

# PHYSIQUE GÉNÉRALE C

BIENVENUE!

# Quand et où?

## **COURS:**

- Mercredi et Vendredi, 8:15-10:00: Amphithéâtre A, École de Physique.

## **EXERCICES:**

- Vendredi, 10:15-12:00: Sciences 2 – A150; Sciences 1 – 102; Sciences 1 – 222
- Vendredi, 13:15-15:00: Sciences 2 - A50; Sciences 1 – 222

*Les exercices  
sont essentiels!*

# Qui?

## **Enseignante pour le semestre d'automne:**

- Anna Sfyrla ([anna.sfyrla@unige.ch](mailto:anna.sfyrla@unige.ch))

## **Assistant(e)s:**

- Mireille Conrad ([Mireille.Conrad@unige.ch](mailto:Mireille.Conrad@unige.ch))
- Tim Gazdic ([Tim.Gazdic@unige.ch](mailto:Tim.Gazdic@unige.ch))
- Jean-Marie Poumirol ([Jean-Marie.Poumirol@unige.ch](mailto:Jean-Marie.Poumirol@unige.ch))
- Rebecka Sax ([Rebecka.Sax@etu.unige.ch](mailto:Rebecka.Sax@etu.unige.ch))
- Marco Valente ([Marco.Valente@unige.ch](mailto:Marco.Valente@unige.ch))

# Repartition

<b>Horaire:</b>	<b>Salle:</b>	<b>Assistant:</b>	<b>Étudiant(e)s de:</b>
10:15-12:00	Sciences 2 – A150	Jean-Marie	Chimie
	Sciences 1 – 102	Tim	Sciences T&E
	Sciences 1 – 222	Rebecka	Biochimie
13:15-15:00	Sciences 2 – A50A	Marco	Math
	Sciences 1 – 222	Mireille	Info

# Comment?

- **Notes du cours distribuées avant le cours.**
  - Pendant le cours on va assumer que vous avez déjà lu les notes.
  - On récapitulera les concepts de base, on fera des démonstrations, on fera des exercices ensemble.
- **Séries d'exercices distribuées Vendredi. Elles seront discutées aux sessions d'exercices le Vendredi suivant.**

# Comment?

- **Notes du cours distribuées avant le cours.**
  - Pendant le cours on va assumer que vous avez déjà lu les notes.
  - On récapitulera les concepts de base, on fera des démonstrations, on fera des exercices ensemble.
- **Séries d'exercices distribuées Vendredi. Elles seront discutées aux sessions d'exercices le Vendredi suivant.**

*Les exercices sont essentiels!*



Autres outils

- Moodle
- Portfolio
- Mediaserver
- Tandem linguistique
- Archive ouverte

Bienvenue sur Chamilo@Unige.ch

Ressources utilisateurs

- Démarrer sur Chamilo
- Fiches pratiques
- Manuel de l'enseignant
- Atelier Chamilo
- eLearning

Archives

Chamilo archive 2016-2017

Login

SWITCH<sup>baa</sup>i

A propos : Faq : Aide : Confide

Membres de l'Université de G

Connexion

Nouvelles

La rentrée des enseignant-

Ciel est en vacances...

Protégez votre sphère priv

Plagiat: « la course à la cit

Retour sur le Barcamp des

UNIVERSITÉ CHAMILU.UNIGE.CH CHAMILU.UNIGE.CH

Page d'accueil Mes cours

Rechercher parmi les cours

Chercher

Catégories

- Sciences
- Médecine
- Lettres
- Sciences de la société
- Economie et management (GSEM)
- Droit
- Théologie
- Psychologie et Sciences de l'Éducation (FPSE)
- Traduction et Interprétation
- Institut d'architecture
- Institut universitaire de formation des enseignants (IUFÉ)
- Institut universitaire d'études du développement
- Sciences de l'environnement (ISE)
- Institut Confucius
- Global Studies Institute
- Centre Universitaire d'Informatique (CUI)
- Autres

Profil

Éditer le profil

Cours

Catalogue de cours

Navigation principale

Mon profil

Agenda perso

Suivi

...et choisir Physique Générale C

Vous trouverez ici les notes de cours, les exercices et toutes les informations utiles du cours de Physique Générale C

Description du cours

Cours

Exercices

Corrigés

Formulaire

Liens

Documents

Annonces

Rechercher

Répertoire courant - cours-2017

Type	Nom ↑	Taille	Date
Notes du cours		10B	aujourd'hui 2017-09-12 12:49:37
Slides		10B	aujourd'hui 2017-09-12 12:49:29

Rechercher

Répertoire courant - Exercices 2017

Type	Nom ↑	Taille	Date
Corrigés 2017		10B	Hier 2017-09-11 15:25:11

# Mes questions...?

- Demander dans le cours!
- Demander aux assistants pendant la session des exercices!
- « Office hours » (213B, École de Physique) Mardi 11:00-13:00.
  - À ajuster selon besoins.

La physique,  
c'est pas mémoriser  
des équations et  
formules,  
il faut comprendre!



# Contrôle des connaissances

Pour le semestre d'automne:

- Un examen final en Janvier
- Devoir sur table en Novembre
  - Mercredi 15 Novembre 2017
  - Facultatif mais vivement recommandé.
  - Bonus point (max 1) à valoir sur l'examen du semestre.



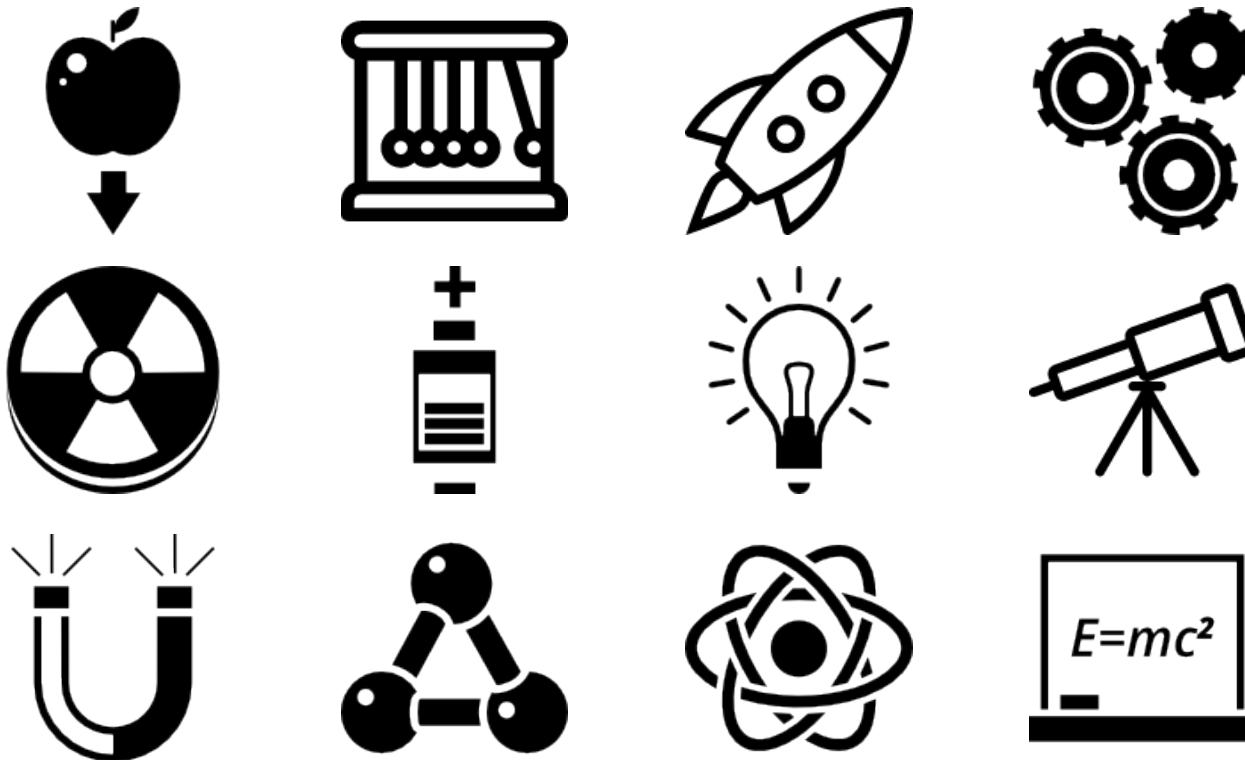


# C'EST QUOI LA PHYSIQUE?

Comprendre la nature qui nous entoure, expliquer, prédire, construire.

Une base pour les autres sciences!

Une source de compréhension profonde et d'applications pratiques dans la vie de tous les jours.



# MATIÈRE



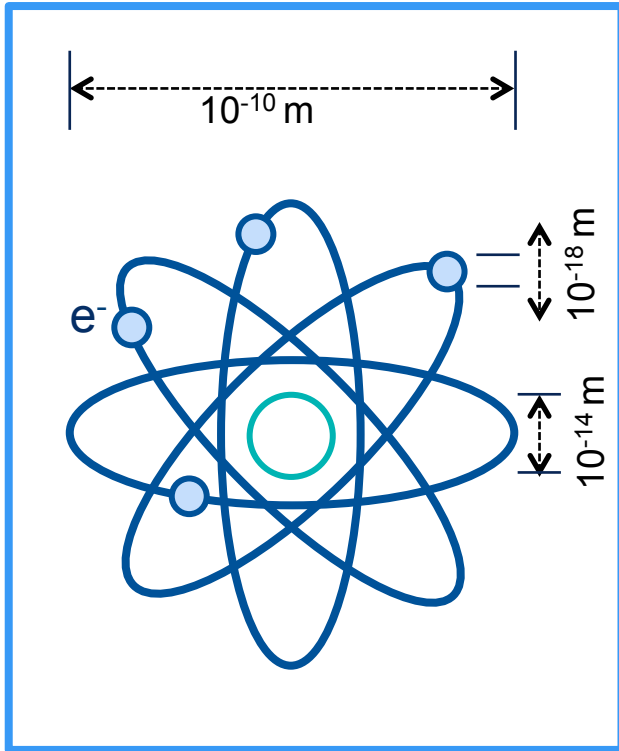
**Periodic Table of the Elements**

1 IA 11A																	18 VIIIA 8A
1 H Hydrogen 1.008	2 IIA 2A											13 IIIA 3A	14 IVA 4A	15 VA 5A	16 VIA 6A	17 VIIA 7A	2 He Helium 4.003
3 Li Lithium 6.941	4 Be Beryllium 9.012											5 B Boron 10.811	6 C Carbon 12.011	7 N Nitrogen 14.007	8 O Oxygen 15.999	9 F Fluorine 18.998	10 Ne Neon 20.180
11 Na Sodium 22.990	12 Mg Magnesium 24.305	3 IIIB 3B	4 IVB 4B	5 VB 5B	6 VIB 6B	7 VIIB 7B	8 VIII 8	9 VIII 8	10 VIII 8	11 IB 1B	12 IIB 2B	13 Al Aluminum 26.982	14 Si Silicon 28.086	15 P Phosphorus 30.974	16 S Sulfur 32.066	17 Cl Chlorine 35.453	18 Ar Argon 39.948
19 K Potassium 39.098	20 Ca Calcium 40.078	21 Sc Scandium 44.956	22 Ti Titanium 47.88	23 V Vanadium 50.942	24 Cr Chromium 51.996	25 Mn Manganese 54.938	26 Fe Iron 55.845	27 Co Cobalt 58.933	28 Ni Nickel 58.693	29 Cu Copper 63.546	30 Zn Zinc 65.39	31 Ga Gallium 69.723	32 Ge Germanium 72.61	33 As Arsenic 74.922	34 Se Selenium 78.09	35 Br Bromine 79.904	36 Kr Krypton 84.80
37 Rb Rubidium 84.458	38 Sr Strontium 87.62	39 Y Yttrium 88.906	40 Zr Zirconium 91.224	41 Nb Niobium 92.906	42 Mo Molybdenum 95.94	43 Tc Technetium 98.907	44 Ru Ruthenium 101.07	45 Rh Rhodium 102.906	46 Pd Palladium 106.42	47 Ag Silver 107.868	48 Cd Cadmium 112.411	49 In Indium 114.818	50 Sn Tin 118.71	51 Sb Antimony 121.760	52 Te Tellurium 127.6	53 I Iodine 126.904	54 Xe Xenon 131.29
55 Cs Cesium 132.905	56 Ba Barium 137.327	57-71 Lanthanide Series	72 Hf Hafnium 178.49	73 Ta Tantalum 180.948	74 W Tungsten 183.85	75 Re Rhenium 186.207	76 Os Osmium 190.23	77 Ir Iridium 192.22	78 Pt Platinum 195.08	79 Au Gold 196.967	80 Hg Mercury 200.59	81 Tl Thallium 204.383	82 Pb Lead 207.2	83 Bi Bismuth 208.980	84 Po Polonium (209, 92)	85 At Astatine 209, 97	86 Rn Radon 222, 91.8
87 Fr Francium 223, 020	88 Ra Radium 226, 025	89-103 Actinide Series	104 Rf Rutherfordium (261)	105 Db Dubnium (262)	106 Sg Seaborgium (266)	107 Bh Bohrium (264)	108 Hs Hassium (269)	109 Mt Meitnerium (268)	110 Ds Darmstadtium (269)	111 Rg Roentgenium (272)	112 Cn Copernicium (277)	113 Uut Ununtrium unknown	114 Fl Flerovium (289)	115 Uup Ununpentium unknown	116 Lv Livermorium (293)	117 Uus Ununseptium unknown	118 Uuo Ununoctium unknown
		57 La Lanthanum 138.906	58 Ce Cerium 140.115	59 Pr Praseodymium 140.908	60 Nd Neodymium 144.24	61 Pm Promethium 144.913	62 Sm Samarium 150.36	63 Eu Europium 151.966	64 Gd Gadolinium 157.25	65 Tb Terbium 158.925	66 Dy Dysprosium 162.50	67 Ho Holmium 164.930	68 Er Erbium 167.26	69 Tm Thulium 168.934	70 Yb Ytterbium 173.04	71 Lu Lutetium 174.967	
		89 Ac Actinium 227, 028	90 Th Thorium 232, 038	91 Pa Protactinium 231, 036	92 U Uranium 238, 029	93 Np Neptunium 237, 048	94 Pu Plutonium 244, 064	95 Am Americium 243, 061	96 Cm Curium 247, 070	97 Bk Berkelium 247, 070	98 Cf Californium 251, 080	99 Es Einsteinium [254]	100 Fm Fermium 257, 095	101 Md Mendelevium 258, 1	102 No Nobelium 259, 101	103 Lr Lawrencium [262]	
		Alkali Metal	Alkaline Earth	Transition Metal	Semimetal	Nonmetal	Basic Metal	Halogen	Noble Gas	Lanthanide	Actinide						

