

La Physique est une activité humaine qui s'intéresse à l'étude rationnelle des Phénomènes Naturels

A partir de :

L'Observation

L'Expérimentation

La Mathématisation

L'Analyse épistémologique et rationnelle

La mise en place d'outils conceptuels

...

**construction de théories, de modèles dont les prévisions
se doivent d'être en accord avec un maximum de phénomènes observés ou
expérimentés en laboratoire.**

Les théories actuelles

Mécanique classique : concerne la description et les causes du mouvement des objets

Electromagnétisme classique : concerne l'ensemble des phénomènes électriques, magnétiques et lumineux (ondes électromagnétiques)

Thermodynamique et Physique statistique : concerne les échanges de chaleur et de travail dans les systèmes contenant une multitude d'objets ; transitions de phase et phénomènes critiques.

Mécanique quantique : concerne les systèmes atomiques et subatomiques, ainsi que les propriétés physiques et chimiques de la matière à pression et température nulles

Relativité restreinte et générale : concerne les mouvements rapides et les phénomènes gravitationnels à l'échelle de l'Univers

Ces théories ont des domaines de validité

(ex. la mécanique classique est valable pour des vitesses faibles devant c , pour des faibles champs de gravitations et pour des quantités d'action mises en jeu grandes devant $\hbar$)

Certaines d'entre elles sont des « cas limites »

(ex. La mécanique classique est un cas limite de la relativité restreinte lorsque les vitesses envisagées sont faibles devant c)

Souvent, des concepts similaires sont utilisés dans ces théories

(le concept d'énergie par exemple, celui de champ, d'onde, de masse, ... mais il arrive aussi que ces concepts n'aient pas la même signification d'une théorie à l'autre : le temps en mécanique classique est absolu, alors qu'il est relatif en relativité)

Elles évoluent dans le temps

(Ex. la dynamique non linéaire (chaos) renouvelle les présupposés originels de la dynamique Classique (pb du déterminisme) mais continue d'évoluer dans le cadre de la mécanique classique)

Elles peuvent être couplées ensemble

(Ex. l'électrodynamique quantique regroupe la mécanique quantique, la relativité restreinte et l'électromagnétisme pour former le modèle standard de la Physique subatomique lorsqu'on y rajoute les interactions nucléaires dites faible et forte.

A l'échelle de l'univers, un autre modèle standard tente de regrouper relativité générale, physique statistique et mécanique quantique.)

On peut aussi découper la Physique en divers domaines relatifs aux Phénomènes étudiés

Acoustique
Astrophysique
Biophysique
Cristallophysique
Mécanique des fluides, des solides
Optique géométrique, ondulatoire
Physique du globe terrestre
Physique des surfaces
Physique des matériaux
Physique des plasmas
Physique nucléaire
Physique atomique
etc...

Chacun de ces domaines fait appel à l'une ou l'autre des théories précitées et à des modèles propres au domaine étudié.

Plan de la suite

- **Quelques concepts fondamentaux de la physique classique**

Champs – Couplages – Dynamique

Forces (interactions) – énergie potentielle

Les 4 interactions fondamentales

- **Trois expériences fondamentales**

L'expérience des fentes de Young (1802)

L'expérience de Michelson et Morley (1887)

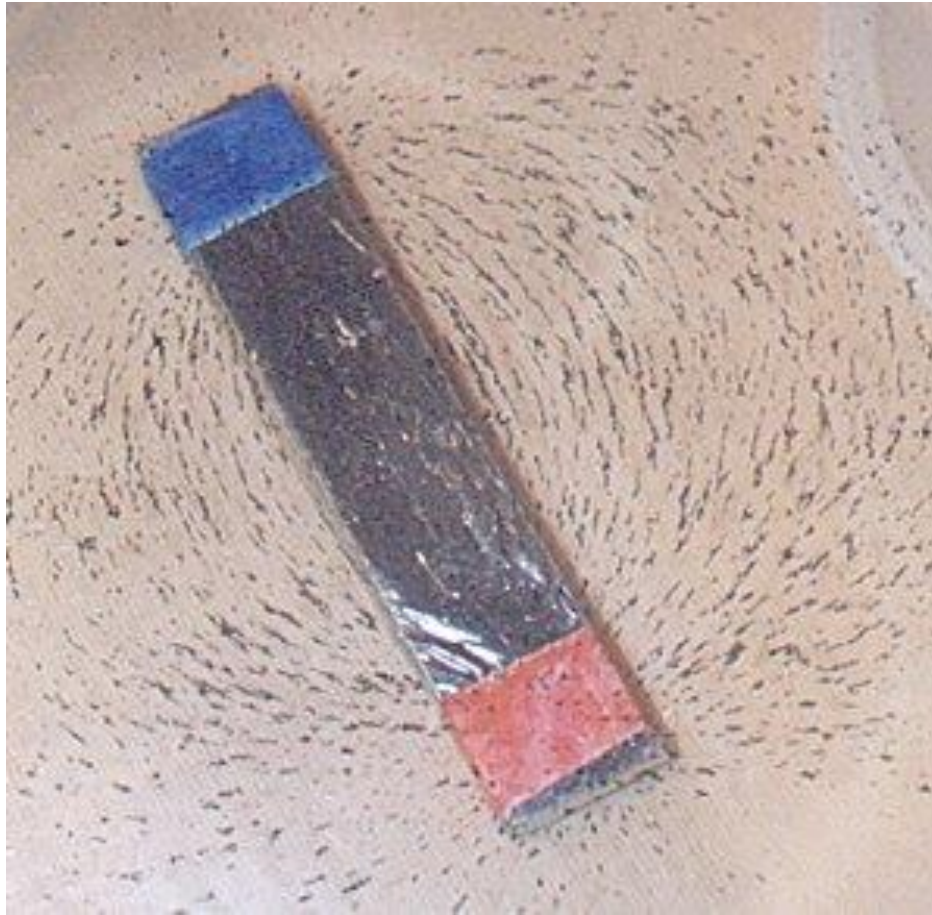
L'expérience des fentes de Young avec des particules matérielles

Physique et réalité

Champs - Couplages - Dynamique

« Historique »

- L'ancienne Physique Aristotélicienne considérait que deux objets qui interagissent sont nécessairement en contact. Une fois le contact rompu l'interaction cessait...
- Lorsque Newton a exposé sa théorie de la Gravitation, il a fait appel à la notion d'interaction à distance... mais comment deux objets peuvent-ils interagir à distance ?
- La Physique Classique (dans le courant du XIXème siècle) a fini par forger le concept de champ : un objet A génère dans l'espace environnant un champ (gravitationnel par exemple). Un autre objet B situé dans cet espace possède une propriété intrinsèque (une masse) lui permettant de ressentir ce champ et de se mouvoir en conséquence. Inversement, B génère un champ que A ressent. Au final on dira que les deux objets interagissent.



