

# Simetrías del Espaciotiempo y Estados Físicos

Bernardo Araneda

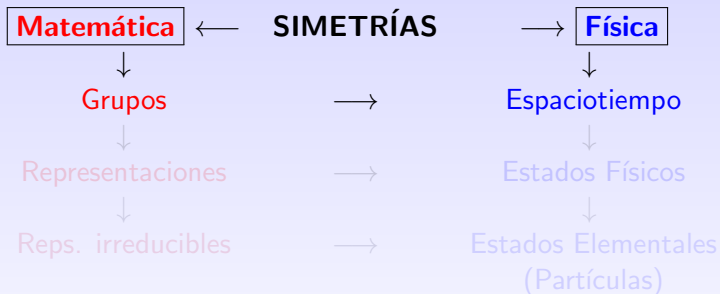
FaMAF, UNC  
IFEG-CONICET

31 de Octubre de 2014

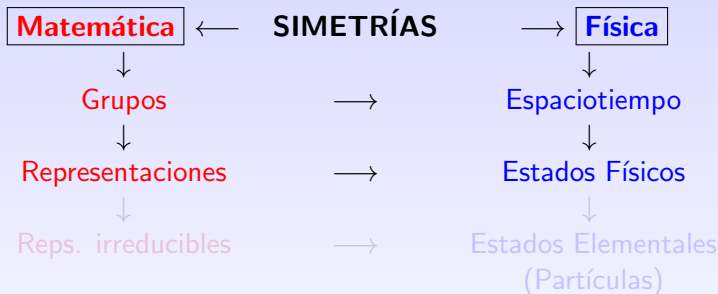
# Introducción



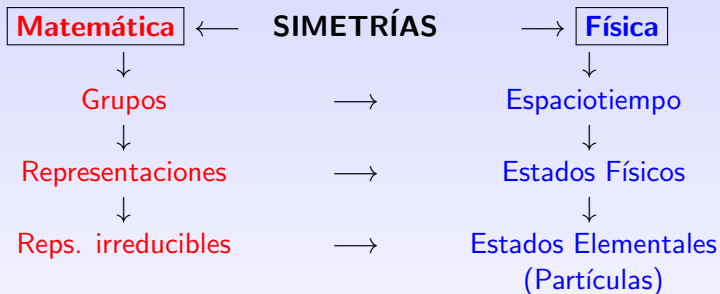
# Introducción



# Introducción



# Introducción



# Principio de Relatividad Especial

## Relatividad Especial



*“Si un sistema de coordenadas se mueve uniformemente y sin rotación respecto de otro, entonces los fenómenos naturales ocurren según idénticas leyes para ambos sistemas” (Einstein, 1905)*

- Las **coordenadas** de un evento no tienen un significado intrínseco en sí mismas, ya que **dependen del observador** (sistema inercial) que asigna esas coordenadas, mientras que la Física permanece inalterada.
- El **intervalo espaciotemporal** entre dos eventos es una **propiedad intrínseca** del espaciotiempo. Esto constituye una **simetría**.

El intervalo espaciotemporal se mide por medio de la **métrica**.

# Principio de Relatividad Especial

## Relatividad Especial



*“Si un sistema de coordenadas se mueve uniformemente y sin rotación respecto de otro, entonces los fenómenos naturales ocurren según idénticas leyes para ambos sistemas” (Einstein, 1905)*

- Las **coordenadas** de un evento no tienen un significado intrínseco en sí mismas, ya que **dependen del observador** (sistema inercial) que asigna esas coordenadas, mientras que la Física permanece inalterada.
- El **intervalo espaciotemporal** entre dos eventos es una **propiedad intrínseca** del espaciotiempo. Esto constituye una **simetría**.

El intervalo espaciotemporal se mide por medio de la **métrica**.

# Principio de Relatividad Especial

## Relatividad Especial



*“Si un sistema de coordenadas se mueve uniformemente y sin rotación respecto de otro, entonces los fenómenos naturales ocurren según idénticas leyes para ambos sistemas” (Einstein, 1905)*

- Las **coordenadas** de un evento no tienen un significado intrínseco en sí mismas, ya que **dependen del observador** (sistema inercial) que asigna esas coordenadas, mientras que la Física permanece inalterada.
- El **intervalo espaciotemporal** entre dos eventos es una **propiedad intrínseca** del espaciotiempo. Esto constituye una **simetría**.

El intervalo espaciotemporal se mide por medio de la **métrica**.



# Postulado de Mecánica Cuántica

## Mecánica Cuántica



Una partícula está representada por una **función de onda**  $\Psi$

La **probabilidad** de que la partícula esté entre la posición  $x$  y  $x + dx$  es

$$P = |\Psi|^2 dx \quad (1)$$

Sólo se puede conocer la **probabilidad** de que la partícula esté en un determinado lugar.

