

Briller par son absence

Jean-Philippe UZAN



Briller par son absence

Si vous avez un problème, « inventez » une particule

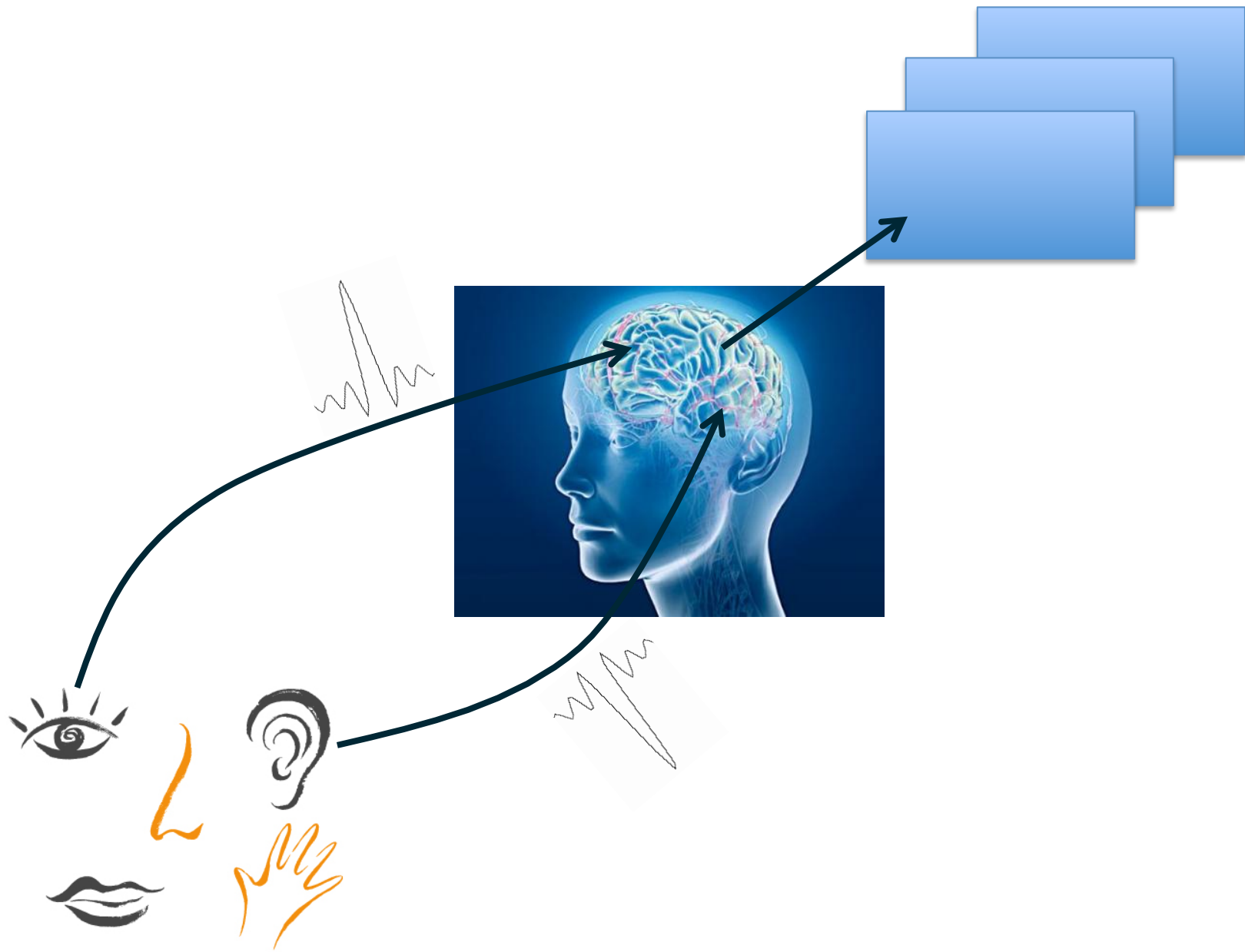
Jean-Philippe UZAN





Voir







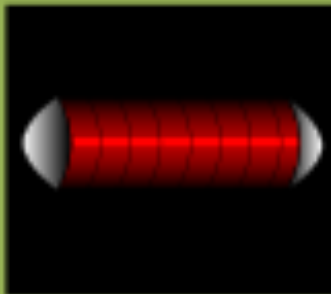
0.01nm



1nm



100nm



1mm

1cm

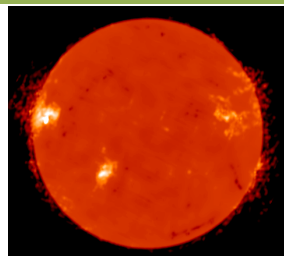
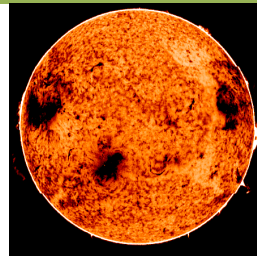
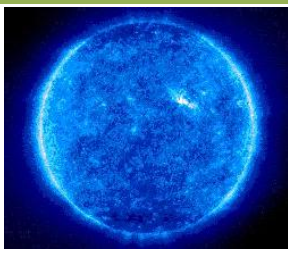
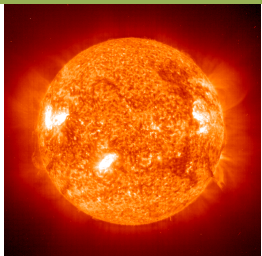
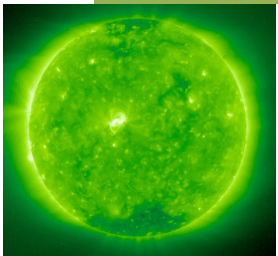
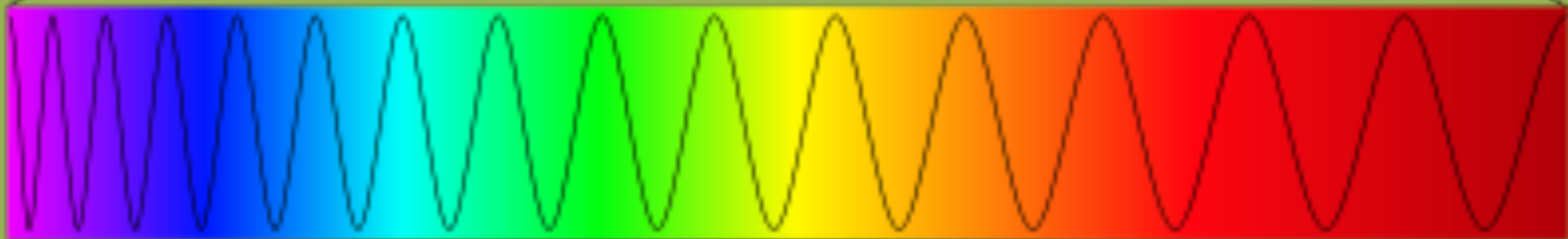


