

El modelo estándar y la física de partículas

Carlos Alvarado

University of Notre Dame

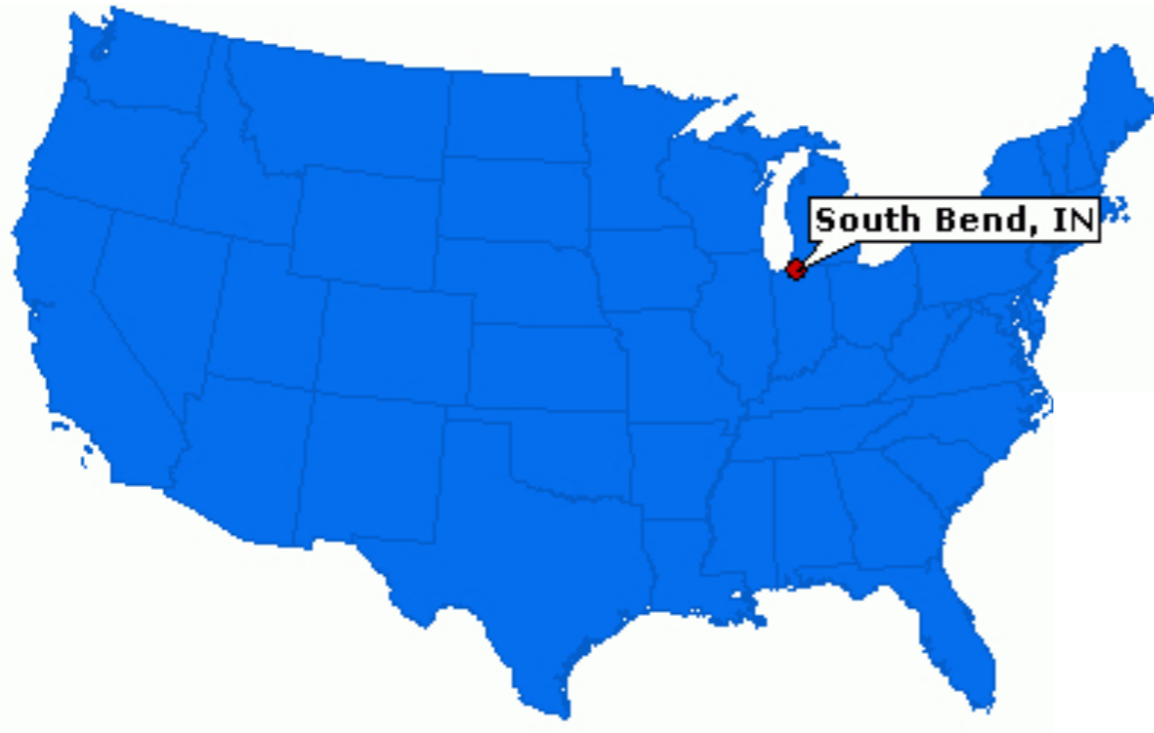
Enero 2018

CMS Masterclass @ UdeC



UNIVERSIDAD
DE COLIMA

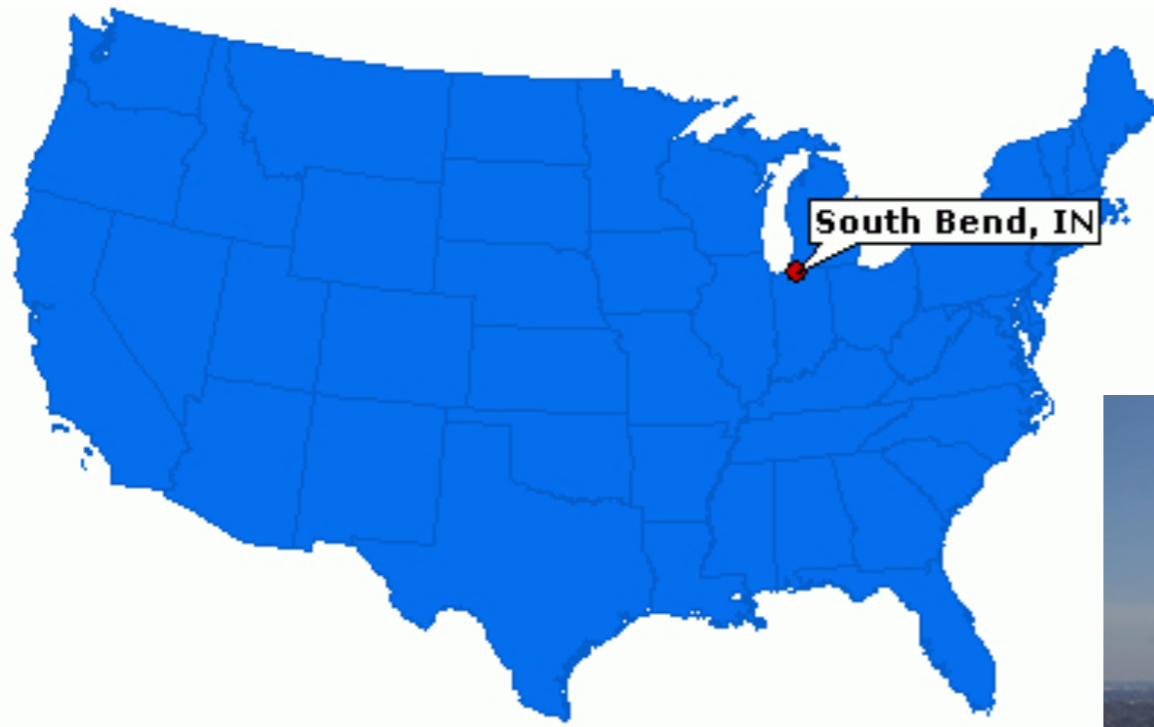
¿Dónde estamos?



Universidad de Notre Dame
(Indiana, Estados Unidos)



¿Dónde estamos?



Universidad de Notre Dame
(Indiana, Estados Unidos)