El **estado físico** de una partícula descrita por  $\Psi$  y  $e^{i\alpha}\Psi$  es **el mismo!**

# Postulado de Mecánica Cuántica

## Mecánica Cuántica



Una partícula está representada por una **función de onda**  $\Psi$

La **probabilidad** de que la partícula esté entre la posición  $x$  y  $x + dx$  es

$$P = |\Psi|^2 dx \quad (1)$$

Sólo se puede conocer la **probabilidad** de que la partícula esté en un determinado lugar.

El **estado físico** de una partícula descrita por  $\Psi$  y  $e^{i\alpha}\Psi$  es **el mismo!**

# Postulado de Mecánica Cuántica

## Mecánica Cuántica



Una partícula está representada por una **función de onda**  $\Psi$

La **probabilidad** de que la partícula esté entre la posición  $x$  y  $x + dx$  es

$$P = |\Psi|^2 dx \quad (1)$$

Sólo se puede conocer la **probabilidad** de que la partícula esté en un determinado lugar.

El **estado físico** de una partícula descrita por  $\Psi$  y  $e^{i\alpha}\Psi$  es **el mismo!**

Físicamente	Matemáticamente
Relatividad Especial: cuáles son las simetrías	Cuál es el grupo (grupo de Poincaré)
Mecánica Cuántica: cómo son los estados	Qué representaciones buscar (reps. proyectivas)

Las partículas "son" representaciones proyectivas irreducibles del grupo de Poincaré

Una clase de estas reps. están caracterizadas por un número semientero ( $0, \frac{1}{2}, 1, \dots$ ) que se denomina **Spin**

- **Bosones:** número (spin) entero ( $0, 1, 2, \dots$ )
- **Fermiones:** número (spin) semientero ( $\frac{1}{2}, \frac{3}{2}, \dots$ )

Físicamente	Matemáticamente
Relatividad Especial: cuáles son las simetrías	Cuál es el grupo (grupo de Poincaré)
Mecánica Cuántica: cómo son los estados	Qué representaciones buscar (reps. proyectivas)

Las partículas “son” representaciones proyectivas irreducibles del grupo de Poincaré

Una clase de estas reps. están caracterizadas por un número semientero ( $0, \frac{1}{2}, 1, \dots$ ) que se denomina **Spin**

- **Bosones:** número (spin) entero ( $0, 1, 2, \dots$ )
- **Fermiones:** número (spin) semientero ( $\frac{1}{2}, \frac{3}{2}, \dots$ )

Físicamente	Matemáticamente
Relatividad Especial: cuáles son las simetrías	Cuál es el grupo (grupo de Poincaré)
Mecánica Cuántica: cómo son los estados	Qué representaciones buscar (reps. proyectivas)

Las partículas “son” representaciones proyectivas irreducibles del grupo de Poincaré

Una clase de estas reps. están caracterizadas por un número semientero ( $0, \frac{1}{2}, 1, \dots$ ) que se denomina **Spin**

- **Bosones**: número (spin) entero ( $0, 1, 2, \dots$ )
- **Fermiones**: número (spin) semientero ( $\frac{1}{2}, \frac{3}{2}, \dots$ )

Físicamente	Matemáticamente
Relatividad Especial: cuáles son las simetrías	Cuál es el grupo (grupo de Poincaré)
Mecánica Cuántica: cómo son los estados	Qué representaciones buscar (reps. proyectivas)

## Las partículas “son” representaciones proyectivas irreducibles del grupo de Poincaré

Una clase de estas reps. están caracterizadas por un número semientero ( $0, \frac{1}{2}, 1, \dots$ ) que se denomina **Spin**

- **Bosones**: número (spin) entero ( $0, 1, 2, \dots$ )
- **Fermiones**: número (spin) semientero ( $\frac{1}{2}, \frac{3}{2}, \dots$ )

Físicamente	Matemáticamente
Relatividad Especial: cuáles son las simetrías	Cuál es el grupo (grupo de Poincaré)
Mecánica Cuántica: cómo son los estados	Qué representaciones buscar (reps. proyectivas)

## Las partículas “son” representaciones proyectivas irreducibles del grupo de Poincaré

Una clase de estas reps. están caracterizadas por un número semientero ( $0, \frac{1}{2}, 1, \dots$ ) que se denomina **Spin**

- **Bosones**: número (spin) entero ( $0, 1, 2, \dots$ )
- **Fermiones**: número (spin) semientero ( $\frac{1}{2}, \frac{3}{2}, \dots$ )



# ¿Qué sucede en **Relatividad General**?

# En Relatividad General:

El espaciotiempo tiene una **estructura dinámica**: **no es** un ente fijo, “de fondo”, sino que reacciona frente a la presencia de materia.

La materia curva el espaciotiempo. Por lo tanto, en general no existen simetrías.