© 2013 Todd Helmenstein  
chemistry.about.com  
sciencecolor.org

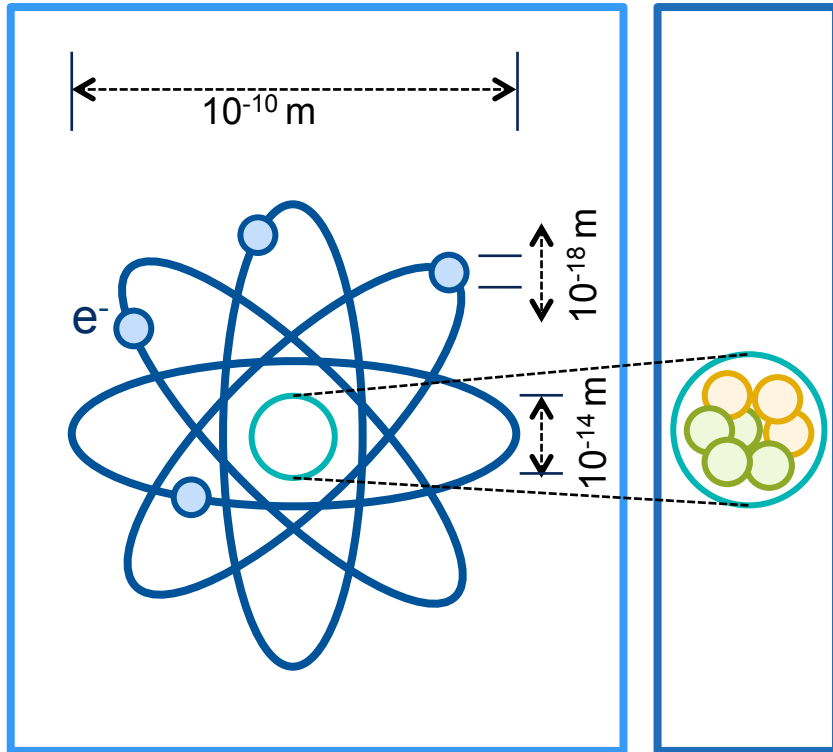


# MATIÈRE



~1910

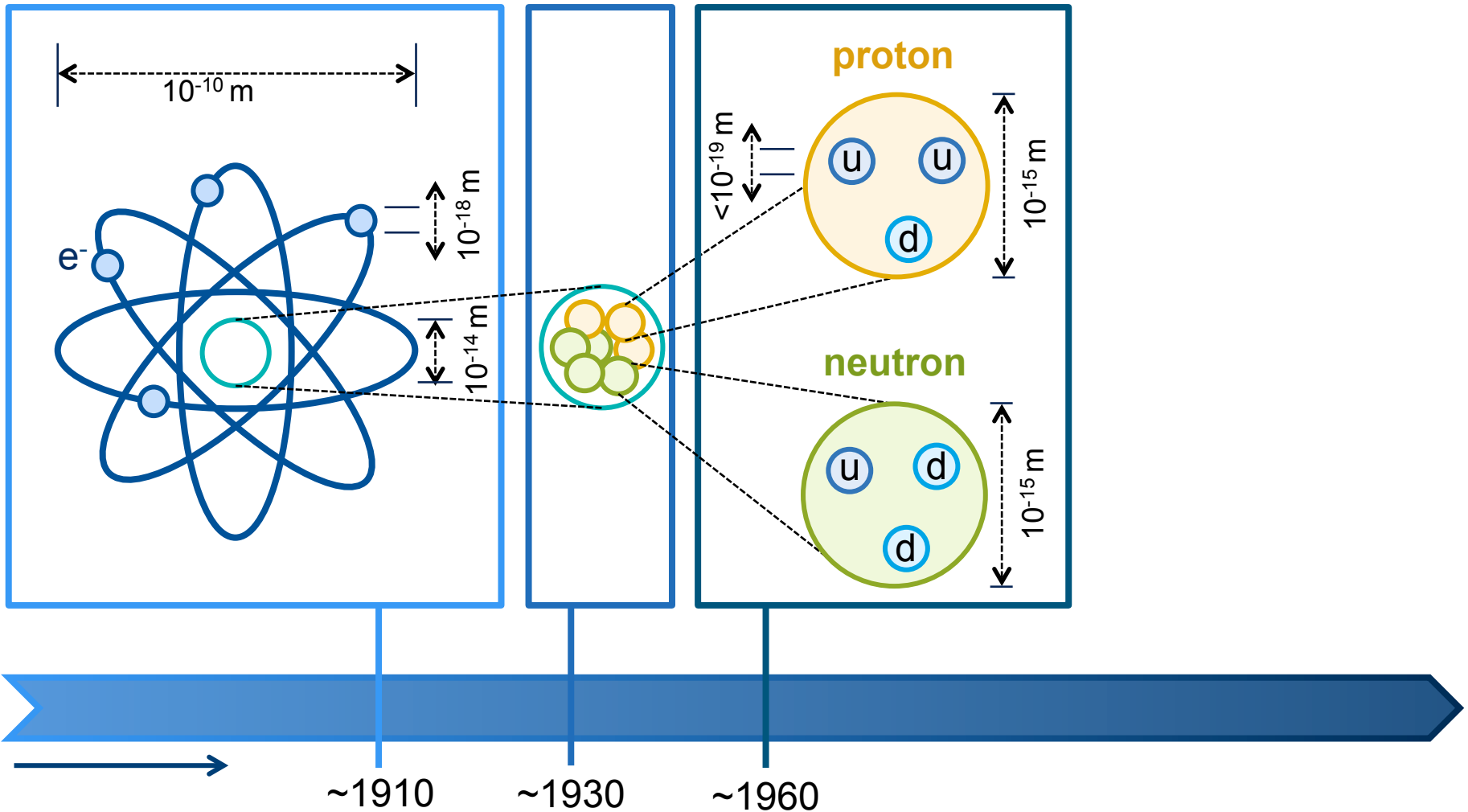
# MATIÈRE



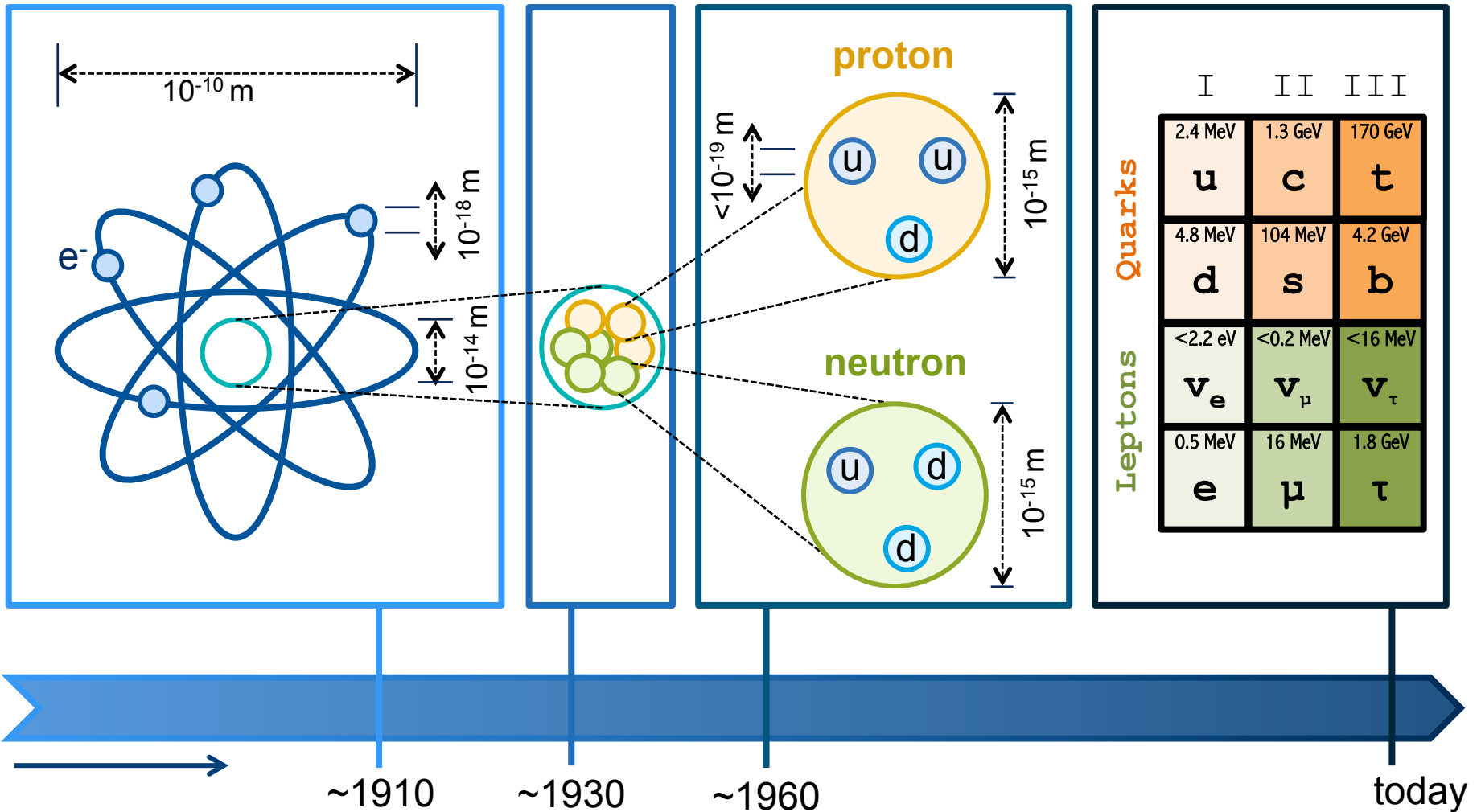
~1910

~1930

# MATIÈRE



# MATIÈRE

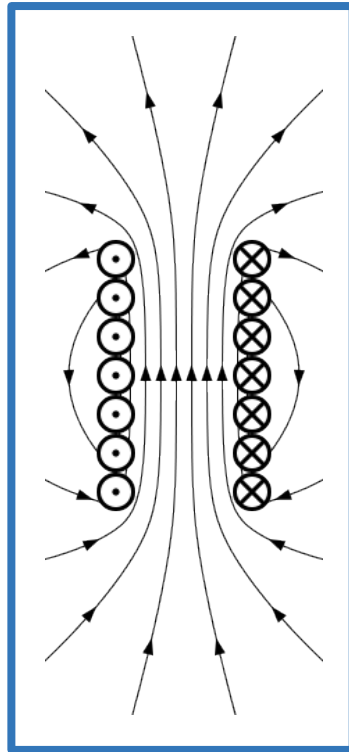
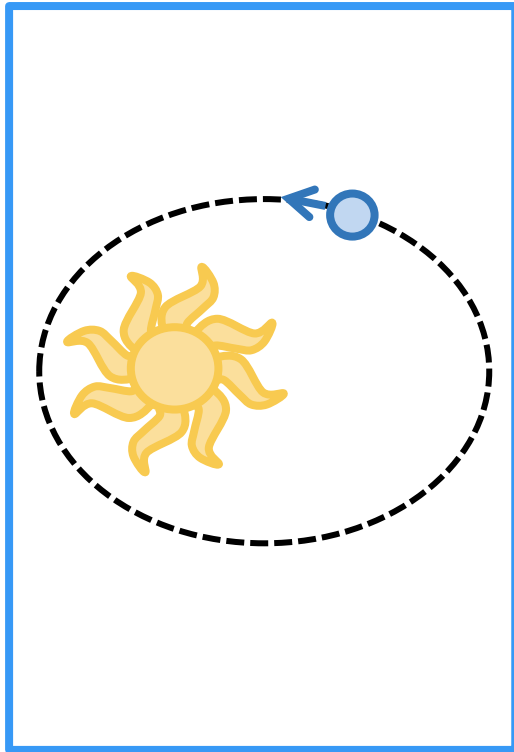


