

Généralités sur la mécanique

I- Qu'est-ce que la physique?

Le mot **physique** vient d'un mot grec qui signifie **nature**, donc la physique est une science qui s'intéresse à l'étude des phénomènes naturels.

La physique étudie **la composition** et le **comportement de la matière** ainsi que **les interactions de la matière** avec l'environnement au niveau le plus fondamental. Elle fait intervenir un ensemble de mots qui ont une signification bien précise dans un contexte donné. Elle cherche à décrire le monde qui nous entoure à l'aide des **notions, des lois, des principes, des modèles et des théories**. Elle cherche aussi à prédire des phénomènes nouveaux, confronter les hypothèses à l'expérience et découvrir des dispositifs et des matériaux nouveaux.

Elle comprend deux grandes classes :

● La première, dite **physique classique (avant 1900)**, est constituée de trois branches :

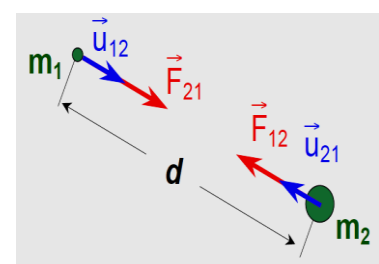
- ✦ La **mécanique newtonienne**, inventée par **Newton** vers **1666** et publiée en **1687** ; elle s'occupe de l'étude des mouvements des systèmes matériels ;
- ✦ La théorie du champ électromagnétique, développée par Maxwell en **1865** à partir du concept de champ introduit par Faraday, puis reformulée par Lorentz en **1895**. Cette théorie inclut l'optique ondulatoire comme cas particulier ;
- ✦ La thermodynamique, formalisée dans les années **1850** par Clausius, et une première version de la physique statistique : la théorie cinétique des gaz, développée par Maxwell et Boltzmann.

● La deuxième, dite **physique moderne (après 1900)** : fait référence à différents aspects de la **physique**, dépendamment du contexte:

- ✦ La physique fondée sur la **mécanique quantique**;
- ✦ La physique fondée sur la **théorie de la relativité**;
- ✦ La **physique atomique, la physique nucléaire, la physique des particules**;
- ✦ **L'astrophysique**
- ✦ etc

Dans la nature, nous connaissons (actuellement) **seulement quatre forces fondamentales** (dites aussi quatre d'interactions) :

i) L'interaction gravitationnelle (Décrite par Isaac Newton en 1687): Cette interaction (force) réciproque, toujours attractive, agit sur toute forme d'**énergie**, mais



avec une **intensité extrêmement faible** (c'est l'interaction la plus faible des quatre interactions fondamentales). Ainsi, ses effets ne sont perceptibles qu'entre les objets très **massifs** ; comme exemple : les objets astronomiques. La force de gravitation intervient pour expliquer la formation des planètes, des étoiles et des galaxies ainsi que leur mouvement.

La force exercée par la masse m_1 sur la masse m_2 est donnée par la relation :

$$\vec{F}_{12} = -G \frac{m_1 \times m_2}{d^2} \vec{u}_{12}$$

Avec G : Constante de gravitation universelle ($G = 6.67 \cdot 10^{-11}$ SI ($m^3 kg^{-1} s^{-2}$))

ii) L'interaction électromagnétique : C'est l'ensemble de deux interactions réciproques qu'exercent l'un sur l'autre deux systèmes chargés électriquement.

Il s'agit d'une force **répulsive ou attractive** qui agit sur les objets ayant une **charge électrique**.