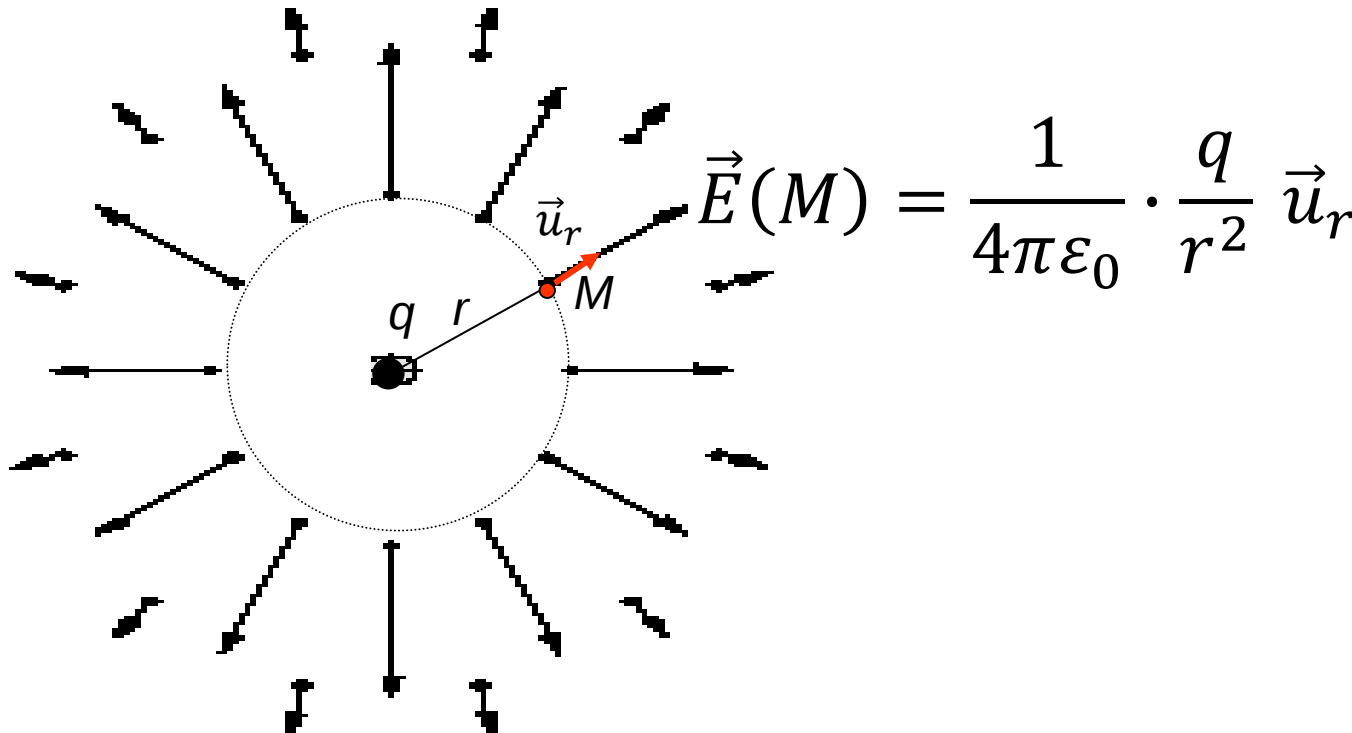
Quelques lignes du champ magnétique créé par un barreau de fer aimanté visualisées par de la limaille de fer

Exemple du champ électrique : interaction électrostatique (Coulomb 1785)

Typiquement, L'électromagnétisme est une théorie de champs : on se donne l'objet et sa propriété (sources du champ) et la théorie permet de calculer le champ généré dans l'espace et dans le temps.

L'étude des phénomènes électriques a abouti à postuler l'existence de **charges électriques** positives ou négatives caractérisant d'une certaine façon la quantité d'électricité contenue dans un objet

Champ électrostatique créé par une charge ponctuelle : la charge q constitue la source du champ électrostatique



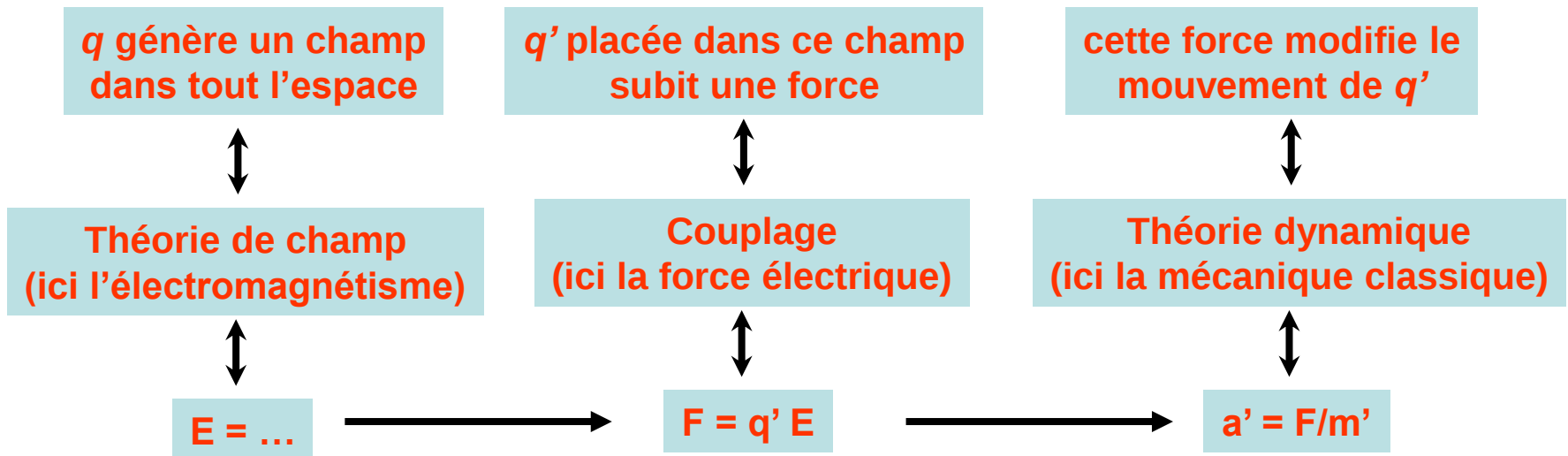
Dynamique

Si une autre charge q' est placée en M, elle ressent le champ électrostatique créé par la charge q et subit une force :

$$\vec{F} = q' \vec{E}$$

Le mouvement qu'acquiert q' sous l'action de cette force est régi par le principe fondamental de la dynamique :

$$\vec{a}' = \vec{F} / m'$$



Quatre interactions fondamentales

A ce jour, quatre interactions fondamentales décrivent les phénomènes physiques observés