# FORCES



today

# FORCES



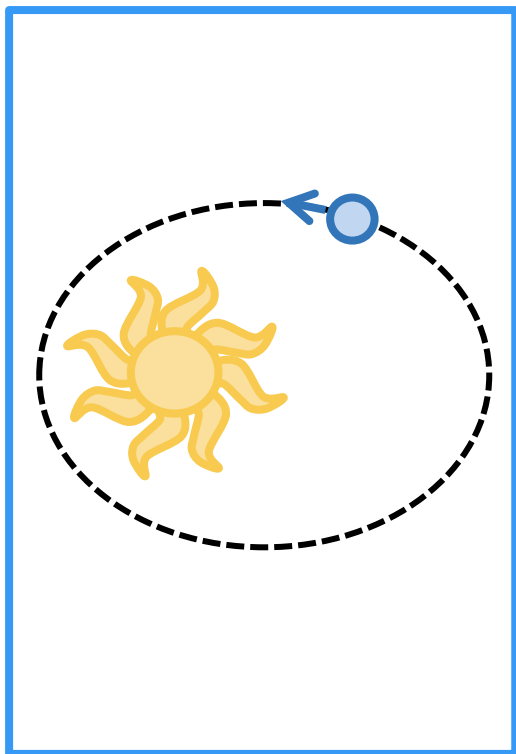
~1660

~1860

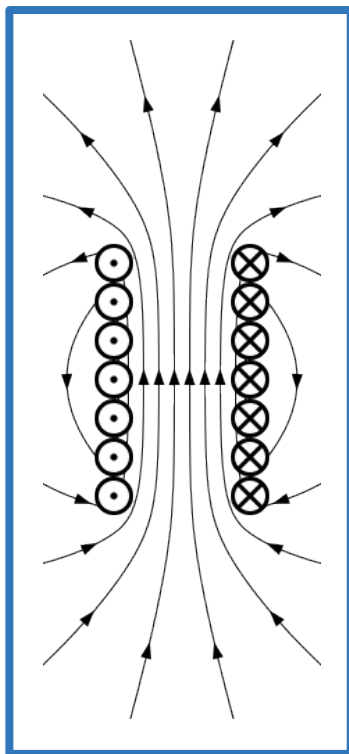
today



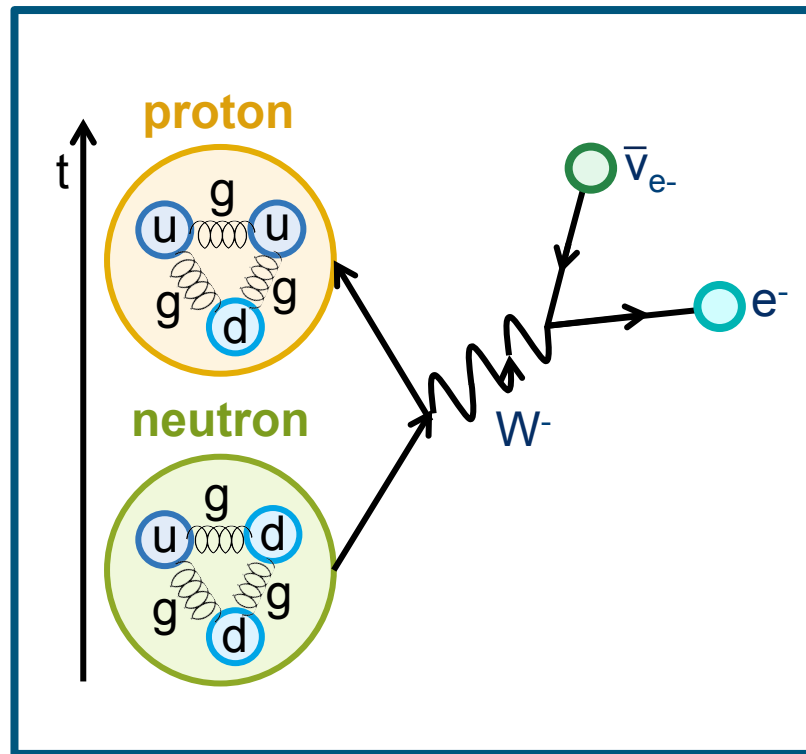
# FORCES



~1660



~1860

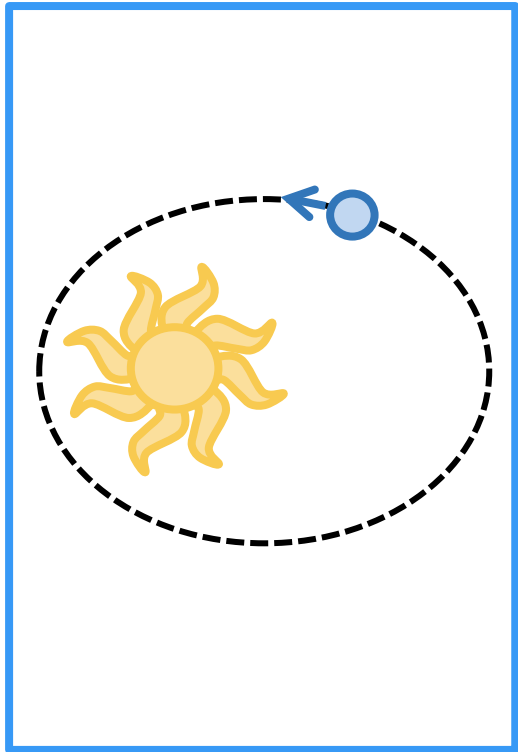


~1970

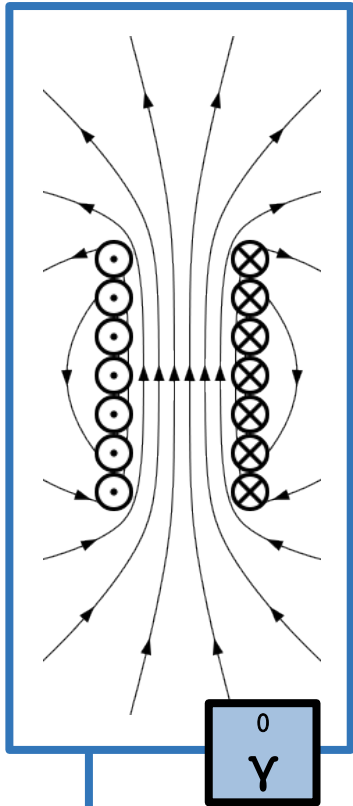
today

# FORCES

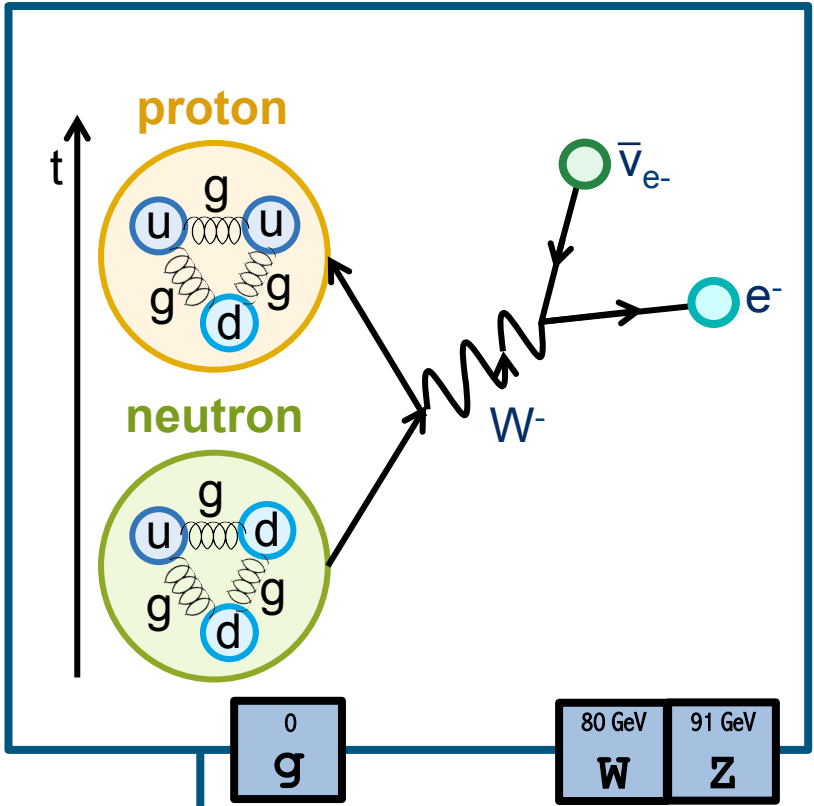
Force carriers: Bosons



~1660



~1860

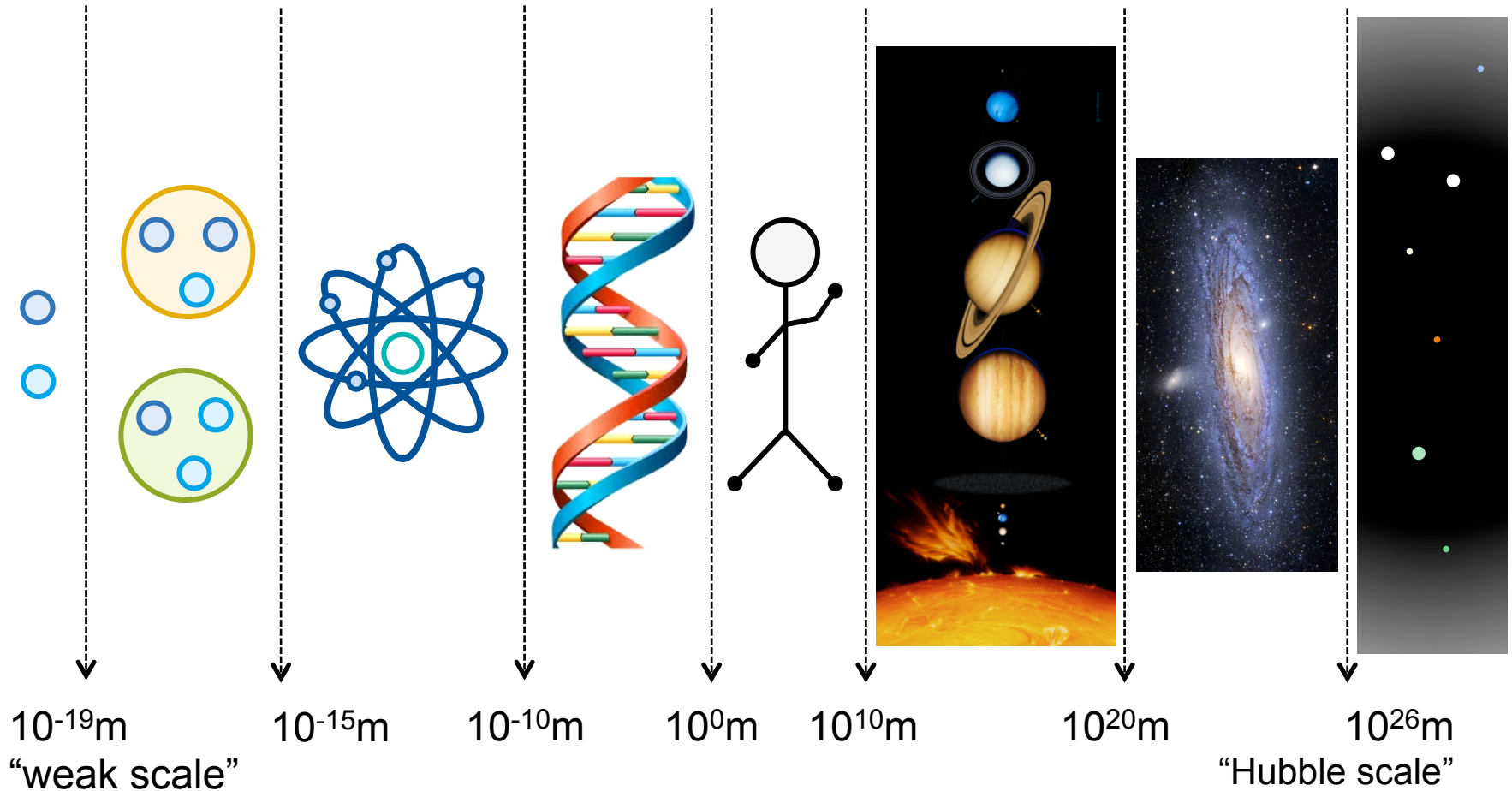


~1970

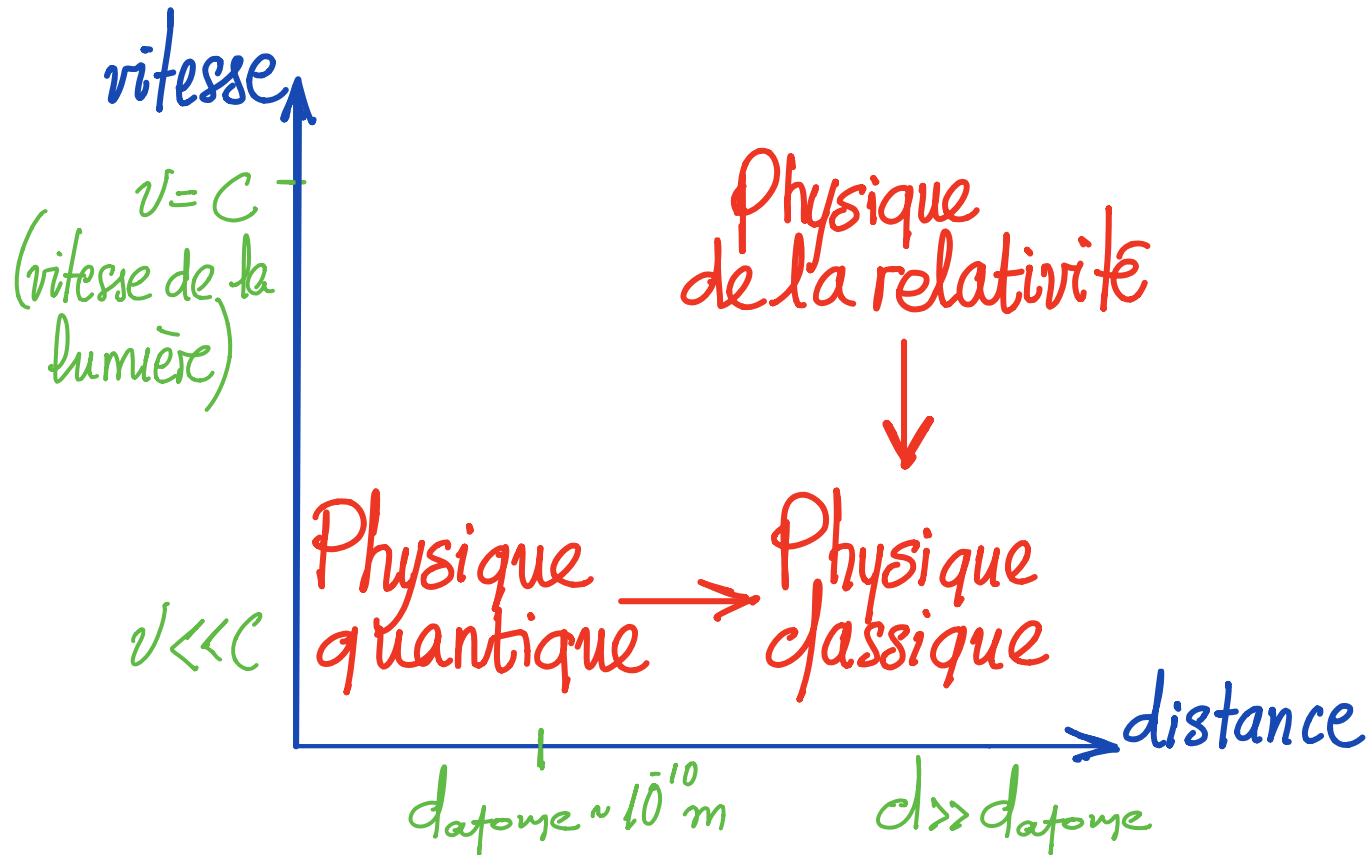
today



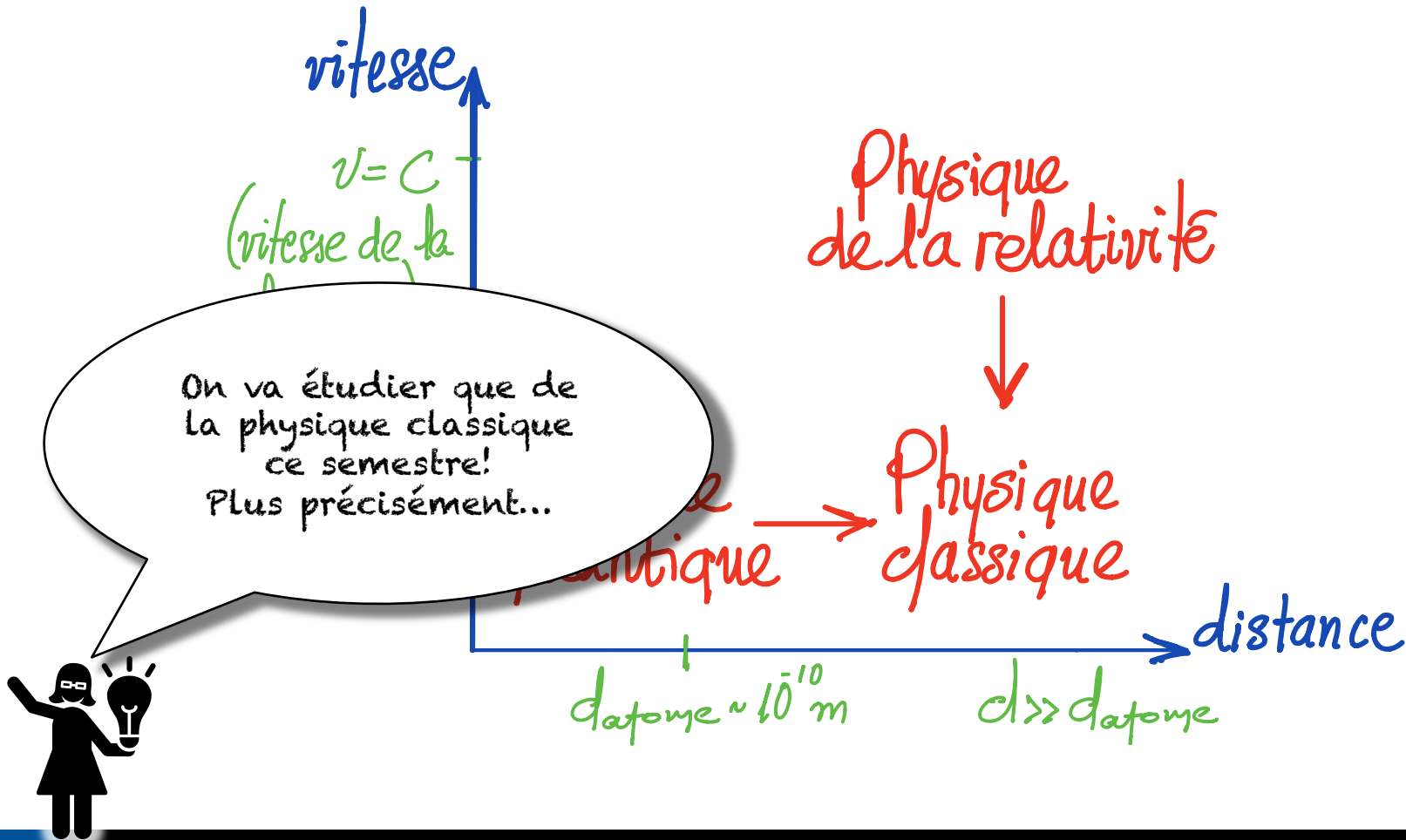
# PORTÉE DES FORCES



# DIFFÉRENTES ÉCHELLES, DIFFÉRENTS MOYENS



# DIFFÉRENTES ÉCHELLES, DIFFÉRENTS MOYENS

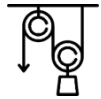


# CONTENU DU COURS

## Mécanique classique



- Cinématique



- Forces et gravitation



- Énergie

## La matière et ses propriétés



- Fluides



- Oscillations et ondes



- Propriétés thermiques et chaleur



- Thermodynamique

# LA DESCRIPTION MODERNE DU MONDE PAR LA PHYSIQUE

L'Univers est compris à l'échelle microscopique:

**Vide:** Forces et matière évoluent dans le vide, à trois dimensions spatiales et une dimension temporelle.

**Particules élémentaires:** ponctuelles, sans structure interne, indivisible.

**Matière:** formée d'un nombre limité de catégories de particules élémentaires, identifiées par leur masse unique et leurs propriétés vis-à-vis des forces.

**Forces:** en nombre limité (4 au niveau élémentaire), agissent entre les constituants de la matière.

**L'homme:** fait partie de ce système dynamique, et prétend pouvoir comprendre son fonctionnement, grâce à l'expérimentation ou observation scientifique aidée d'une description mathématique.

	I	II	III	
Quarks	2.4 MeV u	1.3 GeV c	170 GeV t	0 $\gamma$
	4.8 MeV d	104 MeV s	4.2 GeV b	0 g
	< 2 eV $\nu_1$	< 2 eV $\nu_2$	< 2 eV $\nu_3$	91 GeV Z
Leptons	0.5 MeV e	16 MeV $\mu$	1.8 GeV $\tau$	80 GeV W
				126 GeV H

# LA DESCRIPTION MODERNE DU MONDE PAR LA PHYSIQUE

L'Univers est compris à l'échelle microscopique:

