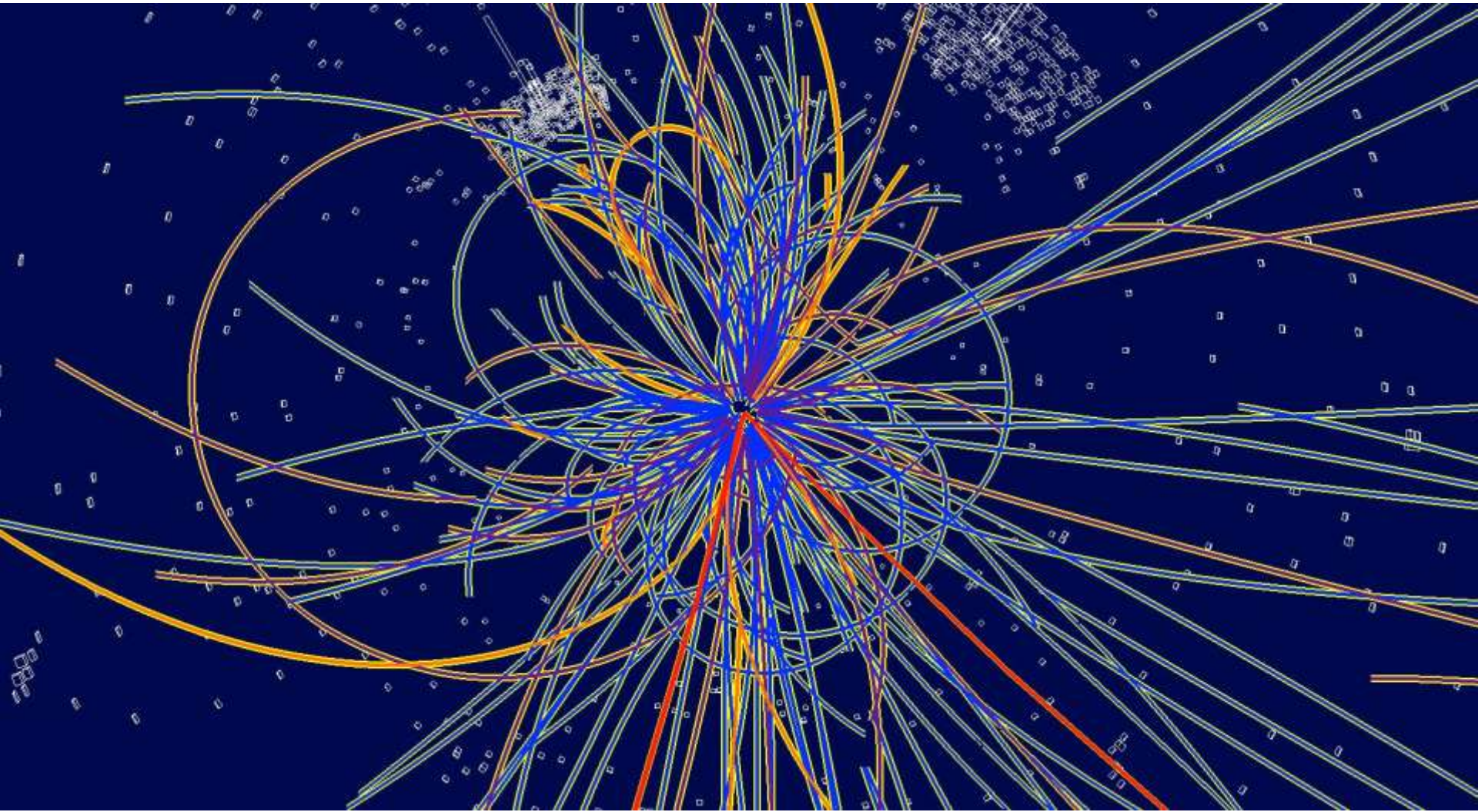


Introduction à la physique des particules



Ahmed Khaouja, Ing.