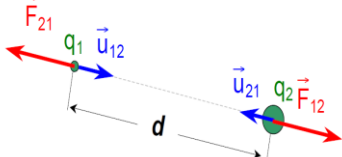
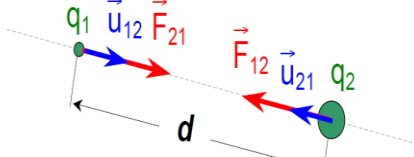
$$\vec{F}_{12} = k \frac{q_1 \times q_2}{d^2} \vec{u}_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{q_1 \times q_2}{d^2} \vec{u}_{12}$$

Avec : q_1 et q_2 : charges des particules

ϵ_0 : permittivité diélectrique du vide ($\epsilon_0 = 8,854 \times 10^{-12}$ F.m⁻¹)

d : distance entre particules

De ce fait, on distingue deux cas :

1 ^{er} cas : deux objets de charges électriques de même signe ($q_1 \cdot q_2 > 0$) se repoussent	2 ^{ème} cas : deux objets de charges électriques de signe opposé ($q_1 \cdot q_2 < 0$) s'attirent.
 <p style="text-align: center;"><i>Interaction répulsive</i></p>	 <p style="text-align: center;"><i>Interaction attractive</i></p>

Comparaison entre interactions gravitationnelle et électromagnétique: Exemples

✳ **deux protons séparés de 1 m**

$m_p = 1.672 \cdot 10^{-27}$ kg

$e = 1.602 \cdot 10^{-19}$ C

$F_g = 1.86 \cdot 10^{-64}$ N

$F_e = 2.31 \cdot 10^{-28}$ N

$F_e / F_g \approx 10^{36}$

⇒ Interaction électromagnétique prédominante

✳ **Interactions entre galaxies**

Les galaxies sont des objets globalement neutres

⇒ C'est l'interaction gravitationnelle qui prédomine

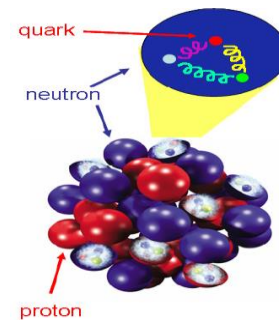
iii) L'interaction forte : Exclusivement attractive, cette force agit sur les **quarks** (constituants élémentaires des **protons** et **neutrons**).

✦ C'est la plus intense des interactions mais son rayon d'action est très limité ($2.5 \cdot 10^{-15} \text{ m}$).

✦ La force forte est responsable de la cohésion des nucléons (protons et neutrons) au sein du noyau de l'atome.

✦ Elle domine les forces de répulsion électrostatique entre protons et rapproche neutrons et protons.

✦ Si cette interaction n'existait pas, les noyaux ne pourraient pas être stables et seraient dissociés sous l'effet de la répulsion électrostatique des protons entre eux.



iv) L'interaction faible : Elle agit sur toutes les particules et est responsable de la **radioactivité β** (émission d' e^- et de e^+ par certains isotopes instables).

La plupart des objets étudiés par les physiciens sont en mouvement : depuis les particules élémentaires telles que les électrons, les protons et les neutrons qui constituent les atomes, jusqu'aux galaxies, en passant par les objets usuels et les corps célestes. On ne peut espérer bien comprendre comment fonctionne la nature que si l'on est capable de définir clairement le mouvement et de le mesurer. La branche de la physique qui étudie les mouvements s'appelle la mécanique.

II – La mécanique et sa place dans la physique

1- Définition

La **mécanique** («l'art de construire une machine») est une branche de la physique, dont l'objet est l'étude du mouvement, des déformations ou des états d'équilibre des systèmes physiques.

2- Les différents axes de mécanique

Les quatre « royaumes » de la mécanique.

📖 **Mécanique classique (Galilée, Huygens, Newton...)**

Elle contient principalement:

- **La mécanique du point :** L'étude de tous les corps qui peuvent se ramener à un point.

- **La mécanique des solides :** L'étude des corps solides indéformables qui sont massifs et constitués d'un ensemble de points matériels chacun ayant sa propre masse.

- **La mécanique des fluides** : Les corps étudiés peuvent ne pas être solides mais fluides. On peut ainsi étudier le mouvement des fluides.