**Vide:** Forces et matière évoluent dans le vide, à trois dimensions spatiales et une dimension temporelle.

**Particule:** structure interne, indivisible.

Ces hypothèses se sont révélées par l'expérience. Elles ne vont pas de soi! La physique propose de comprendre tout l'Univers par ses propriétés microscopiques et la méthode scientifique.

**Force:** (à un niveau élémentaire), agissent entre les constituants de la matière.

	I	II	III	
Quarks	2.4 MeV u	1.3 GeV c	170 GeV t	0 $\gamma$
	4.8 MeV d	104 MeV s	4.2 GeV b	0 g
	< 2 eV $\nu_1$	< 2 eV $\nu_2$	< 2 eV $\nu_3$	91 GeV Z
Leptons	0.5 MeV e	16 MeV $\mu$	1.8 GeV $\tau$	80 GeV W
				126 GeV H
				Bosons



**Science:** fait partie de ce système dynamique, et prétend pouvoir comprendre son fonctionnement, grâce à l'expérimentation ou observation scientifique aidée d'une description mathématique.



# DÉMARCHES SCIENTIFIQUES

La physique est avant tout une **science expérimentale, liée à l'observation.**

La **démarche scientifique** consiste à émettre des hypothèses, tester ces hypothèses et les affiner jusqu'à ce qu'elles soient vérifiées par l'expérience.

Toute nouvelle loi physique est falsifiable: pour être validée, elle doit être:

- **correcte**, en isolant et mesurant le paramètre en question.
- **reproductible**, sous conditions égales ou analogues.
- **significative**, apportant des informations nouvelles ou plus précises.

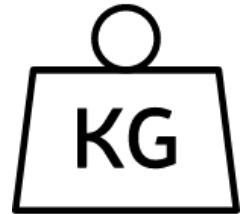
**Chaque mesure exige: une valeur – une erreur – une unité.**



SI: mètre

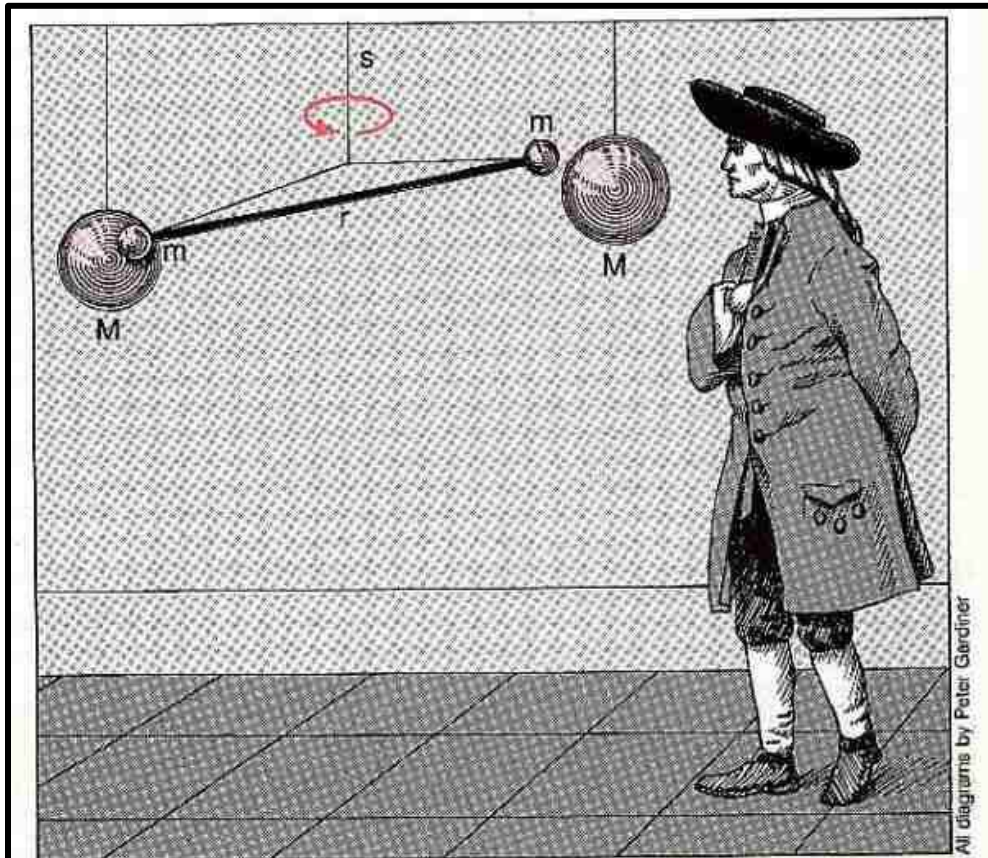


SI: seconde

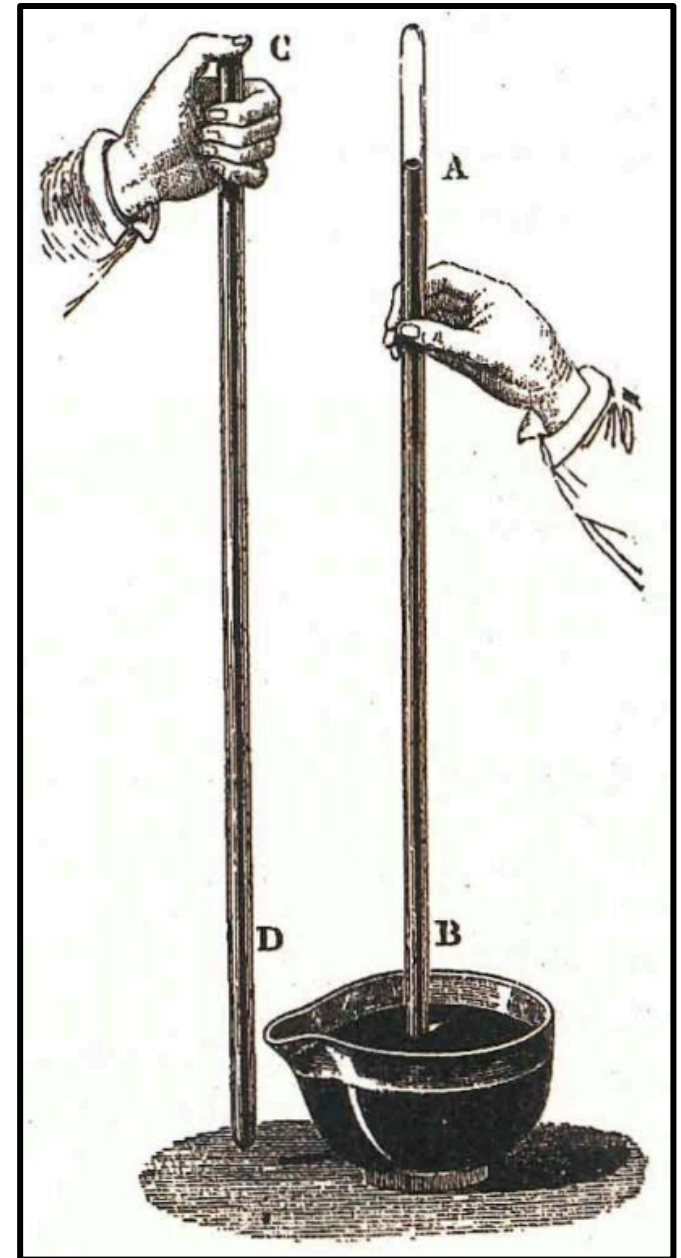


SI: kilogramme

# EXPERIENCES...

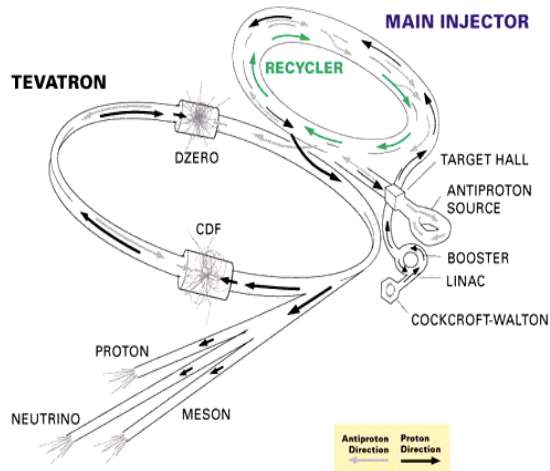


Henry Cavendish with the famous torsion balance experiment that determined the gravitational constant  $G$  and demonstrated Newton's inverse-square law of gravitation. Large lead spheres placed close to small ones caused angular deflections