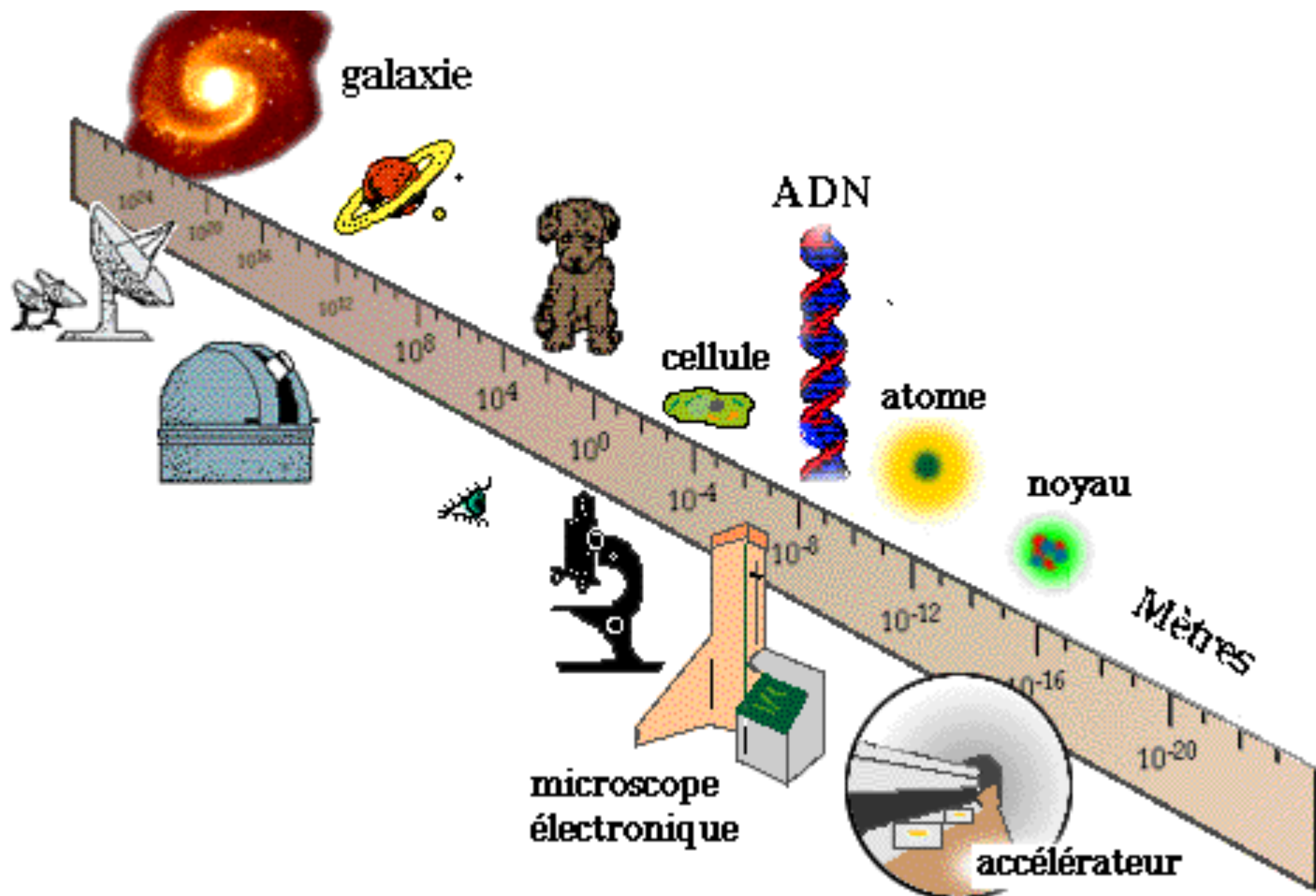
1m

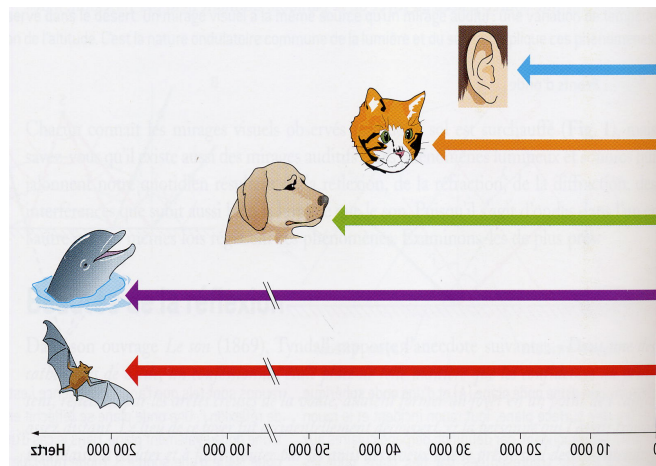
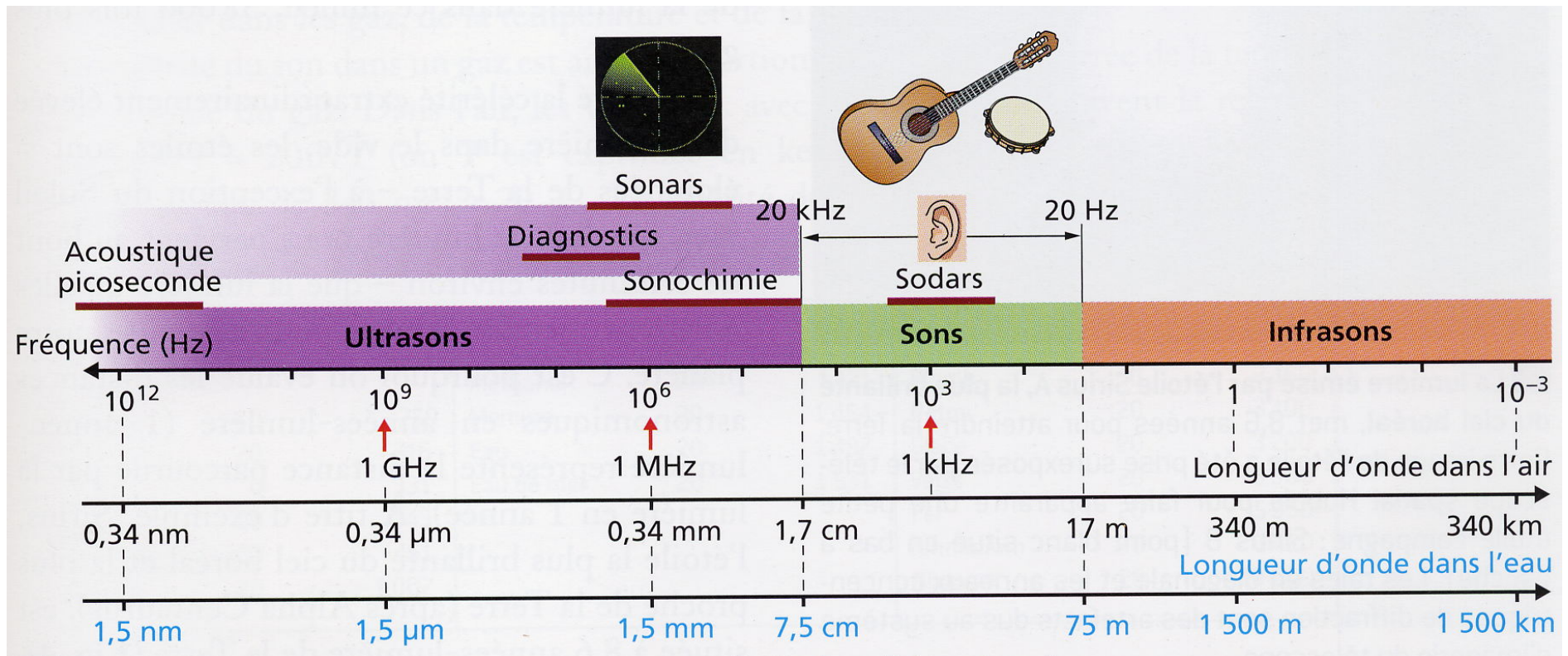
1km

400nm

700nm







Les lois de la nature, une fois maîtrisées et validées, permettent de construire des nouvelles façons de questionner la réalité

microscopes, télescopes, accélérateurs etc..

Ce sont de nouveaux « yeux »

Il faut prendre pour « réel » ce qu'ils nous révèlent tant que nous n'avons pas de raison de douter des lois physiques à la base de ces technologies

Dans un cadre théorique, certains concepts mathématiques nous permettent de découvrir l'existence (la nécessité) de nouvelles structures, comme des particules.

Conversation

sur la

conservation



(1743-1794)

Conservation de la masse

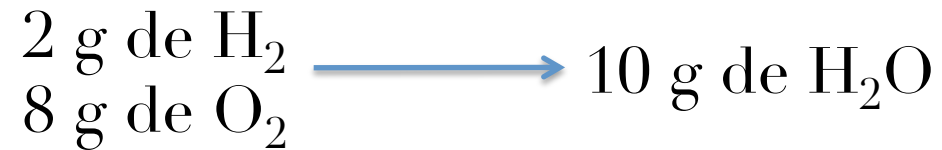
On voit que, pour arriver à la solution de ces deux questions, il fallait d'abord bien connaître l'analyse et la nature du corps susceptible de fermenter, et les produits de la fermentation ; car rien ne se crée, ni dans les opérations de l'art, ni dans celles de la nature, et l'on peut poser en principe que, dans toute opération, il y a une égale quantité de matière avant et après l'opération ; que la qualité et la quantité des principes est la même, et qu'il n'y a que des changements, des modifications

Traité de Chimie, 1789



(1766-1844)

Deux gaz quelconques se combinent toujours dans des proportions de poids simples



(1778-1850)

Conservation :

- de la masse des réactants
- de leur volume

- du type d'atomes avant et après la réaction.



1896: Uranium

1898: Radium & Polonium

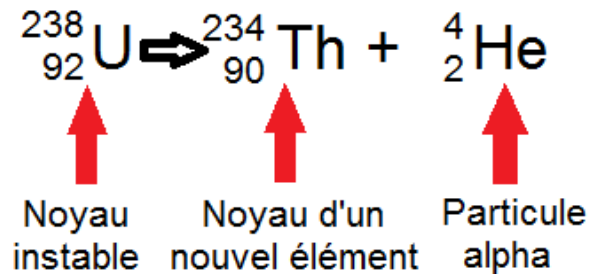
1903



Radioactivité



Transformation d'un atome en un autre



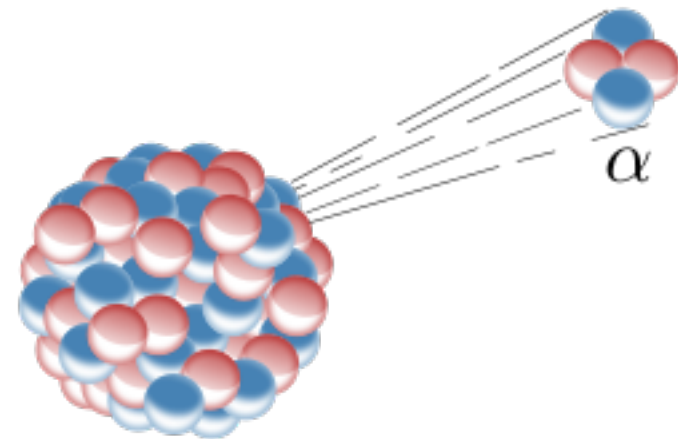
Atomes sont composites.

Soddy (1912) : noyaux ont même nombre de protons mais un nombre de neutrons différents : **théorie des isotopes**

- *explique que des éléments différents sont chimiquement semblables*
- *datation au C-14 (1920)*
- *MAIS, le neutron est hypothétique*

Conservation :

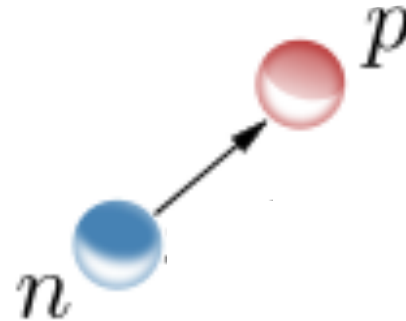
- nombre de protons, de neutrons et d'électrons
- de la masse.





1932, Chadwick prouve expérimentalement l'existence du neutron.

Le neutron libre est instable et se désintègre en proton.



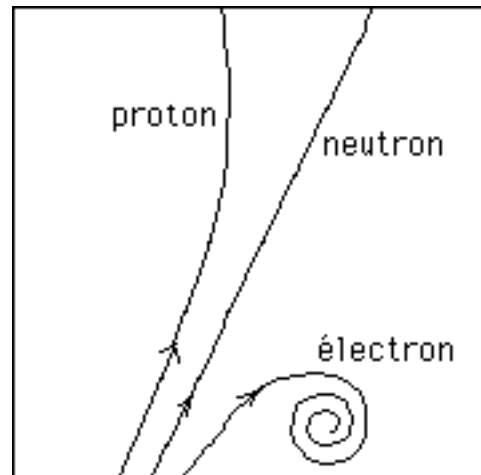
Le neutron (et le proton) ne peuvent pas être conservés indépendamment.

Conservation :

- nombre baryonique
- nombre leptonique

Charge(s)

Les études sur l'électromagnétisme ont mené à la définition d'une charge, caractérisant comment une particule réagit à un champ électrique ou magnétique.



A chaque interaction est associée une charge, qui peut être conservée ou non:

- étrangeté (violée par interaction faible)
- hypercharge (violée par interaction faible)

