur les détecteurs

4/ Application sociétales

5/ Exemple avec D0/ATLAS (Fermilab/CERN)

Références

PDG
particle data group
1957 2017

<http://pdg.lbl.gov>

About PDG | PDG Authors | PDG Citation | News | Contact Us

The Review of Particle Physics

M. Tanabashi et al. (Particle Data Group), Phys. Rev. D **98**, 030001



pdgLive - Interactive Listings

Summary Tables

Reviews, Tables, Plots

Particle Listings

Search

ORDER: Book & Booklet

DOWNLOAD: Book, Booklet, more

Previous Editions (& Errata) 1957-2017	Physical Constants
Errata in current edition	Astrophysical Constants
Figures in reviews	Atomic & Nuclear Properties
Mirror Sites	Astrophysics & Cosmology



WIKIPÉDIA
L'encyclopédie libre

Remarques liminaires

Équivalence entre Énergie

Fréquence (longueur d'onde) $\rightarrow E=h\nu$

Température $\rightarrow E=kT$

Masse $\rightarrow E=mc^2$

Énergies sont exprimées en électron Volts : MeV, GeV, TeV...

$$1\text{eV}=1.610^{-19}\text{J}$$

Les masses sont en MeV/c^2 , GeV/c^2 ... (*souvent on oublie le c^2 !*)

proton $= 0,938... \text{ GeV}/c^2 = 1,672... 10^{-27} \text{ kg}$

électron $= 511.....\text{keV}/c^2 = 1.11.....10^{-31} \text{ kg}$

Constantes

$h \sim 4.10^{-24} \text{ GeV.s}$ constante de Planck ou $\sim 6.6 10^{-34} \text{ J.s}$

$k_B \sim 10^{-13} \text{ GeV.K}^{-1}$ constante de Boltzman ou $\sim 1.4 10^{-23} \text{ J.K}^{-1}$

Remarques liminaires

Anthropomorphisme

$c = 299\,792\,458 \text{ m/s}$



unités naturelles



$c = \hbar = k_B = \epsilon_0 = 1$

$[E] = [P] = [M] = [\Theta] = [L]^{-1} = [T]^{-1}$



0/ Introduction

1/ Détecter quoi $\leftrightarrow$ pourquoi

2/ Interaction particules matière

3/ Généralités sur les détecteurs

4/ Application sociétales

5/ Exemple avec D0/ATLAS (Fermilab/CERN)

1/ Détecter quoi ↔ pourquoi

- Pourquoi → comprendre
 - engendre d'autres « Pourquoi »
 - meilleures connaissances
- Quoi → ce qui est détectable ;-)
 - avec quoi ?
 - dépends de l'échelle d'énergie

Remarques liminaires

- étude de la nature
 - mathématique
 - champ: particules $\leftrightarrow$ ondes
 - mesures & erreurs de mesures
 - échelle d'observation
 - dimension $\rightarrow$ extension spatiale
 - détection
 - modélisation

Remarques liminaires

- étude de la nature
 - mathématique
 - champ: particules $\leftrightarrow$ ondes
 - mesures & erreurs de mesures
 - échelle d'observation
 - dimension $\rightarrow$ extension spatiale
 - détection
 - modélisation