1 - L'interaction gravitationnelle

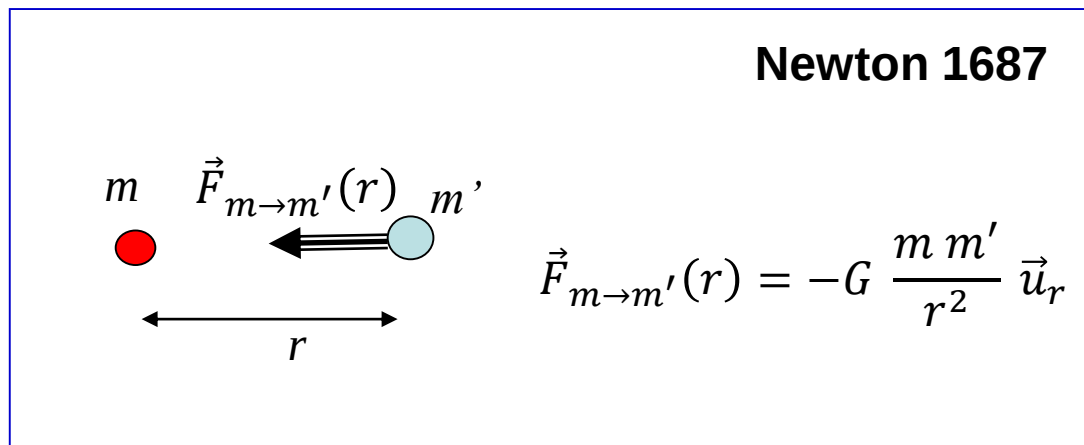
2 - L'interaction électromagnétique

3 - L'interaction forte

4 - L'interaction faible

L'interaction gravitationnelle

tous les corps possèdent une propriété intrinsèque fondamentale appelée masse gravitationnelle. D'où il résulte une interaction gravitationnelle attractive entre tous les corps



**Interaction dominante
à l'échelle du système
solaire et de l'univers**

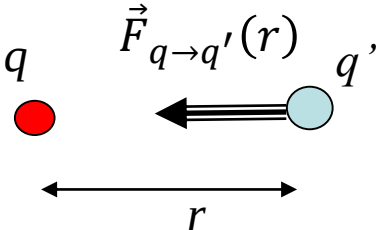
$$G = 6.67259(85) \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$$

Constante de la gravitation

L'interaction électrique

certaines corps possèdent une propriété intrinsèque fondamentale appelée charge électrique qui peut être positive ou négative. D'où il résulte une interaction électrique attractive ou répulsive entre ces corps

Coulomb 1785


$$\vec{F}_{q \rightarrow q'}(r) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q q'}{r^2} \vec{u}_r$$

**Interaction responsable
de la cohésion de la
matière à l'échelle
atomique**

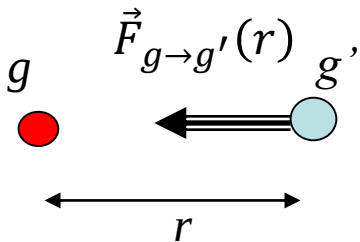
$$\epsilon_0 = 8.854187817 \times 10^{-12} \text{ F.m}^{-1}$$

Constante électrostatique
dite « permittivité du
vide »

L'interaction forte

certaines particules (quarks et hadrons [protons, neutrons]) possèdent une propriété intrinsèque fondamentale appelée charge forte. D'où il résulte une interaction forte attractive entre ces particules.

Heisenberg, Yukawa 1930



$$\vec{F}_{g \rightarrow g'}(r) = - \left(\frac{1}{\lambda} + \frac{1}{r} \right) \cdot \frac{g g'}{r} \exp \left(-\frac{r}{\lambda} \right) \vec{u}_r$$

**Interaction
responsable
de la cohésion
des atomes**

$\lambda = 1.3 \times 10^{-15} \text{ m}$: mesure la portée de l'interaction

L'interaction faible

De portée encore plus courte que pour l'interaction forte. Elle intervient dans la radioactivité β (désintégration du neutron).

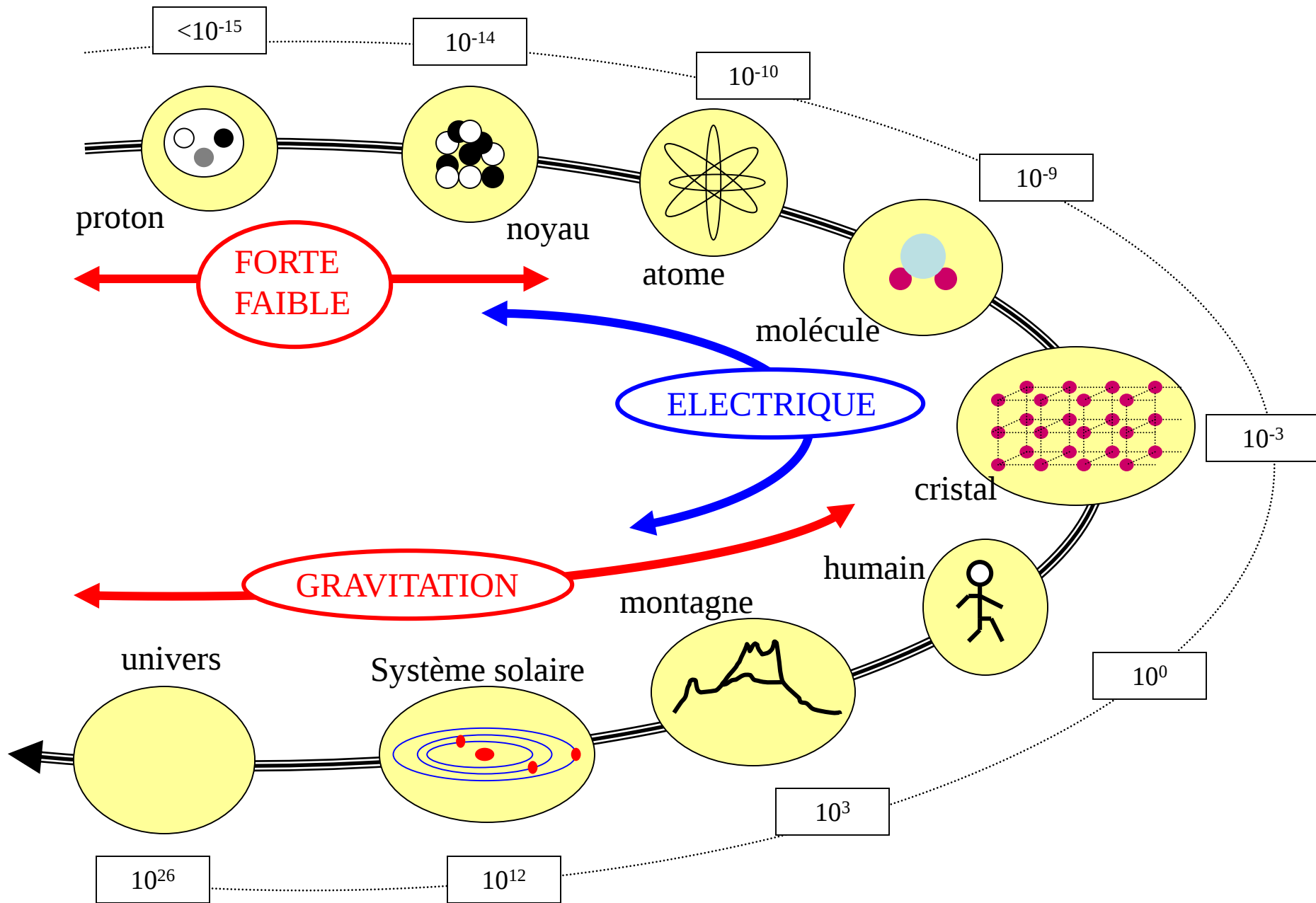
On ne peut écrire de force pour cette interaction qui est de nature plus subtile (interaction de type « courant »). Elle ne produit pas d'états liés entre les particules mais s'applique à toutes les particules