Exemples :

a- l'écoulement d'eau dans une conduite ;

b- la vitesse d'aspiration de l'air dans une conduite de cheminée.

Mécanique relativiste (Einstein)

La mécanique classique (ou mécanique Newtonienne) s'est révélée incomplète au début du **XX^{ème}** siècle. Elle fonctionne très bien pour décrire les phénomènes de la vie « quotidienne » mais pour des objets à très grande vitesse (proche de celle de la lumière), elle est incorrecte et doit être remplacée par **la mécanique relativiste** (restreinte et/ou générale).

Mécanique quantique (Bohr, Heisenberg, Schrödinger, ...)

Pour des objets extrêmement petits (les électrons, les protons dans la matière nucléaire (les atomes, molécules...) ou même la matière condensée ("physique du solide")), ni la mécanique classique ni relativiste peut intervenir (pour diverses raisons), dans ce cas, il faut faire appel à la physique quantique, c'est le domaine de **la mécanique quantique**.

Théorie quantique des champs (Dirac, Pauli, Schwinger, Tomonaga, ...)

Pour décrire des objets à la fois rapides et petits (comme c'est le cas dans l'étude des particules élémentaires), il faut une mécanique à la fois relativiste et quantique : c'est la mécanique quantique relativiste ou, de façon plus correcte, **la théorie quantique des champs** (élaborée dans les années **1930-1950**).

Quelques dates

⇒ **XVII^{ème} Siècle**

-**1638** : Galilée publie "discours et démonstrations, deux sciences nouvelles", ouvrage dans lequel il aborde les problèmes de résistance des matériaux et de mouvement des corps pesant notamment, en définissant mathématiquement la vitesse et l'accélération ;

-**1657** : Huygens met au point la première horloge à balancier, ainsi que la première montre à balancier et ressort spiral ;

-**1687** : Newton publie "Principes mathématiques de philosophie naturelle", ouvrage capital qui est le fondement de la mécanique classique : notions de force, d'accélération, de gravitation etc...

Enfin aux XVIII^{ème} et XIX^{ème} siècles, des savants tels que d'Alembert, Lagrange, Coriolis et d'autres, formalisent la théorie pour l'amener à la théorie classique telle qu'on la connaît aujourd'hui.

Les développements de la recherche actuelle en mécanique classique s'appuient toujours sur les mêmes équations fondamentales; toutefois les problèmes étudiés sont plus complexes, comme par exemple les vibrations dans des solides (voitures), les corps sont plus complexes comme les problèmes de corps déformables, la mécanique des fluides (turbulences par exemple) ; on peut citer aussi les études sur les résistances des matériaux. Ce ne sont là que quelques exemples, mais les équations fondamentales ne sont pas remises en cause.

⇒ Début du XX^{ème} siècle

- **1905** : Einstein publie la théorie de la relativité restreinte (sans oublier les travaux précurseurs de Poincaré et Lorentz). C'est la remise en cause de la mécanique de Newton (la vitesse de la lumière est constante, le temps n'est plus absolu, concept d'espace - temps...).

- **1916** : Einstein publie la théorie de la relativité générale. Les objets massifs déforment l'espace-temps, explication géométrique de la gravité.

⇒ De 1900 à 1930

Elaboration de la mécanique quantique (Shrödinger, Heisenberg, Bohr, De Broglie...), remise en cause de la notion de vitesse et de position, description des particules en termes de probabilité de présence.

⇒ De 1930 à 1950

Elaboration d'une mécanique quantique et relativiste par Dirac, Pauli, Feynman, Schwinger, Tomonaga....

La **mécanique quantique relativiste** est une théorie qui tente d'unifier les postulats de la mécanique quantique non-relativiste et le principe de relativité restreinte afin de décrire la dynamique quantique d'une particule relativiste, dont la vitesse classique n'est pas très petite devant la vitesse de la lumière dans le vide.