Remarques liminaires

Particules



élémentaires

pas de structure interne détectable

Remarques liminaires

Particules



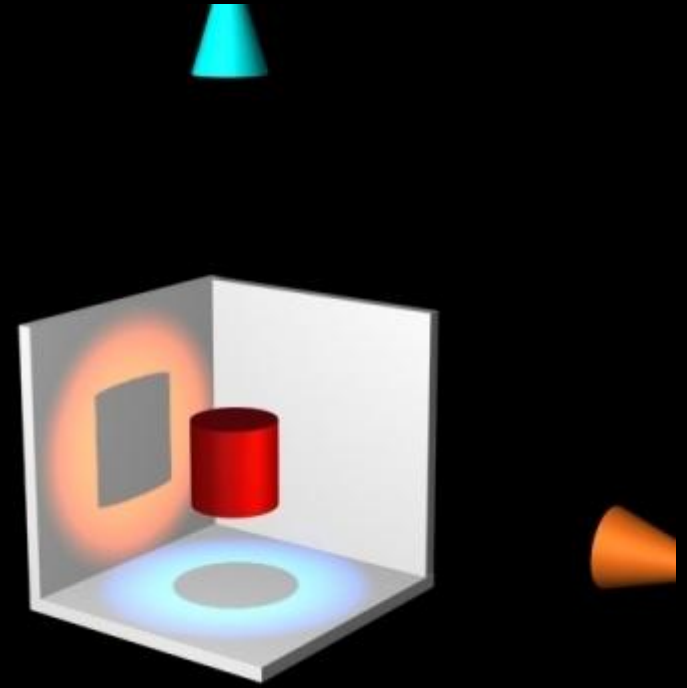
Dualité ondes/particules

Ondes



Description mathématique

Champs



Remarques liminaires

Particules



Dualité ondes/particules → fentes de Young

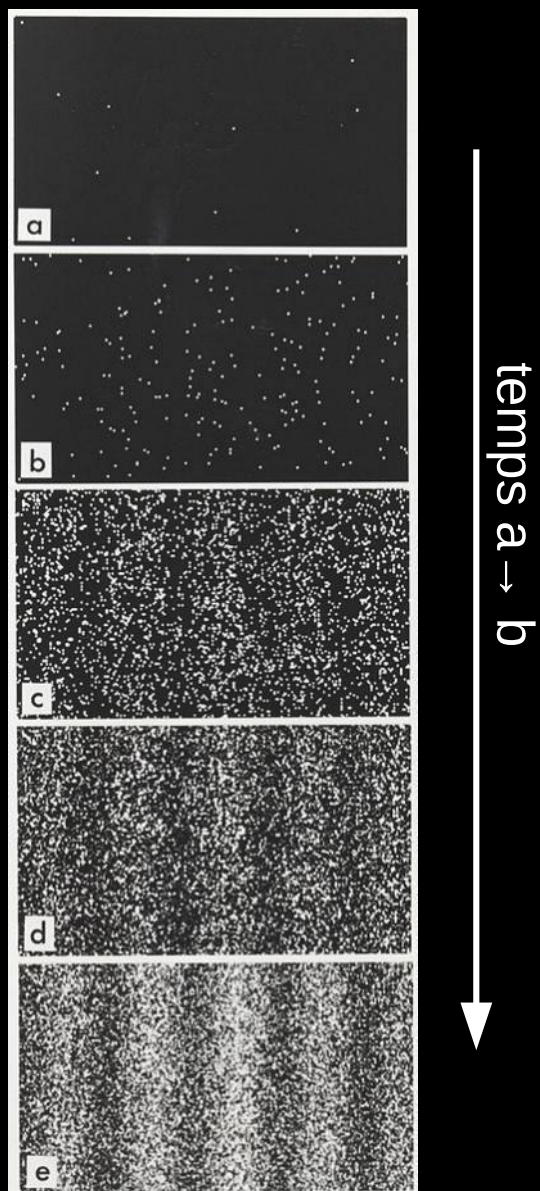
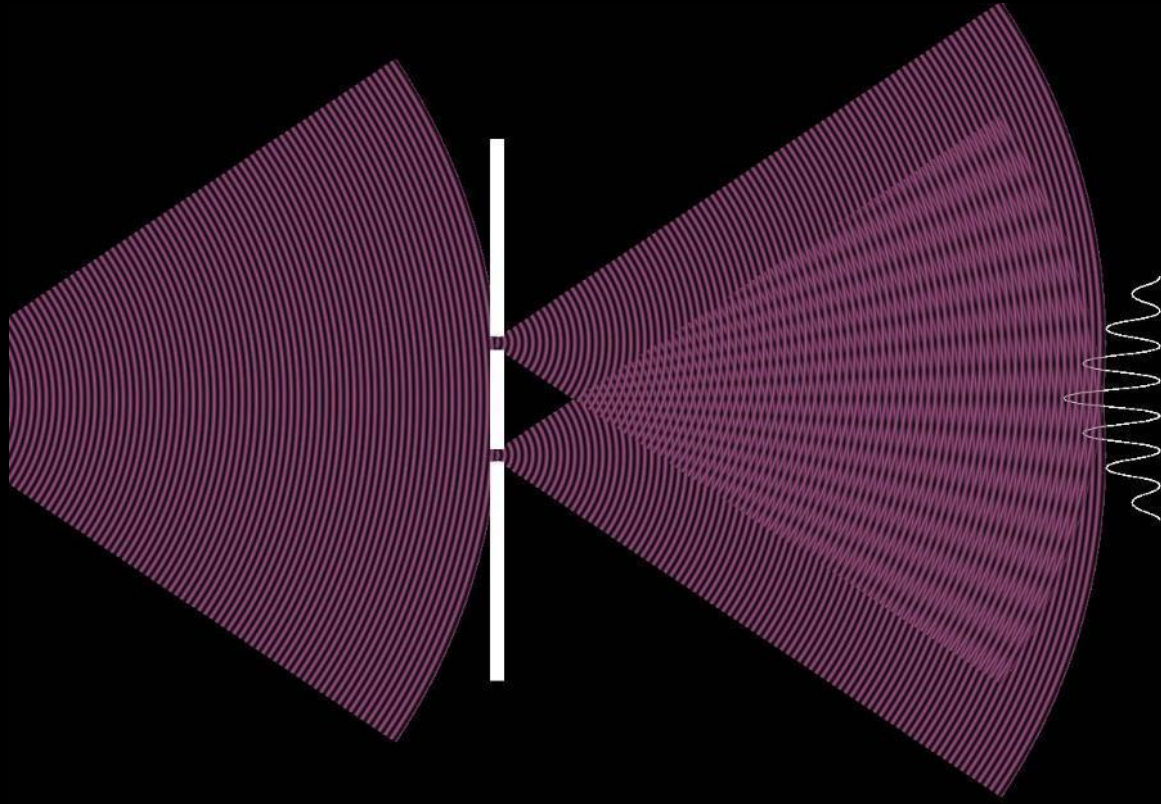
Ondes



Description mathématique

Champs

Fentes de Young



Remarques liminaires

Particules



Dualité ondes/particules → fentes de Young

Ondes



Description mathématique

Champs

Remarques liminaires

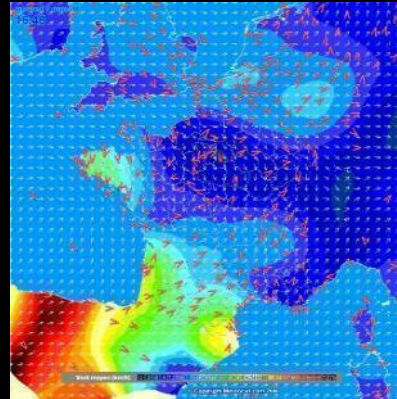
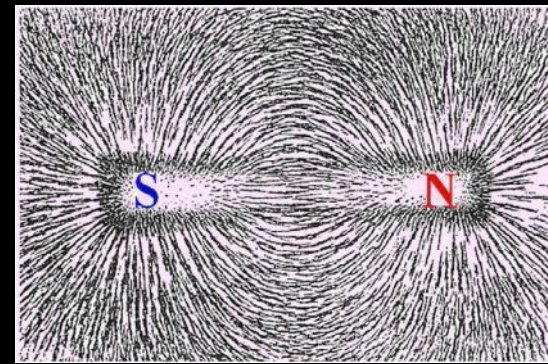
notion de champ

Champ électrique
Champ magnétique
Champ de gravitation
Champ de température
Champ de vitesse de vent
...

scalaire (spin 0)

vecteur (spin 1)

Le **champ** est un objet mathématique
qui associe aux points de l'espace des valeurs
(température, direction et sens du vent,...)
→ champ électromagnétique

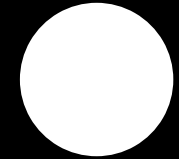
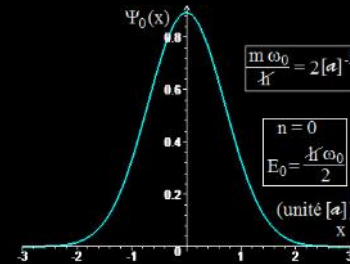


Remarques liminaires

J. Dalton	1802	}	Classique
J.J Thomson	1904		
E. Rutherford	1911		

N. Bohr	1913	}	Quantique
E. Schrödinger	1926		

P.A.M. Dirac	1928	}	Quantique Relativiste
R. Feynman	1947		
J. Schwinger			
S. Tomonaga			
F. Dyson			



Remarques liminaires

- étude de la nature
 - mathématique
 - champ: particules $\leftrightarrow$ ondes
 - mesures & erreurs de mesures
 - échelle d'observation
 - dimension $\rightarrow$ extension spatiale
 - détection
 - modélisation

Remarques liminaires

étude de la nature & mesures

1. Observation (mesures: construction d'un détecteur)

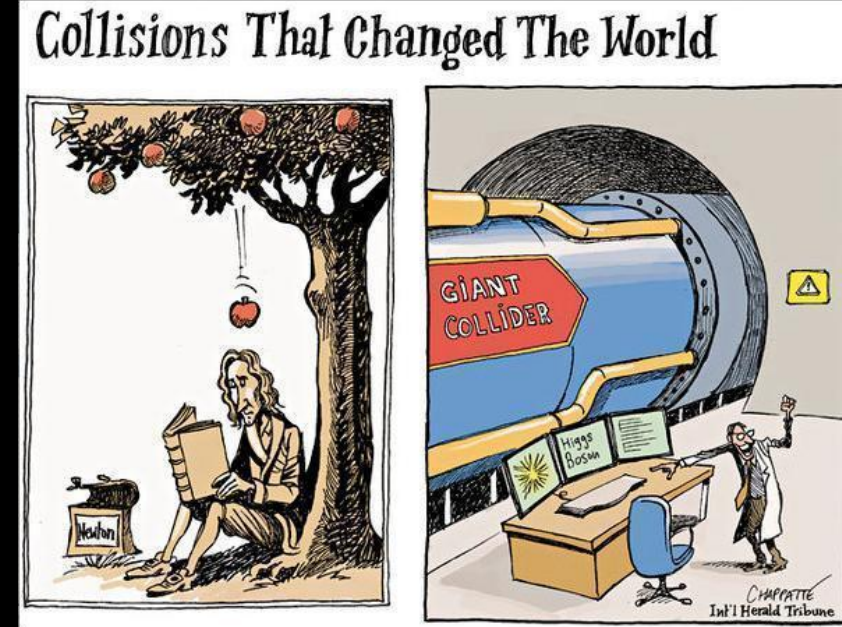
1. Chute d'une Pomme d'un arbre
2. matière + forces

