



# Les Samedis de la Physique à Bruxelles

## Programme 2022-2023

SaPhyBru vous propose 4 modules pour l'année académique 2022-2023 :

### **Module 1 : Méthodes fonctionnelles et topologie en physique quantique**

#### **Partie A : Tracer un chemin de Newton à Feynman : l'intégrale fonctionnelle en mécanique quantique**

(3 samedis), par Jan Govaerts (professeur à l'UCLouvain)

- Rappel du formalisme canonique de la mécanique classique.
- Rappel de la quantification canonique (espace de configuration de topologie triviale).
- Sur base des représentations de l'algèbre de Heisenberg, construction de représentations (fonctionnelles) intégrales (des chemins) dans l'espace de configuration ; dans l'espace conjugué ; dans l'espace de phase par états cohérents canoniques.
- Éventuellement : représentation fonctionnelle pour un champ scalaire réel relativiste quantique (en prévision de la partie C).
- Intégrale fonctionnelle pour un espace de configuration de topologie non triviale (groupe fondamental non trivial), avec ses degrés de liberté topologiques purement quantiques comme représentations  $U(1)$  du groupe fondamental de l'espace de configuration, et de l'algèbre de Heisenberg (transformations de jauge  $U(1)$ , en prévision de la partie B).
- À titre d'illustration : Le cas de la particule massive non relativiste libre sur un cercle, avec les classes d'homotopies de ses chemins classiques.
- Exemples d'évaluations d'intégrales fonctionnelles en mécanique quantique.
- Éventuellement : L'intégrale fonctionnelle en physique statistique.

#### **Partie B : Dualité électromagnétique et monopôle de Dirac**

(3 samedis), par Clémentine Dassy (Doctorante à l'UCLouvain)

- Rappels de la physique des équations de Maxwell classiques dans leurs formes différentielles et intégrales, avec les théorèmes mathématiques (de Stokes, Gauss, etc.) correspondants.
- Dualité électrique-magnétique des équations de Maxwell, en présence de sources et de densités de courant électriques et magnétiques.
- Mention d'un formalisme Lagrangien manifestement covariant de Poincaré et invariant dual tout à la fois.
- Construction du potentiel vecteur du monopôle de Dirac avec la corde de singularité de Dirac, et ses transformations sous transformations de jauge  $U(1)$ .
- Condition de quantification de la charge magnétique en mécanique quantique.
- Trajectoires classiques d'un dyon dans le champ électromagnétique statique d'un dyon (curiosité dynamique qui généralise le problème de Coulomb-Kepler, et qui mériterait d'être mieux connue).
- ... Et la physique dans tout cela ? Considérations observationnelles/expérimentales sur l'existence/les limites/les contributions de monopôles magnétiques dans divers domaines.

#### **Partie C : Méthodes fonctionnelles en Théorie Quantique des Champs Relativistes**

(3 samedis), par Yannis Georis (Doctorant à l'UCLouvain)

- Un rappel des "motivations", de la nécessité de recourir à des champs quantiques relativistes, notamment pour prendre en compte la création et l'annihilation de particules quantiques relativistes qui n'est pas possible en mécanique quantique seule.
- Un rappel portant sur la quantification canonique pour introduire la matrice S.
- Le lien entre la matrice S et les fonctions de corrélation de produits chronologiques de champs (time ordered products) via la réduction LSZ.
- Calcul de ces fonctions de corrélation sans utiliser directement les règles de Feynman : introduction de l'intégrale fonctionnelle en théorie quantique des champs. Justification de l'utilité de cette nouvelle représentation.
- Application de l'intégrale des chemins pour des champs scalaires relativistes. A travers celle-ci, on introduit la notion de déterminant fonctionnel, de dérivée fonctionnelle, de fonction génératrice des fonctions à N points, et des "1 PI diagrams".
- Théorie des perturbations par intégrale fonctionnelle. Le lien entre celle-ci et les diagrammes et règles de Feynman (si le temps le permet).
- Extension aux champs fermioniques par variables de Grassmann impaires (si le temps le permet).

## **Module 2 : Théories et champs de jauge & Symétrie brisée**

(2 samedis), par Fabian Watermans (SaPhyBru)

1. Théories et champs de jauge :
  - Qu'est-ce qu'un champ de Jauge
  - La plus simple des théories de Jauge : l'électromagnétisme
  - Électromagnétisme et photon en QFT
2. Symétrie brisée :
  - Théorie de Landau
  - Lagrangien et symétrie brisée
  - Briser une symétrie continue et bosons de Goldstone
  - Symétrie brisée en théorie de Jauge et mécanisme de BEH

## **Module 3 : Introduction à la TQC à température finie et à l'effet Casimir**

(4 samedis), par Glenn Barnich (professeur à l'ULB)

1. Fonction de partition pour un champ scalaire sans masse.
2. Rayonnement du corps noir.
3. Représentation par intégrale de chemin de la fonction de partition.
4. Expansion semi-classique de la fonction de partition.
5. Effet Casimir pour le champ scalaire.
6. Effet Casimir électromagnétique.

## **Module 4 : La mécanique statistique loin de l'équilibre**

(3 samedis), par Pierre Gaspard (professeur à l'ULB)

1. Thermodynamique, mécanique statistique et processus stochastiques :
  - Description de la matière aux échelles microscopique, mésoscopique et macroscopique.
  - Thermodynamique et hydrodynamique à l'échelle macroscopique (production d'entropie).

- Les mécaniques classique et quantique à l'échelle microscopique (atomes et molécules).
  - Mouvement brownien et processus stochastiques à l'échelle mésoscopique (équation maîtresse).
2. Les systèmes de non-équilibre en physique, chimie et biologie :
- Processus de relaxation vers l'équilibre (équation de Boltzmann et théorème H).
  - Systèmes entraînés hors d'équilibre par forçage extérieur dépendant du temps.
  - Systèmes maintenus hors d'équilibre par contact avec des réservoirs de chaleur et/ou de matière.
  - Couplage entre processus irréversibles (thermoélectricité, thermophorèse, diffusiophorèse).
  - Exemples de systèmes de non-équilibre : circuits électroniques, réactions, moteurs moléculaires, réplication de l'ADN, particules colloïdales actives.
  - Théorème de fluctuation-dissipation dans les régimes proches de l'équilibre et microréversibilité.
  - Théorème de fluctuations dans les régimes éloignés de l'équilibre.
3. Auto-organisation, chaos, turbulence et autres phénomènes fort loin de l'équilibre :
- Structures dissipatives et dynamiques oscillantes loin de l'équilibre.
  - Le chaos dans les dynamiques dissipatives (attracteurs étranges et fractales).
  - Les structures fractales de croissance.
  - La turbulence développée dans les fluides.
  - Les systèmes auto-gravitants.
  - Les processus à hautes et très hautes énergies.