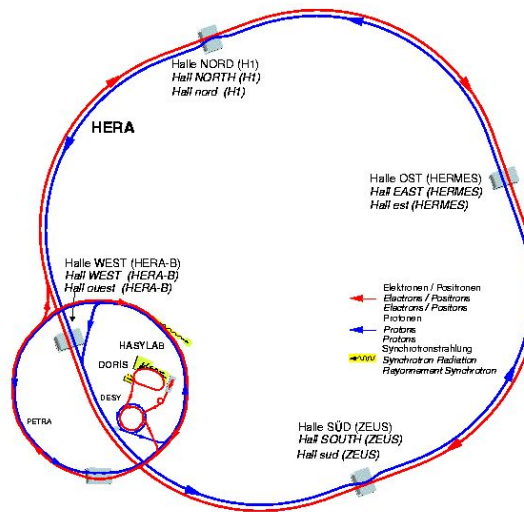


# COLLISIONNEURS RECENTS

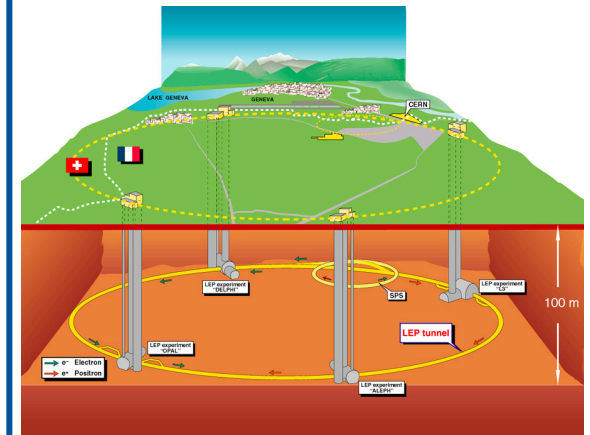
## Fermilab's ACCELERATOR CHAIN



Tevatron  
1983 – 2011  
Proton-antiproton  
collider

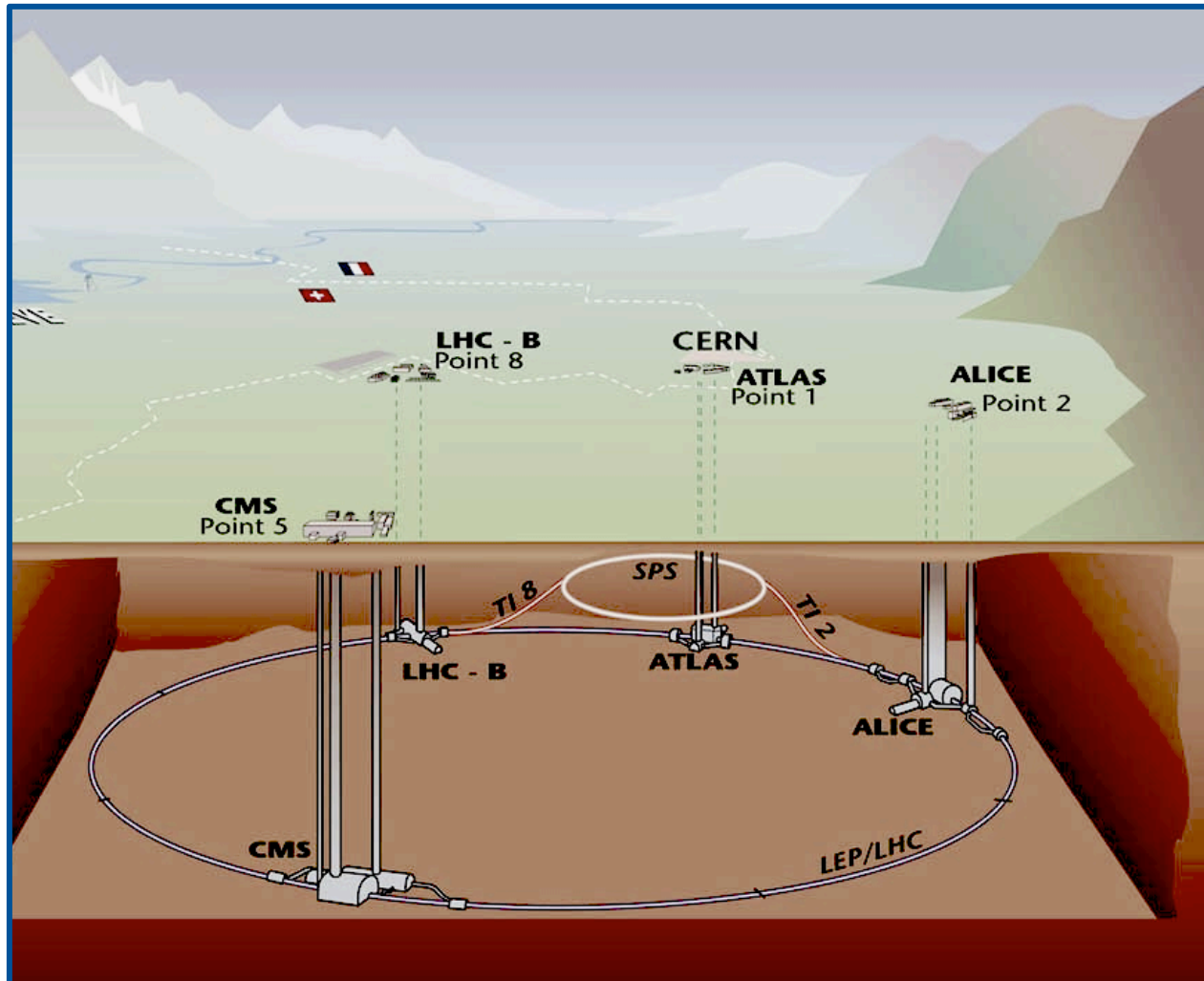


HERA  
1990 – 2007  
Proton-Electron/positron  
collider

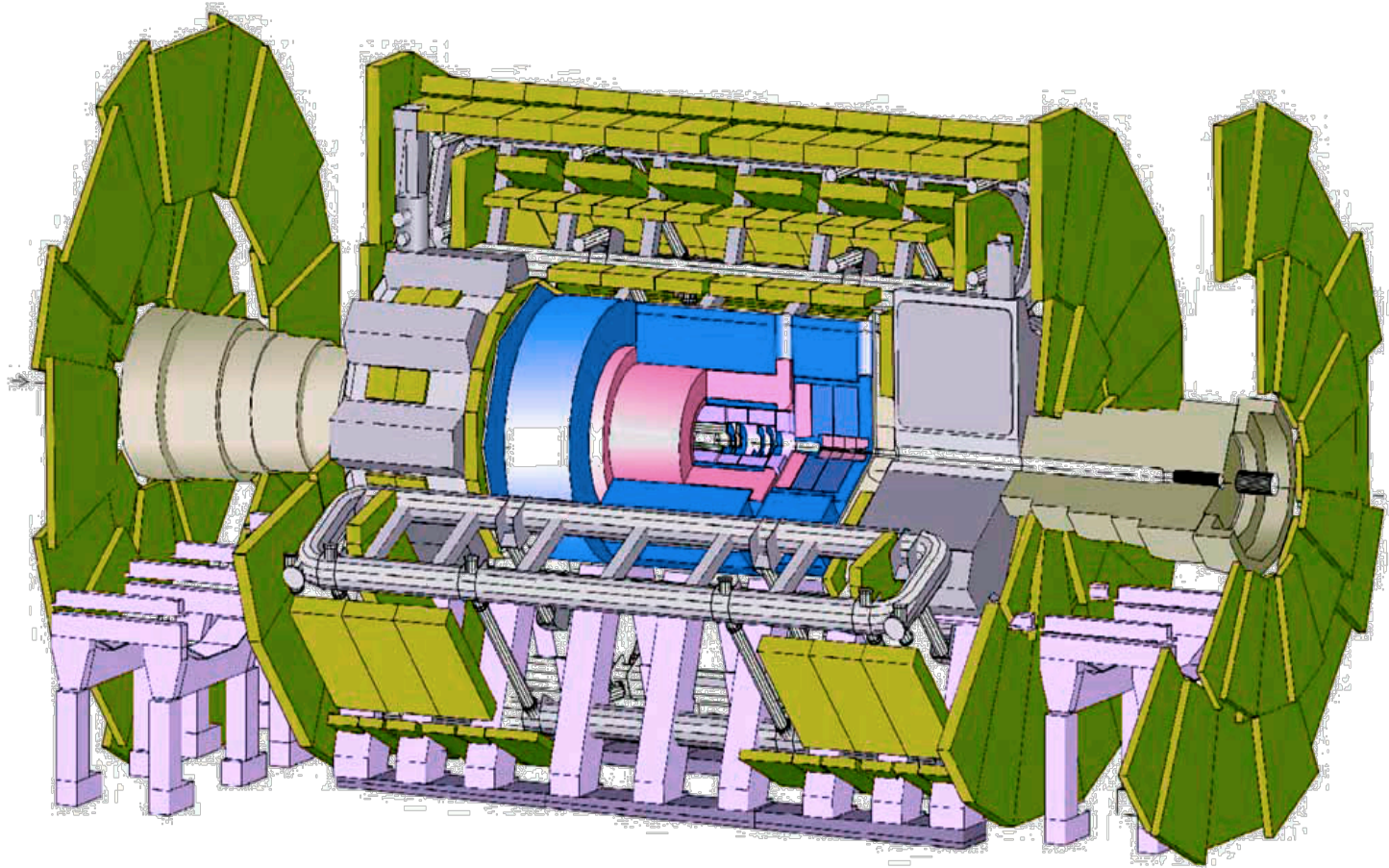


LEP  
1989 – 2000  
Electron-positron  
collider

# LARGE HADRON COLLIDER



# LE DETECTEUR ATLAS





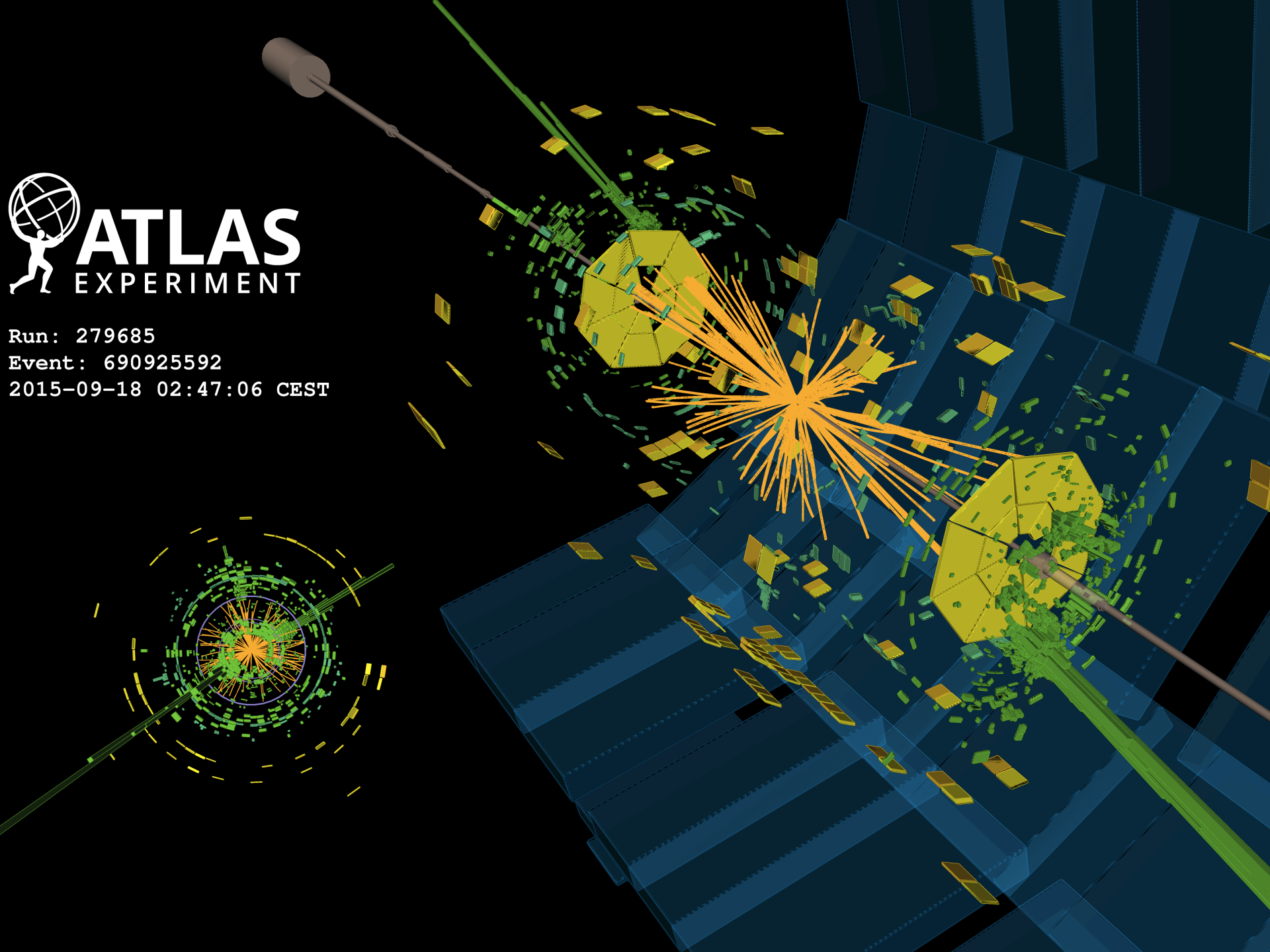
# ATLAS

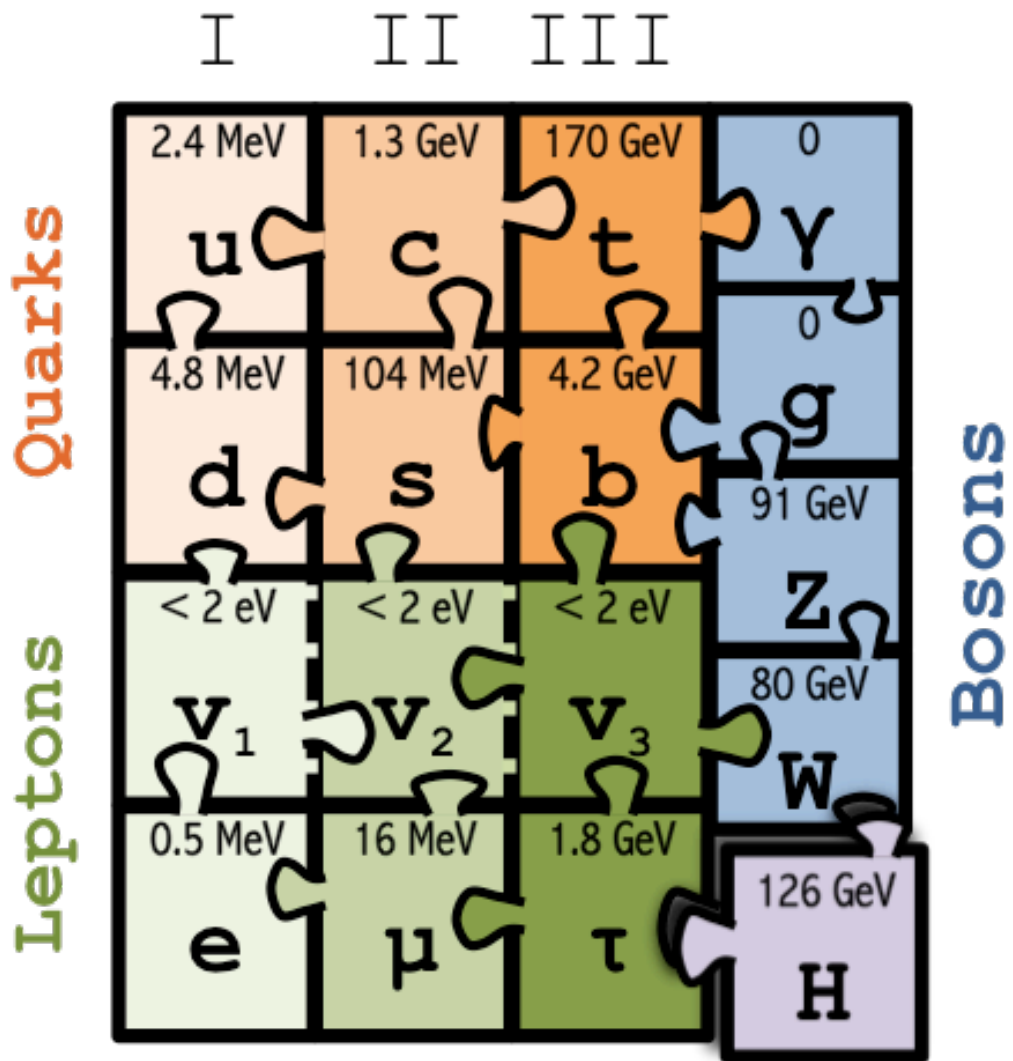
EXPERIMENT

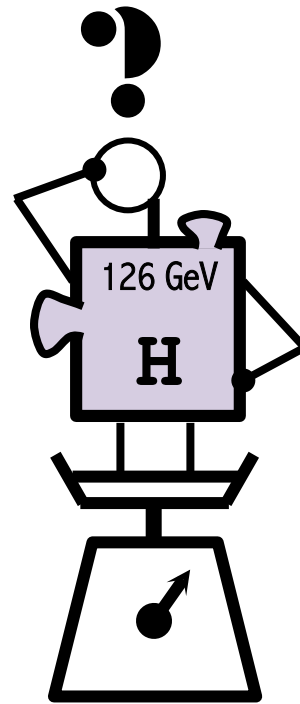
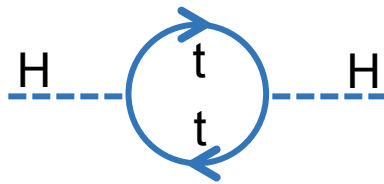
Run: 279685

Event: 690925592

2015-09-18 02:47:06 CEST







$$m_H^{\text{SM}} = m_0 + \alpha + \beta + \dots \gg 126\text{GeV}$$

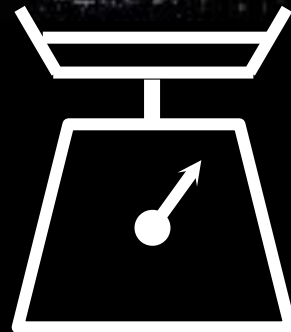
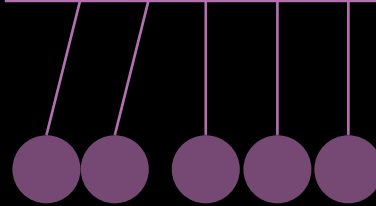