2. Modélisation (simulations)

1. $P = GmM/R^2$
2. Modèle standard

3. Prédiction

1. La position des planètes dans le ciel d'été
2. Observation du boson de Higgs



Remarques liminaires

mesures



erreurs de mesures

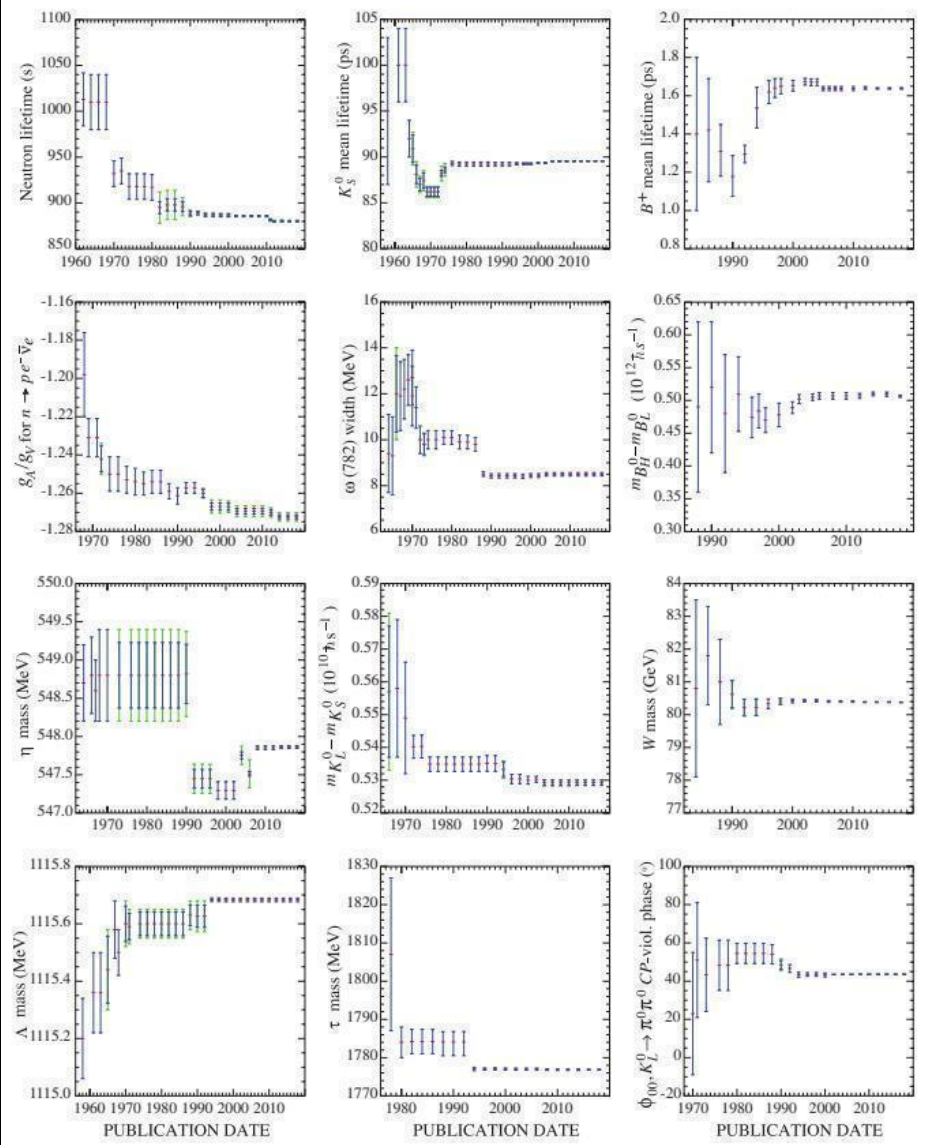


incertitudes de mesures

remarque :

relation d'incertitude d'Heisenberg

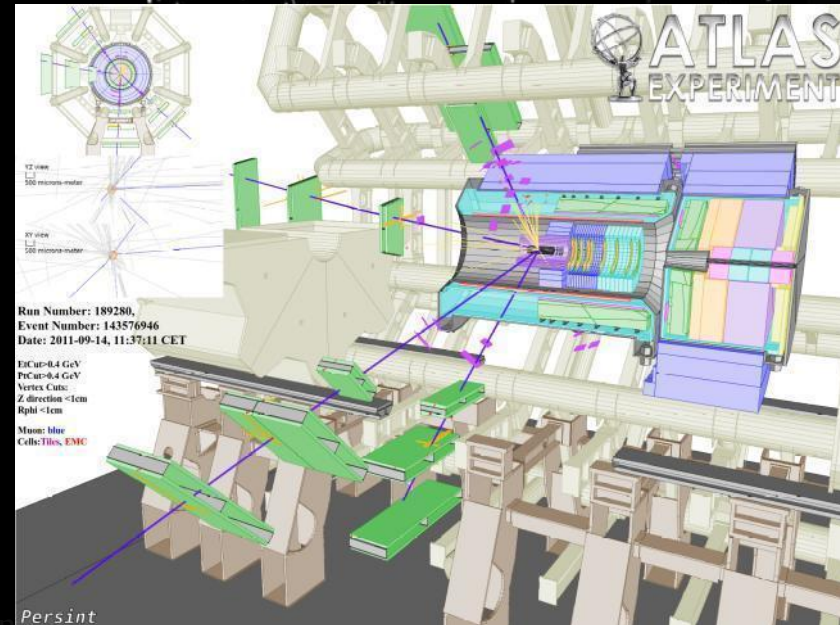
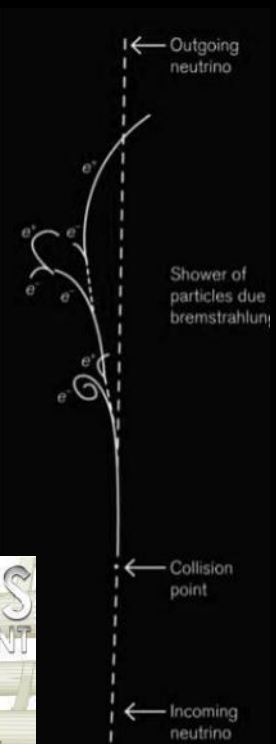
relation d'indétermination d'Heisenberg



Remarques liminaires

- étude de la nature
 - mathématique
 - champ: particules $\leftrightarrow$ ondes
 - mesures & erreurs de mesures
 - échelle d'observation
 - dimension $\rightarrow$ extension spatiale
 - détection
 - modélisation