PARTE I : El Modelo Estándar

Una Tabla Periódica

Fermiones

partículas de materia

quarks



leptones



Bosones gauge

portadores de fuerzas



fotón



gluón



el Z



el W

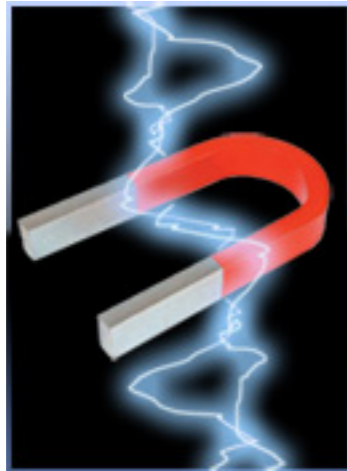
El Higgs

origen de la masa

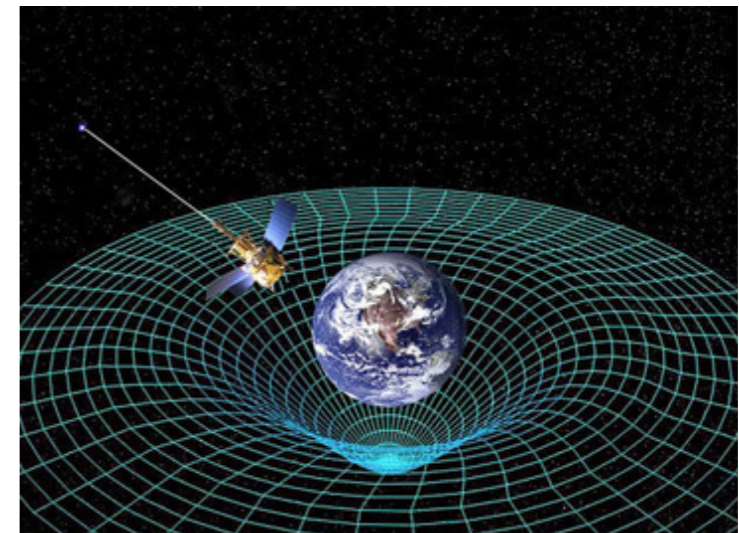


Fuerzas/interacciones fundamentales

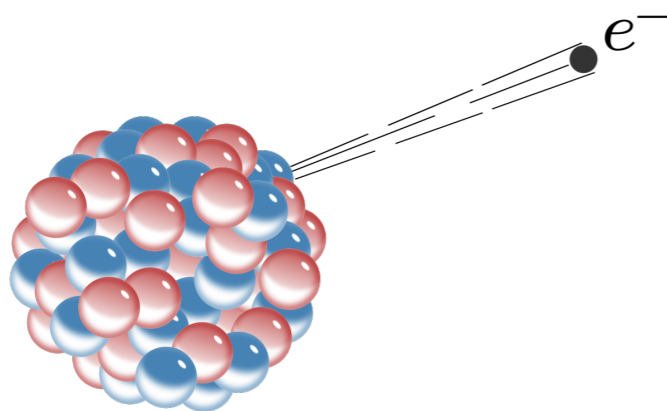
electromagnética



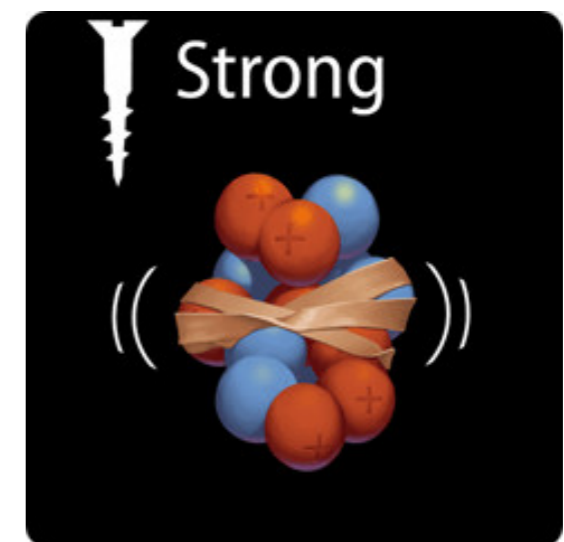
gravitatoria



nuclear débil



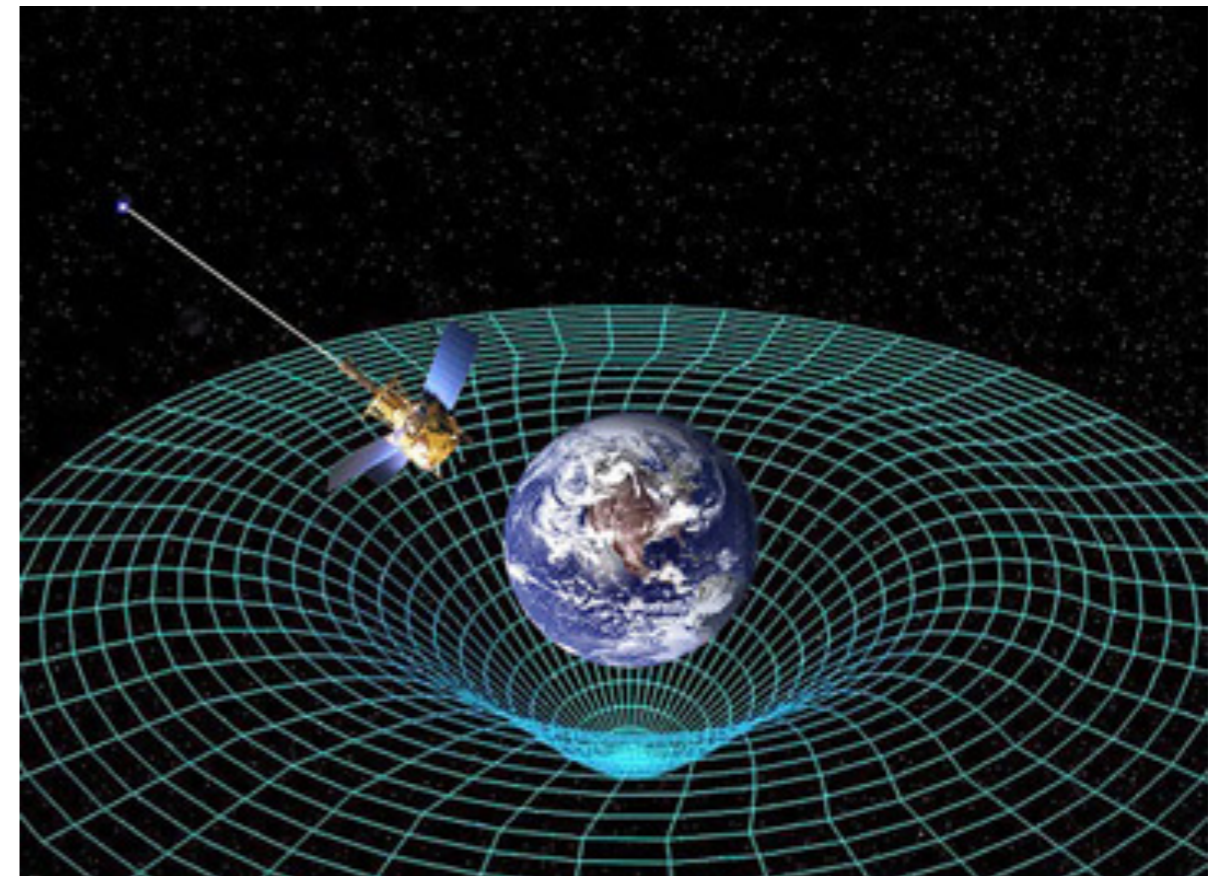
nuclear fuerte



Fuerza gravitatoria

Describe movimiento de los cuerpos en el espacio y en el tiempo

Mantiene la estabilidad de sistemas a varias escalas (Tierra-Luna, Sistema Solar, galaxia, etc)