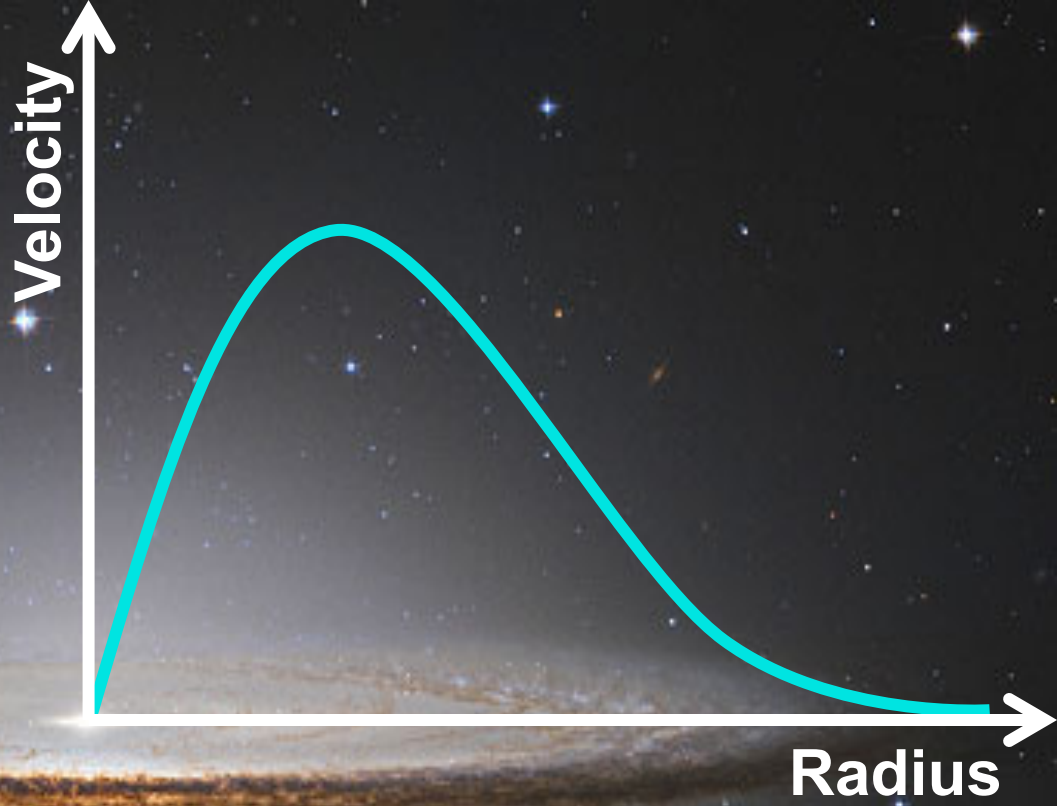
# Theory of Gravity



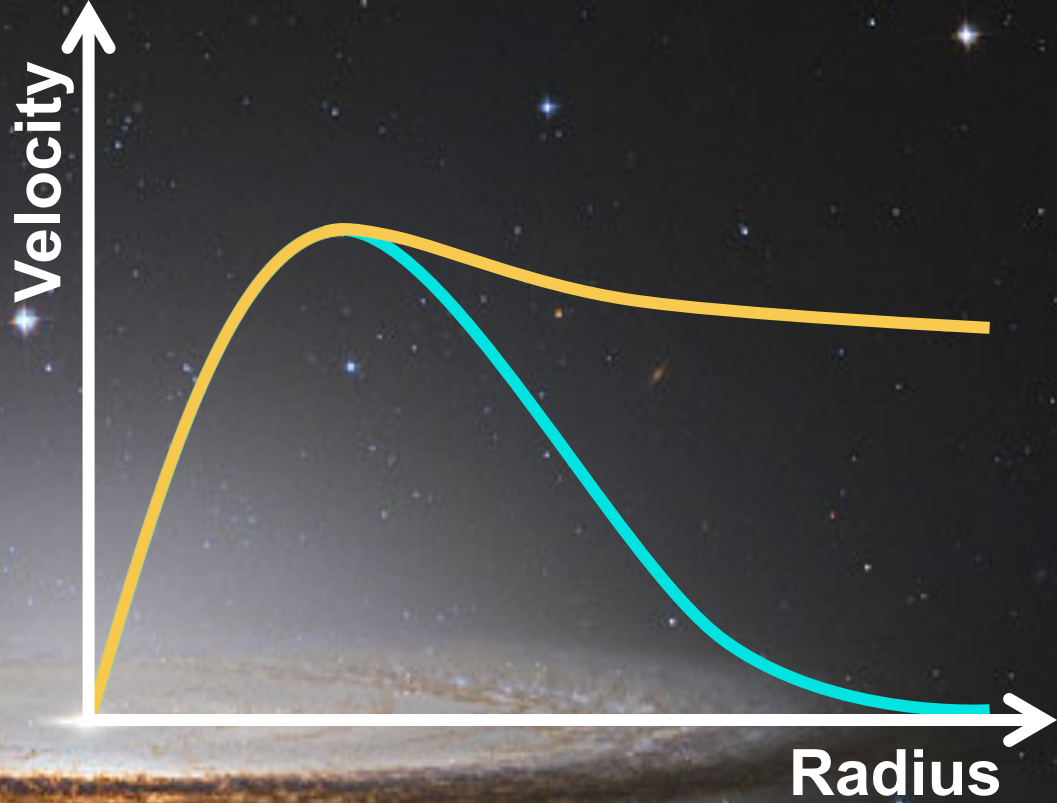
# Laws of Motion



**Predicted**



**Observed**  
**Predicted**

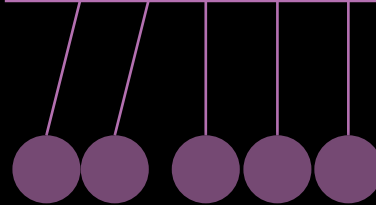


Theory of Gravity 

Laws of Motion

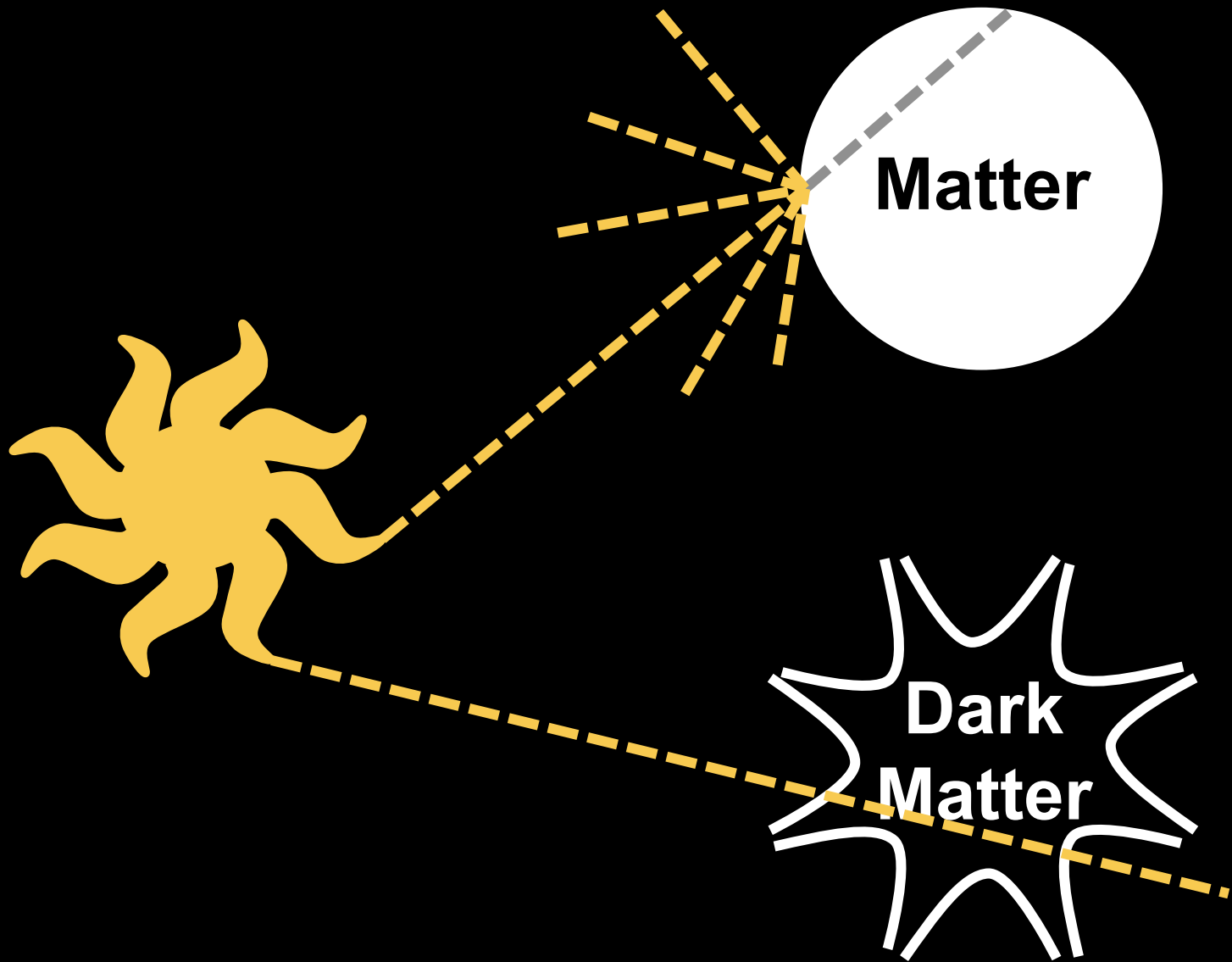


?





**Dark  
Matter**



**Dark  
Matter**





# DÉMARCHES SCIENTIFIQUES

La physique est avant tout une **science expérimentale, liée à l'observation.**

La **démarche scientifique** consiste à émettre des hypothèses, tester ces hypothèses et les affiner jusqu'à ce qu'elles soient vérifiées par l'expérience.

Toute nouvelle loi physique est falsifiable: pour être validée, elle doit être:

- **correcte**, en isolant et mesurant le paramètre en question.
- **reproductible**, sous conditions égales ou analogues.
- **significative**, apportant des informations nouvelles ou plus précises.

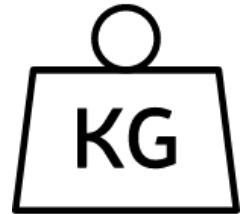
**Chaque mesure exige: une valeur – une erreur – une unité.**



SI: mètre



SI: seconde



SI: kilogramme

# SYSTÈME INTERNATIONAL

Une mesure de **longueur** détermine la distance entre deux points dans l'**espace**.

Une mesure de **temps** détermine l'**intervalle de temps** entre deux événements.

Une mesure de **masse** détermine la **quantité de matière** présente dans un corps.

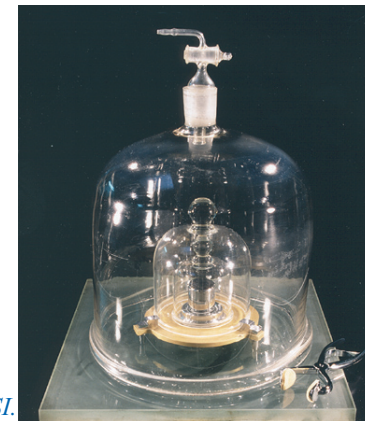
Le système international est le système d'unités le plus largement employé au monde.

Sa création remonte à la révolution française! <http://www.bipm.org/fr/measurement-units/history-si/>

## Actuellement:

- Le **mètre** est définie comme la distance parcourue par la lumière en 1/299'792'458 secondes.
- Une **seconde** est définie comme la durée de 9'192'631'770 vibrations de l'atome  $^{133}\text{Cs}$ , mesurée avec l'horloge la plus précise que nous avons à disposition.
- Le **kilogramme** est égal à la masse du prototype international du kilogramme.

*The international prototype of the kilogram,  $\mathcal{K}$ , the only remaining artefact used to define a base unit of the SI.*



# LE SI AU GRAND COMPLET – 1

Grandeur	Unité	Définition
Longueur	mètre	Le mètre est la longueur du trajet parcouru dans le vide par la lumière pendant une durée de 1/299 792 458 secondes.
Masse	kilogramme	Le kilogramme est égal à la masse du prototype international du kilogramme. Projet – sphère de Si de 1kg.
Temps	seconde	La seconde est la durée de 9'192'631'770 périodes de la radiation correspondant à la transition entre les deux niveaux hyperfins de l'état fondamental de l'atome de césium 133.
Courant électrique	ampère	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 de 1 mètre l'un de l'autre dans le vide, produirait une force égale à $2 \times 10^{-7}$ newton par mètre de conducteur entre ces conducteurs.  1 A = $0.6241509479 \times 10^{19}$ électrons qui passent par seconde