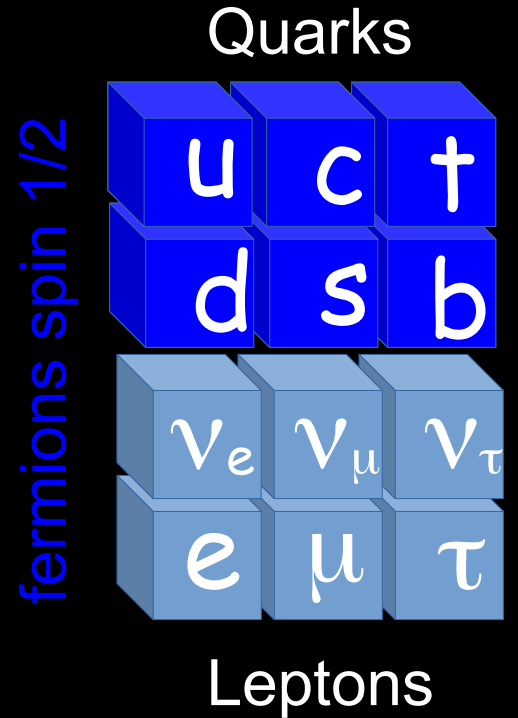
Remarques liminaires



Remarques liminaires

- étude de la nature
 - mathématique
 - champ: particules $\leftrightarrow$ ondes
 - mesures & erreurs de mesures
 - échelle d'observation
 - dimension $\rightarrow$ extension spatiale
 - détection
 - modélisation

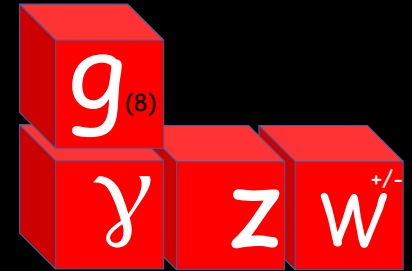
Matière

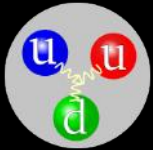


Interaction
(force)



bosons Spin 1





Interaction Forte



messenger

Gluons (8)



Électromagnétisme

Électricité, magnétisme, optique



Photon

lumière



Interaction Faible

$n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$



W^+ , W^- , Z

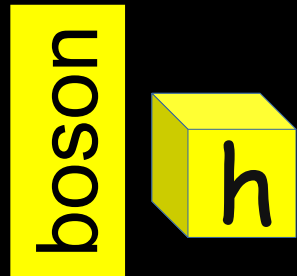


Gravitation

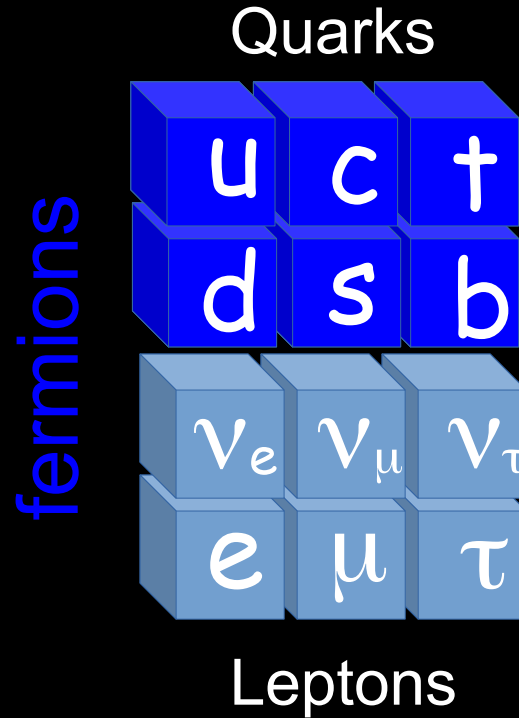
Graviton

(?)

Modèle Standard

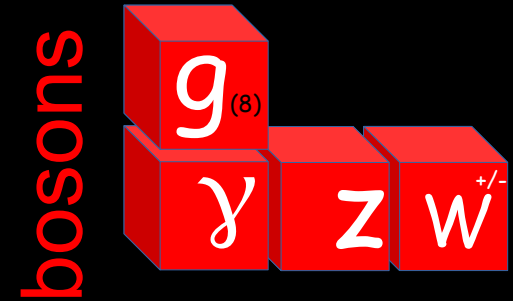


Spin 0



spin 1/2

modélisation



spin 1

Comprendre

138.9054 67	146.116 58	148.9076 59	144.4 60	(145) 61	150.36 62	151.964 63	157.25 64	158.9254 65	162.50 66	164.9303 67	167.259 68	168.9342 69	173.054 70
La Lanthanum	Ce Cerium	Pr Praseodymium	Nd Neodymium	Pm Promethium	Sm Samarium	Eu Europium	Gd Gadolinium	Tb Terbium	Dy Dysprosium	Ho Holmium	Er Erbium	Tm Thulium	Yb Ytterbium
(227) 89	232.0380 90	231.0358 91	238.0289 92	(237) 93	(244) 94	(243) 95	(247) 96	(247) 97	(251) 98	(252) 99	(257) 100	(258) 101	(259) 102
Ac Actinium	Th Thorium	Pa Protactinium	U Uranium	Np Neptunium	Pu Plutonium	Am Americium	Cm Curium	Bk Berkelium	Cf Californium	Es Einsteinium	Fm Fermium	Md Mendelevium	No Nobelium

Détecter quoi ↔ pourquoi ?