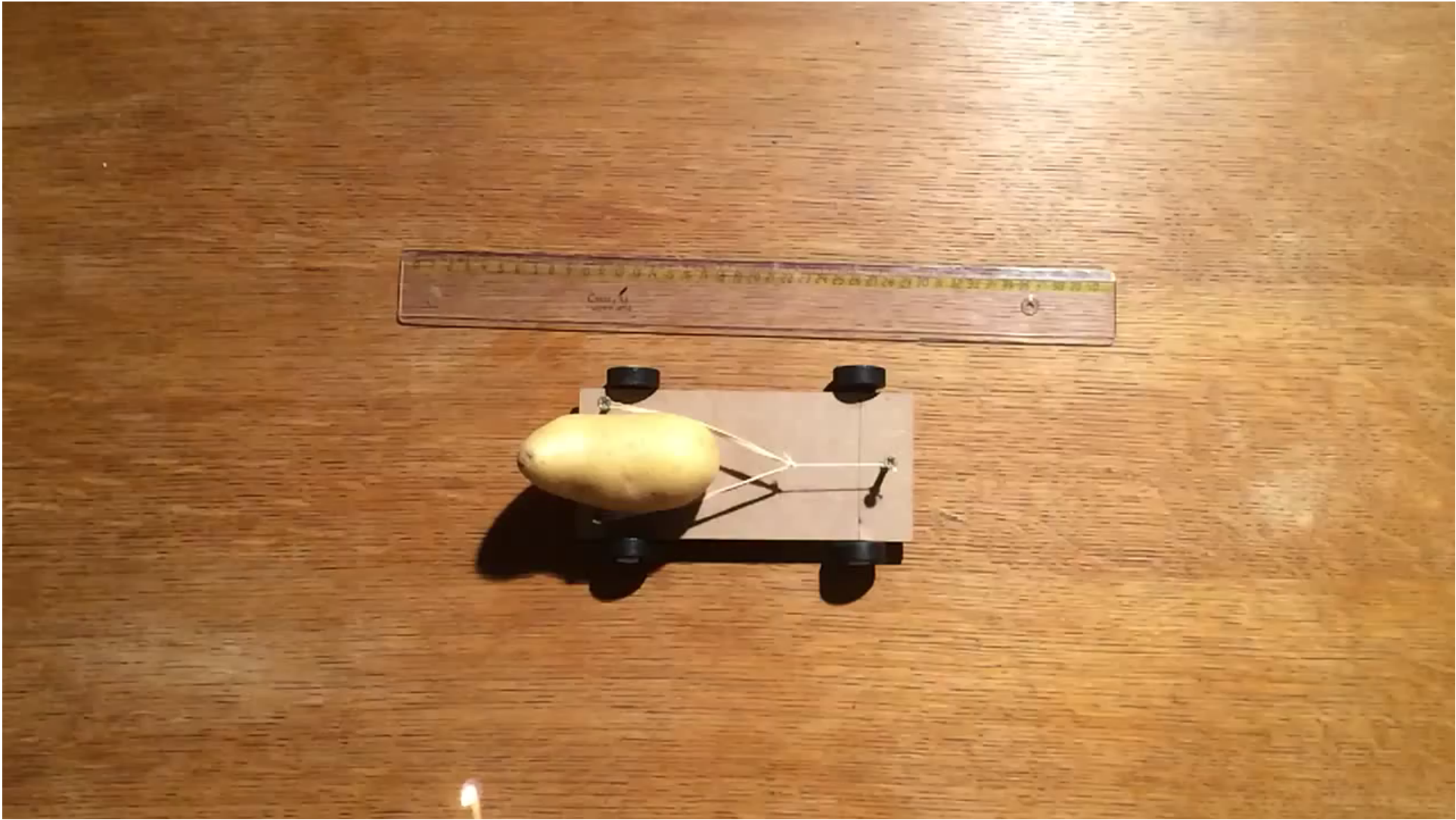
*Conversation
sur le
mouvement*

« Il faut remarquer (...) qu'un degré de vitesse quelconque, une fois communiqué à un mobile, s'imprime en lui de façon indélébile du seul fait de sa nature, et pourvu que soient supprimées les causes extérieures d'accélération et de ralentissement, ce qui n'a lieu que sur un plan horizontal. »

Galilée, in *Discours concernant deux sciences nouvelles*, 1638
traduction de Maurice Clavelin, PUF 1995.

« Tout corps persévère dans l'état de repos ou de mouvement uniforme en ligne droite dans lequel il se trouve, à moins que quelque force n'agisse sur lui, et ne le contraigne à changer d'état. »

Isaac Newton, in *Principia*, Londres 1687
traduction de Madame du Châtelet, Paris 1759

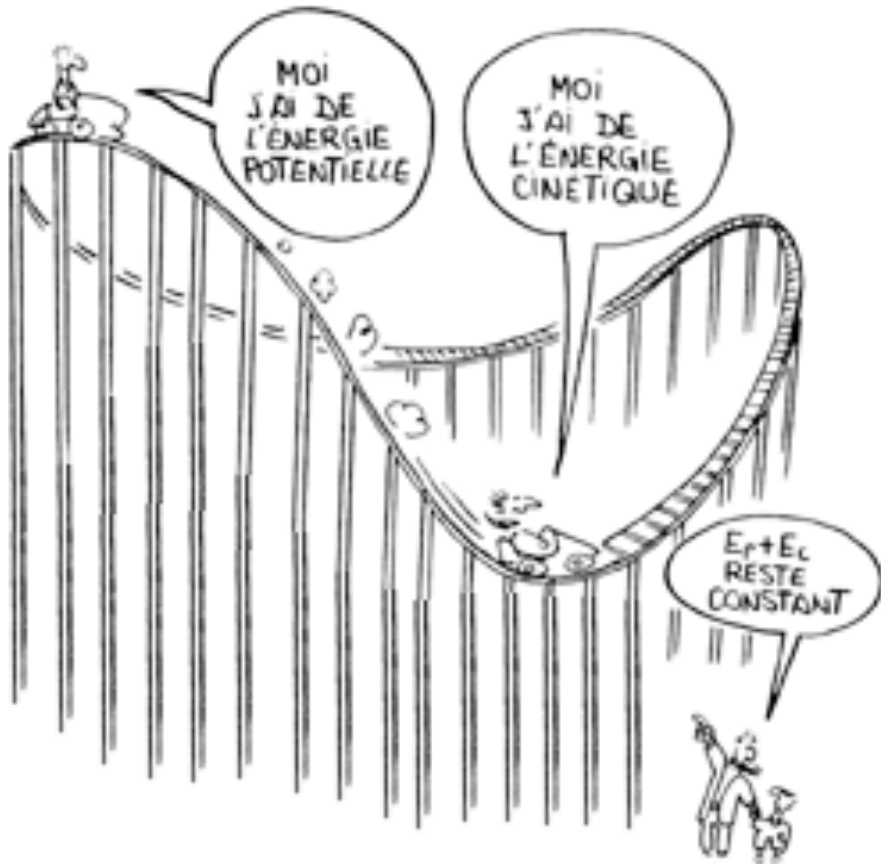




Energie

Travail

Chaleur



Energie liée
au mouvement



Forces appliquées
- poids
- frottement

En mécanique classique, conservation de :

- la quantité de mouvement si pas de force extérieure)
- de l'énergie (sous toutes ses formes)
- de la masse.

Conservation de la masse-énergie



unter der Klammer
in Massenpunktes)
~~gleichung f. war~~

$$E = \frac{m c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Conservation de la masse-énergie

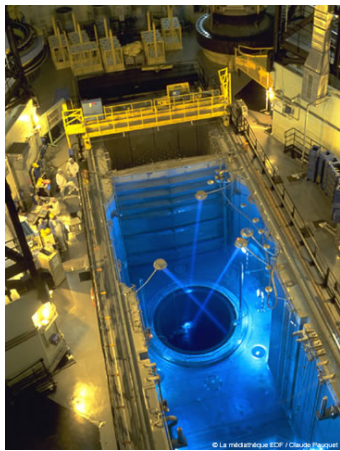
masse \rightarrow énergie



=

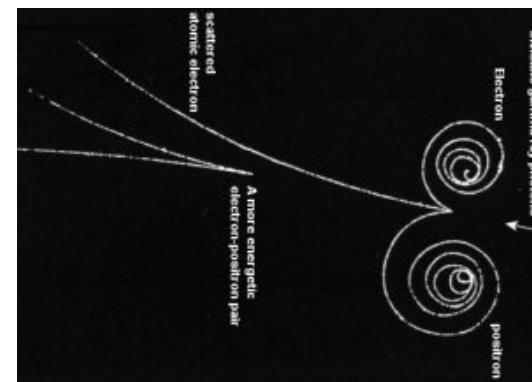
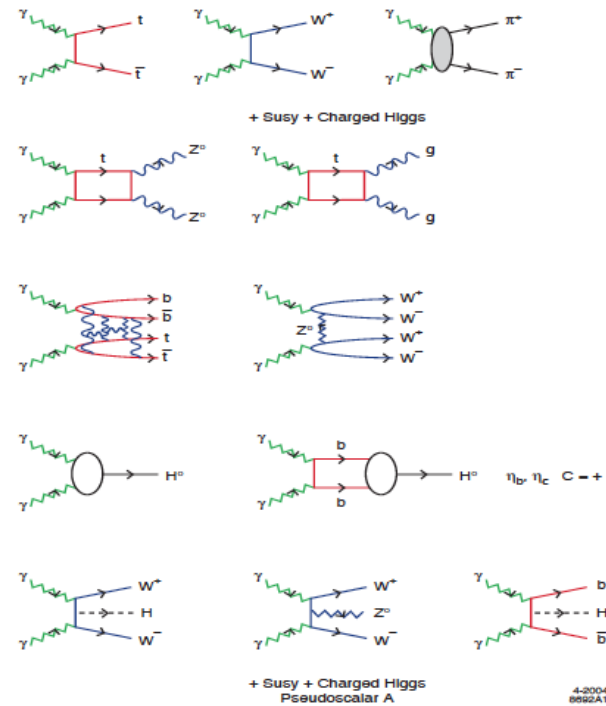


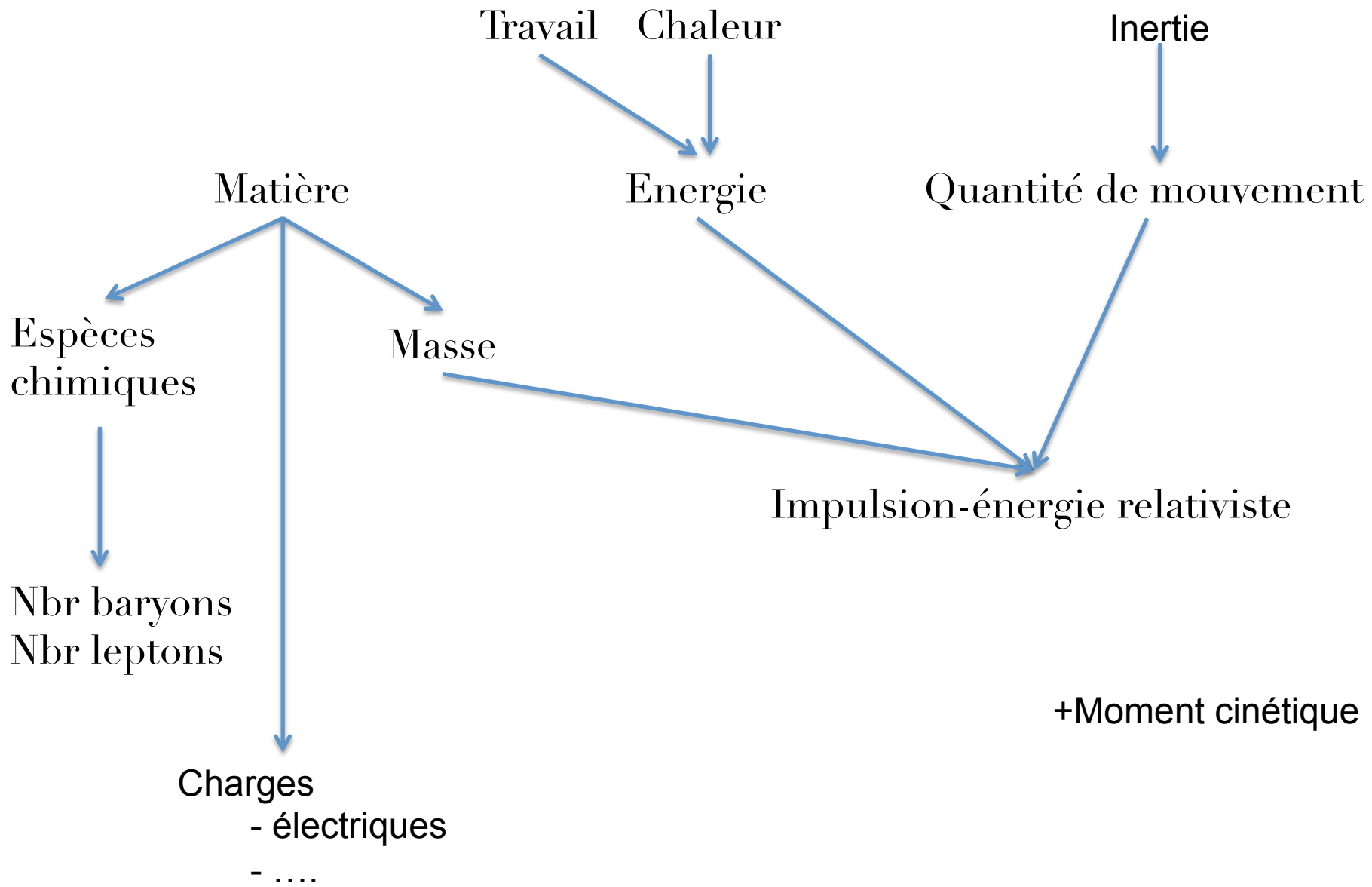
S



1 kg correspond à
25 milliards de kW h
1400 MW pdt 2 ans

énergie \rightarrow masse





Quantité conservée

(nature physique)