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

Fermi 1934

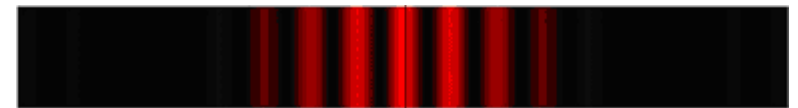
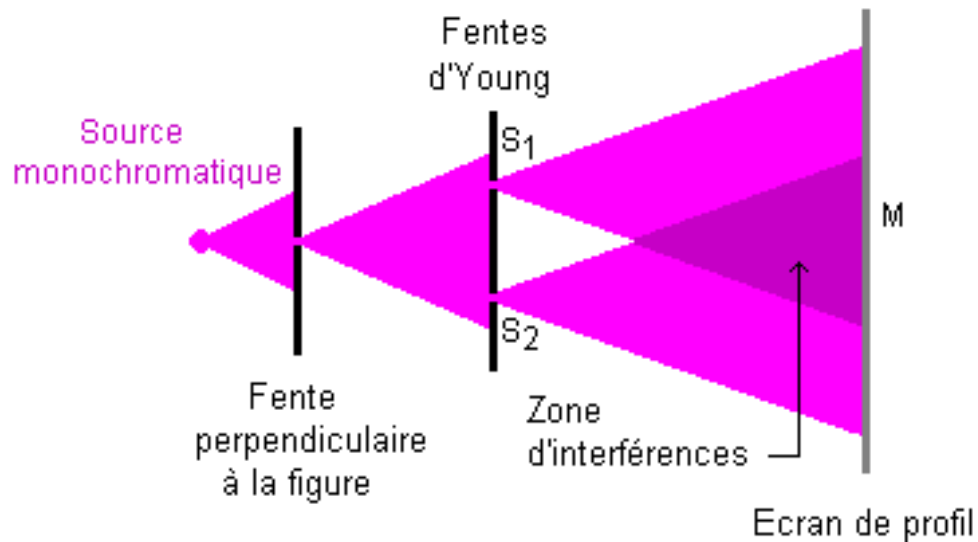
Glashow, Weinberg, Salam 1978



TROIS EXPERIENCES FONDAMENTALES

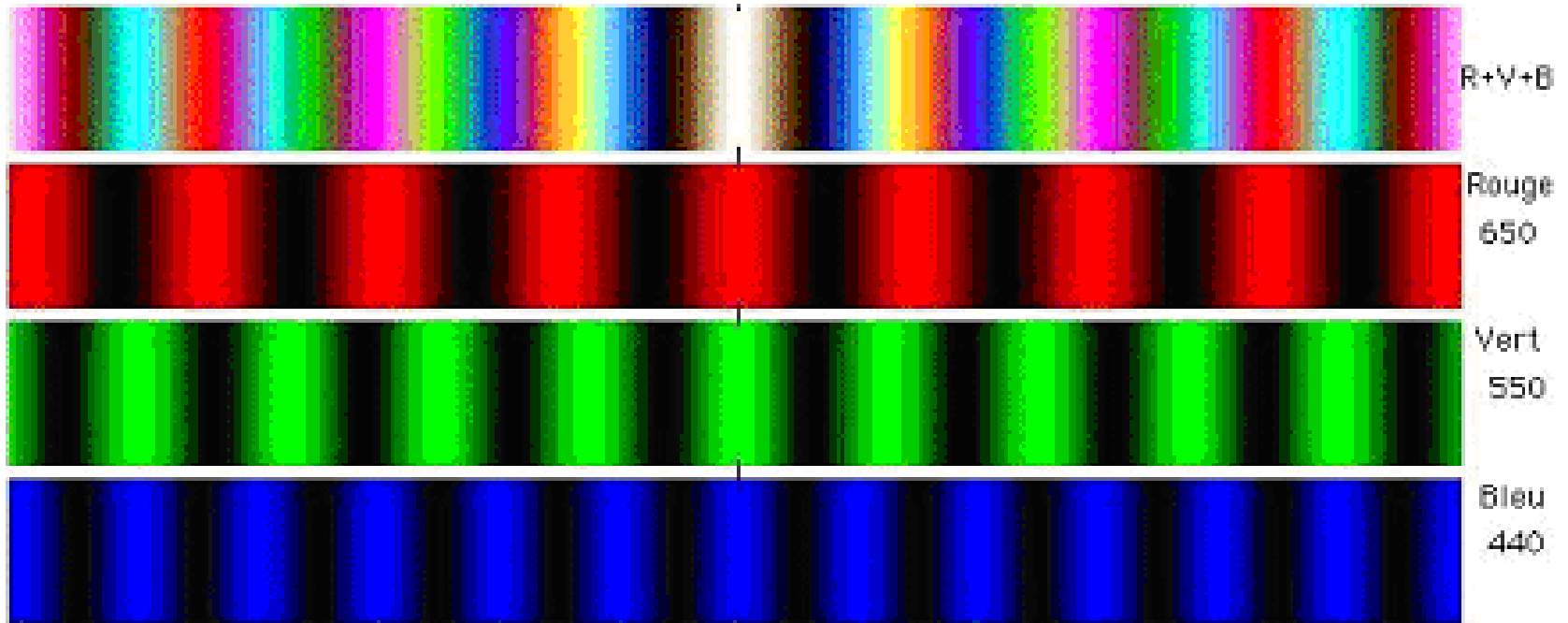
1. Les fentes de Young

Thomas Young (1773 – 1829)