Dmitri Ivanovich Mendeleev

1834-1907

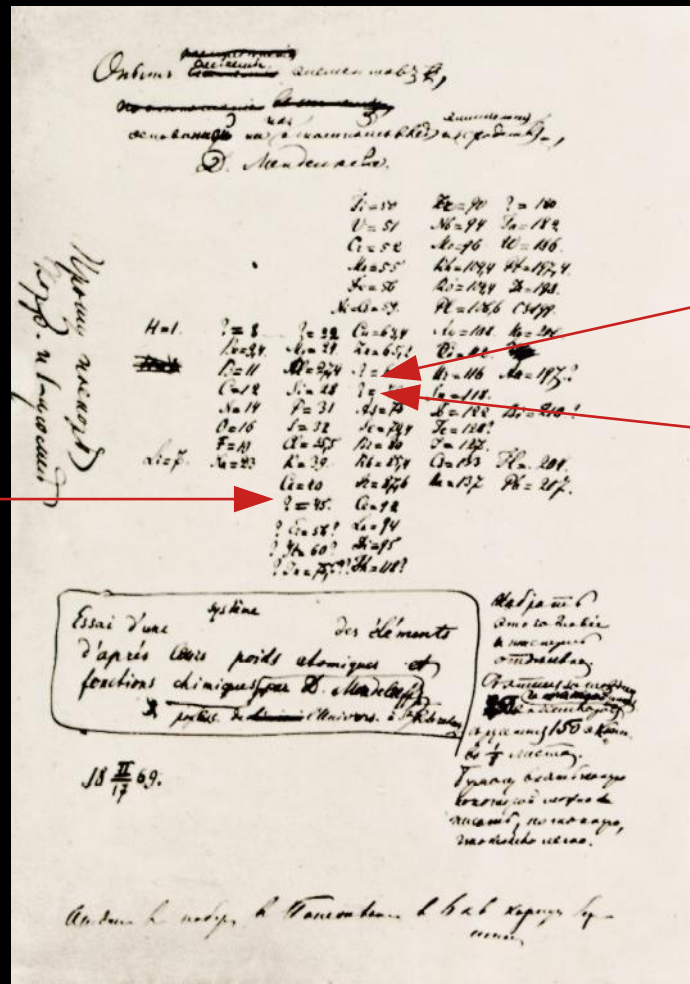
Classification



Symétries



Prediction



Ga (68) 1875

Ge (72) 1886

Sc (44) 1879

Détecteur

↓

↓

Prediction

1.00794 1 H Hydrogene																4.002602 2 He																			
6.941 3 Li Lithium		9.012182 4 Be Beryllium																		10.811 5 B Bore		12.0107 6 C Carbone		14.0067 7 N Azote		15.9994 8 O Oxygene		18.998403 9 F Fluor		20.1797 10 Ne					
22.98976 11 Na Sodium		24.3050 12 Mg Magnesium																		26.98153 13 Al Aluminium		28.0855 14 Si Silicium		30.97376 15 P Phosphore		32.065 16 S Sulfure		35.453 17 Cl Chlore		39.948 18 Ar					
39.0983 19 K Potassium		40.078 20 Ca Calcium		44.95591 21 Sc Scandium		47.867 22 Ti Titane		50.9415 23 V Vanadium		51.9962 24 Cr Chrome		54.93804 25 Mn Manganese		55.845 26 Fe Fer		58.93319 27 Co Cobalt		58.6934 28 Ni Nickel		63.546 29 Cu Cuivre		65.38 30 Zn Zinc		69.723 31 Ga Gallium		72.64 32 Ge Germanium		74.92160 33 As Arsenic		78.96 34 Se Selenium		79.904 35 Br Brome		83.796 36 Kr Krypton	
85.4678 37 Rb Rubidium		87.62 38 Sr Strontium		88.90585 39 Y Yttrium		91.224 40 Zr Zirconium		92.90638 41 Nb Niobium		95.96 42 Mo Molybdene		(98) 43 Tc Technetium		101.07 44 Ru Ruthenium		102.9055 45 Rh Rhodium		106.42 46 Pd Palladium		107.8662 47 Ag Argent		112.414 48 Cd Cadmium		114.818 49 In Indium		118.710 50 Sn Etain		121.760 51 Sb Antimoine		127.60 52 Te Tellure		126.9044 53 I Iode		131.293 54 Xe Xenon	
132.9054 55 Cs Cesium		174.9668 56 Ba Baryum		174.9668 57 Lu Lutetium		178.49 58 Hf Hafnium		180.9478 59 Ta Tantale		183.84 60 W Tungstene		186.207 61 Re Rhenium		186.207 62 Os Osmium		192.221 63 Ir Iridium		195.084 64 Pt Platine		196.9665 65 Au Or		200.59 66 Hg Mercure		204.383 67 Tl Thallium		207.2 68 Pb Plomb		208.9804 69 Bi Bismuth		(210) 70 Po Polonium		(210) 71 At Astat		(222) 72 Rn Radon	
(223) 87 Fr Francium		(226) 88 Ra Radium		(262) 89 Lr Lawrencium		(261) 90 Rf Rutherfordium		(262) 91 Db Dubnium		(266) 92 Sg Seaborgium		(264) 93 Bh Bohrium		(277) 94 Hs Hassium		(281) 95 Mt Meitnerium		(271) 96 Ds Darmstadtium		(272) 97 Rg Roentgenium		(285) 98 Cn Copernicium		(284) 99 Uut Ununtrium		(289) 100 Fl Flerovium		(288) 101 Uup Ununpentium		(292) 102 Lv Livermorium		117 Uus Ununseptium		(294) 103 Uuo Ununoctium	

[illegible]

...and this is how, in 1869, Dmitri Mendeleev completed the first periodic table.



A complete, colorful periodic table of elements. The elements are arranged in their standard periodic layout, with colors used to group them into families (e.g., alkali metals, halogens, noble gases).