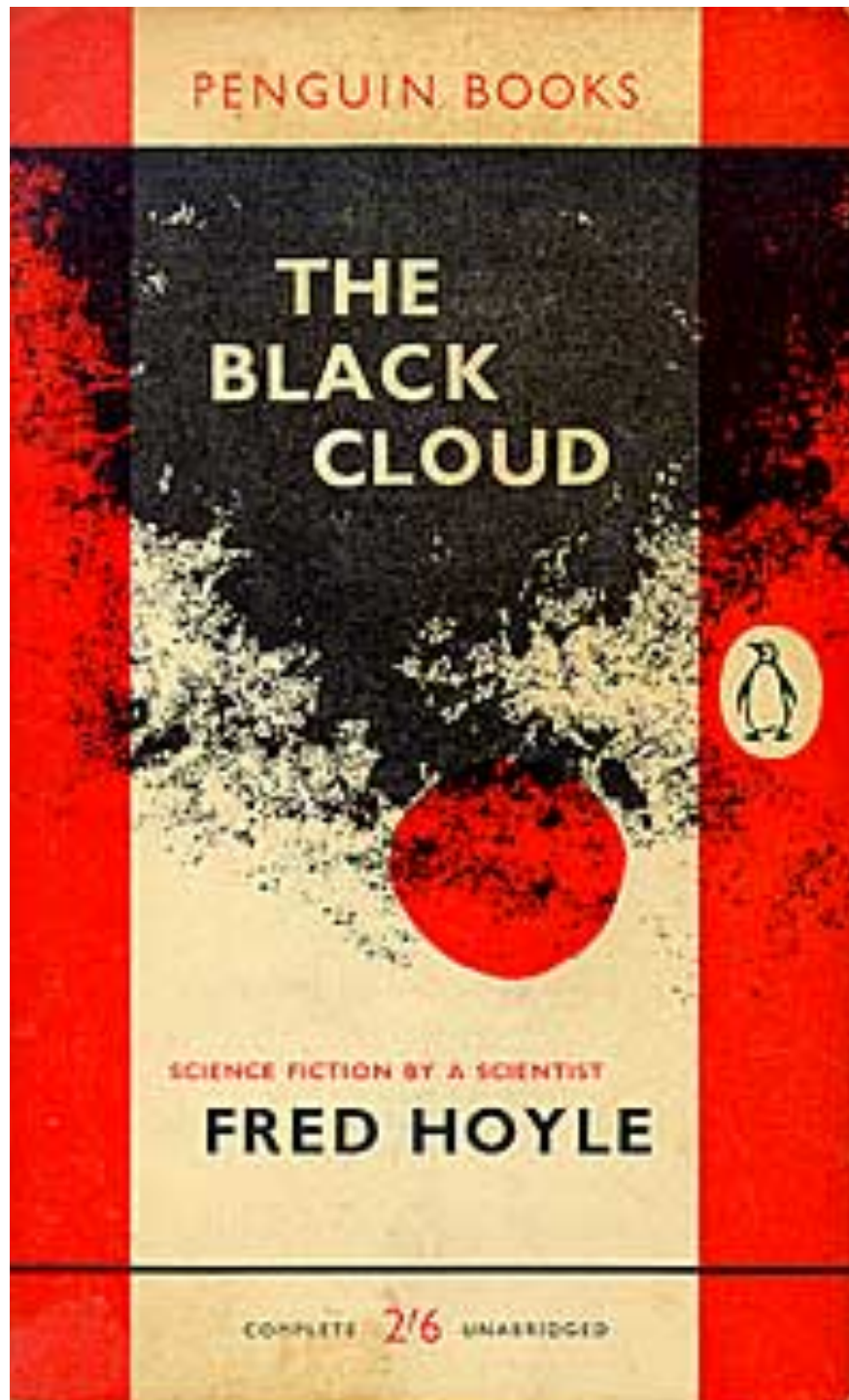
Symétrie de la théorie

(nature mathématique)



(1882-1935)

Pour voir ce qui échappe aux yeux



Deux stratégies

- *Les astronomes*
- *Les théoriciens*

Comment rendre
l'équation de
Schrödinger compatible
avec la relativité
restreinte ?



Comment rendre
l'équation de
Schrödinger compatible
avec la relativité
restreinte ?



Il « *suffit* » de prendre la
racine carrée !

$x = 1$ a une solution

$x^2 = 1$ a deux solutions

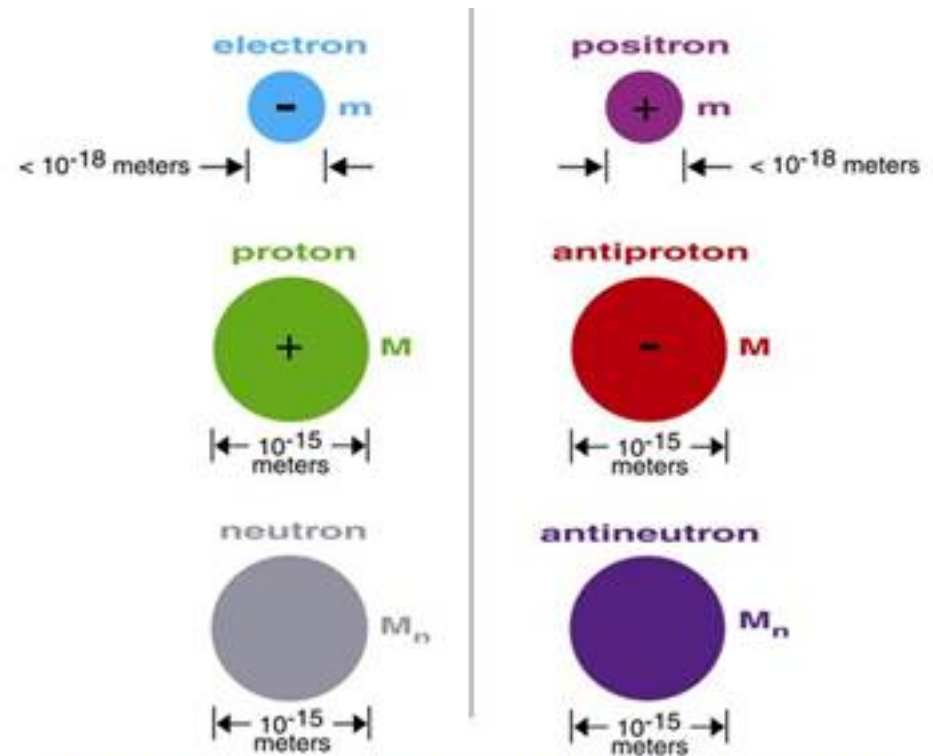
Que faire de la solution
supplémentaire... qui ne
semble pas correspondre à
une particule ?

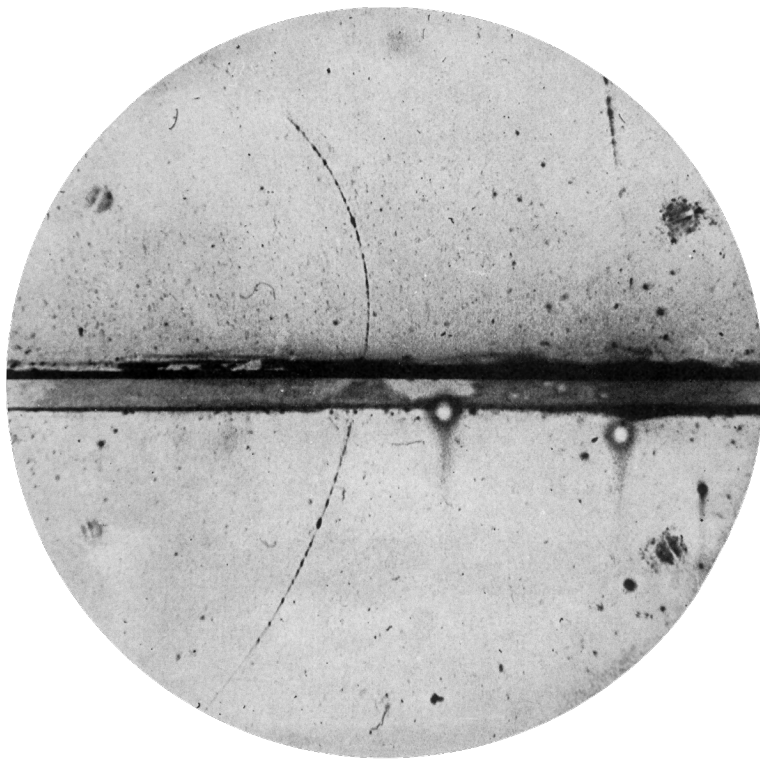
Pourquoi ne pas associer chacune des nouvelles solutions à une nouvelle particule.

(1928)



Antiparticule: même masse, même spin et charge opposée, nombre baryonique opposé, nombre leptonique opposé.