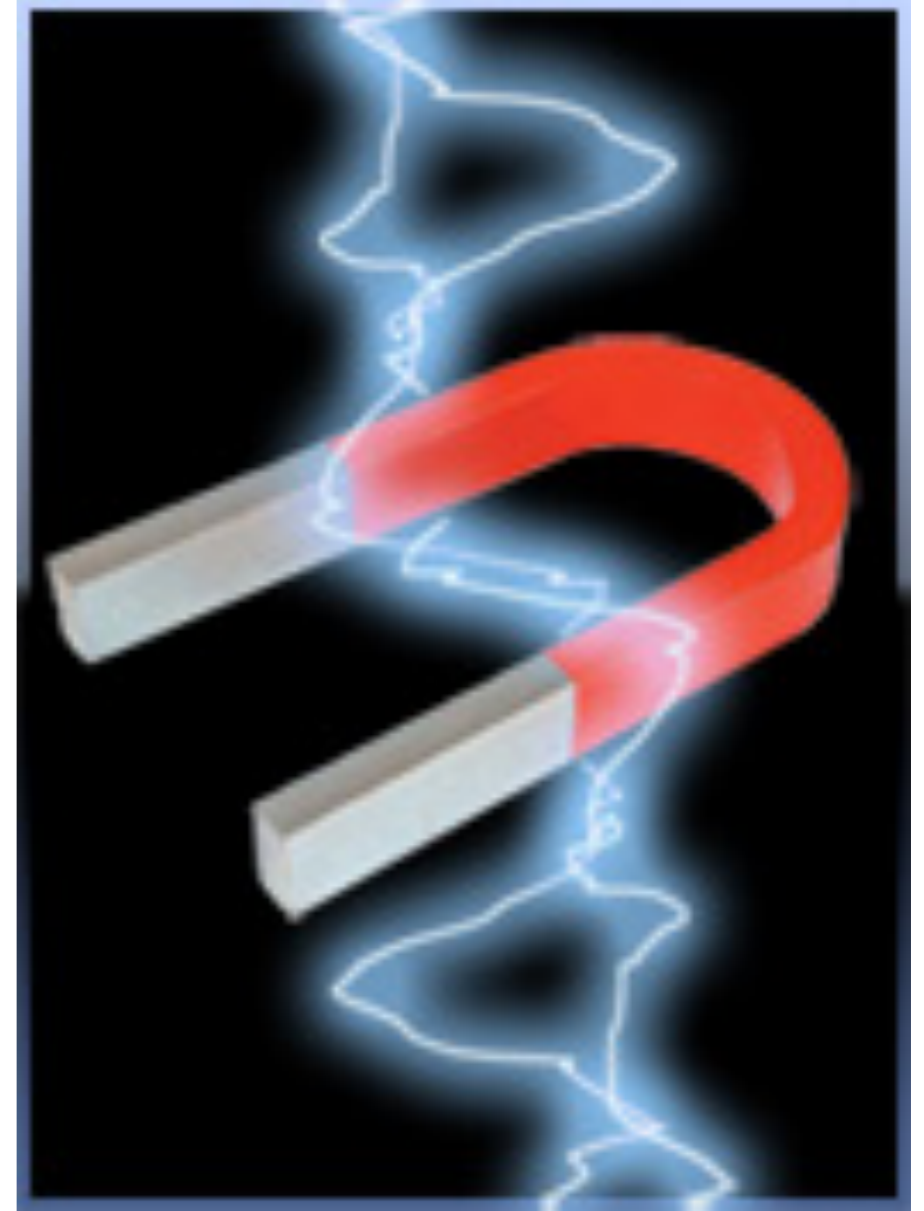
La fuerza **menos** intensa

Fuerza electromagnética

Fenómenos eléctricos & magnéticos

Esta "fuerza" **también** está detrás de la estructura de los materiales

Explica fenómenos ópticos

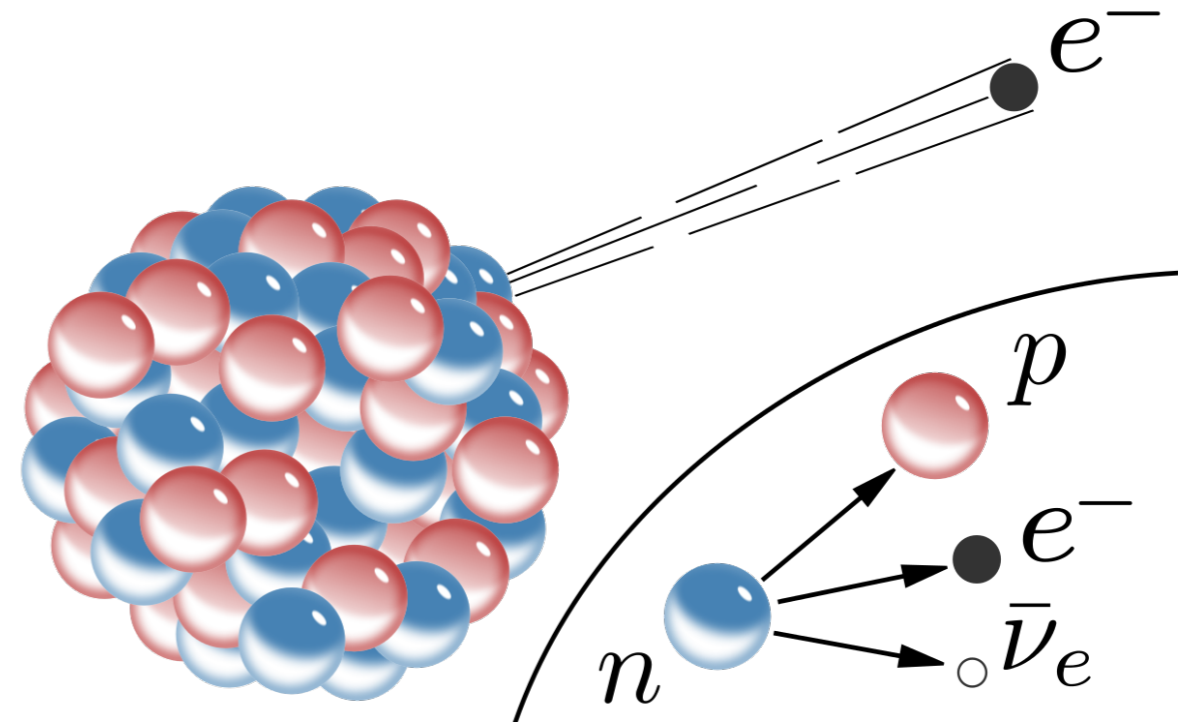


Fuerza nuclear débil

Descubierta en **procesos nucleares**

Responsable del decaimiento radiactivo. Empleado en la fisión nuclear

Explica cómo radia el Sol



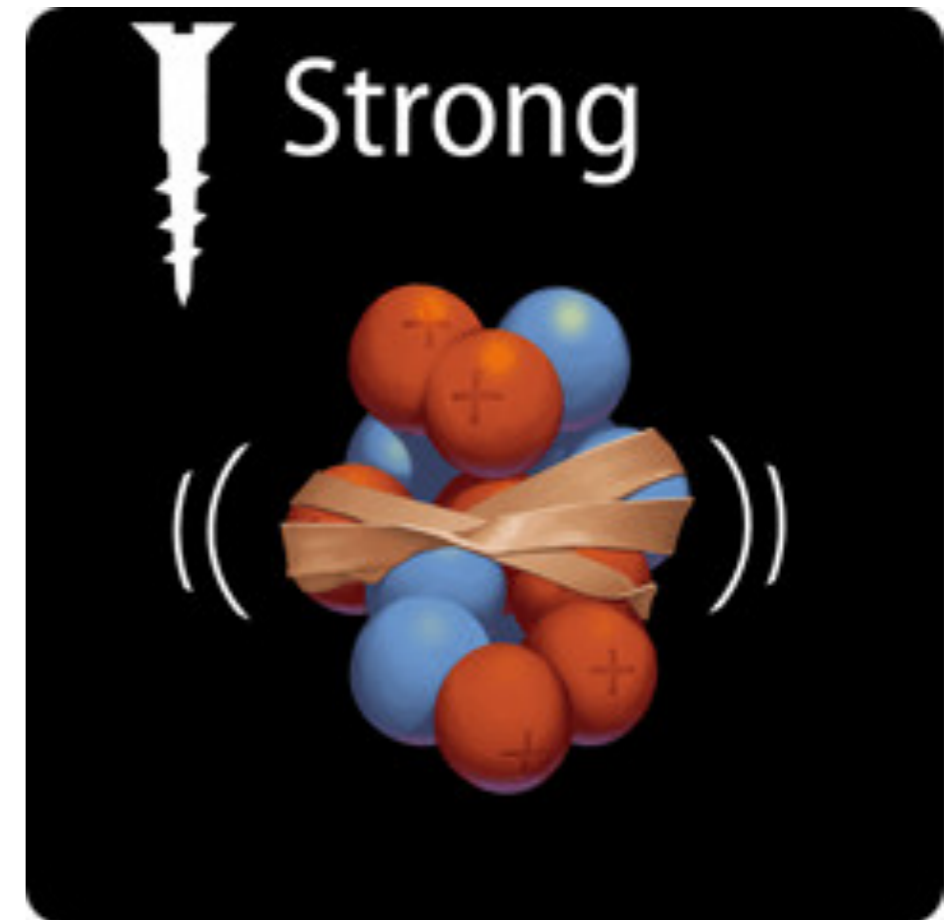
Fuerza nuclear fuerte

Previene la desintegración del núcleo atómico a pesar de la repulsión eléctrica

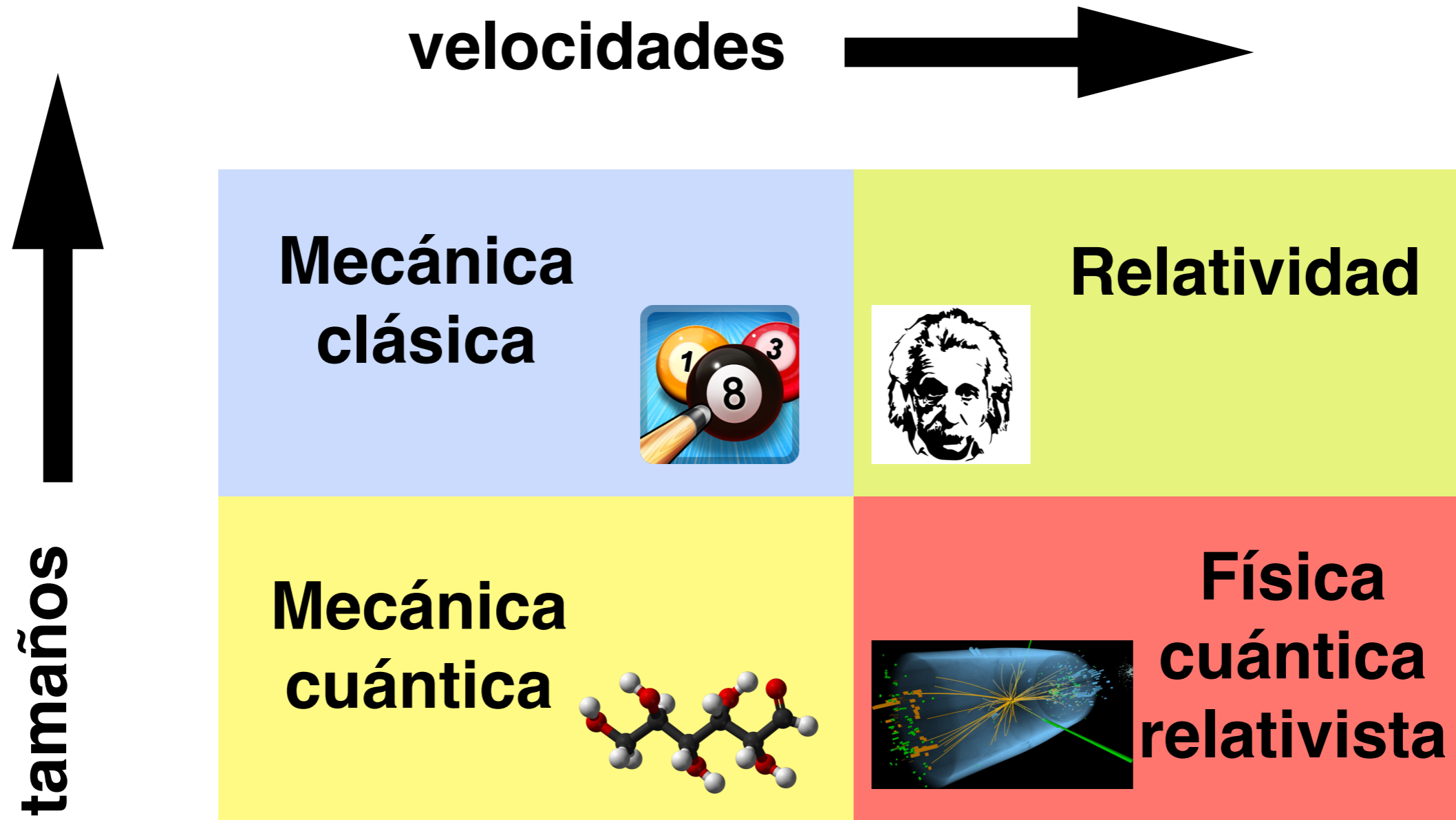
Describe la enorme multitud de partículas que uno observa al colisionar núcleos atómicos

La fuerza **más** intensa

Da al protón la mayor parte de su masa!