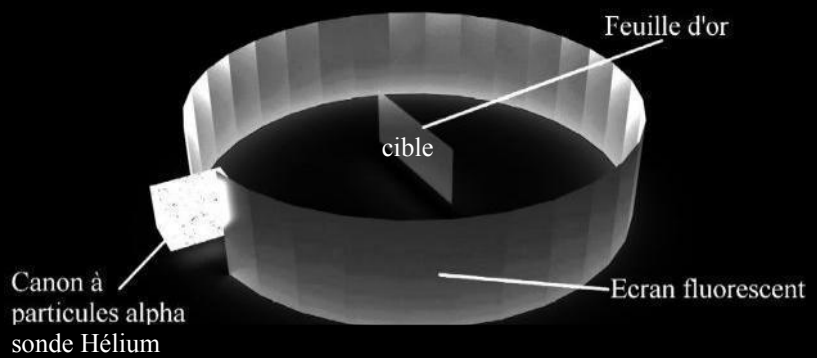
Classification



Symétries



Prediction



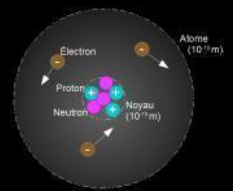
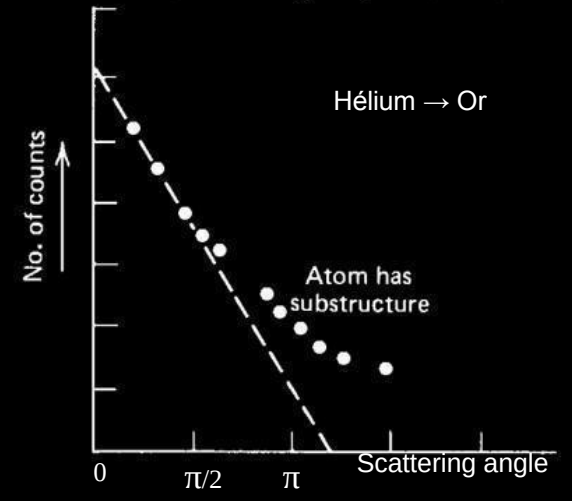
1.00794 1 H Hydrogène	4.002602 2 He Hélium
6.941 3 Li Lithium	9.012182 4 Be Béryllium
22.98976 11 Na Sodium	24.3050 12 Mg Magnésium
39.0983 19 K Potassium	40.078 20 Ca Calcium
85.4678 37 Rb Rubidium	87.62 38 Sr Strontium
132.9054 55 Cs Césium	174.9668 71 Lu Lutétium
(223) 87 Fr Francium	(226) 88 Ra Radium
44.95591 21 Sc Scandium	47.867 22 Ti Titane
50.9415 23 V Vanadium	51.9962 24 Cr Chrome
54.93804 25 Mn Manganèse	55.845 26 Fe Fer
58.93319 27 Co Cobalt	58.6934 28 Ni Nickel
63.546 29 Cu Cuivre	65.38 30 Zn Zinc
69.723 31 Ga Gallium	72.64 32 Ge Germanium
74.92160 33 As Arsenic	78.96 34 Se Sélénium
79.904 35 Br Brome	83.798 36 Kr Krypton
85.4678 37 Rb Rubidium	87.62 38 Sr Strontium
88.90585 39 Y Yttrium	91.224 40 Zr Zirconium
92.90638 41 Nb Niobium	95.96 42 Mo Molybdène
98.9062 43 Tc Technetium	101.07 44 Ru Ruthénium
106.42 46 Pd Paladium	107.8662 47 Ag Argent
112.441 48 Cd Cadmium	114.818 49 In Indium
118.710 50 Sn Étain	121.760 51 Sb Antimoine
127.60 52 Te Tellure	126.9044 53 I Iode
131.293 54 Xe Xénon	173.054 70 Yb Ytterbium
(223) 87 Fr Francium	(226) 88 Ra Radium
(229) 89 Ac Actinium	(232) 90 Th Thorium
(231) 91 Pa Protactinium	(238) 92 U Uranium
(237) 93 Np Neptunium	(244) 94 Pu Plutonium
(247) 95 Am Americium	(251) 96 Cm Curium
(258) 97 Bk Berkélium	(264) 98 Cf Californium
(271) 99 Es Einsteinium	(285) 100 Fm Fermium
(289) 101 Md Mendelevium	(288) 102 No Nobelium
(294) 103 Lr Lawrencium	(294) 104 Rf Rutherfordium
(261) 105 Db Dubnium	(266) 106 Sg Seaborgium
(272) 107 Bh Bohrium	(277) 108 Hs Hassium
(285) 109 Mt Meitnerium	(289) 110 Ds Darmstadtium
(293) 111 Rg Roentgenium	(294) 112 Cn Copernicium
(297) 113 Nh Nihonium	(298) 114 Fl Flerovium
(304) 115 Uup Ununpentium	(309) 116 Lv Livermorium
(315) 117 Uus Ununseptium	(318) 118 Uuo Ununoctium

138.9054 57 La Lanthane	140.116 58 Ce Cérium	140.9076 59 Pr Praseodyme	144.242 60 Nd Néodyme	(145) 61 Pm Prométhium	150.36 62 Sm Samarium	151.964 63 Eu Europium	157.25 64 Gd Gadolinium	158.9253 65 Tb Terbium	162.500 66 Dy Dysprosium	164.9303 67 Ho Holmium	167.259 68 Er Erbium	168.9342 69 Tm Thulium	173.054 70 Yb Ytterbium
(227) 89 Ac Actinium	(232) 90 Th Thorium	(231) 91 Pa Protactinium	(238) 92 U Uranium	(237) 93 Np Neptunium	(244) 94 Pu Plutonium	(243) 95 Am Americium	(247) 96 Cm Curium	(247) 97 Bk Berkélium	(251) 98 Cf Californium	(252) 99 Es Einsteinium	(257) 100 Fm Fermium	(258) 101 Md Mendelevium	(259) 102 No Nobelium

Comprendre

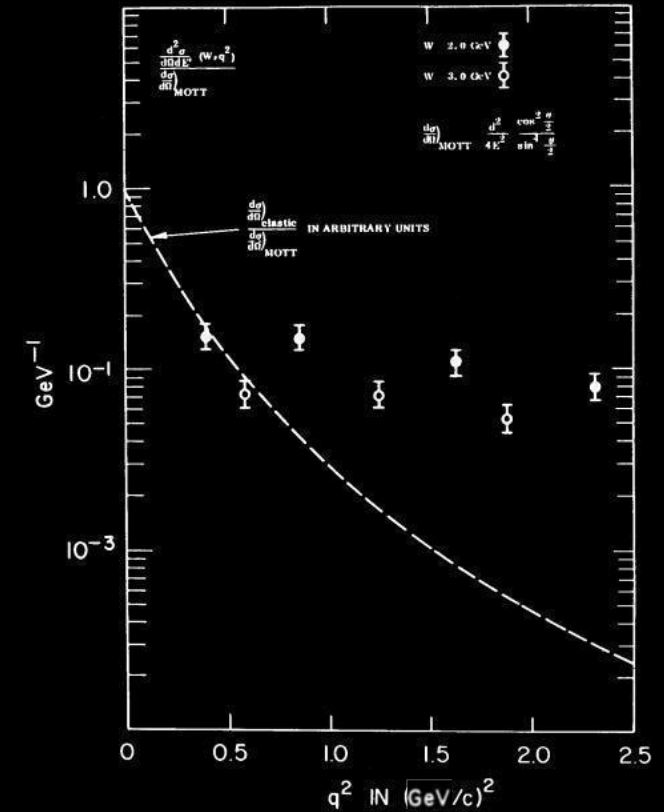
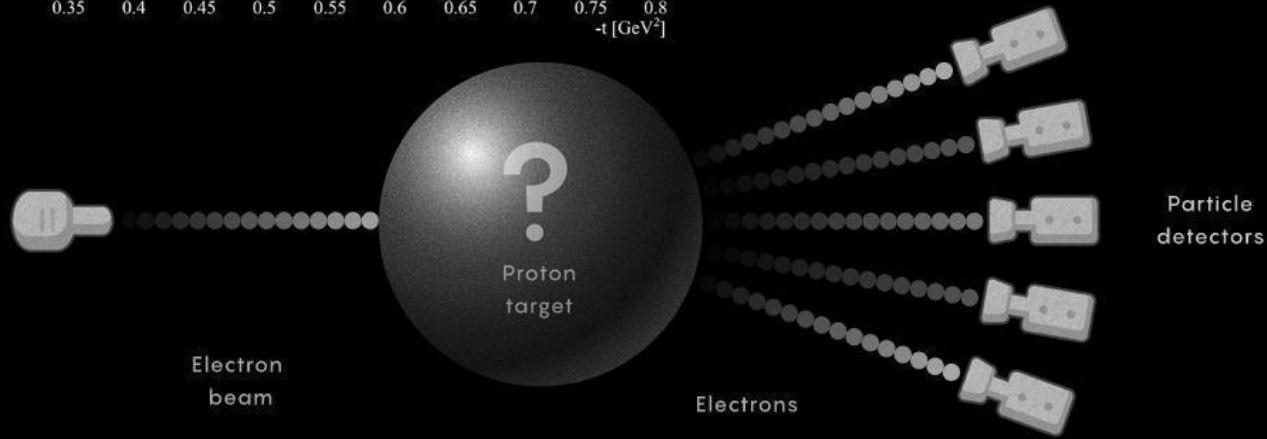
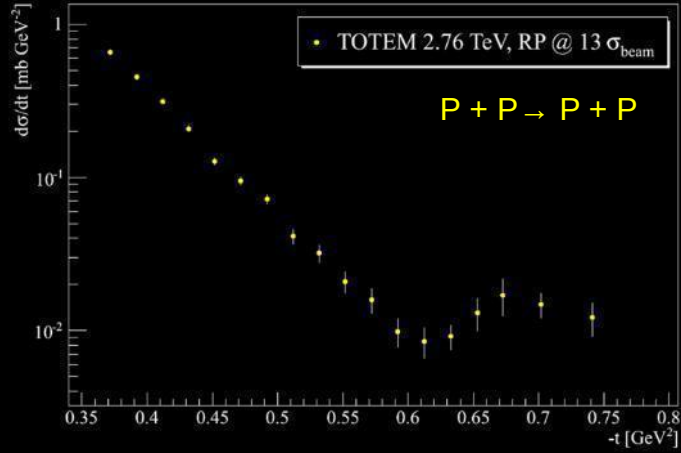