*Observation du positron
par Carl Anderson (1932)*

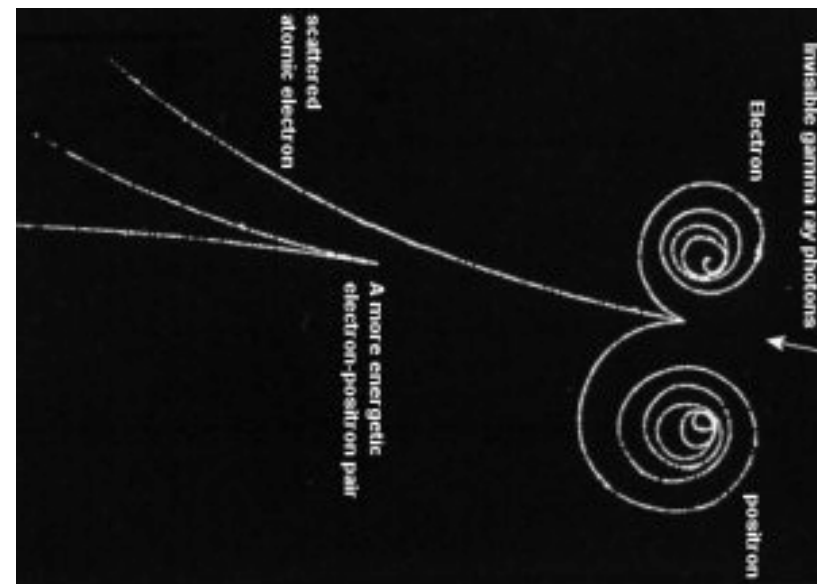


Caltech Archives

À la découverte de l'antimatière

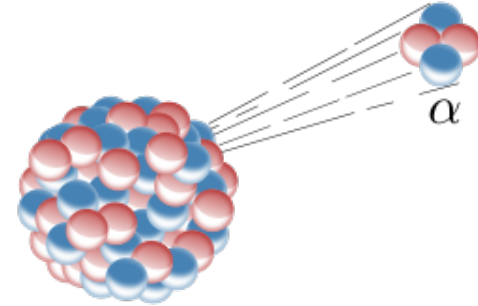
1932	} 23 ans	e^+	Rayons cosmiques
1955		p	Berkeley (USA)
1956		n	Berkeley (USA)
Antinoyaux			
1965	} 26 ans	${}^2\bar{H}$ ($\bar{p} + \bar{n}$)	Brookhaven (USA)
1970		${}^3\bar{He}$ ($2\bar{p} + \bar{n}$)	Serpukhov (URSS)
		${}^3\bar{H}$ ($\bar{p} + 2\bar{n}$)	CERN (Europe)
Antiatomes			
1996	}	antihydrogène ($\bar{p} \oplus e^+$) rapide	CERN (Europe)
2002		antihydrogène ($\bar{p} \oplus e^+$) au repos	CERN (Europe)

CNRS-IN2P3 et CEA-DSM-DAPNIA - T23



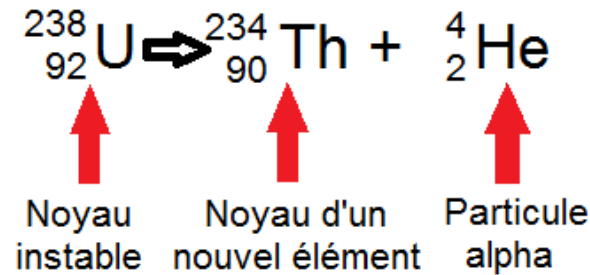
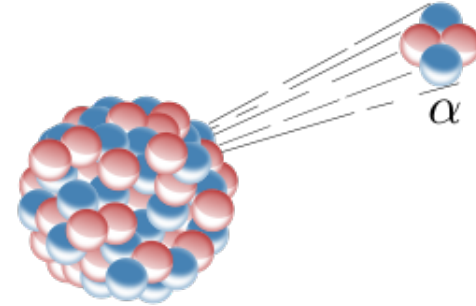
Dans la désintégration α , une seule particule est émise.
Elle doit donc avoir une énergie bien fixée.

Pourquoi ?



Dans la désintégration α , une seule particule est émise.
Elle doit donc avoir une énergie bien fixée.

Pourquoi ?



Il n'y a qu'une particule émise

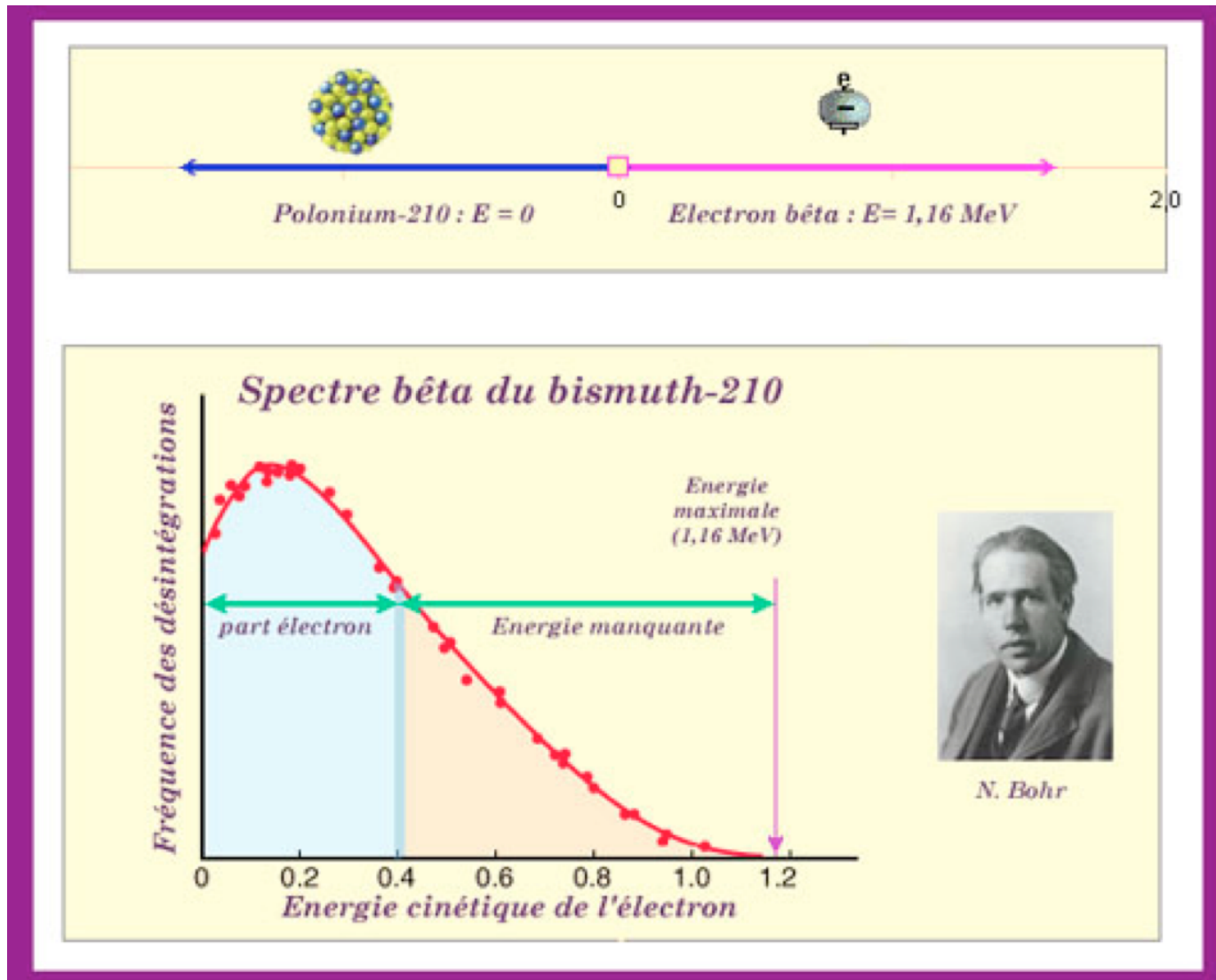
L'état initial et l'état final étant toujours les mêmes, la particule α doit toujours avoir la même énergie.

Dans la désintégration β , on observe l'émission d'un seul électron (ou d'un seul positron).

Il devrait donc en être de même et il devrait avoir toujours la même énergie.

Catastrophe : il n'en est rien !

L'électron n'emporte qu'une petite partie de l'énergie !



L'électron du rayonnement β , seule particule a priori éjectée, devrait avoir une énergie bien fixée.

Or, après plusieurs études de ce rayonnement faites par Lise Meitner, Otto Hahn, Wilson et von Baeyer, James Chadwick montre en 1914 que tel n'est pas le cas: le spectre en énergie de l'électron est continu.

Faut-il renoncer au principe de la conservation de l'énergie, jusqu'ici toujours vérifié par les expériences ?...

Niels Bohr, entre autres, ose y penser.

Il faut attendre 1930 et Wolfgang Pauli pour voir apparaître une autre solution.

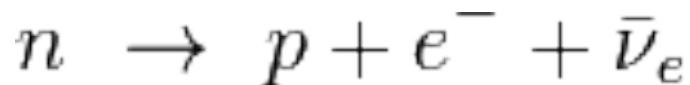
Lettre de Pauli du 4 Decembre 1930

Chers dames et messieurs radioactifs,

Je vous prie d'ecouter avec beaucoup de bienveillance le message de cette lettre. Il vous dira que pour pallier la "mauvaise" statistique des noyaux N et Li6 et le spectre beta continu, j'ai decouvert un remede inespere pour sauver les lois de conservation de l'energie et les statistiques. Il s'agit de la possibilite d'existence dans les noyaux de particules neutres de spin 1/2, obeissant au principe d'exclusion, mais differentes des photons parce qu'elles ne se meuvent pas a la vitesse de la lumiere, et que j'appelle neutrons. La masse des neutrons devrait etre du meme ordre de grandeur que celle des electrons et ne doit en aucun cas exceder 0.01 fois la masse du proton. Le spectre beta serait alors comprehensible si l'on suppose que, pendant la desintegration beta, avec chaque electron est emis un neutron, de maniere que la somme des energies du neutron et de l'electron soit constante...

J'admet que mon remede puisse paraitre invraisemblable car on aurait du voir ces neutrons bien plus tot si reellement ils existaient. Mais seul celui qui ose gagne, et la gravite de la situation, due a la nature continue du spectre beta, est eclairee par une remarque de mon honore predecesseur, monsieur Debye, qui me disait recemment a Bruxelles: "Oh! Il vaut mieux ne pas y penser du tout, comme pour les nouveaux impots." Dorenavant, on doit discuter serieusement toute voie d'issue. Ainsi, cher peuple radioactif, examinez et jugez. Malheureusement, je ne pourrai pas etre moi-meme a Tubingen, ma presence etant indispensable ici pour un bal qui aura lieu pendant la nuit du 6 au 7 decembre.