El mundo microscópico y relativista



El mundo microscópico y relativista

Mundo microscópico se rige por leyes probabilísticas muy poco intuitivas y distintas a las de física clásica

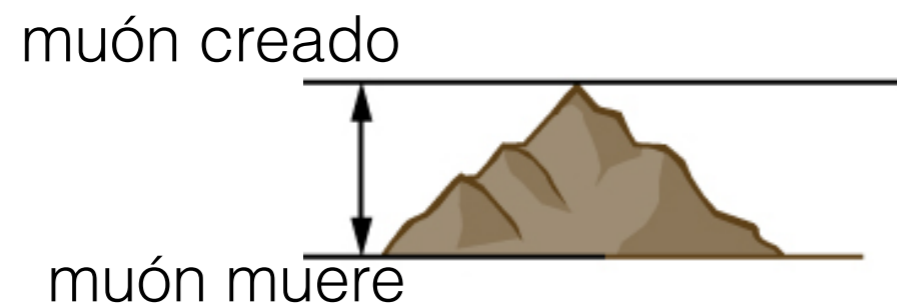
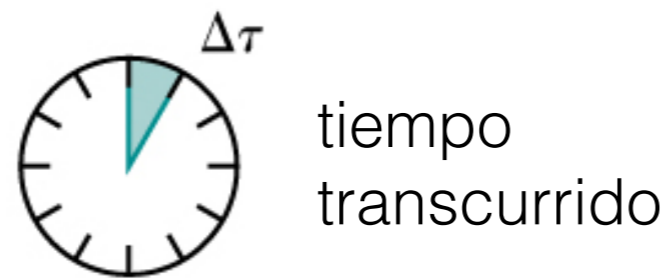
- Trayectorias & velocidades no son bien definidas
- Realizar mediciones **afecta** el estado de las partículas

El mundo relativista es también extraño: distintos observadores miden distancias y tiempos diferentes!

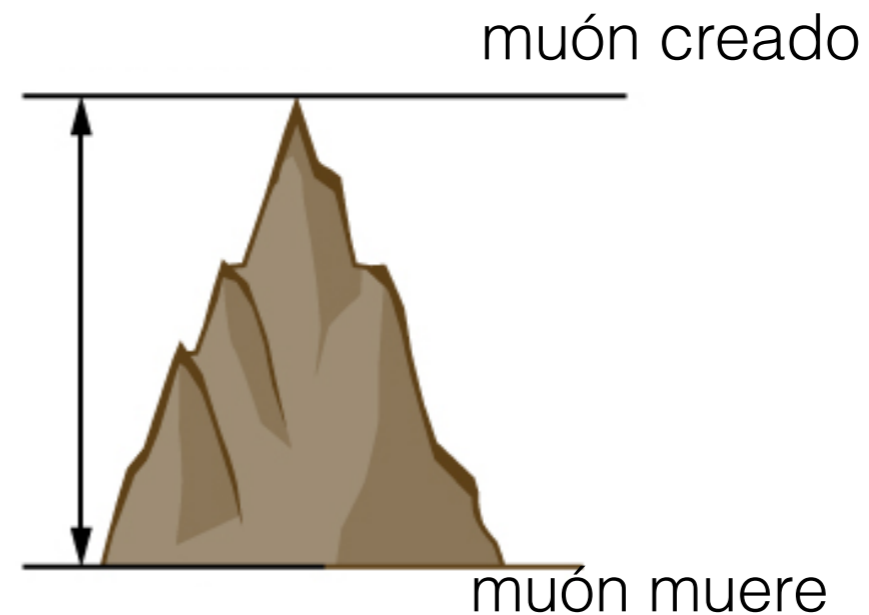
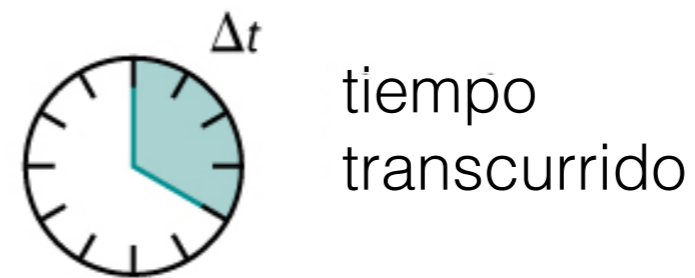
El mundo microscópico y relativista

Ejemplo: decaimiento del muón

Lo que **el muón** ve



Lo que **nosotros** vemos



El lenguaje del Modelo Estándar

Describir eventos en el modelo estándar precisa de un aparato matemático complejo. Después de todo, se trata de fenómenos cuánticos **y** relativistas

El lenguaje del Modelo Estándar

Describir eventos en el modelo estándar precisa de un aparato matemático complejo. Después de todo, se trata de fenómenos (microscópicos **y** ultrarápidos)

El lenguaje del Modelo Estándar



Describir eventos en el modelo estándar precisa de un aparato matemático complejo. Después de todo, se trata de fenómenos (microscópicos **y** ultrarápidos)

¿Qué es un **evento**?

El lenguaje del Modelo Estándar

Describir eventos en el modelo estándar precisa de un aparato matemático complejo. Después de todo, se trata de fenómenos (microscópicos **y** ultrarápidos)

¿Qué es un **evento**?

- Una partícula se encuentra reposando/viajando y no pasa nada  **Teoría libre**
- Partícula #1 se encuentra a partícula #2 y algo pasa!
 **Teoría de interacciones**

El lenguaje del Modelo Estándar

¿Cómo entendemos, por ejemplo, electricidad & magnetismo en este lenguaje de **interacciones y partículas?**

Participantes:

e^-

materia

γ

portador de la
fuerza eléctrica

El lenguaje del Modelo Estándar

¿Cómo entendemos, por ejemplo, electricidad & magnetismo en este lenguaje de **interacciones y partículas**?

Participantes:

e^-

materia

γ

portador de la
fuerza eléctrica



electro-dinámica cuántica

El lenguaje del Modelo Estándar

¿Cómo entendemos, por ejemplo, electricidad & magnetismo en este lenguaje de **interacciones y partículas?**

Participantes:

e^-

materia

γ

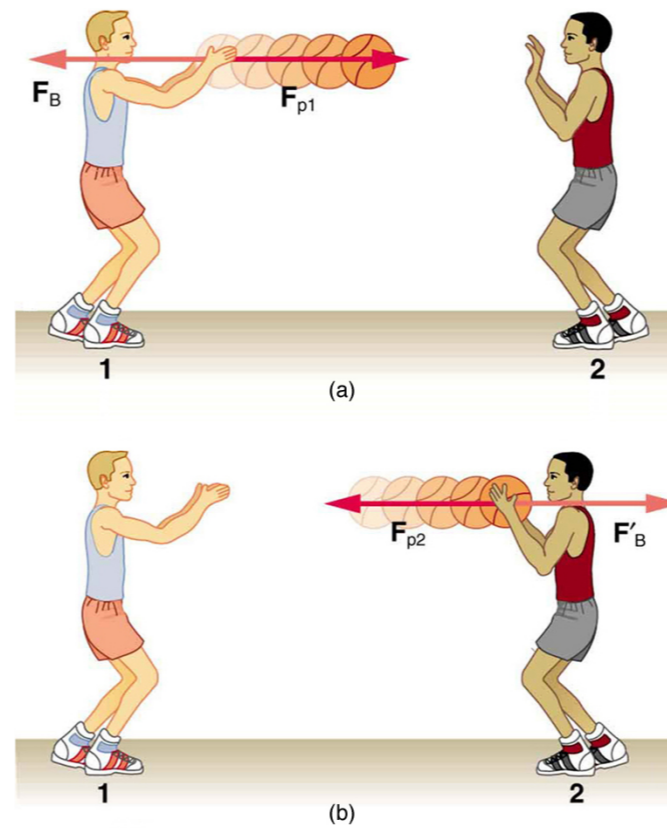
portador de la
fuerza eléctrica



teoría de los electrones y la luz

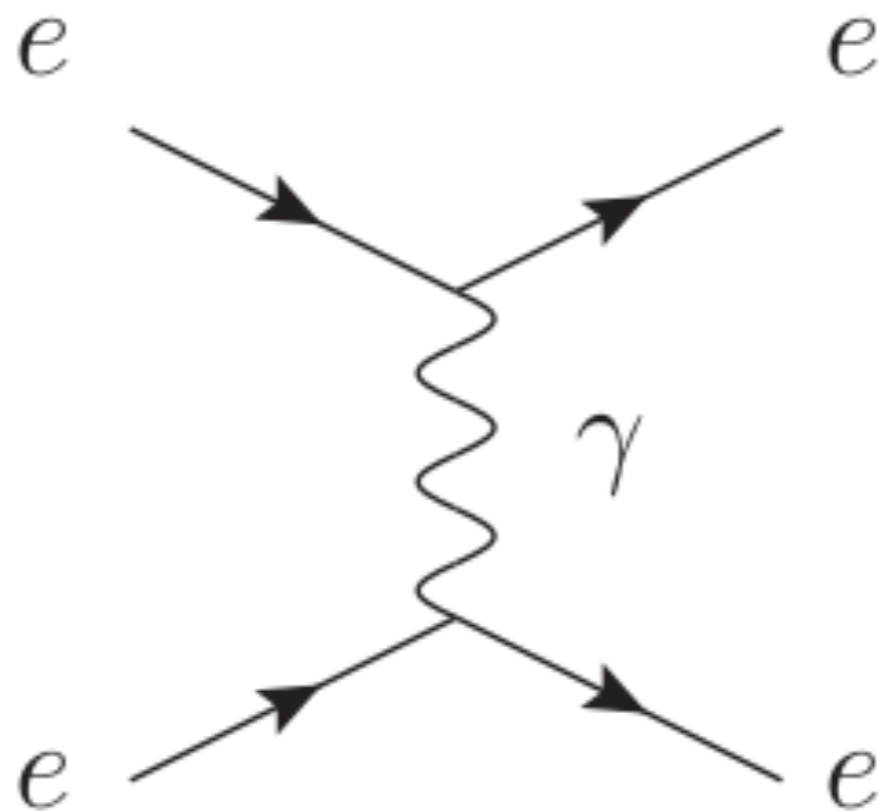
El lenguaje del Modelo Estándar

Procesos más complicados: dos electrones se encuentran y se "repelen"



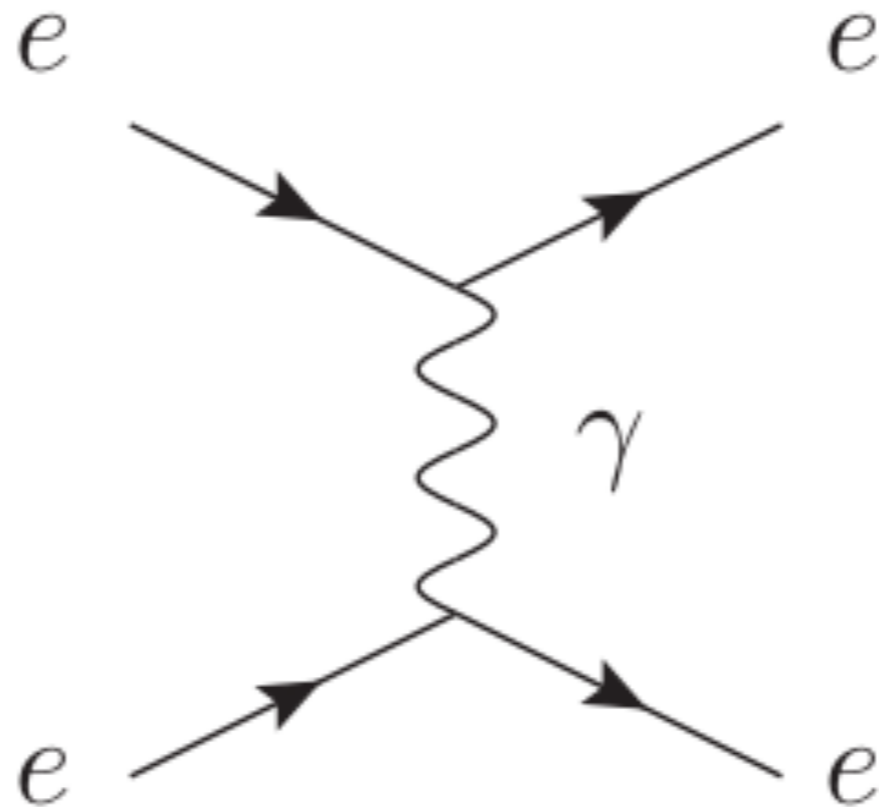
El lenguaje del Modelo Estándar

Procesos más complicados: dos electrones se encuentran y se "repelen"



El lenguaje del Modelo Estándar

Procesos más complicados: dos electrones se encuentran y se "repelen"

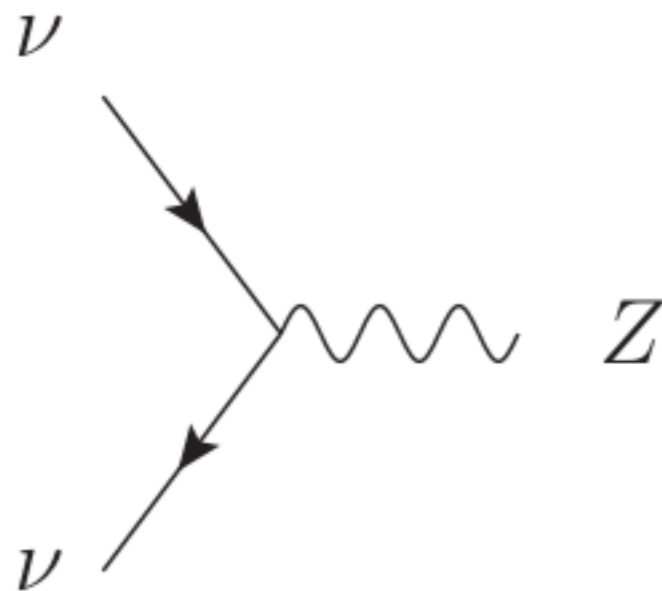
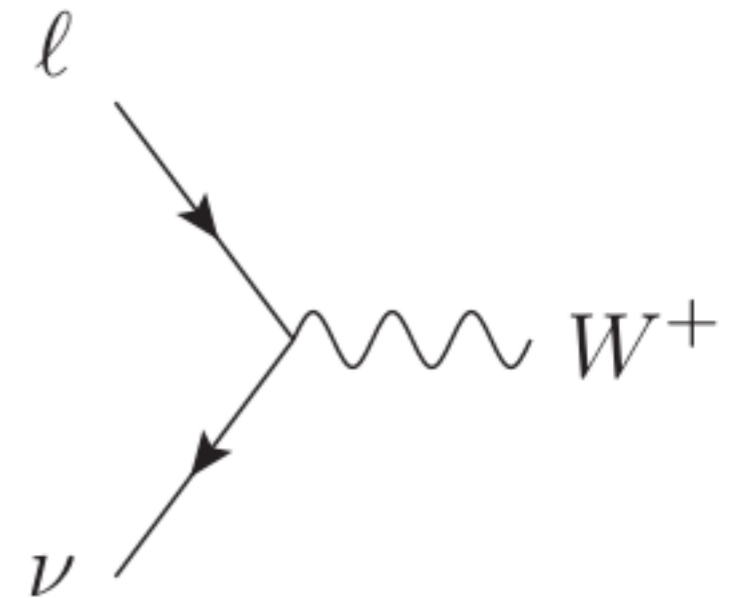
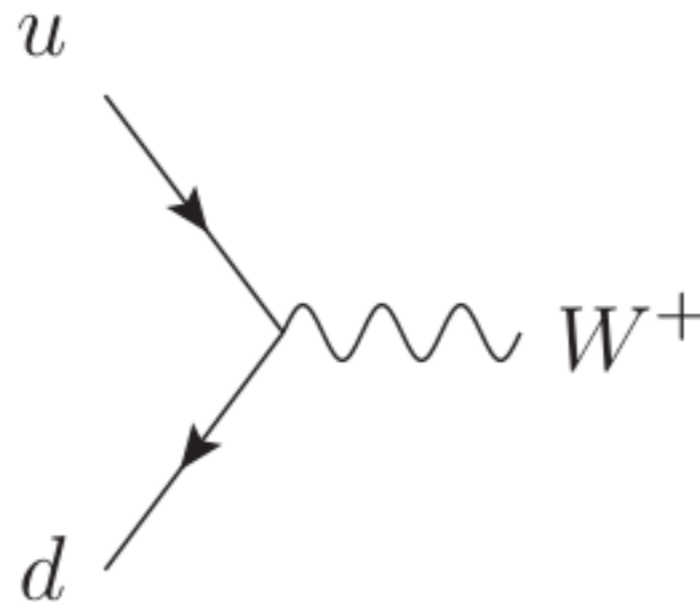
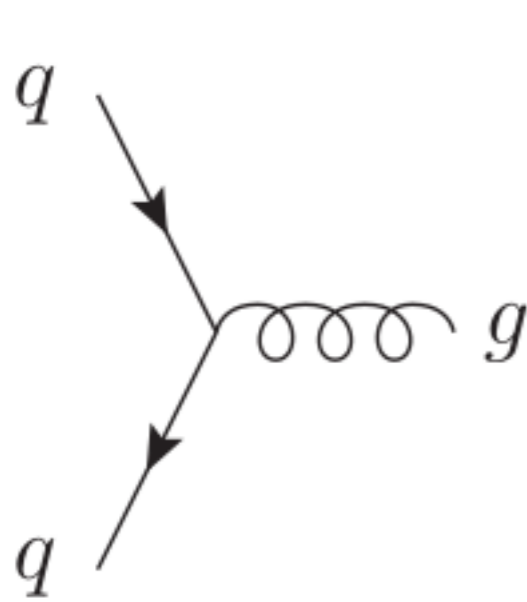


NOTA Aunque parecen trayectorias, solo utilizamos líneas para no perder de vista partículas iniciales, intermedias y finales!