# LE SI AU GRAND COMPLET – 2

Grandeur	Unité	Définition
Température thermodynamique	Kelvin	Le kelvin, unité de température thermodynamique, est la fraction $1/273,16$ de la température du point triple de l'eau.
Quantité de matière	mol	<p>La mole est la quantité de matière d'un système contenant autant d'entités élémentaires qu'il y a d'atomes dans 12 grammes de carbone 12 (i.e. <math>6.02 \cdot 10^{23}</math>).</p> <p>Lorsqu'on emploie la mole, les entités élémentaires doivent être spécifiées (atomes, ions, molécules, électrons, particules ou groupements de particules).</p>
Intensité lumineuse	candela	La candela est l'intensité lumineuse, dans une direction donnée, d'une source qui émet un rayonnement monochromatique de fréquence $540 \cdot 10^{12}$ Hertz et dont l'intensité énergétique dans cette direction est $1/683$ watt par stéradian.

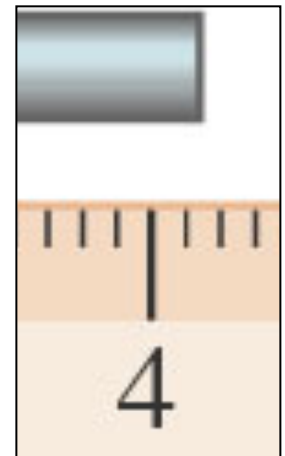
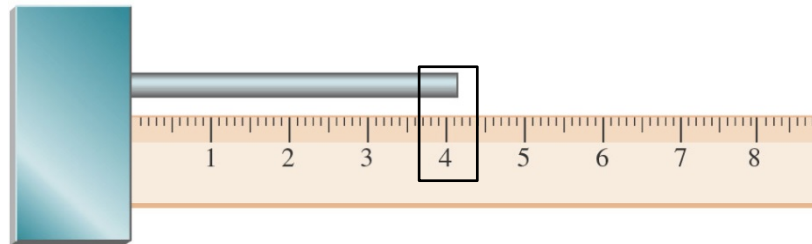
The scale of the universe

# LES ERREURS DE MESURE

"incertitude" de mesure

On distingue deux types d'erreurs:

1. **Les erreurs statistiques:** Toute mesure a une nature statistique, i.e. même si elle est répétée sous conditions identiques, les résultats varient autour de la "vraie valeur" dans une fourchette donnée par l'**erreur de mesure**.
2. **Les erreurs systématiques:** par exemple celles liée à la précision d'un instrument de mesure.



- Une erreur de mesure peut être négligeable mais jamais nulle.
- On ne peut pas interpréter le résultat d'une mesure sans connaître cette erreur.
- **Tout résultat expérimental est présenté comme: une valeur avec son erreur et son unité.**
  - Notation usuelle: résultat = (valeur  $\pm$  erreur) unité

# CHIFFRES SIGNIFICATIFS

On **arrondi** souvent un résultat numérique au nombre de chiffres significatifs, c'est-à-dire aux chiffres qui sont certains étant donné l'erreur.

Exemple:  $(0.91 \pm 0.01)\text{cm} \rightarrow 0.9 \text{ cm}$

Le résultat numérique doit être arrondi de sorte qu'il n'a pas plus de chiffres significatifs que l'ingrédient le **moins précis** d'un calcul:

Exemples:  $320.5 \text{ s} - 30.07 \text{ s} = 290.5 \text{ s}$

$850 \text{ kg} - 31.009 \text{ kg} = 819 \text{ kg}$

Dans un calcul avec des grandeurs physiques, les **unités** doivent être **cohérentes**: On ne peut additionner ou soustraire que des grandeurs de mêmes unités.

# VENDREDI:

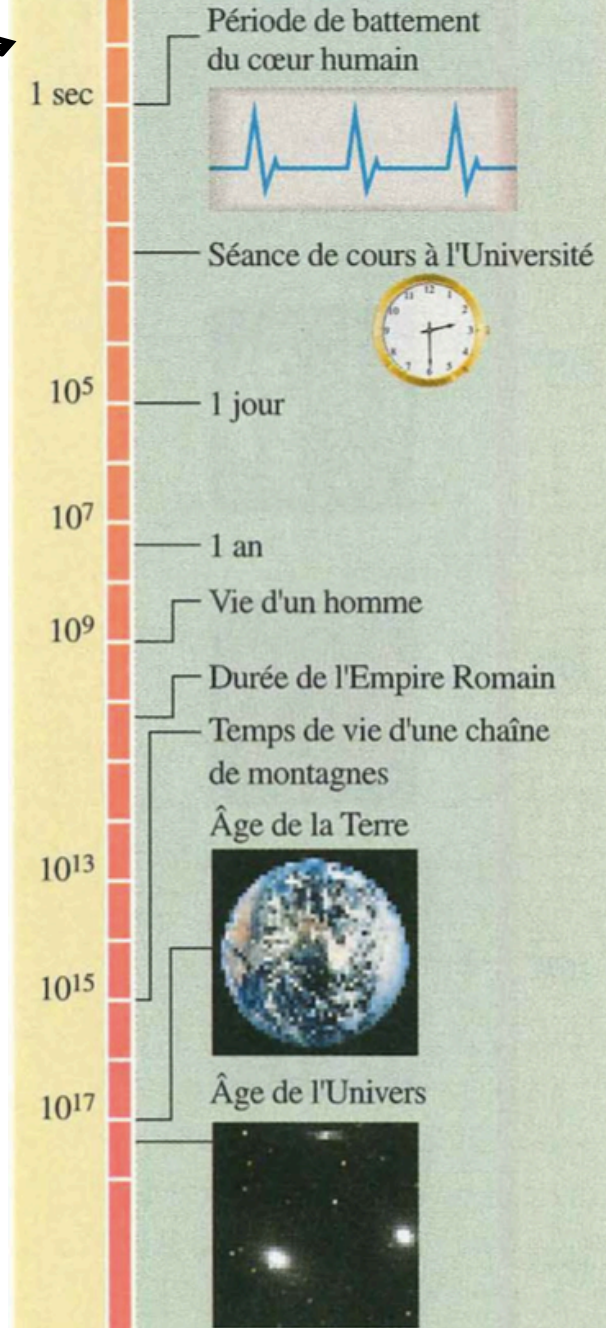
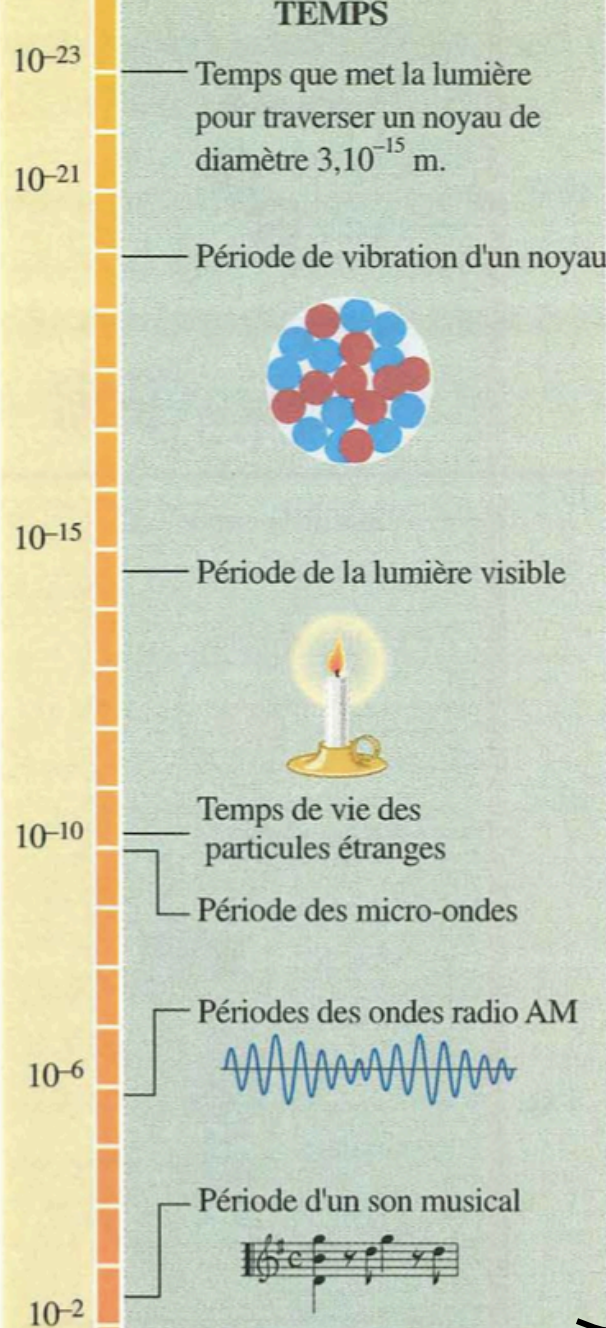
- **8:15-10:00: Rappel mathématique**
  - chapitre « 0 » aux notes PGC sur Chamilo.
- **10:15-12:00 ou 13:15-15:00: Exercices sur ce rappel mathématique;**
  - Série 0 sur Chamilo.