Votre serviteur le plus devoue,
W. Pauli



Conservation de la quantite de mouvement:

il faut un troisieme corps

Conservation de l'energie:

borne superieur sur sa masse

Conservation de la charge

neutre

Conservation du nombre leptonique

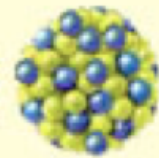
$L = -1$

Conservation du moment cinetique

$s = 1/2$

Diagramme des quantités de mouvement

Désintégration bêta du bismuth-210



Antineutrino

v	300000	km/s
$T=Ec$	0,757	MeV



v	1,1	km/s
$T=Ec$	0,000	MeV

$$P = m v$$



électron bêta

v	249000	km/s
$T=Ec$	0,404	MeV

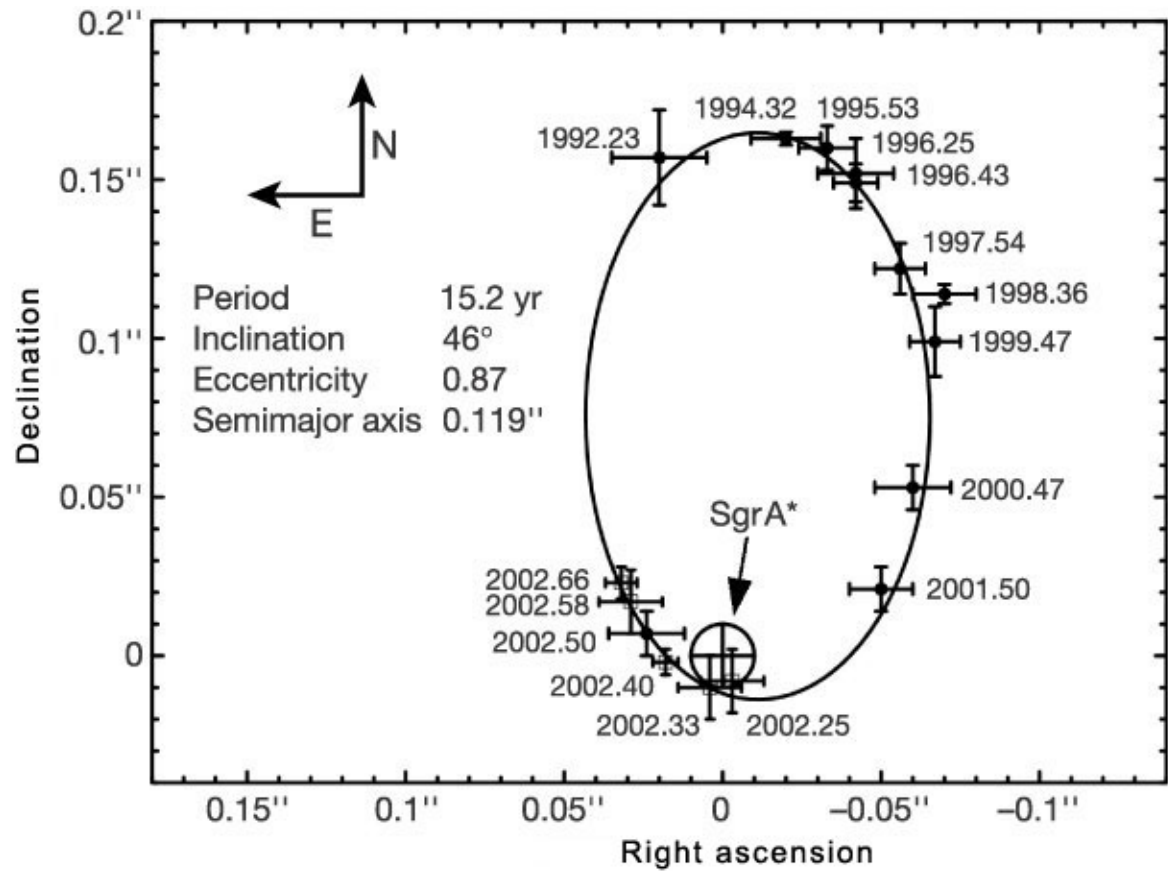
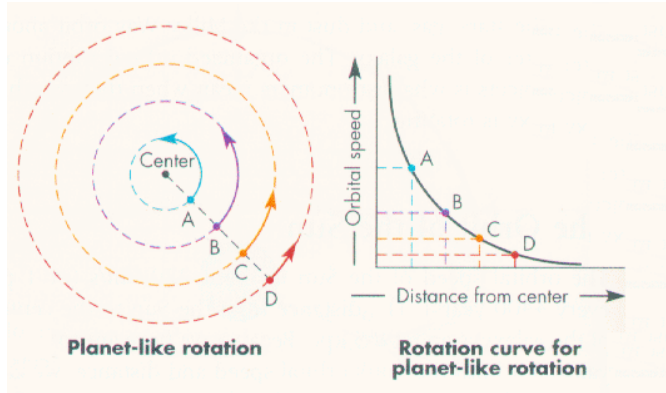
Observé en 1956 par Reines et Cowan

Avec un soupçon de gravitation

Truly wonderful, the mind of a child is



Loi de Kepler



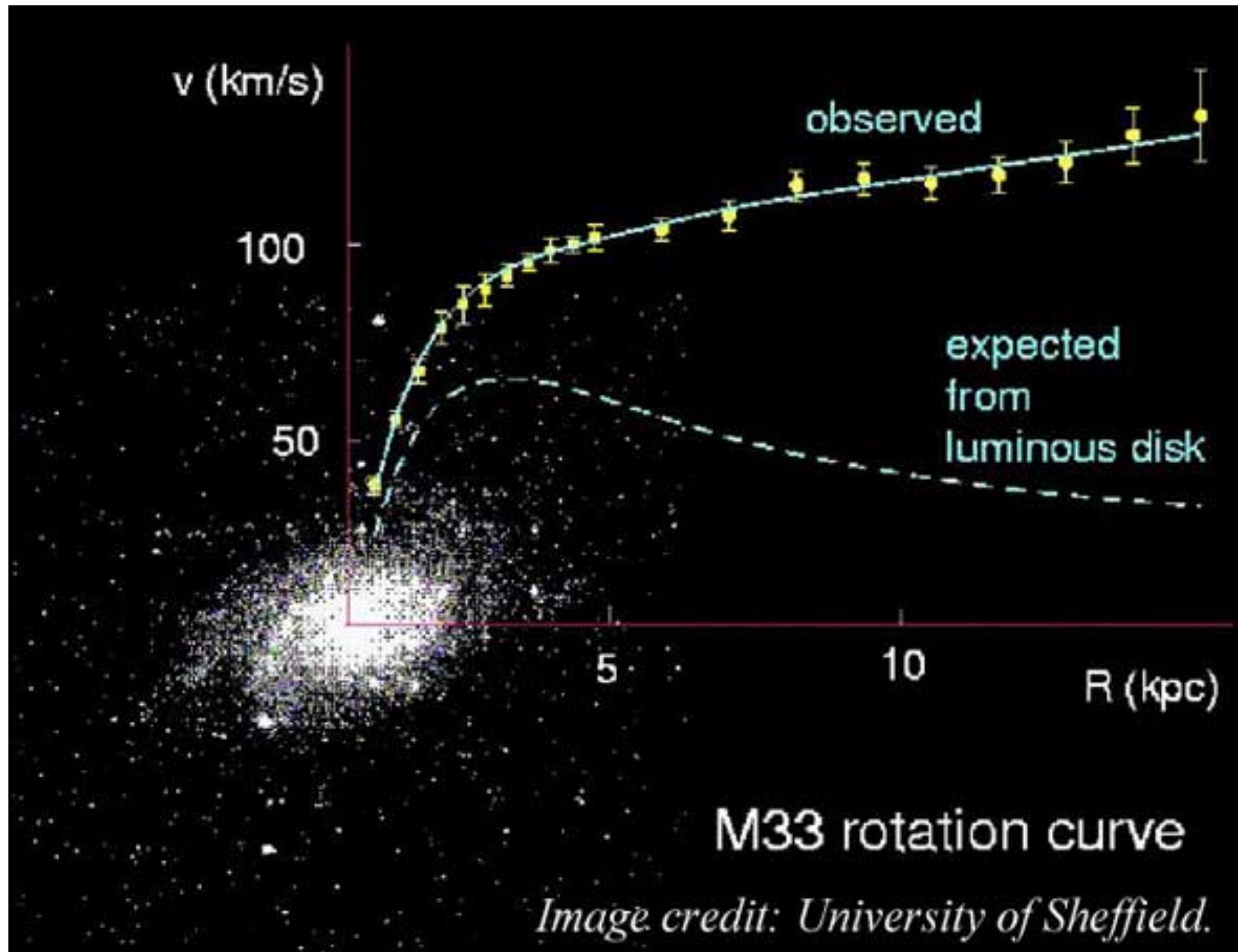
$3,7 \pm 1,5$ million de masse solaire

Masse concentrée dans 1 UA

... noir!

Dynamique des galaxies

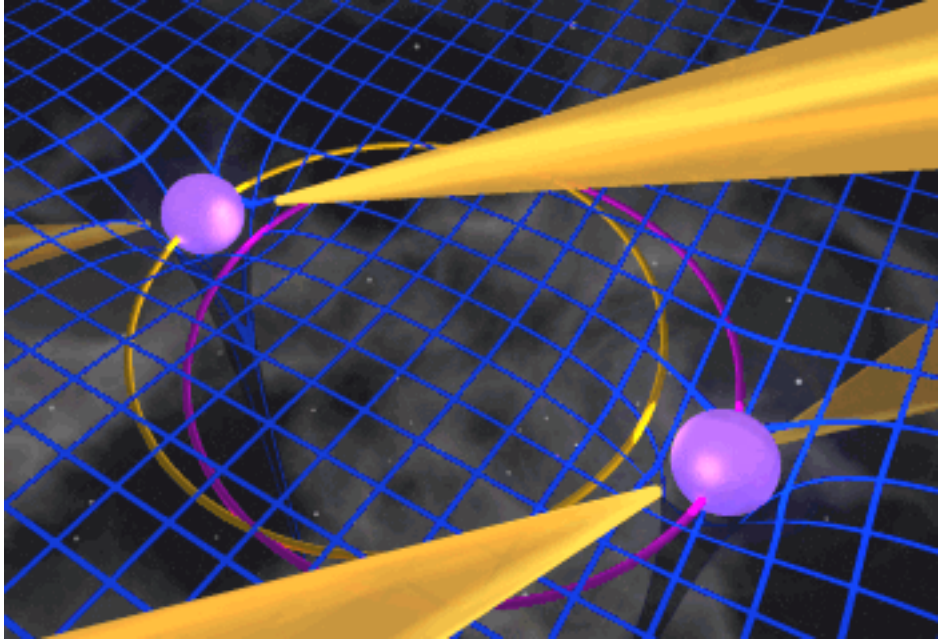




Il existe de la matière non lumineuse (non détectée en optique)

La mesure ne nous dit rien sur la nature de cette matière (baryonique?)

Systeme d'étoiles (pulsars) binaires



PSR 1913+16

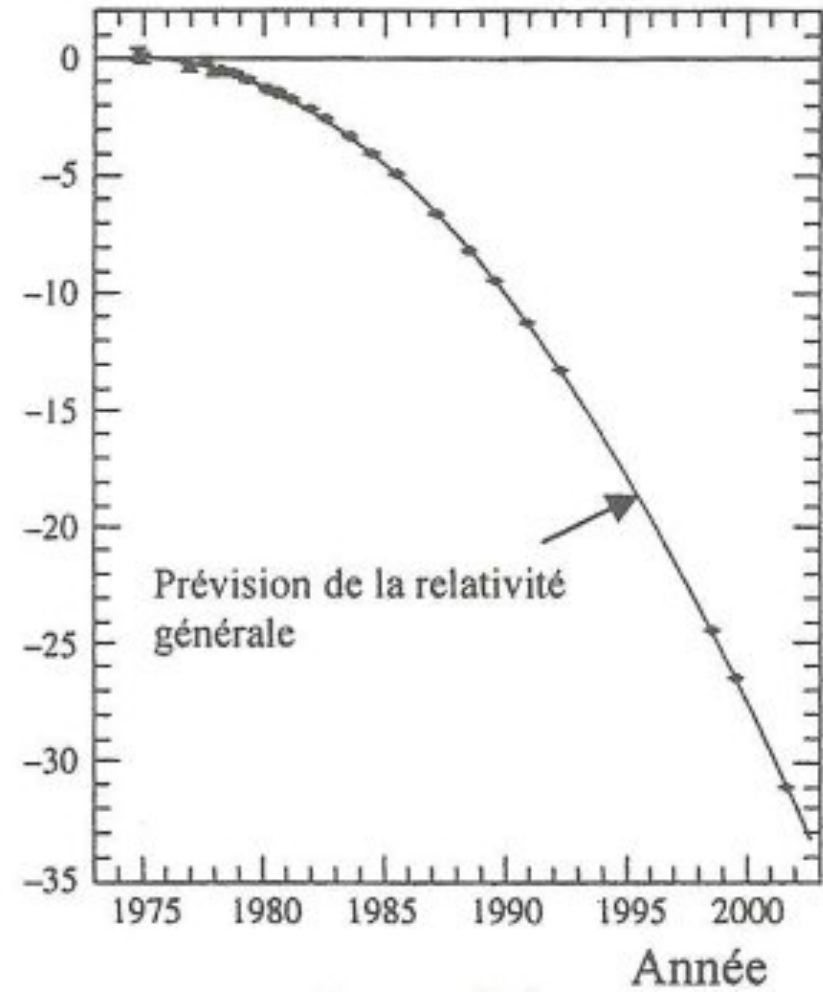
L'enregistrement des impulsions envoyées par le pulsar PSR 1913+16 a été réalisé depuis 1974.