El lenguaje del Modelo Estándar

El mismo lenguaje para las otras fuerzas

excepto gravedad



Altamente simplificado
con éstos

Diagramas de Feynman

El lenguaje del Modelo Estándar

Y el Higgs? Responsable de la masa



El lenguaje del Modelo Estándar

Y el Higgs? Responsable de la masa



PARTE II : La física de partículas

Física como ciencia básica

Importancia de distinguir el carácter **básico** de la física

Física como ciencia básica

Importancia de distinguir el carácter **básico** de la física

- Observamos una diversidad de fenómenos. Habrá unos cuantos principios básicos en todos ellos?

Física como ciencia básica

Importancia de distinguir el carácter **básico** de la física

- Observamos una diversidad de fenómenos. Habrá unos cuántos principios básicos en todos ellos?
- Uds., el expositor, una barra de oro, el smog, los rayos X, las estrellas...¿Están hechos todos de los mismos bloques unidad?

Física como ciencia básica

Importancia de distinguir el carácter **básico** de la física

- Observamos una diversidad de fenómenos. Habrá unos cuántos principios básicos en todos ellos?
- Uds., el expositor, una barra de oro, el smog, los rayos X, las estrellas...¿Están hechos todos de los mismos bloques unidad?
- Imaginemos por un momento que hay principios y bloques básicos. ¿Cómo funcionan en conjunto?

Física como ciencia básica

¿Principios básicos?



Leyes de Conservación (de la masa, de carga eléctrica)

¿Bloques fundamentales?



En la escuela (moléculas, átomos, electrones, protones)

¿Cómo operan las fuerzas conocidas? ← ⊕ ⊕ →

Un imán atrae piezas de metal, el Sol a la Tierra, etc

Física como ciencia básica

Motivación Curiosidad

- Más física por entender

Efectos 2ndarios

- Desarrollo tecnológico
- Modelo de cooperación internacional / interdisciplinario



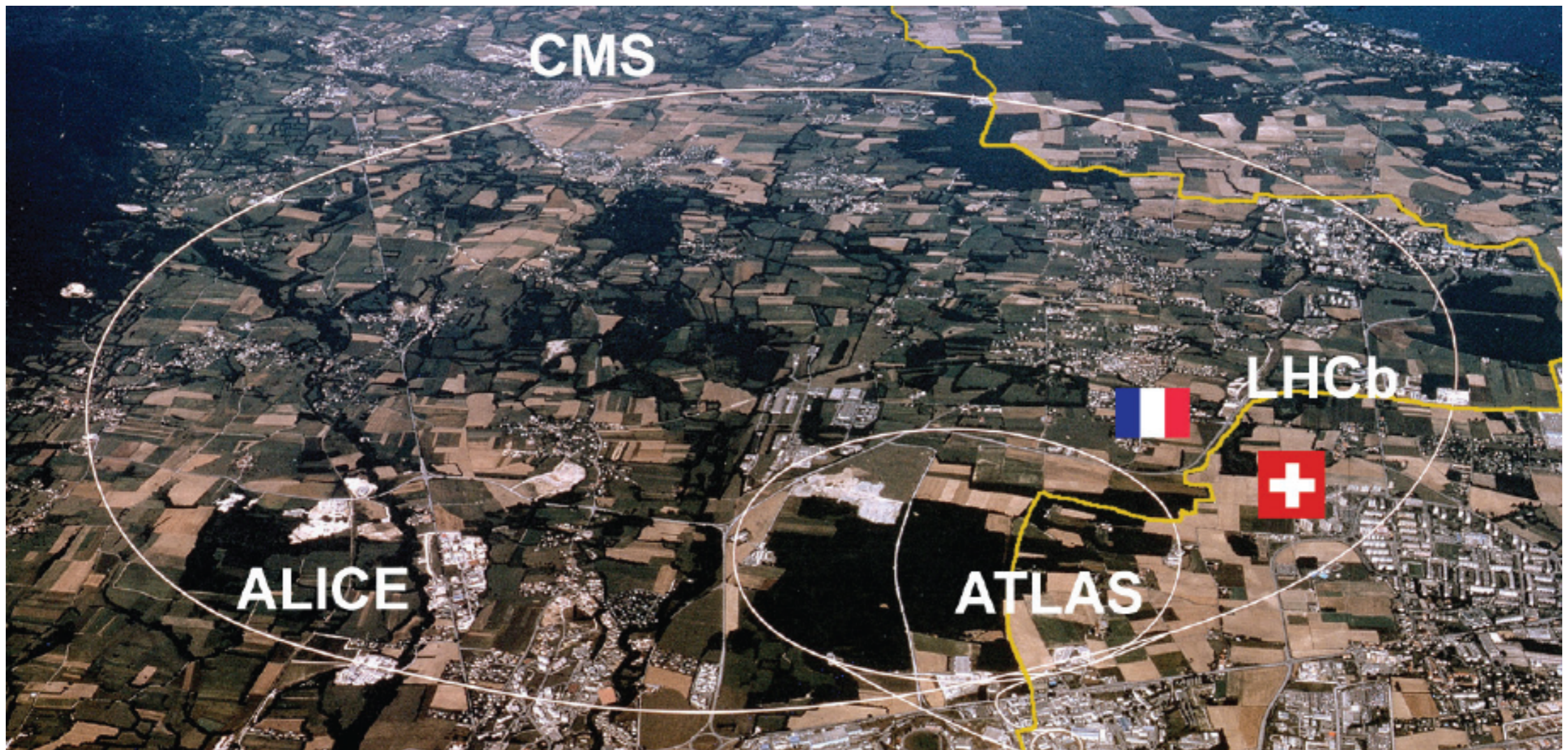
Hacia la física de partículas

Hemos aprendido las reglas del juego

- Existe la carga eléctrica (+/-)
- Magnetismo NO ES tan distinto a la electricidad
- Física de la caída libre es la física del Sistema Solar
- A distancias pequeñas & velocidades altas, la física es extraña
- Elementos químicos > protones & neutrinos > quarks

Microscopios modernos

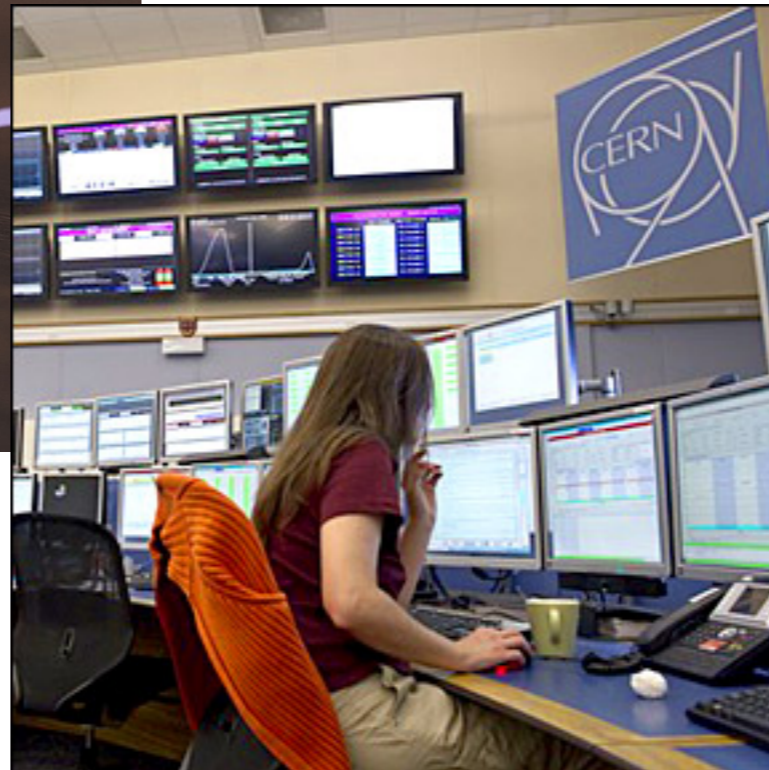
Gran Colisionador LHC en el laboratorio CERN (Ginebra)



Qué hacen en física de partículas?

Observar. Preguntar. **Proponer.**

Calcular. **Escribir.** Publicar ...



Qué hacen en física de partículas?