INTERFÉRENCES

Observation en lumière blanche

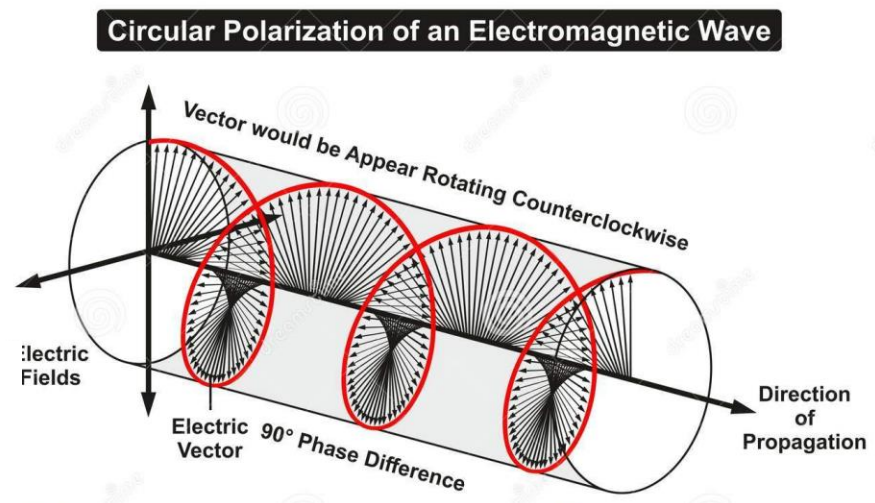
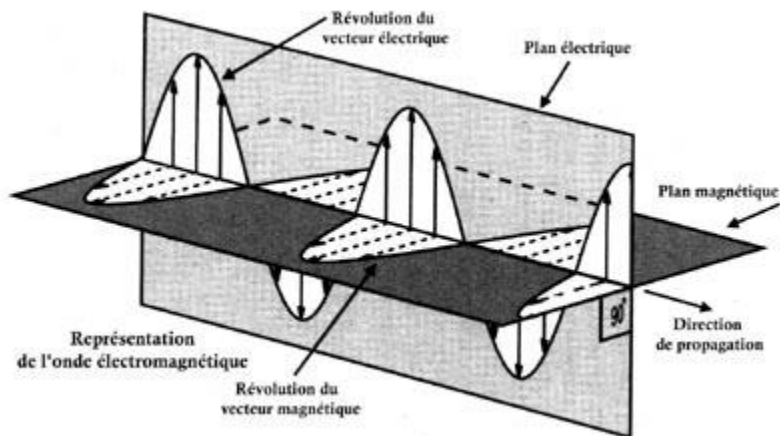


« Quand deux parts de la même lumière atteignent l'œil par deux chemins différents de direction très proches, l'intensité est maximum quand la différence des chemin parcourus est un multiple d'une certaine longueur, elle est minimum pour l'état intermédiaire »

Th. Young, Philosophical Transactions 1802

Théorie ondulatoire de la lumière

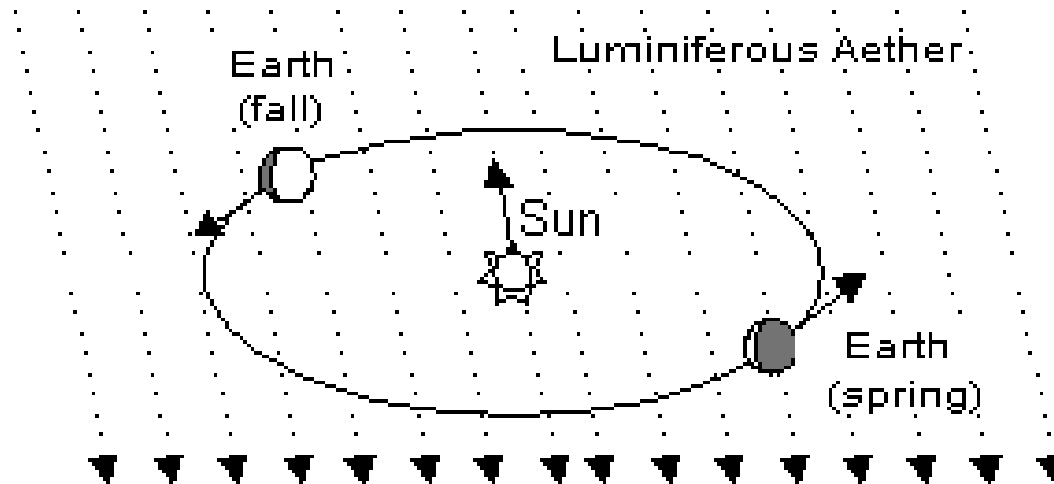
La lumière est une onde électromagnétique