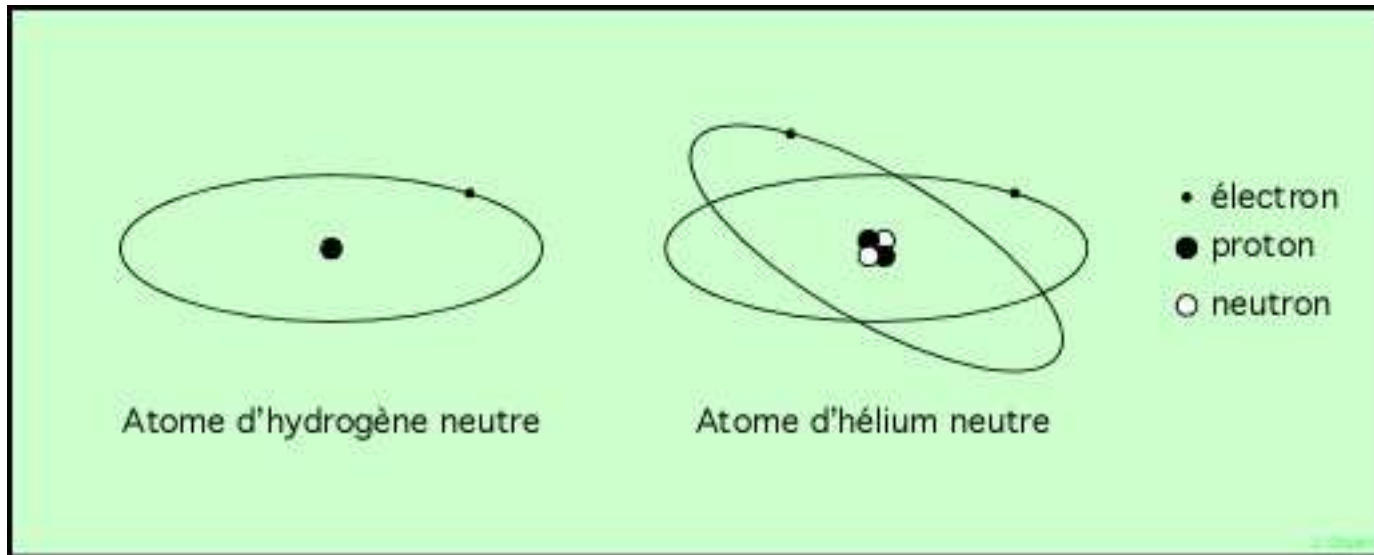
khaouja@anrt.ma

Dimension de l'univers

A travers des instruments et de belles théories physiques et mathématiques, l'humanité arrive à sonder l'univers:

- de l'infiniment petit à 10^{-18}m , et
- de l'infiniment grand à 10^{26}m .

Schéma simpliste d'un atome



- J. Thomson découvre l'électron en 1897
- Ernest Rutherford (père de la physique nucléaire) découvre le noyau atomique en 1911

118 atomes à ce jour (dont 4 non encore validés). Tableau conçu en 1869 par le chimiste russe Dimitri Ivanovitch Mendeleïev