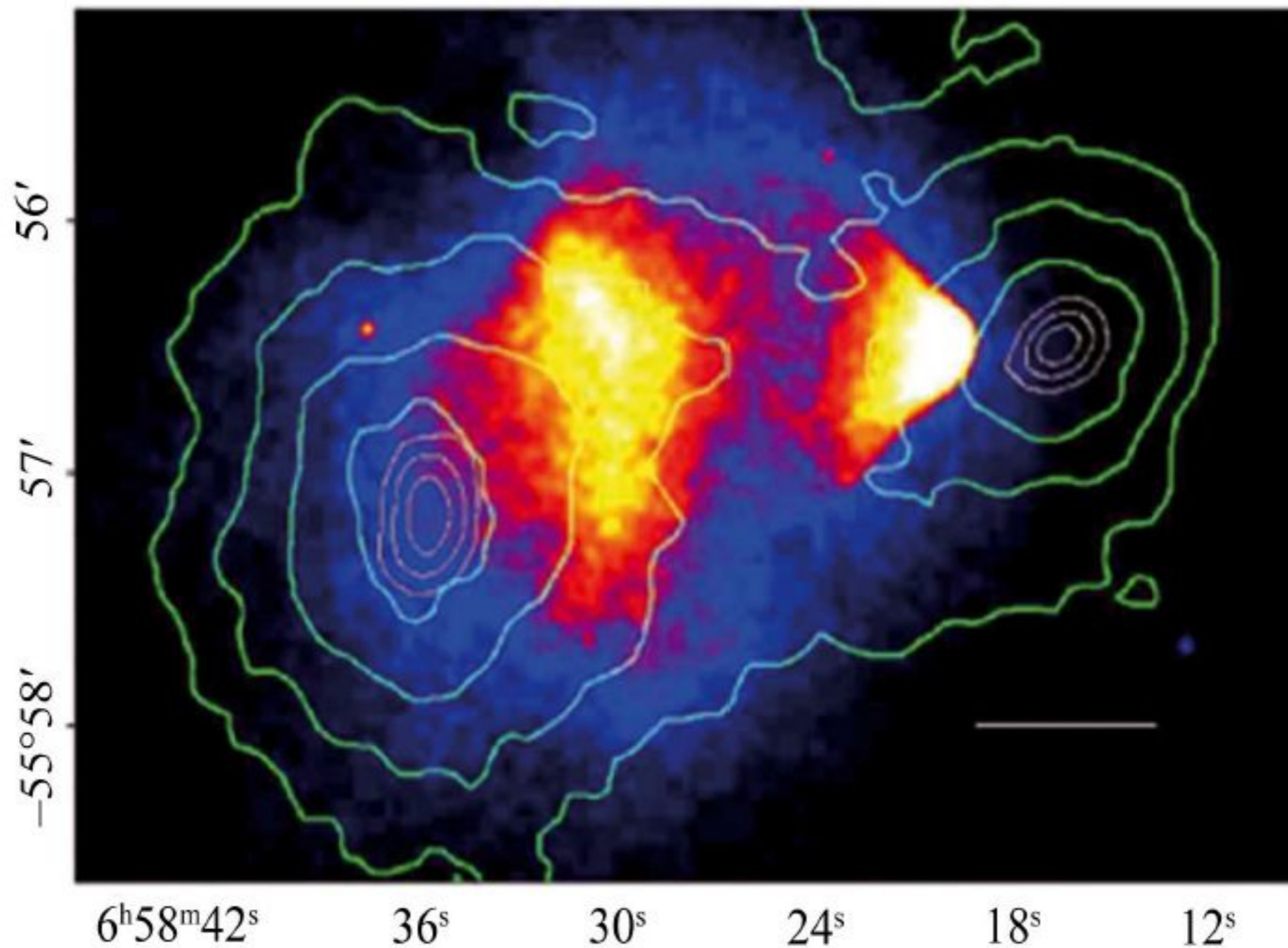
"OBSERVAR"



Conglomerado "bala"

Qué hacen en física de partículas?

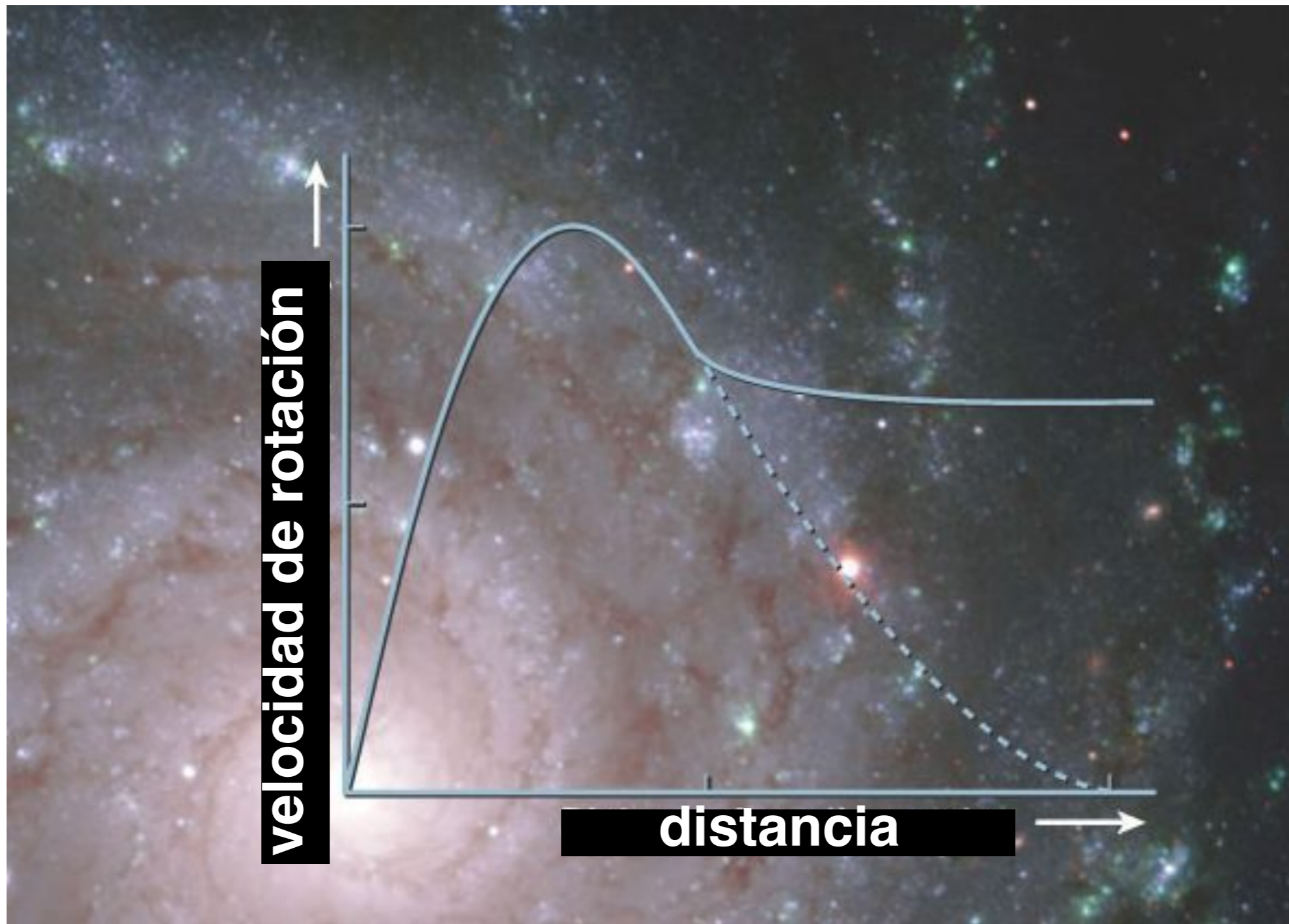
OBSERVAR



Conglomerado "bala"

Qué hacen en física de partículas?