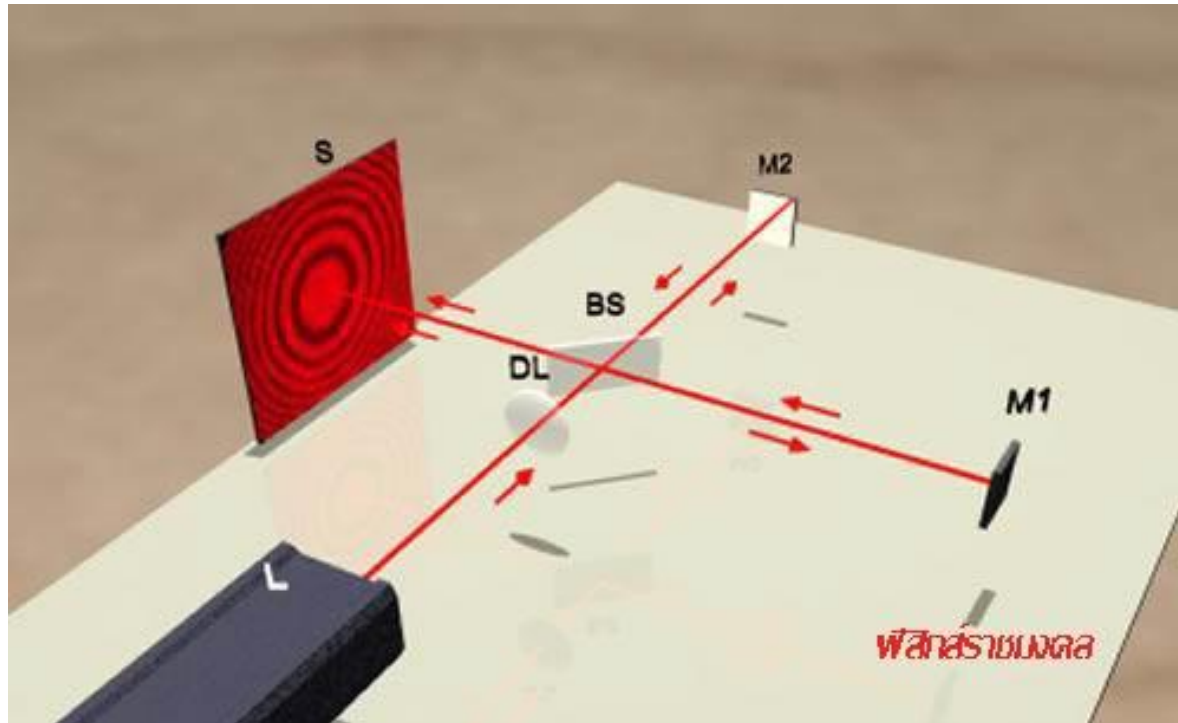
2. L'expérience de Michelson et Morley (1887)

Si la lumière est une onde : quel est son milieu de propagation ?

L'ETHER : milieu invisible qui baigne tout l'univers



Michelson et Morley (1887)



→ Si $V_{\text{terre/ether}} = 0$ pas d'interférences lorsque $L_{M1} = L_{M2}$

→ Si $V_{\text{terre/ether}} \neq 0$ interférences même si $L_{M1} = L_{M2}$ et de plus lorsque le dispositif est tourné $\Rightarrow$ vent d'éther différent $\Rightarrow$ système d'interférences différent

Résultats de l'expérience

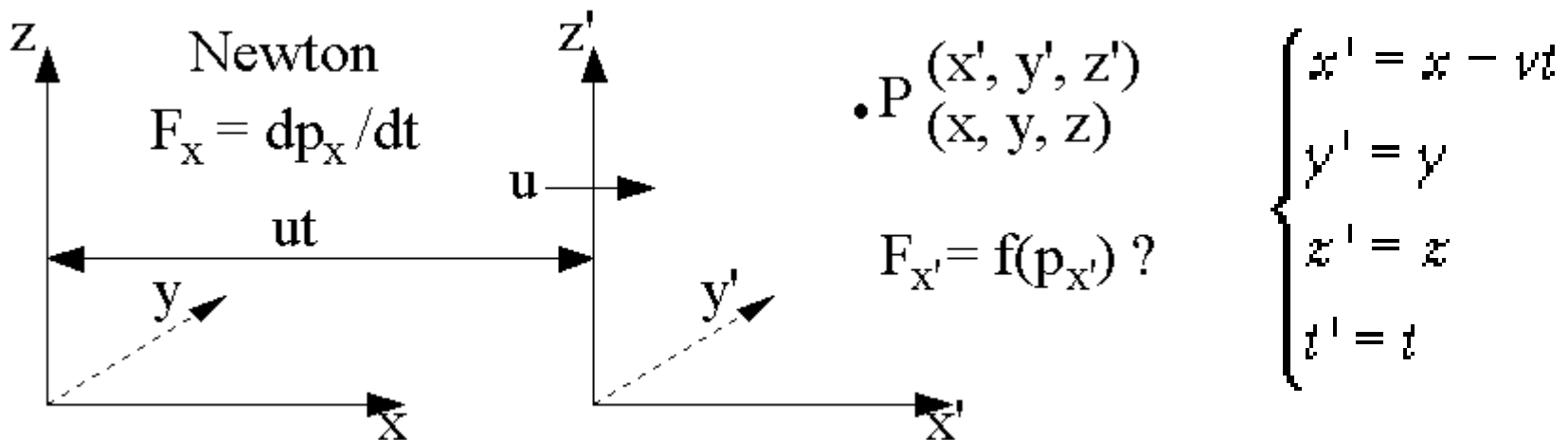
négatif : le système d'interférences observé est indépendant de la position de l'interféromètre par rapport à la direction de l'orbite terrestre autour du soleil ou de l'époque de l'année à laquelle l'expérience est effectuée. Et lorsque $L_{M1} = L_{M2}$, il n'y a pas d'interférences

Interprétation relativiste : L'Ether n'existe pas. La vitesse de la lumière, c , Est toujours la même, indépendamment de la vitesse de la source lumineuse. Cela viole la loi d'addition des vitesses déduite de la transformation de Galilée

+

Les lois de l'électrodynamique ne sont pas **invariantes** dans une transformation De Galilée

Transformation de Galilée :





Principe de relativité (restreinte) : les lois de la physique sont Invariantes par changement de référentiel galiléen

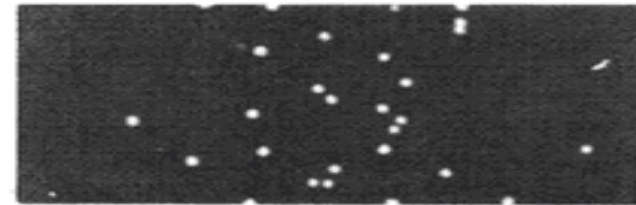
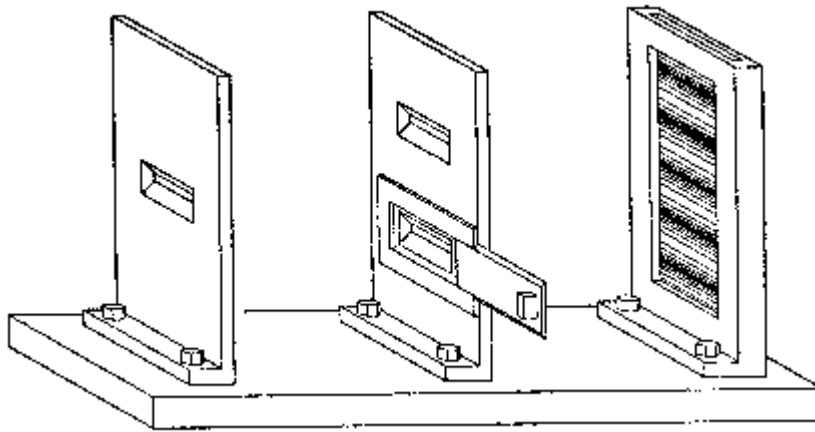