Au target *Phil. Mag.* xxi, 669 (1911)



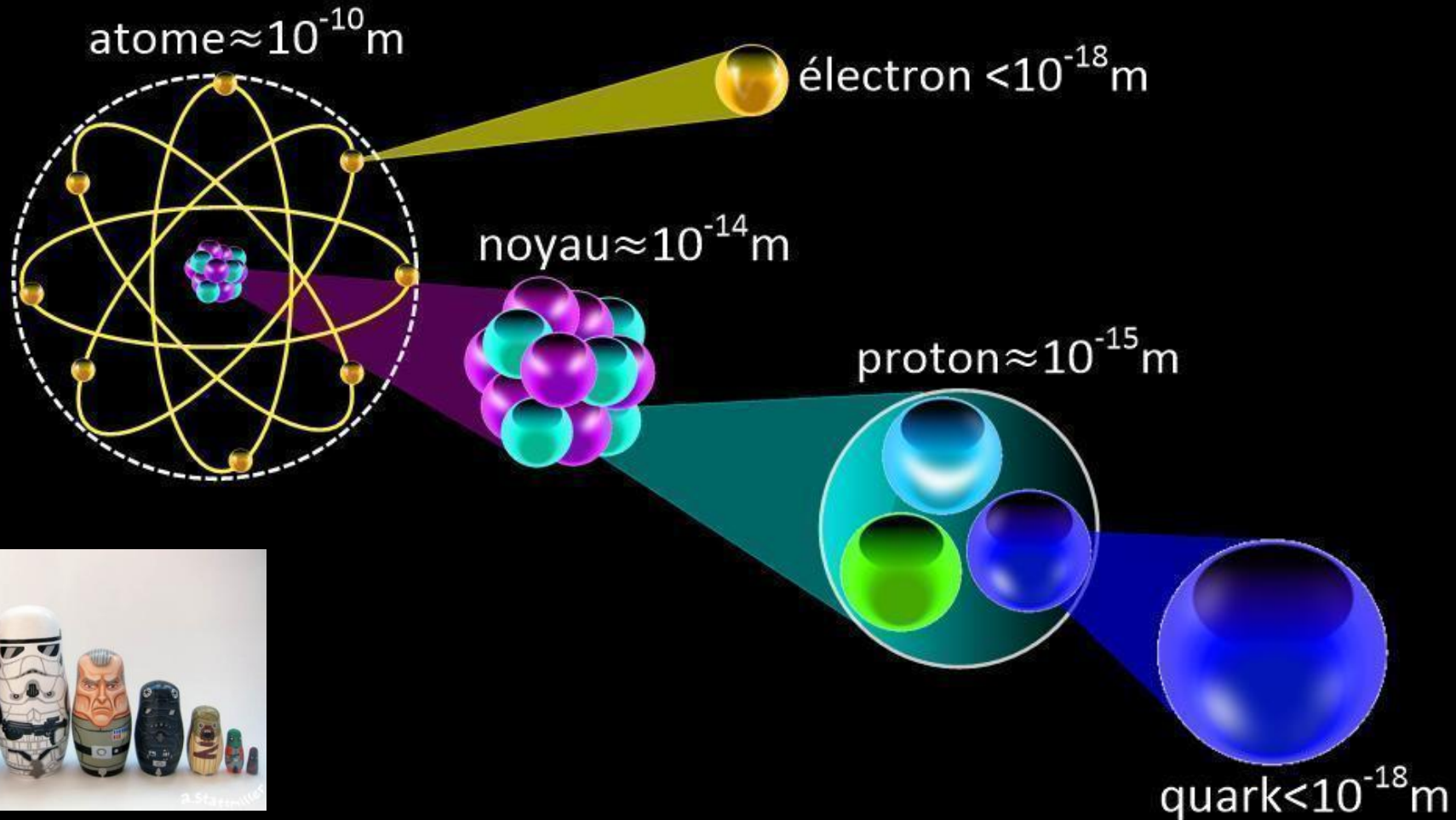
← mieux (?)

Comprendre

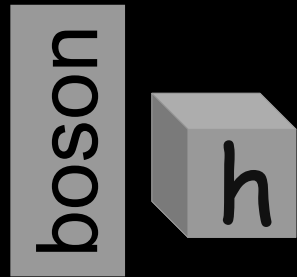


Détecter quoi ↔ pourquoi ?

Comprendre

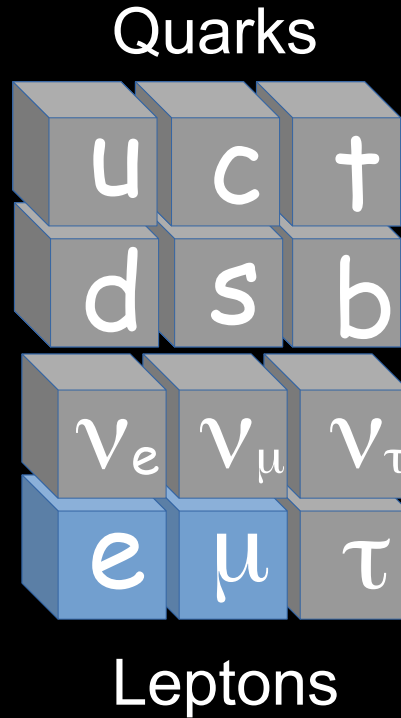


Détecter quoi ?

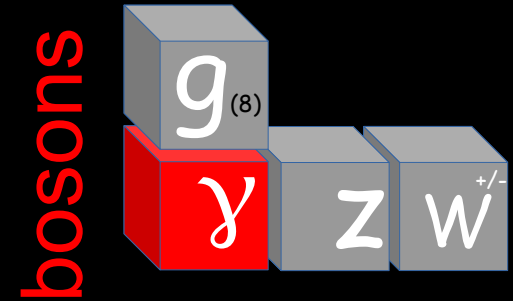


Spin 0

fermions



Spin 1/2



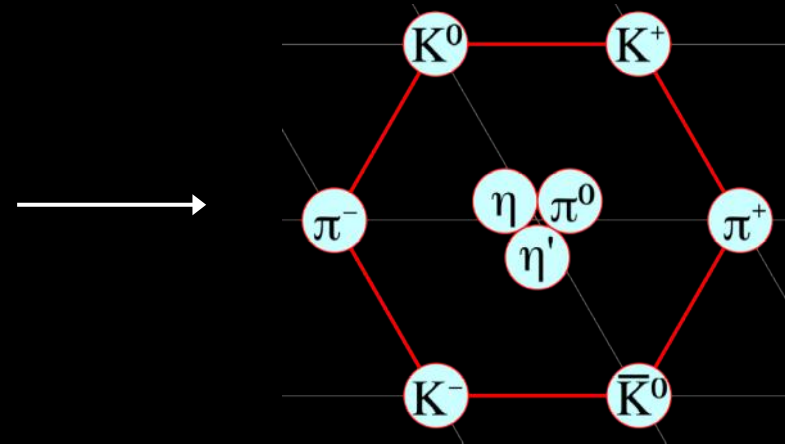
Spin 1

Détecter quoi ?

