

Présentation pédagogique

L'objectif de cette unité d'enseignement est de présenter quelques concepts majeurs de la physique théorique ainsi que les notions mathématiques qui en permettent la formalisation. Un des concepts centraux, fil directeur de ce cours, est celui de *symétrie* et son corollaire *les lois de conservations*. La notion de symétrie est *universelle* puisqu'on la retrouve dans toutes les sous-disciplines de la Physique : mécanique classique, mécanique quantique, mécanique statistique, électromagnétisme, physique des milieux continus, etc. Elle tient, de plus, une place fondamentale dans la formalisation des interactions fondamentales : interaction forte, faible, électromagnétique et gravitation via la notion de *symétrie* ou d'*invariance de jauge*.

Dans la première partie du cours nous nous proposons d'exposer le formalisme de la *mécanique analytique*. Il s'agit d'un formalisme alternatif à celui de la mécanique newtonienne. Il est à la fois plus général et plus adapté à la mise en évidence et à l'exploitation des symétries d'un système ou d'une théorie. Il permet notamment d'établir un lien direct et explicite entre symétries et lois de conservation. Nous introduirons les différentes formalisations de la mécanique analytique et montrerons leur utilité vis-à-vis de telle ou telle sous-discipline de la physique : mécanique quantique, mécanique statistique et théorie classique ou quantique des champs. Nous introduirons enfin la notion d'*Intégrale de Chemin* de Feynman. Il s'agit d'une formulation extrêmement élégante et puissante de la mécanique quantique, alternative à celle basée sur la notion d'opérateur, et qui découle directement du formalisme de la mécanique analytique. Elle est de première importance au sein de la formulation relativiste de la mécanique quantique, appelée Théorie quantique des champs, ou de la mécanique statistique.

Dans une seconde partie nous discuterons plus directement et plus précisément de la notion de symétrie et nous présenterons les outils mathématiques nécessaires à sa formalisation. Le concept mathématique central est celui de *groupe*. Nous verrons sa définition précise et ses propriétés mais l'objet principal de cette partie sera d'aborder des notions mathématiques qui seront directement pertinentes en Physique et, en particulier, en *mécanique quantique* et en *relativité*. Nous aborderons enfin une notion extrêmement fertile en Physique, celle de *brisure spontanée de symétrie*. Il s'agit de nouveau d'une notion universelle puisqu'elle intervient en physique *statistique* (notamment dans l'étude du magnétisme), en physique de la *matière condensée* (supraconductivité, superfluidité) en physique *des particules élémentaires* (unification des interactions fondamentales) ou encore en *cosmologie*.

Prérequis

Mécanique quantique de S5. Notions élémentaires de Physique Statistique.

Mathématiques pour physiciens. On insiste sur le fait qu'un minimum de dextérité dans la conduite des calculs est nécessaire pour suivre l'UE dans de bonnes conditions.

Thèmes abordés

- **Calcul tensoriel** : convention d'Einstein. Vecteur. Tenseur. Produit tensoriel. Composantes covariantes et contravariantes.
- **Mécanique analytique** : mécanique lagrangienne. Symétries et invariances. Théorème de Noether. Mécanique hamiltonienne. Formalisme des crochets de Poisson. Théorème de Liouville. Equations de Hamilton-Jacobi - lien avec la mécanique quantique. Principe et calcul variationnels. Equation d'Euler-Lagrange. Intégrale de chemin de Feynman.
- **Généralités sur les symétries** : Symétries discrètes, continues. Symétries globales, locales. Symétries

géométriques, dynamiques.

- Notion de groupe. Groupe discret, groupe continu. Groupe et algèbre de Lie. Représentation d'un groupe. Groupe des translations, groupe des rotations à deux et trois dimensions. Moment cinétique, spin. Groupe de Galilée, groupe de Lorentz.
- Notion de brisure spontanée de symétrie. Illustration dans le cadre du magnétisme. Notion de brisure de symétrie en physique des particules. Phénomène de Higgs.

Acquis attendus à l'issue de l'UE

Compréhension et maîtrise technique :

- des différentes formalisations de la mécanique analytique ;
- de la notion de symétrie, de groupe de symétrie ;
- de la notion de brisure de symétrie.

Compréhension d'un article scientifique et des notions physiques ou mathématiques qui y sont attachées.

Informations pratiques

Crédits

6 ECTS

Période d'enseignement :

2^{ème} semestre de L3 (S6)

Enseignement à distance :

Oui

Enseignement en présentiel :

Oui

Volume horaire et implication :

CM : 24h

TD : 32h

Projet bibliographique

Contact

Enseignant

Dominique MOUHANNA