Transformation de Lorentz :

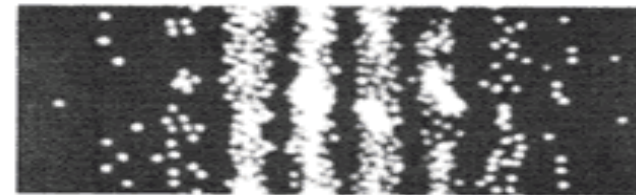
$$\begin{aligned}x' &= \frac{x - v_x t}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \\y' &= y \\z' &= z \\t' &= \frac{t - \frac{v x}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}\end{aligned}$$

Contraction des longueurs
Dilatation des temps

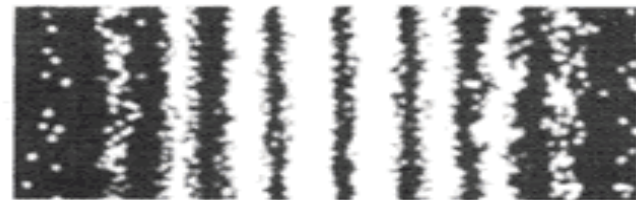
3. L'expérience des fentes de Young avec des Particules matérielles



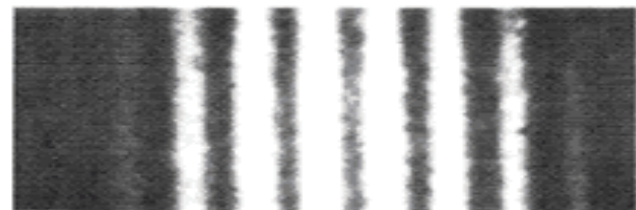
(a) After 28 electrons



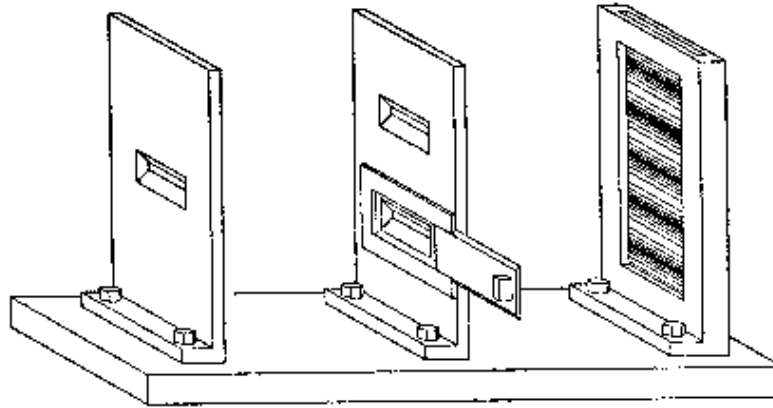
(b) After 1000 electrons



(c) After 10000 electrons



Par quel trou est passé l'électron ?



Mécanique ondulatoire

→ une longueur d'onde est affectée aux particules matérielles

$\lambda = h / p$ (Louis de Broglie 1921)

→ une « fonction d'onde » est associée aux particules matérielles qui permet de décrire les comportements possibles du système étudié (sous forme de probabilités). La transition du « possible » au « réel » a lieu pendant l'acte d'observation, dès que l'interaction de l'objet avec l'appareil de mesure est entrée en jeu

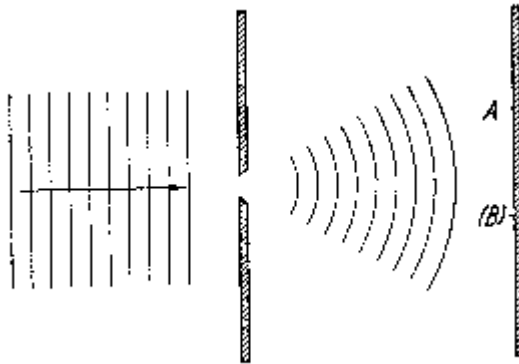
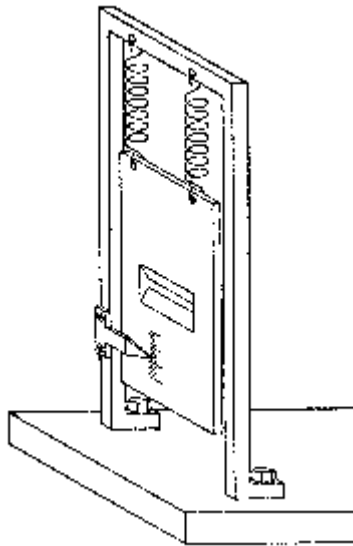