TABLEAU PÉRIODIQUE DES ÉLÉMENTS CHIMIQUES

1 IA																	18 VIIIA
1 1,00794																	2 4,0026
H <i>Hydrogène</i>																	He <i>Hélium</i>
2 IIA											13 IIIA	14 IVA	15 VA	16 VIA	17 VIIA	18 VIIIA	
3 6,941	4 9,01218											5 10,811	6 12,0107	7 14,0067	8 15,9994	9 18,9984	10 20,1797
Li <i>Lithium</i>	Be <i>Béryllium</i>											B <i>Bore</i>	C <i>Carbone</i>	N <i>Azote</i>	O <i>Oxygène</i>	F <i>Fluor</i>	Ne <i>Neon</i>
11 22,9898	12 24,305											13 26,9815	14 28,0855	15 30,9738	16 32,065	17 35,453	18 39,948
Na <i>Sodium</i>	Mg <i>Magnésium</i>											Al <i>Aluminium</i>	Si <i>Silicium</i>	P <i>Phosphore</i>	S <i>Soufre</i>	Cl <i>Chlore</i>	Ar <i>Argon</i>
19 39,0983	20 40,078	21 44,9559	22 47,867	23 50,9415	24 51,9961	25 54,9380	26 55,845	27 58,9332	28 58,6934	29 63,546	30 65,38	31 69,723	32 72,63	33 74,9216	34 78,96	35 79,904	36 83,798
K <i>Potassium</i>	Ca <i>Calcium</i>	Sc <i>Scandium</i>	Ti <i>Titane</i>	V <i>Vanadium</i>	Cr <i>Chrome</i>	Mn <i>Manganèse</i>	Fe <i>Fer</i>	Co <i>Cobalt</i>	Ni <i>Nickel</i>	Cu <i>Cuivre</i>	Zn <i>Zinc</i>	Ga <i>Gallium</i>	Ge <i>Germanium</i>	As <i>Arsenic</i>	Se <i>Sélinium</i>	Br <i>Brome</i>	Kr <i>Krypton</i>
37 85,4678	38 87,62	39 88,9058	40 91,224	41 92,9064	42 95,96	43 (98)	44 101,07	45 102,905	46 106,42	47 107,868	48 112,411	49 114,818	50 118,71	51 121,76	52 127,6	53 126,905	54 131,293
Rb <i>Rubidium</i>	Sr <i>Strontium</i>	Y <i>Yttrium</i>	Zr <i>Zirconium</i>	Nb <i>Niobium</i>	Mo <i>Molybdène</i>	Tc <i>Technetium</i>	Ru <i>Ruthénium</i>	Rh <i>Rhodium</i>	Pd <i>Palladium</i>	Ag <i>Argent</i>	Cd <i>Cadmium</i>	In <i>Indium</i>	Sn <i>Étain</i>	Sb <i>Antimoine</i>	Te <i>Tellure</i>	I <i>Iode</i>	Xe <i>Xéon</i>
55 132,905	56 137,327		72 178,49	73 180,948	74 183,84	75 186,207	76 190,23	77 192,217	78 195,084	79 196,967	80 200,59	81 204,383	82 207,2	83 208,98	84 (209)	85 (210)	86 (222)
Cs <i>Césium</i>	Ba <i>Baryum</i>		Hf <i>Hafnium</i>	Ta <i>Tantale</i>	W <i>Tungstène</i>	Re <i>Rhénium</i>	Os <i>Osmium</i>	Ir <i>Iridium</i>	Pt <i>Platine</i>	Au <i>Or</i>	Hg <i>Mercure</i>	Tl <i>Thallium</i>	Pb <i>Plomb</i>	Bi <i>Bismuth</i>	Po <i>Polonium</i>	At <i>Astato</i>	Rn <i>Radon</i>
87 (223)	88 (226)		104 (266)	105 (268)	106 (269)	107 (270)	108 (269)	109 (278)	110 (279)	111 (281)	112 (285)	113 (284)	114 (289)	115 (288)	116 (293)	117 (294)	118 (294)
Fr <i>Francium</i>	Ra <i>Radium</i>		Rf <i>Rutherfordium</i>	Db <i>Dubnium</i>	Sg <i>Seaborgium</i>	Bh <i>Berkélium</i>	Hs <i>Hassium</i>	Mt <i>Mitlerium</i>	Ds <i>Darmstadtium</i>	Rg <i>Röntgenium</i>	Cn <i>Copernicium</i>	Uut <i>Ununtrium</i>	Fl <i>Flerovium</i>	Uup <i>Ununpentium</i>	Lv <i>Livermorium</i>	Uus <i>Ununseptium</i>	Uuo <i>Ununoctium</i>
			57 138,906	58 140,116	59 140,908	60 144,242	61 (145)	62 150,36	63 151,964	64 157,25	65 158,925	66 162,5	67 164,930	68 167,259	69 168,934	70 173,054	71 174,967
			La <i>Lanthane</i>	Ce <i>Cérium</i>	Pr <i>Praseodyme</i>	Nd <i>Néodyme</i>	Pm <i>Prométhium</i>	Sm <i>Samarium</i>	Eu <i>Európeum</i>	Gd <i>Gadolinium</i>	Tb <i>Terbium</i>	Dy <i>Dysprosium</i>	Ho <i>Holmium</i>	Er <i>Erbium</i>	Tm <i>Thulium</i>	Yb <i>Ytterbium</i>	Lu <i>Lutécium</i>
			89 (227)	90 232,038	91 231,036	92 238,029	93 (237)	94 (244)	95 (243)	96 (247)	97 (247)	98 (251)	99 (252)	100 (257)	101 (258)	102 (259)	103 (262)
			Ac <i>Actinium</i>	Th <i>Thorium</i>	Pa <i>Protactinium</i>	U <i>Uranium</i>	Np <i>Néptunium</i>	Pu <i>Plutonium</i>	Am <i>Americium</i>	Cm <i>Curium</i>	Bk <i>Berkélium</i>	Cf <i>Californium</i>	Es <i>Einsteinium</i>	Fm <i>Fermium</i>	Md <i>Mendelevium</i>	No <i>Nobelium</i>	Lr <i>Lawrencium</i>

14 IVA
6 12,0107
SYMBÔLE : C
NOM DE L'ÉLÉMENT : CARBONE
NUMÉRO ATOMIQUE : 6
MASSE ATOMIQUE : 12,0107
GROUPE : 14 (IUPAC) - IVA (CAS)
PÉRIODE : 2