**BACKUP**

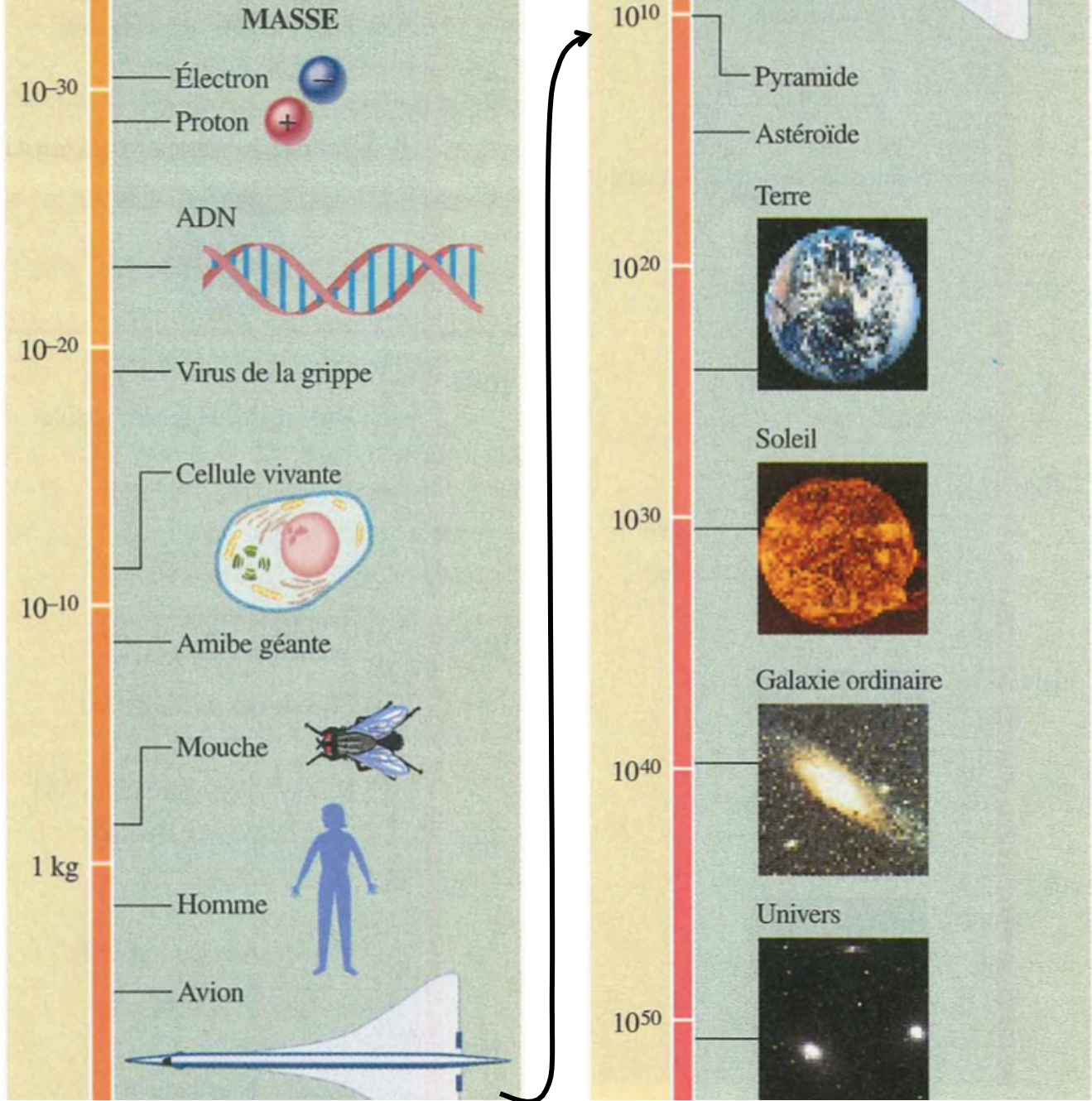
# TEMPS

- Historiquement, le temps est mesuré par des phénomènes **cycliques**, comme le lever du Soleil.
- Le système des jours (j) de 24 heures (h) de 60 minutes (mn) de 60 secondes (s) est introduit au 14ème siècle basé sur des systèmes égyptiens et babyloniens.
- **Cette définition astronomique du temps n'est pas précise.**
- Depuis 1967, on définit la seconde comme la durée de  $9'192'631'770$  vibrations de l'atome  $^{133}\text{Cs}$ , mesurée avec l'horloge la plus **précise** que nous avons à disposition.
- Une Swatch typique a une précision d'une seconde par an. Une horloge atomique est précise à une seconde par 3'000'000 années.

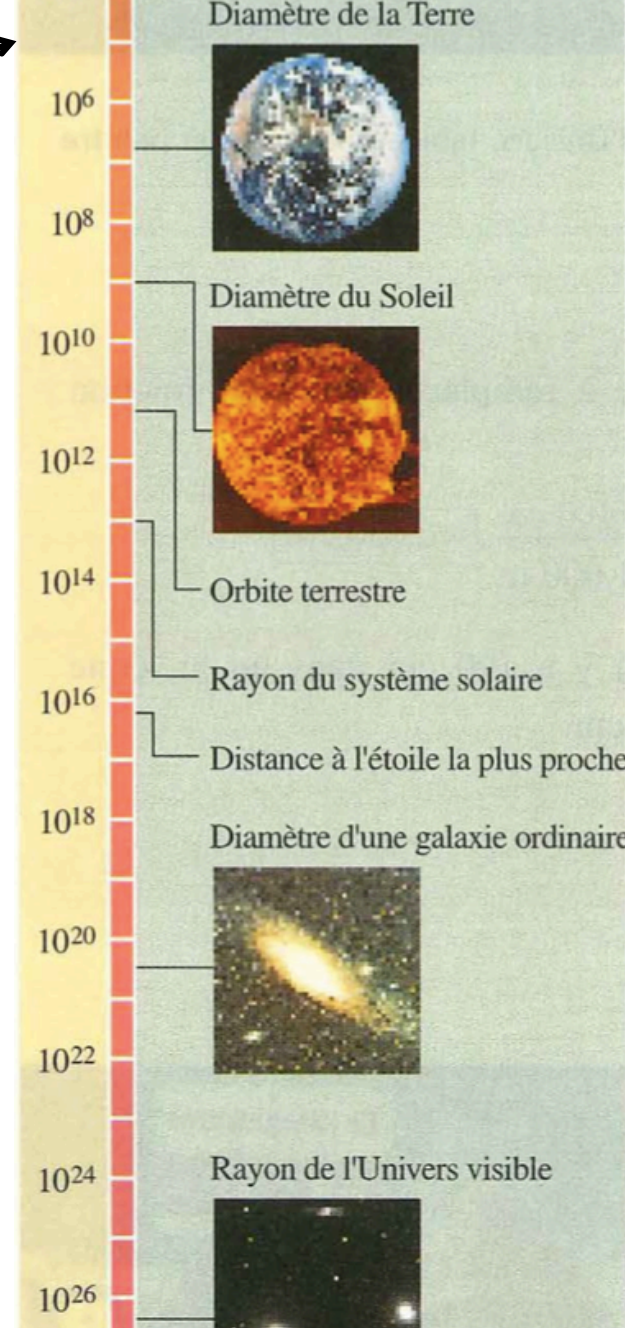
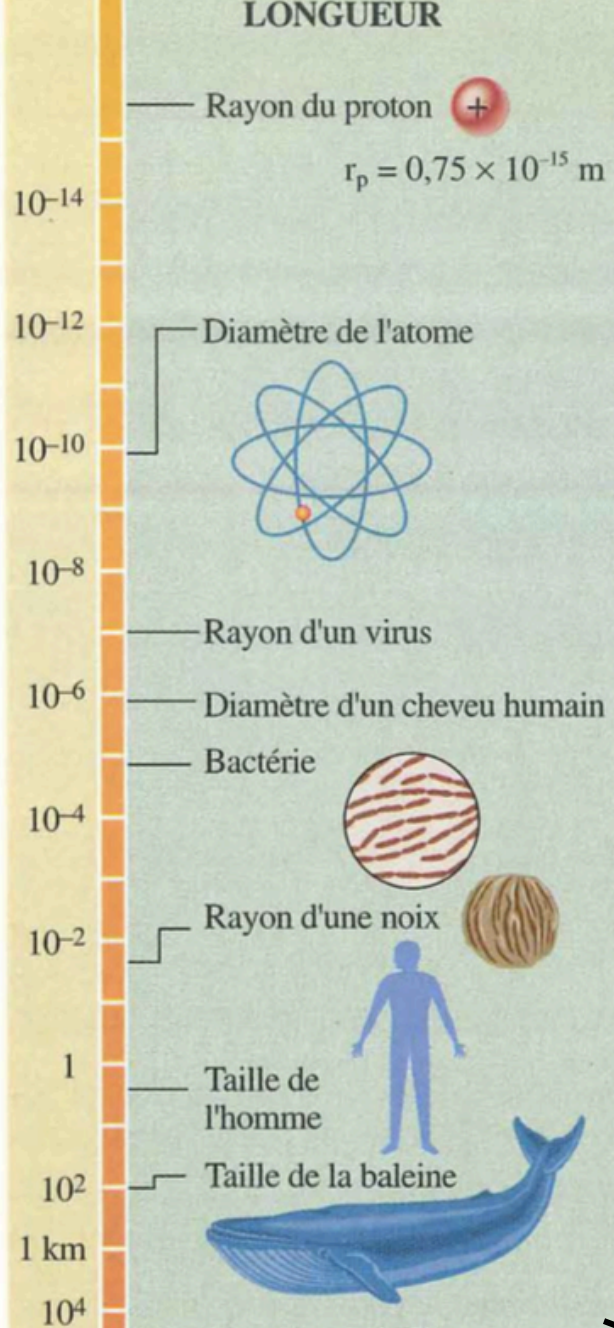


# MASSE

- La **masse** est une propriété fondamentale d'un objet, indépendante de la présence d'autres corps et la même partout sur Terre et dans l'Univers.
- Le **poids** est la force exercée sur un corps à la surface de la Terre et résulte de l'interaction gravitationnelle entre l'objet et la Terre.



# LONGUEUR



# PREFIXES SI

## *The SI prefixes*

Factor	Name	Symbol	Factor	Name	Symbol
$10^1$	deca	da	$10^{-1}$	deci	d
$10^2$	hecto	h	$10^{-2}$	centi	c
$10^3$	kilo	k	$10^{-3}$	milli	m
$10^6$	mega	M	$10^{-6}$	micro	$\mu$
$10^9$	giga	G	$10^{-9}$	nano	n
$10^{12}$	tera	T	$10^{-12}$	pico	p
$10^{15}$	peta	P	$10^{-15}$	femto	f
$10^{18}$	exa	E	$10^{-18}$	atto	a
$10^{21}$	zetta	Z	$10^{-21}$	zepto	z
$10^{24}$	yotta	Y	$10^{-24}$	yocto	y

# DIFFÉRENTES ÉCHELLES, DIFFÉRENTS MOYENS

Forces et matière peuvent être étudiées à différentes échelles de distance, de vitesse et de temps:

La **physique classique** considère des distances beaucoup plus grandes que la taille d'un atome, et des vitesses beaucoup plus petites que la vitesse de la lumière.

Les **principes de la relativité** complètent la physique classique à **une vitesse proche de celle de la lumière**.

*La physique classique est un cas spécial de la physique relativiste à basses vitesses.*

La **physique quantique** remplace la physique classique à **des distances plus petites qu'un atome**.

*La physique classique est un cas spécial de la physique quantique à grandes distances.*

La physique des champs quantiques unifie relativité et approche quantique pour toutes les forces, à l'exception de la gravitation.

# DIFFÉRENTES ÉCHELLES, DIFFÉRENTS MOYENS

Forces et matière peuvent être étudiées à différentes échelles de distance, de vitesse et de temps:

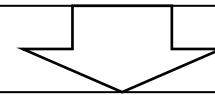
La **physique classique** considère des distances beaucoup plus grandes que la taille d'un atome, et des vitesses beaucoup plus petites que la vitesse de la lumière.

Les principes de la physique classique complètent la physique relativiste.

On va étudier que de la physique classique ce semestre!  
Plus précisément...

La physique relativiste est un cas spécial de la physique relativiste à basses vitesses.

La **physique quantique** remplace la physique classique à des distances plus petites qu'un atome.



*La physique classique est un cas spécial de la physique quantique à grandes distances.*



La physique des champs quantiques unifie relativité et approche quantique pour toutes les forces, à l'exception de la gravitation.