No obstante, hay casos particulares en que existen simetrías y resultan muy importantes:

- **Agujeros negros**: están caracterizados (en vacío) por dos parámetros: la masa y el momento angular
- **Cosmología**: un Universo homogéneo e isótropo sólo puede tener tres formas posibles (3-esfera, 3-hiperboloide, o plano)

## En Relatividad General:

El espaciotiempo tiene una **estructura dinámica**: **no es** un ente fijo, “de fondo”, sino que reacciona frente a la presencia de materia.

**La materia curva el espaciotiempo. Por lo tanto, en general no existen simetrías.**

No obstante, hay casos particulares en que existen simetrías y resultan muy importantes:

- **Agujeros negros**: están caracterizados (en vacío) por dos parámetros: la masa y el momento angular
- **Cosmología**: un Universo homogéneo e isótropo sólo puede tener tres formas posibles (3-esfera, 3-hiperboloide, o plano)

## En Relatividad General:

El espaciotiempo tiene una **estructura dinámica**: **no es** un ente fijo, “de fondo”, sino que reacciona frente a la presencia de materia.

**La materia curva el espaciotiempo. Por lo tanto, en general no existen simetrías.**

No obstante, hay casos particulares en que existen simetrías y resultan muy importantes:

- **Agujeros negros**: están caracterizados (en vacío) por dos parámetros: la masa y el momento angular
- **Cosmología**: un Universo homogéneo e isótropo sólo puede tener tres formas posibles (3-esfera, 3-hiperboloide, o plano)

## En Relatividad General:

El espaciotiempo tiene una **estructura dinámica**: **no es** un ente fijo, “de fondo”, sino que reacciona frente a la presencia de materia.

**La materia curva el espaciotiempo. Por lo tanto, en general no existen simetrías.**

No obstante, hay casos particulares en que existen simetrías y resultan muy importantes:

- **Agujeros negros**: están caracterizados (en vacío) por dos parámetros: la masa y el momento angular
- **Cosmología**: un Universo homogéneo e isótropo sólo puede tener tres formas posibles (3-esfera, 3-hiperboloide, o plano)

## En Relatividad General:

El espaciotiempo tiene una **estructura dinámica**: **no es** un ente fijo, “de fondo”, sino que reacciona frente a la presencia de materia.

**La materia curva el espaciotiempo. Por lo tanto, en general no existen simetrías.**

No obstante, hay casos particulares en que existen simetrías y resultan muy importantes:

- **Agujeros negros**: están caracterizados (en vacío) por dos parámetros: la masa y el momento angular
- **Cosmología**: un Universo homogéneo e isótropo sólo puede tener tres formas posibles (3-esfera, 3-hiperboloide, o plano)

# Conclusiones

- Las simetrías tienen un rol fundamental en el estudio de las leyes de la Naturaleza.
- Existe un fuerte vínculo entre estructuras matemáticas abstractas y complejas y las características de los sistemas físicos.
- Ciertas propiedades de las partículas fundamentales se derivan de la estructura geométrica del espaciotiempo.
- Aún en Relatividad General, la existencia de simetrías permite caracterizar sistemas físicos muy importantes.

# Conclusiones

- Las simetrías tienen un rol fundamental en el estudio de las leyes de la Naturaleza.
- Existe un fuerte vínculo entre estructuras matemáticas abstractas y complejas y las características de los sistemas físicos.
- Ciertas propiedades de las partículas fundamentales se derivan de la estructura geométrica del espaciotiempo.
- Aún en Relatividad General, la existencia de simetrías permite caracterizar sistemas físicos muy importantes.



# Conclusiones

- Las simetrías tienen un rol fundamental en el estudio de las leyes de la Naturaleza.
- Existe un fuerte vínculo entre estructuras matemáticas abstractas y complejas y las características de los sistemas físicos.
- Ciertas propiedades de las partículas fundamentales se derivan de la estructura geométrica del espaciotiempo.
- Aún en Relatividad General, la existencia de simetrías permite caracterizar sistemas físicos muy importantes.

# Conclusiones

- Las simetrías tienen un rol fundamental en el estudio de las leyes de la Naturaleza.
- Existe un fuerte vínculo entre estructuras matemáticas abstractas y complejas y las características de los sistemas físicos.
- Ciertas propiedades de las partículas fundamentales se derivan de la estructura geométrica del espaciotiempo.
- Aún en Relatividad General, la existencia de simetrías permite caracterizar sistemas físicos muy importantes.

# Conclusiones

- Las simetrías tienen un rol fundamental en el estudio de las leyes de la Naturaleza.
- Existe un fuerte vínculo entre estructuras matemáticas abstractas y complejas y las características de los sistemas físicos.
- Ciertas propiedades de las partículas fundamentales se derivan de la estructura geométrica del espaciotiempo.
- Aún en Relatividad General, la existencia de simetrías permite caracterizar sistemas físicos muy importantes.