Quelques découvertes

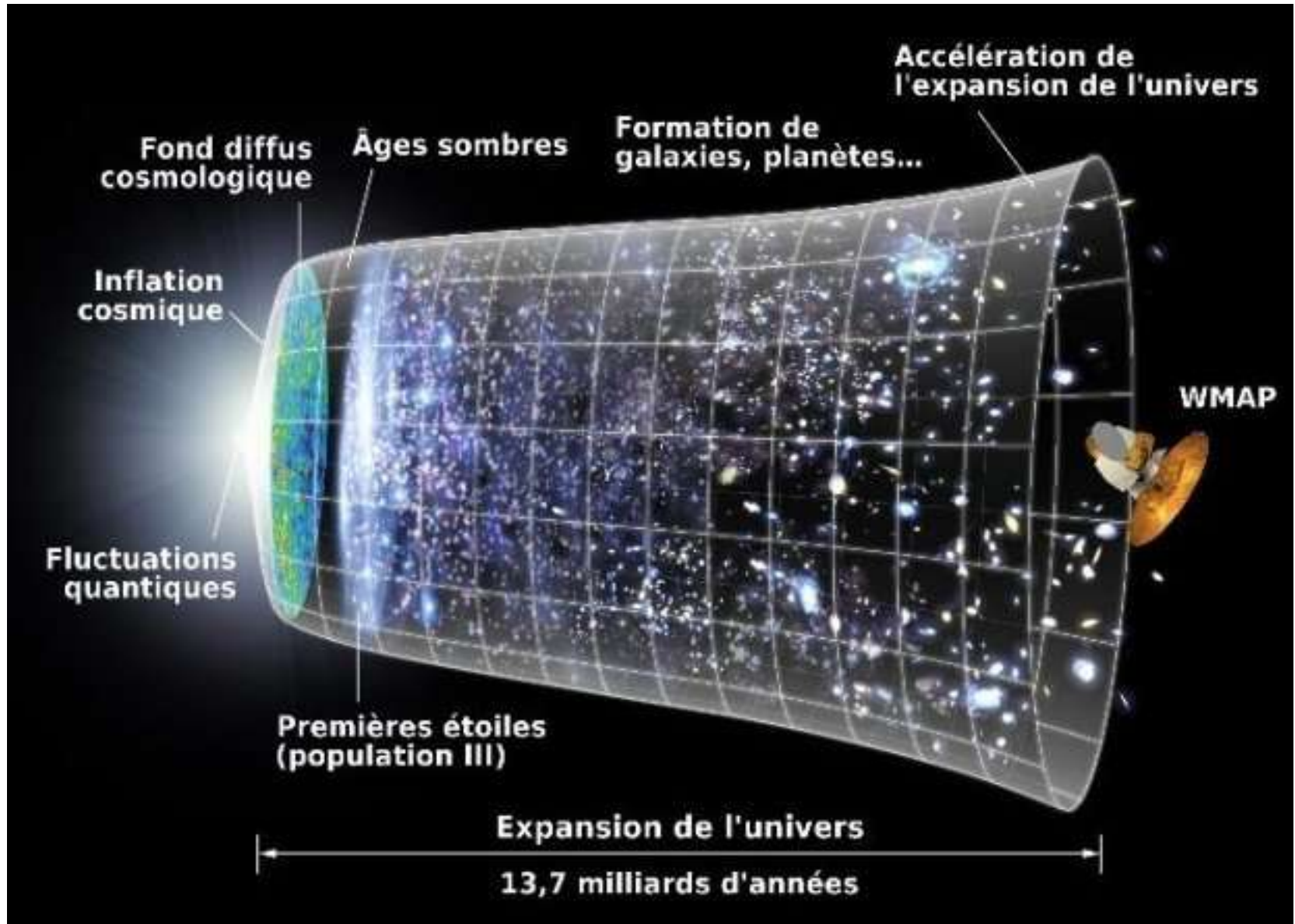
- Lavoisier est le premier à annuler l'antique théorie des 4 éléments (eau, air, feu, terre) au 18^{ème} siècle. A la fin de sa vie il a identifié quelques éléments chimiques.
- La synthèse de l'urée, substance organique de l'urine, fut réalisée fortuitement en 1828 par l'Allemand Friedrich WOHLER à partir d'ammonium, considéré comme élément minérale.

Modèle standard

Comment modéliser le monde de l'infiniment petit?

- Le modèle standard de la physique des particules est une théorie scientifique élaborée fin 1950, elle décrit les **interactions** forte, faible et électromagnétique, ainsi que l'ensemble des **particules élémentaires** qui constituent la matière ainsi que leur évolution depuis le big bang.
- Elle est bâtie sur le triptyque *particule, force, médiateur*, c'est-à-dire qu'elle distingue des familles de particules par les forces auxquelles elles sont sensibles, chaque force s'exerçant au moyen de médiateurs échangés par les particules qui y sont soumises.

