

Bilan PEPS 2016

Unitaires

Théories unitaires de la gravitation et de l'électromagnétisme

Participants :

M4 - A2MI - CLCS - EMPP - (CPM)

IJL - IECL - AHP - LEMTA - (LPCT)

31 mai 2018

- 1 Le contexte et les acteurs
- 2 Notre questionnement et les moyens pour y répondre
- 3 Production scientifique
- 4 Perspectives

Physique de la 1ère moitié du XXème siècle

MQ vs RELATIVITÉ

LA QUESTION posée par le physicien :

Etant donnée la situation actuelle, que va-t-il se passer plus tard ?

Pour y répondre :

Equation d'évolution qui détermine la dynamique des **objets mathématiques** de la théorie

ex.

$$i\hbar \frac{d}{dt} |\psi\rangle = \dots$$

RELATIVITE GÉNÉRALE, 1915

Théorie de la gravitation (infiniment grand) qui décrit l'espace-temps comme des degrés de liberté soumis à une équation d'évolution, à une dynamique (équations d'Einstein) $\rightsquigarrow$ **GÉOMÉTRIE**.

Pour mesurer des durées, distances, vitesses le long de courbes, etc, les objets mathématiques de base de la théorie :

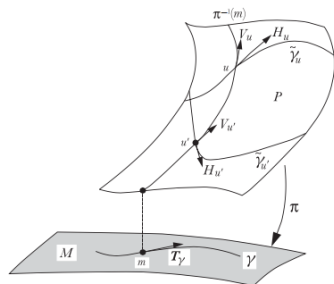
Métrique, g - connexion, Γ

L'idée-force des théories unitaires : exploiter les libertés laissées dans la définition de ces objets pour aller au-delà de la gravitation et incorporer "géométriquement" l'électromagnétisme (seule autre interaction connue en 1915).

MÉCANIQUE QUANTIQUE, 1923

La MQ (théorie de l'infiniment petit) introduit des objets mathématiques vivant dans un espace abstrait pour décrire les objets physiques (fonction d'onde) à l'aide d'une équation d'évolution (de Schrödinger). C'est aussi une forme de géométrie définie par des vecteurs, un produit scalaire, etc.

L'idée-force des théories de jauge : exploiter les libertés laissées dans la définition de ces objets pour aller au-delà de la particule libre et incorporer "géométriquement" (i.e. au moyen d'une connection) l'électromagnétisme et les interactions faible et forte (qui seront découvertes vers 1930).



Les acteurs

	Gravitation	Hautes énergies	Mathématiques
.			
.			Christoffel, Ricci
1915	Einstein, Hilbert		
1917			Levi-Civita
1918	Weyl		Weyl
1919	Kaluza		
1921	Pauli, Klein		Cartan
1923	Weitzenbock		
...	Einstein, Eddington, Schrödinger		
1928		Weyl	
1941		Pauli	
1950			Ehresmann
1955	Tonnelat, Lichnerowicz	Yang-Mills	
1956	Utiyama	Utiyama	
1958	Pauli		
1958		Pauli	
1961	Kibble		
1966	Sciama		
1964		Higgs, etc	
1966		Weinberg	
...		Modèle standard	
1975		Wu et Yang	
1977			Atiyah, Singer
		:	:

- 1 Le contexte et les acteurs
- 2 Notre questionnement et les moyens pour y répondre**
- 3 Production scientifique
- 4 Perspectives

Les actrices : la symétrie et E. Noether

La notion de symétrie est au cœur des deux types d'approches. On peut voir une symétrie comme liée à une transformation (ex symétrie miroir). Un objet possède une symétrie quand il reste inchangé par l'action de la transformation de symétrie. La symétrie est alors une liberté de la théorie.

Au contraire, demander qu'une théorie possède une symétrie est une contrainte imposée à la forme de la théorie.

La Relativité générale incorpore l'interaction gravitationnelle à partir de la liberté par changement de référentiel et du mouvement libre dans un référentiel accéléré.

Les théories de jauge incorporent les 3 interactions du modèle standard à partir de la liberté par changement de jauge et du problème de la particule libre.

Question :

Dans quelle mesure les théories de la gravitation peuvent être comprises comme des théories de jauge (au-delà du désaccord entre physiciens et mathématiciens) ?

Lecture des sources primaires

Identification des articles de Weyl 1918, 1929 et de la monographie de Pauli 1921, 1956

Weyl H., *Gravitation und Elektrizität*, Sitzbe. Preuss Akad. Wiss. 465 (1918)
[English translations : *Gravitation and Electricity*, appeared in *The Principle of Relativity*, reprinted as Dover Publications in 1952]

Weyl H., *Elektron und Gravitation. I.*, Zeit. für Physik 56, 330 (1929) [An English translation *Electron and gravitation* appeared in O'Raiheartaigh, *The dawn of gauge theory* (1997)]

Pauli W., *Relativitätstheorie*, Springer, 2000

Pauli W., *Theory of Relativity*, Pergamon Press, 1958

- 1 Le contexte et les acteurs
- 2 Notre questionnement et les moyens pour y répondre
- 3 Production scientifique**
- 4 Perspectives

Séminaires

- F. Chargois, La théorie des fibrés, 3 séminaires
- D. Malterre, Groupe de Lorentz et équation de Dirac
- R. Leone, L'article de Weyl de 1918
- B. Berche, La théorie de Mie
- B. Berche, Les théories de jauge vues par un physicien
- D. Malterre, Le paradoxe de Selleri
- B. Berche, Théories classiques de champs en espace-temps courbe
- A. Genestier, La connection de Koszul
- A. Genestier, Présentation algébique de certains passages de Weyl
- R. Leone, L'article de Weyl de 1929

Colloque Cathy Dufour 2016 : Symétries, invariances et classifications

- Raphaël Leone, Des symétries continues aux théorèmes de Noether
- Alain Genestier, Les avatars du problème de classification

Publications

On the wonderfulness of Noether's theorems, 100 years later, and Routh reduction, Léone R. ArXiv : arxiv/1804.01714

Li(e)nearity, Léone R., Haas F. ArXiv : arxiv/1612.04435

Classical Noether theory with application to the linearly damped particle, Léone R., Gourieux T. Eur. J. Phys. 36 (2015) 065022

Traduction et annotation de la monographie de Pauli

Partie V. Théories sur la nature des particules élémentaires chargées (38 pages)

- 1 Le contexte et les acteurs
- 2 Notre questionnement et les moyens pour y répondre
- 3 Production scientifique
- 4 Perspectives**

Les perspectives sont évidentes : dans un premier temps la mise en ligne de la traduction de la partie V. du Pauli, puis la poursuite de cette traduction.

Thèse de R. Léone, [Connexions, jauge et torsions. Contribution à l'histoire des théories de la gravitation au XXème siècle](#), 2020.