Le systèmes de 2 pulsars perd de l'énergie.

Comment ?

- frottement ?
- effet de marée ?



Ayez confiance en la loi,



invoquez la particule manquante

Mécanique quantique et relativité

Spectres nucléaires

Désintégration β spectres continus

Interaction nucléon/nucléon

Absence de violation du nombre leptonique

SU(3)

Violation de CP

Interaction forte

Interaction faible

Invariance de jauge

Dynamique des galaxies

Naturalité

Anti-matière

Neutron

Neutrino

Pion

Neutrino (2^{ème} famille)

Quark

Troisième génération

Gluons

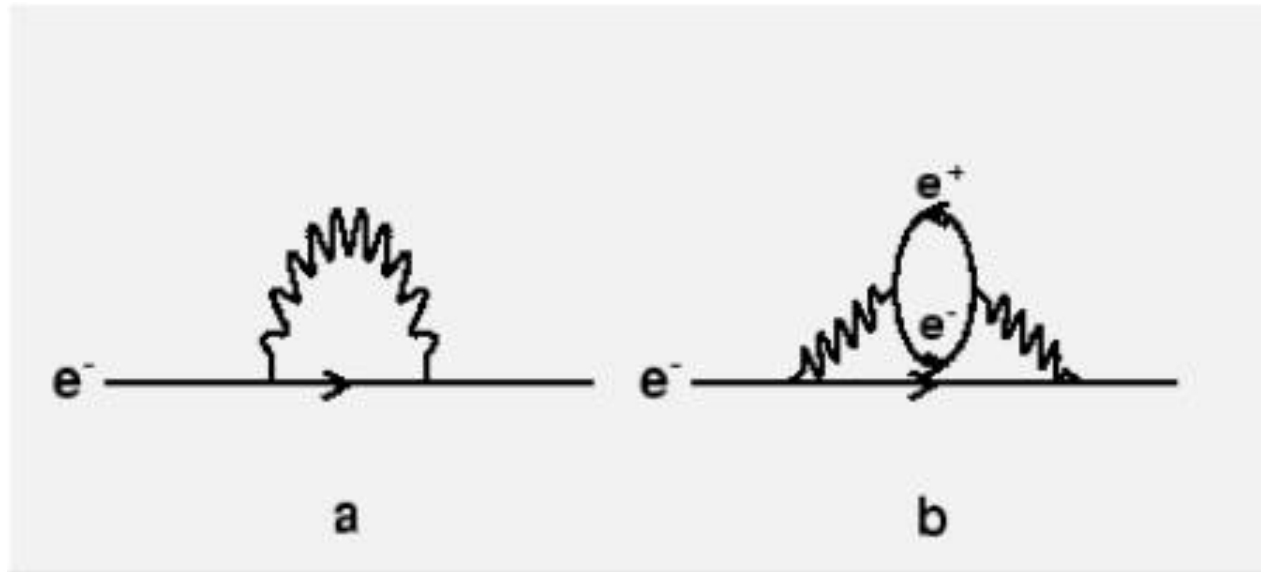
W, Z

Higgs

Matière noire(?)

Supersymétrie (?)

La masse et un effet Larsen quantique....



$$\frac{m_0^2 - E_{\text{GUT}}^2}{E_{\text{GUT}}^2} \sim 10^{-34}$$

... qui rend la théorie peu naturelle !

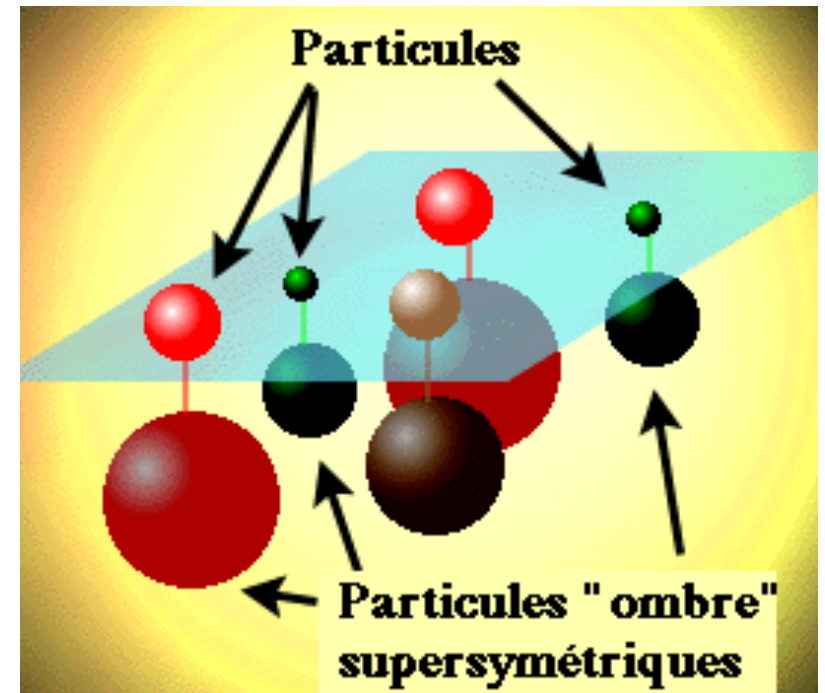
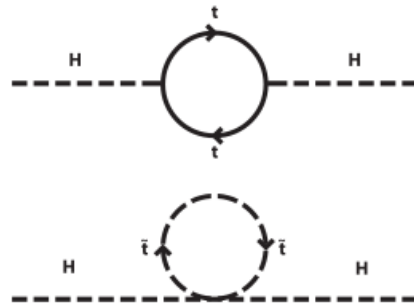
Les fermions et les bosons ont des contributions de signes différents.

On peut alors annuler ces contributions en

Les fermions et les bosons ont des contributions de signes différents.

On peut alors annuler ces contributions en

.... associant
un fermion à chaque boson
et
un boson à chaque fermion

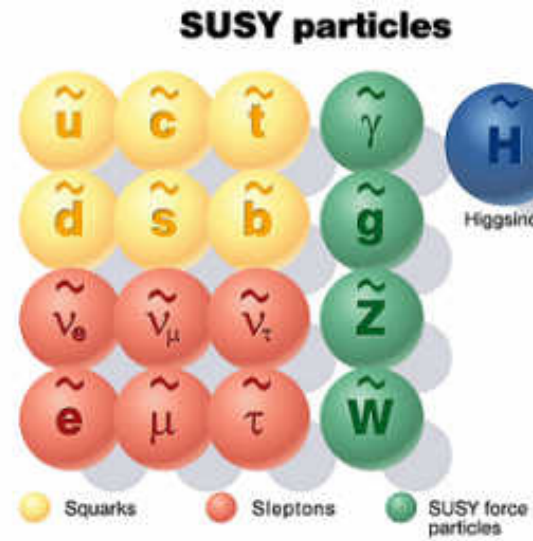
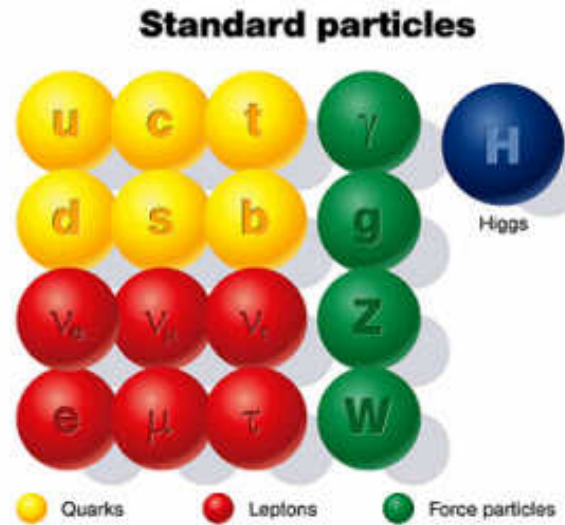


Bref, en doublant le nombre de particules !

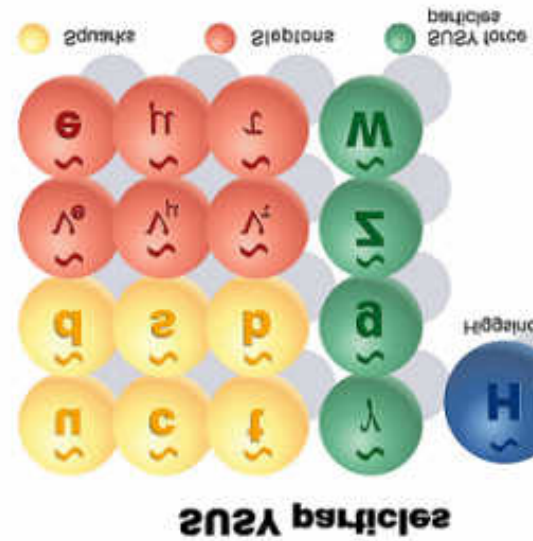
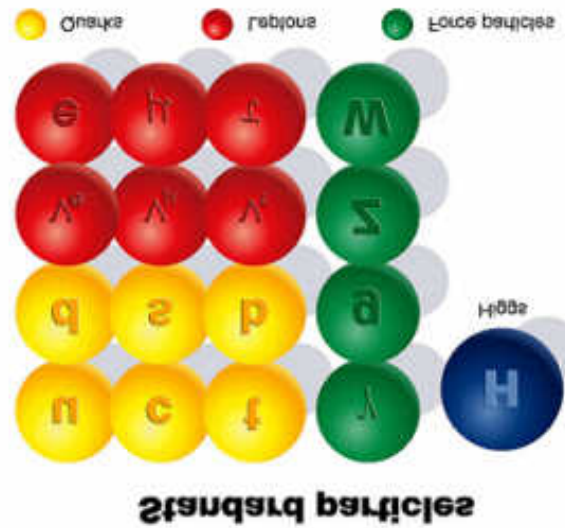
C'est à ce prix que la théorie redevient *naturelle*.