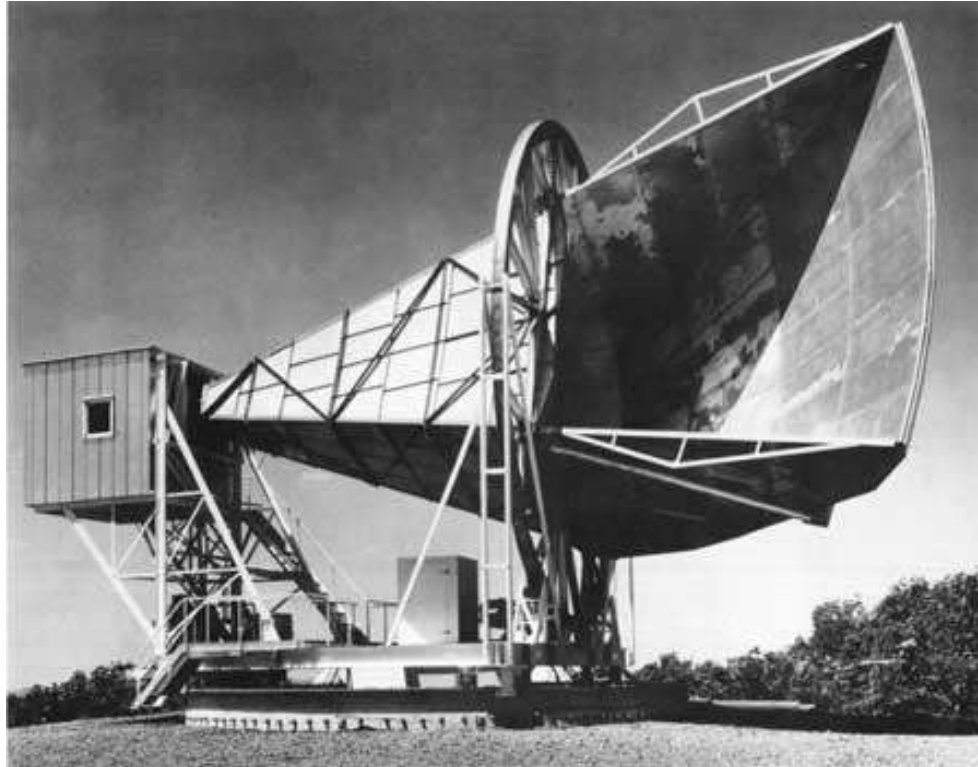
Le début: Big Bang?



Rayonnement fossile

- Le modèle standard a été conforté par la découverte en 1965 par deux ingénieurs télécoms du rayonnement fossile dans une station satellitaire de télécommunication de Bell Téléphone dans le New Jersey aux USA. Cette trouvaille leur a valu le prix Nobel de la physique;
- Ces mesures ont, **par curiosité**, débouché vers la découverte du bruit de fond cosmique (rayonnement fossile prévu dans la théorie du big bang)
- L'expansion de l'univers a été découverte par E.Hubble en 1929.
- Le russe Fried a découvert que l'expansion de l'univers est une solution aux équations d'Einstein

L'antenne de Penzias et Wilson



L'antenne des laboratoires Bell à Holmdel où Arno Penzias et Robert Wilson découvrirent le rayonnement fossile en 1965. Crédit : Bell Labs