FIG. 1

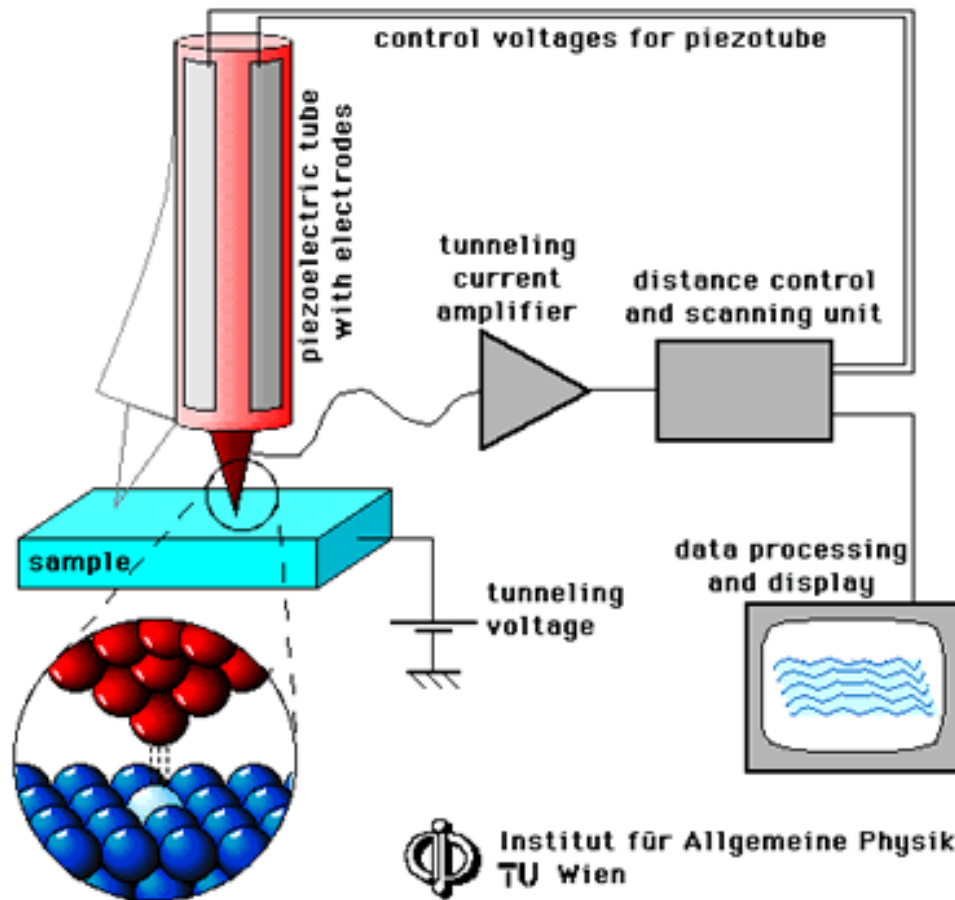


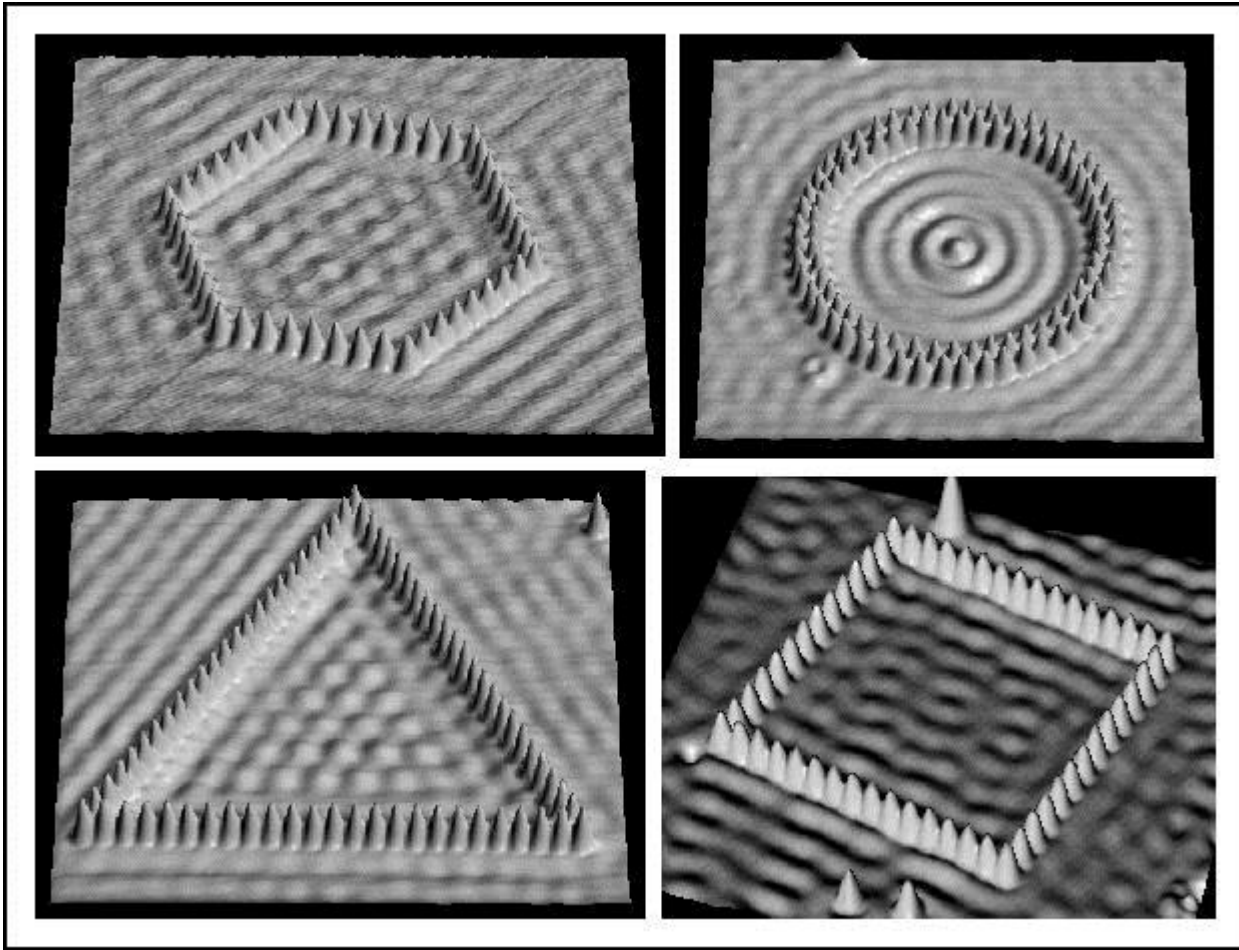
$$\Delta x. \Delta p \sim h \quad \Delta E. \Delta t \sim h$$

l'appareil de mesure qui sera destiné à une détermination suffisante de la quantité de Mouvement des particules lors de leur passage par le premier diaphragme, sera inefficace quant à l'observation du phénomène d'interférences.

Inversement, un appareil de mesure destiné à observer le phénomène d'interférences empêchera toute conclusion relative à la question de savoir par lequel des deux trous passent les particules.

Microscope à effet tunnel





Fe/Cu(111)

Physique et réalité ?

Abandon de la causalité - déterminisme ?

Problème de la séparabilité ?

Amplitudes de probabilités ?

Complétude de la mécanique quantique ?

Transition microscopique – macroscopique ?

Principe de superposition ?

Epistémologie de la complémentarité ?

Réviser nos attitudes sur la « réalité physique » ?

PHYSIQUE CLASSIQUE

DETERMINISME

MECANICISME

REDUCTIONNISME

SCIENTISME

PHYSIQUE ACTUELLE

Chaos, Transitions de phases, Phénomènes quantiques, Relativité spatio-temporelle

ENVIRONNEMENT

PROBABILISME

LA SOMME DES PARTIES
N'EST PAS LE TOUT

PHYSIQUE DU POSSIBLE

APPROCHE DU COMPLEXE