Matière supersymétrique

matière



anti matière



La cohérence de l'édifice mathématique nous a permis de révéler des pans de la réalité inaccessibles autrement:

- antimatière ;
- nouvelles particules ;
- ondes gravitationnelles.

Elle laisse penser qu'il existe :

- de nouveaux objets [trous noirs]
- de la nouvelle matière [matière noire]
- beaucoup de particules non observées [supersymétrie].

Sauf si....

Pourquoi ça marche ?

Les lois de la nature sont organisées en une hiérarchie constituée de modules en interaction.

- La dynamique interne de chaque module est à « haute » énergie et le module est fortement lié;
- l'interaction entre modules est à plus « basse » énergie.

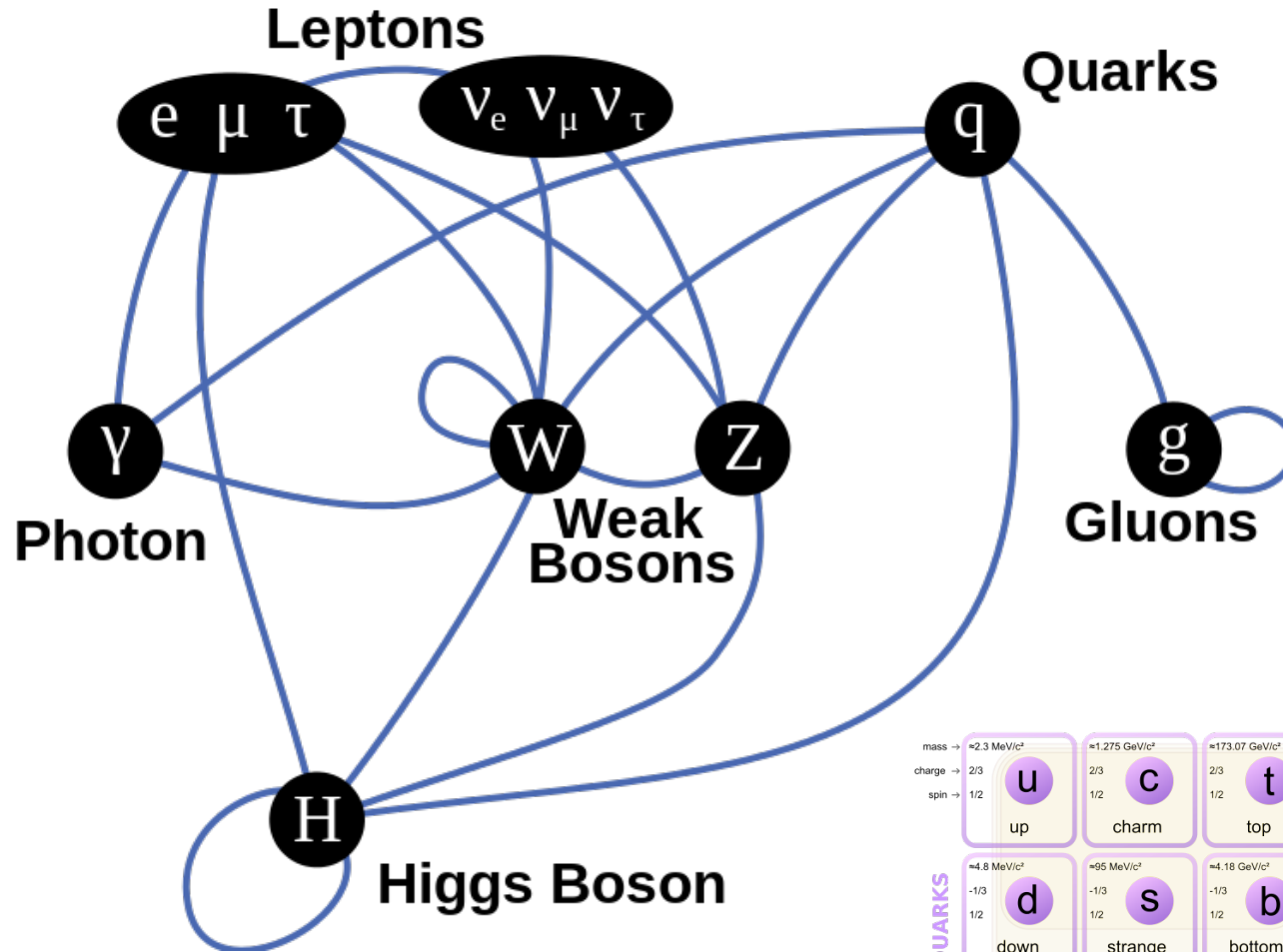
Chaque niveau est caractérisé par une échelle d'énergie

Théorie effective: donne une bonne description des phénomènes dans un domaine donnée.

Domaine de validité.

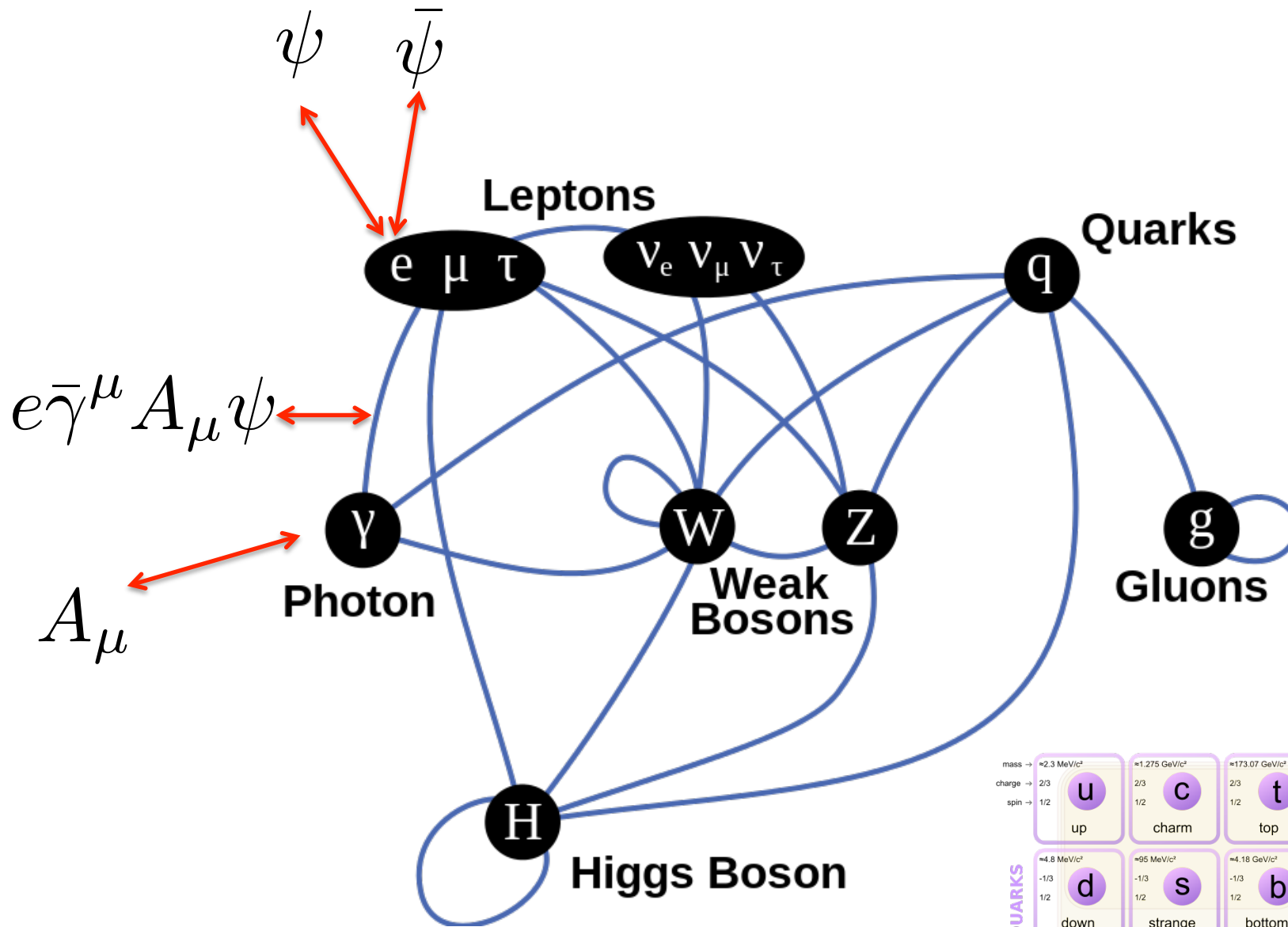
Dans les niveaux les plus bas, les éléments de « base » sont strictement identiques

ce qui permet une mathématisation: relation 1:1 entre un objet physique et une structure mathématique



	mass →	$\approx 2.3 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 1.275 \text{ GeV}/c^2$	$\approx 173.07 \text{ GeV}/c^2$	0	$\approx 126 \text{ GeV}/c^2$
charge →	$2/3$	$2/3$	$2/3$	0	0	0
spin →	$1/2$	$1/2$	$1/2$	1	0	0
	u	c	t	g	H	Higgs boson
	up	charm	top	gluon		
QUARKS	$-1/3$	$-1/3$	$-1/3$	0	0	
	$1/2$	$1/2$	$1/2$	1	1	
	d	s	b	γ	Z	Z boson
	down	strange	bottom	photon		
	$0.511 \text{ MeV}/c^2$	$105.7 \text{ MeV}/c^2$	$1.777 \text{ GeV}/c^2$	$91.2 \text{ GeV}/c^2$	0	
	-1	-1	-1	0	0	
	$1/2$	$1/2$	$1/2$	1	1	
	e	μ	τ	Z	Z	Z boson
	electron	muon	tau			
LEPTONS	$< 2.2 \text{ eV}/c^2$	$< 0.17 \text{ MeV}/c^2$	$< 15.5 \text{ MeV}/c^2$	$80.4 \text{ GeV}/c^2$	± 1	
	0	0	0	1	1	
	$1/2$	$1/2$	$1/2$	1	1	
	ν_e	ν_μ	ν_τ	W	W	W boson
	electron neutrino	muon neutrino	tau neutrino			

GAUGE BOSONS



	u	c	t	g	H
mass →	≈2.3 MeV/c ²	≈1.275 GeV/c ²	≈173.07 GeV/c ²	0	≈126 GeV/c ²
charge →	2/3	2/3	2/3	0	0
spin →	1/2	1/2	1/2	1	0
	up	charm	top	gluon	Higgs boson
QUARKS	d	s	b	γ	
	down	strange	bottom	photon	
	e	μ	τ	Z	
	electron	muon	tau	Z boson	
LEPTONS	ν _e	ν _μ	ν _τ	W	
	electron neutrino	muon neutrino	tau neutrino	W boson	

GAUGE BOSONS

Dans les niveaux les plus bas, les éléments de « base » sont strictement identiques

ce qui permet une mathématisation: relation 1:1 entre un objet physique et une structure mathématique

Dans les niveaux supérieurs, il existe des fluctuations entre les représentants d'une classe

(représentants semblables et non plus identiques)