Dimension des particules

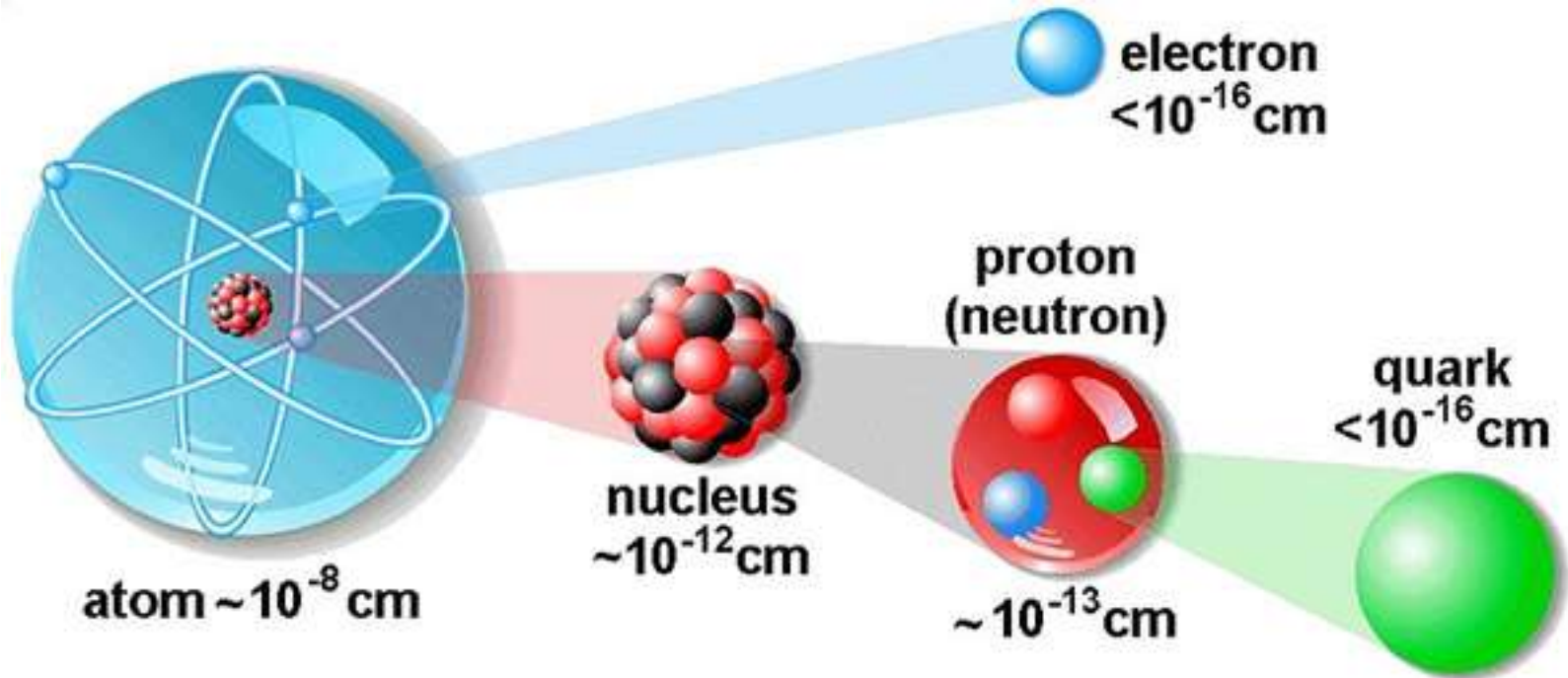


Image credit: ETH Zurich, Institute for Particle Physics.