Particules élémentaires



Particules **hadrons** (mésons & baryons)

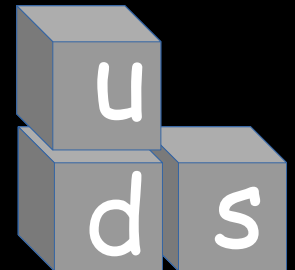
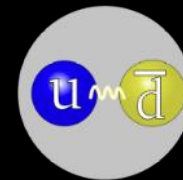


États liés

$\rho, \pi^\pm, k^\pm$

n, π^0, λ

Pions : $u\bar{d}, d\bar{u}, (u\bar{u}-d\bar{d})$



Détecter quoi ?

Particules détectables
+ modèle standard
+ logique
+ mesures
+ erreurs de mesures



Détecter quoi ?

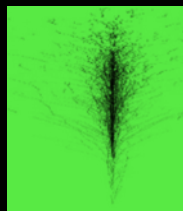
Durée de vie

muon	μ	$\tau \sim 2.2 \cdot 10^{-6} \text{ s}$	$c\tau \sim 660\text{m}$
pion	$\pi^{\pm}$	$\tau \sim 2.6 \cdot 10^{-8} \text{ s}$	
	π^0	$\tau \sim 8.5 \cdot 10^{-17} \text{ s}$	
neutron	n	$\tau \sim 880 \text{ s}$	
proton	p	$\tau > 10^{41} \text{ s}$	

Détecter quoi avec quoi ?

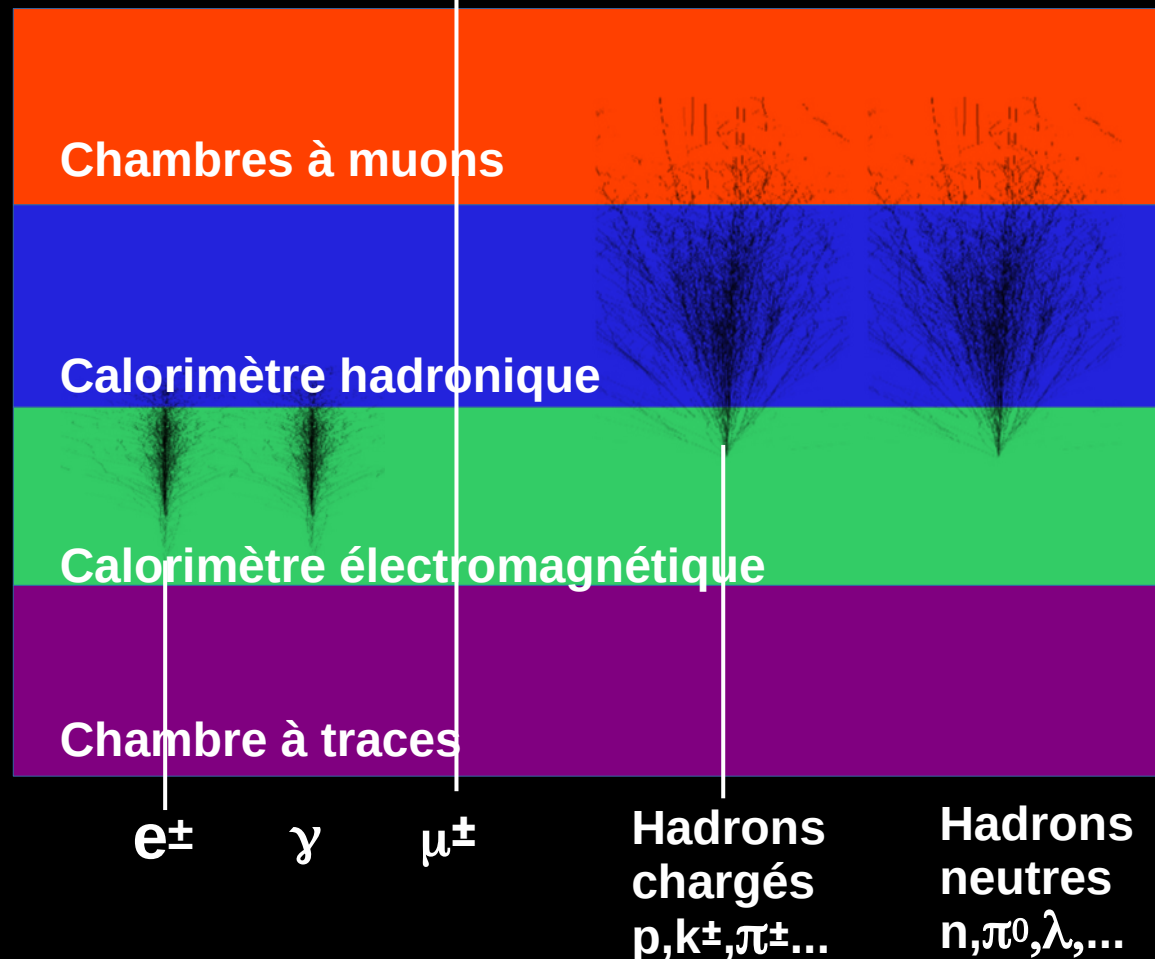
Détecteur

Réponse schématique d'un détecteur
mesure partielle & destructive
(dans un collisionneur)



Gerbe :
électromagnétique ou hadronique

Trace chargée :
mesurée par le détecteur



0/ Introduction

1/ Détecter quoi $\leftrightarrow$ pourquoi

2/ Interaction particules matière

3/ Généralités sur les détecteurs

4/ Application sociétales

5/ Exemple avec D0/ATLAS (Fermilab/CERN)

Remarques liminaires

sérendipité

aptitude à faire par hasard une découverte inattendue
et à en saisir l'utilité scientifique

Fullerènes
Velcro
Micro-onde

Infra-rouge
Rayon X
Radioactivité
Noyau atomique

Aspirine
Quinine
Pénicilline
Structure hélicoïdale de l'ADN



Laurent Chevalier

CEA Saclay DRF/irfu/DPhP

laurent.chevalier@cea.fr

CERN (CH)	LEP	DELPHI	1988-1992
Mesures paramètres modèle standard			
FERMILAB (USA)	TeVatron	D0	1991-1995
première observation du quark top			
CERN (CH)	LHC	ATLAS	1994-2026
première observation du boson de Higgs			
Saclay (FR)		G-LEAD	2017-2026
recherche matière sombre (DM) sous forme d'Axion _{QCD}			
Mainz (DE)		P2	2023-2026
mesure de $\sin^2(\theta) \sim 100$ MeV			