

# 8.701

Introduction to Nuclear  
and Particle Physics

Markus Klute - MIT

2. Symmetries

2.1 Introduction



# Importance of Symmetries

— — —

Symmetries and conservation laws are central to the development of the Standard Model of particle physics.

## **Noether's theorem:**

(informal) If a system has a continuous symmetry property, then there are corresponding properties whose values do not change with time.

(more sophisticated) To every differentiable symmetry generated by local action there corresponds a conserved current

# Emmy Noether

— — —  
1882-1935

Erlangen

Göttingen

Bryn Mawr

Princeton



## Invariante Variationsprobleme.

(F. Klein zum fünfzigjährigen Doktorjubiläum.)

Von

**Emmy Noether** in Göttingen.

Vorgelegt von F. Klein in der Sitzung vom 26. Juli 1918<sup>1)</sup>.

Es handelt sich um Variationsprobleme, die eine kontinuierliche Gruppe (im Lieschen Sinne) gestatten; die daraus sich ergebenden Folgerungen für die zugehörigen Differentialgleichungen finden ihren allgemeinsten Ausdruck in den in § 1 formulierten, in den folgenden Paragraphen bewiesenen Sätzen. Über diese aus Variationsproblemen entspringenden Differentialgleichungen lassen sich viel präzisere Aussagen machen als über beliebige, eine Gruppe gestattende Differentialgleichungen, die den Gegenstand der Lieschen Untersuchungen bilden. Das folgende beruht also auf einer Verbindung der Methoden der formalen Variationsrechnung mit denen der Lieschen Gruppentheorie. Für spezielle Gruppen und Variationsprobleme ist diese Verbindung der Methoden nicht neu; ich erwähne Hamel und Herglotz für spezielle endliche, Lorentz und seine Schüler (z. B. Fokker), Weyl und Klein für spezielle unendliche Gruppen<sup>2)</sup>. Insbesondere sind die zweite Kleinsche Note und die vorliegenden Ausführungen gegenseitig durch einander beein-

1) Die endgültige Fassung des Manuskriptes wurde erst Ende September eingereicht.

2) Hamel: Math. Ann. Bd. 59 und Zeitschrift f. Math. u. Phys. Bd. 50. Herglotz: Ann. d. Phys. (4) Bd. 36, bes. § 9, S. 511. Fokker, Verslag d. Amsterdamer Akad., 27./1. 1917. Für die weitere Literatur vergl. die zweite Note von Klein: Göttinger Nachrichten 19. Juli 1918.

In einer eben erschienenen Arbeit von Kneser (Math. Zeitschrift Bd. 2) handelt es sich um Aufstellung von Invarianten nach ähnlicher Methode.

Kgl. Ges. d. Wiss. Nachrichten. Math.-phys. Klasse, 1918, Heft 2.

This image is in the public domain.

This image is in the public domain.

# Symmetries and Conservation Laws

---

Symmetry		Conservation law
Translation in time	↔	Energy
Translation in space	↔	Momentum
Rotation	↔	Angular momentum
Gauge transformation	↔	Charge

© Source unknown. All rights reserved. This content is excluded from our Creative Commons license. For more information, see <https://ocw.mit.edu/fairuse>.

Noether's Theorem: Symmetries ↔ Conservation laws

# Symmetry Operations

---

Identity:            there is an element  $I$   $R_i = R_i I = R_i$

Closure:            if  $R_i$  and  $R_j$  are in a set, then there exists  $R_k = R_i R_j$

Inverse:            for every element, there is an inverse  $R_i R_i^{-1} = I$

Associativity:       $R_i (R_j R_i) = (R_i R_j) R_k$

Abelian  $R_j R_i = R_i R_j$  and non-Abelian  $R_j R_i \neq R_i R_j$  groups

MIT OpenCourseWare  
<https://ocw.mit.edu>

8.701 Introduction to Nuclear and Particle Physics  
Fall 2020

For information about citing these materials or our Terms of Use, visit: <https://ocw.mit.edu/terms>.