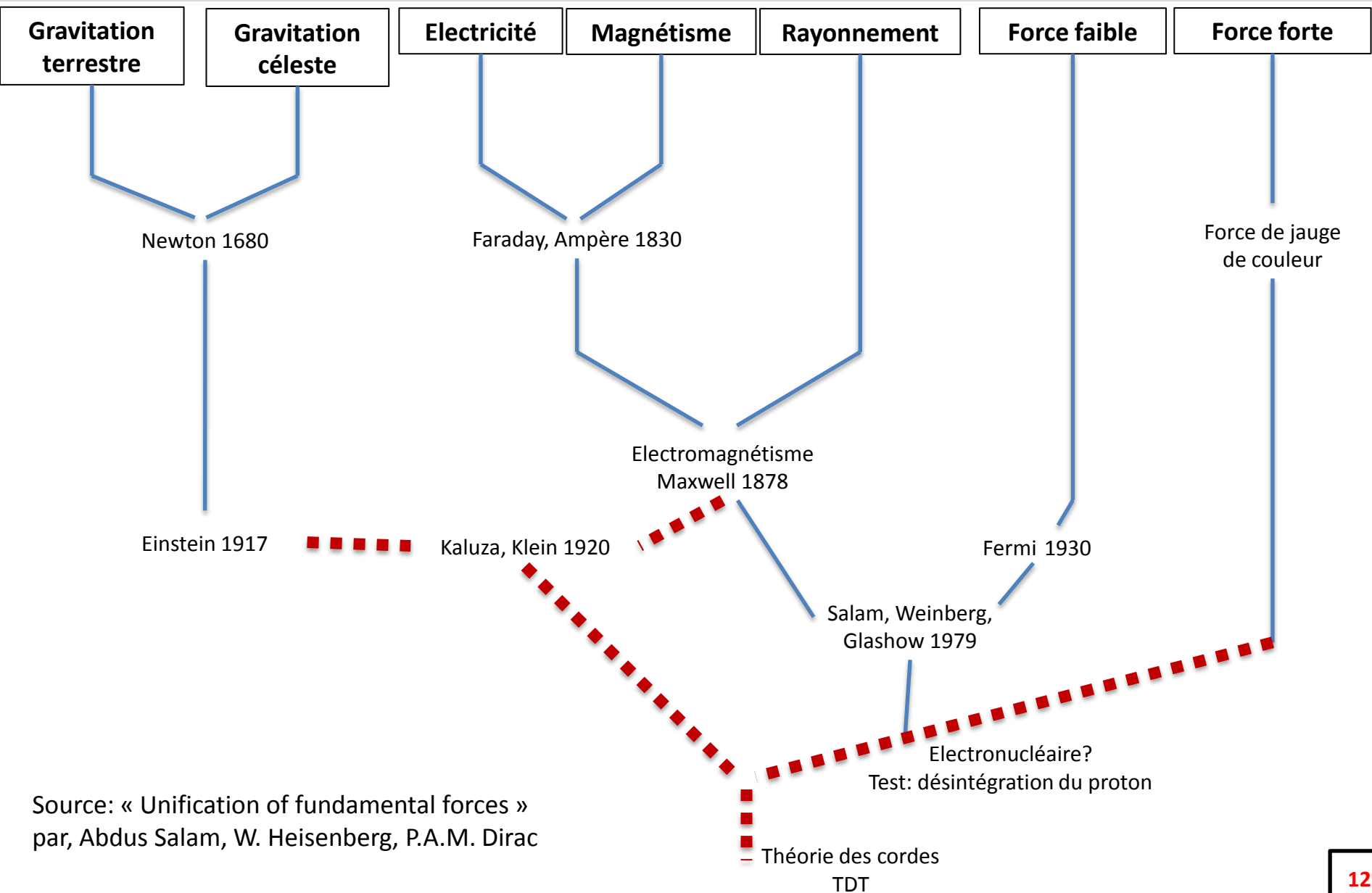
Forces et particules

Constituants de la matière				Bosons de jauge			
	1 ^{ère} famille	2 ^{ème} famille	3 ^{ème} famille	Interaction forte	Interaction électro-magnétique	Interaction faible	
Quarks	Up (u) (0.03 GeV)	Charm (c) (1.3 GeV)	Top (t) (174 GeV)	Gluons (g)	Photon (γ)	Bosons W ⁺ (80.4 GeV) W ⁻ (80.4 GeV) Z ⁰ (91.2 GeV)	Boson de Higgs (H ⁰)
	Down (d) (0.06 GeV)	Strange (s) (0.14 GeV)	Bottom (b) (4.3 GeV)				
Leptons	Electron (e ⁻) (0.0005 GeV)	Muon (μ^-) (0.106 GeV)	Tau (τ^-) (1.7 GeV)				
	Neutrino (ν_e) électronique (≈ 0 GeV)	Neutrino (ν_μ) muonique (≈ 0 GeV)	Neutrino (ν_τ) tauique (≈ 0 GeV)				

Les quarks

- En 1961 le physicien Murray Gell Mann remarque la possibilité de classer les quarks soumis à l'interaction forte à l'aide de la symétrie des mathématiques abstraites.
- Concrètement, il propose une sorte de tableau Mendeleïev pour les quarks. Ce qui permis à trois physiciens japonais de prévoir en 1973 l'existence de trois autres quarks découverts expérimentalement dans les années 90.

Chrono-logique de l'unification des théories physiques



Source: « Unification of fundamental forces » par, Abdus Salam, W. Heisenberg, P.A.M. Dirac

Quelques dates

- **1905** : Einstein propose qu'un quantum de lumière, qui sera nommé en 1926 « photon », se comporte comme une particule.
- **1919** : Rutherford prouve l'existence du proton.
- **En 1930 Wolfgang Pauli** postule l'existence d'une particule, que **Enrico Fermi** l'appellera "neutrino".
- **1932** : James Chadwick découvre le neutron.
- Clyde Cowan et Frederick Reines, en **1956**, réussissent à le détecter
- **1964** : Existence des quarks et (postulée par Gell-Mann et Zweig), constituants qui pourraient être à la base du classement par SU(3).
- **1967**: Salam, Weinberg et Glashow proposent un schéma d'unification des forces électromagnétiques et faibles. Prédiction de l'existence du boson de Higgs et des bosons lourds Z^0 , W^+ et W^- .
- **1974** : Découverte de particules contenant un quark charmé c , à l'Université Stanford et à Brookhaven.
- **1978** : Découverte d'un cinquième quark, le bottom b .
- **1995** : Découverte d'un sixième quark, le top t .
- **2012** : Les expériences ATLAS et CMS sur le LHC du CERN découvrent le boson de Higgs avec une masse de $126 \text{ GeV}/c^2$ à une unité près.

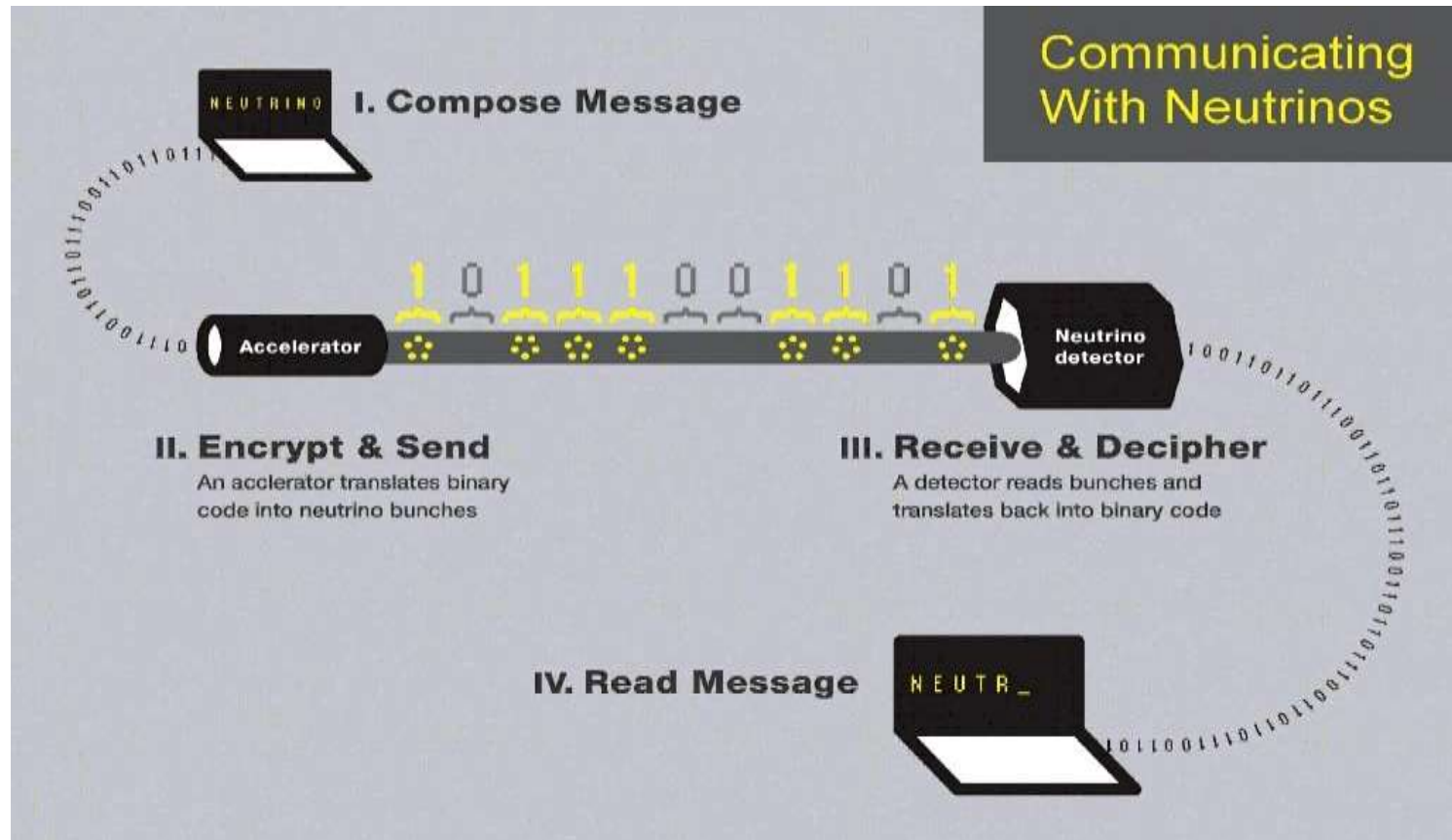
Applications

« Leurs recherches peuvent conduire à la construction d'horloges extrêmement précises qui pourraient devenir la base future d'une nouvelle norme de temps, avec une précision cent fois plus grande que les horloges actuelles au césium », explique le comité de l'académie des sciences à propos des travaux de Serge Haroche et David Wineland, prix Nobel de physique 2012.

Applications (suite)

« La mécanique quantique est probablement une des aventures intellectuelles les plus fertiles de l'humanité. Elle a permis de déterminer la structure des noyaux, des atomes, des molécules, d'élucider la nature de la lumière, et elle constitue un outil indispensable pour comprendre la physique moderne, des particules élémentaires jusqu'aux étoiles et au Big Bang. Son impact économique est tout aussi important : la plupart des produits de haute technologie [électronique, lasers et optronique, nanotechnologies, télécommunications] sont directement issus de concepts quantiques », explique le département de physique de l'Ecole Polytechnique.

Les neutrinos et les télécommunications



les physiciens ont envoyé un message en codes binaire par paquets de neutrinos le long d'un trajet d'un peu plus d'un kilomètre (dont 240 m sous le sol, à travers la roche). Le contenu du message était on ne peut plus simple et approprié : « neutrino ».

http://www.futura-sciences.com/fr/news/t/physique-1/d/on-a-transmis-le-premier-message-avec-des-neutrinos_37450/

Notre ADN!

Nos ADN contiennent aussi des quarks, des leptons et des bosons!!

- Les ADN (acide désoxyribonucléique) sont aussi constitués d'atomes appartenant aux éléments constituant le tableau de Mendeleïev. Tout cela montre bien qu'il n'y avait aucune différence fondamentale entre les composés organiques et les composés minéraux extraits de la terre, et que le corps humain est formé des mêmes particules se trouvant dans l'univers.
- la découverte de la double hélice (ADN) par les deux Prix Nobel Francis CRICK et WATSON en 1953 a montré que la vie possède une structure universelle.

Humanité unifiée

Sur notre Terre, dans l'apparence, rien ne semble rapprocher par exemple un masai vivant près du Kilimandjaro d'un suédois d'origine viking; mais dans la réalité plusieurs éléments unifient ces personnes et partant, toute l'humanité. Quand une Kenyane d'origine massai, se marie avec un suédois d'origine viking ils donnent des enfants. Ce résultat montre bien qu'il y a compatibilité entre les deux « super machines » et surtout de « leurs systèmes d'exploitation »!!!.

Merci pour votre attention

الجهود المبذولة لفهم الكون هو واحد من الأشياء القليلة جدا التي
ترفع حياة الإنسان قليلا فوق مستوى المهزلة ويعطيها بعض من
نعمة المأساة

Steven Weinberg, *Prix Nobel de physique en 1979*

« Al-Biruni a été le premier physicien à affirmer
que les phénomènes physiques obéissent aux
mêmes lois sur le Soleil, sur la Terre et sur la
Lune. »

Abdou Salam, *Prix Nobel de physique en 1979*