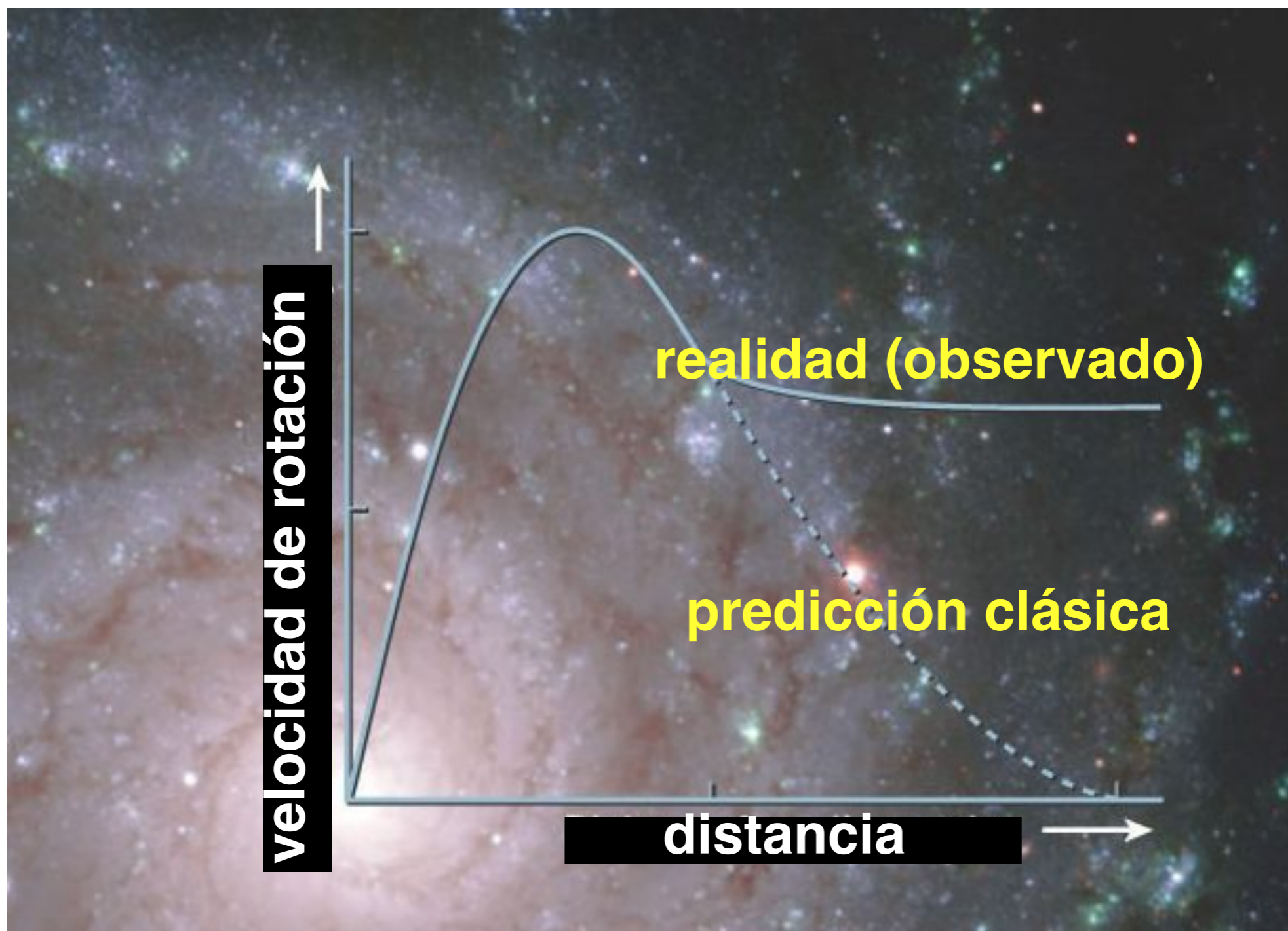
PREGUNTAR



curvas rotacionales

Qué hacen en física de partículas?

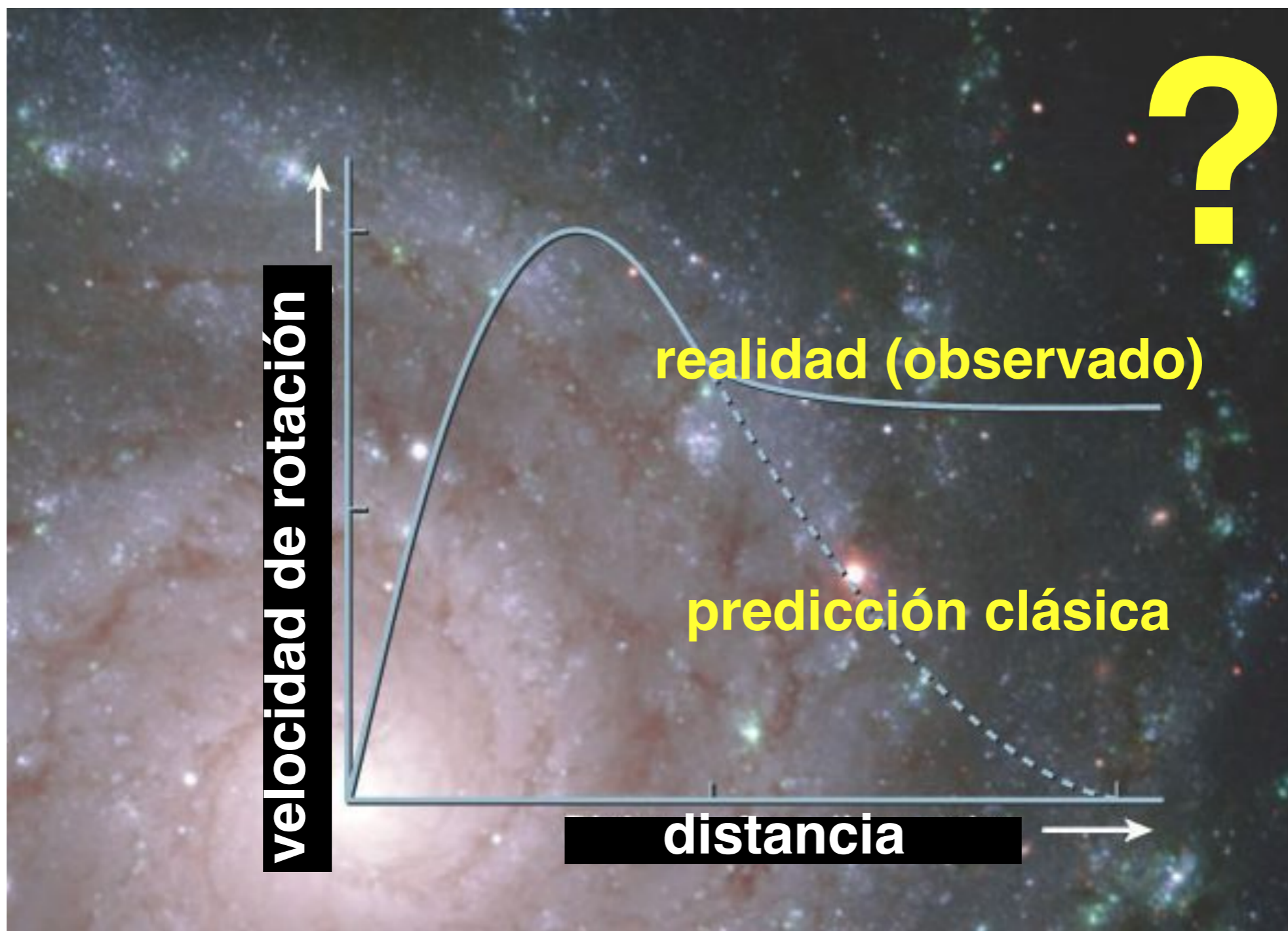
PREGUNTAR



curvas rotacionales

Qué hacen en física de partículas?

PREGUNTAR



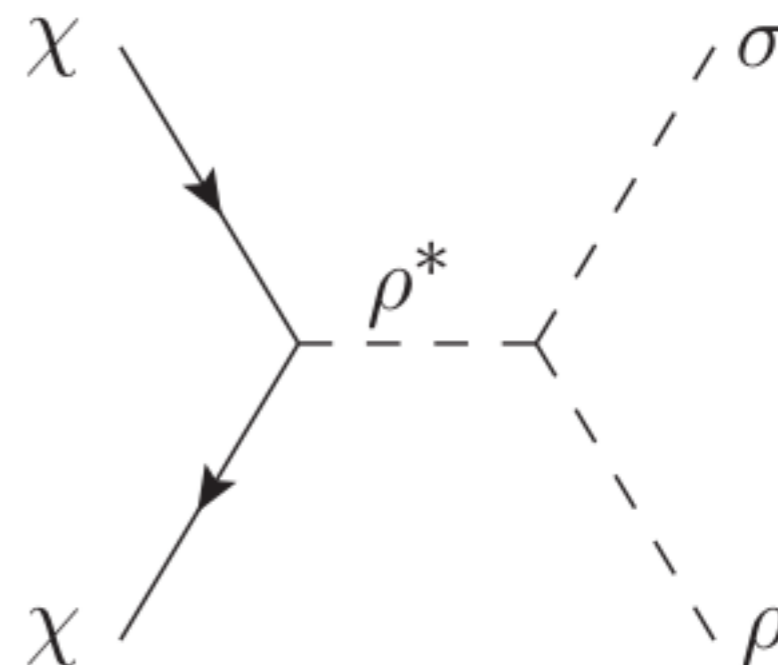
curvas rotacionales

Qué hacen en física de partículas?

PROPONER



candidato de
materia oscura



modelo estándar + χ = extensión del modelo estándar

Qué hacen en física de partículas?

PROPONER

Requerimientos para χ ? **Sí**, y muy estrictos!



candidato de
materia oscura

Qué hacen en física de partículas?

PROPONER

Requerimientos para χ ? **Sí**, y muy estrictos!



candidato de
materia oscura

- Explicar lo que se sabe de materia oscura (su abundancia, su distribución en galaxias, su "pequeñísima interacción" con el modelo estándar)

Qué hacen en física de partículas?

PROPONER

Requerimientos para χ ? **Sí**, y muy estrictos!



candidato de
materia oscura

- Explicar lo que se sabe de materia oscura (su abundancia, su distribución en galaxias, su "pequeñísima interacción" con el modelo estándar)
- No ser más pesada/ligera de lo que los experimentos que la buscan han determinado.

Qué hacen en física de partículas?

PROPONER

Requerimientos para χ ? **Sí**, y muy estrictos!



candidato de
materia oscura

- Explicar lo que se sabe de materia oscura (su abundancia, su distribución en galaxias, su "pequeñísima interacción" con el modelo estándar)
- No ser más pesada/ligera de lo que los experimentos que la buscan han determinado.
- No alterar física de modelo estándar que está verificada

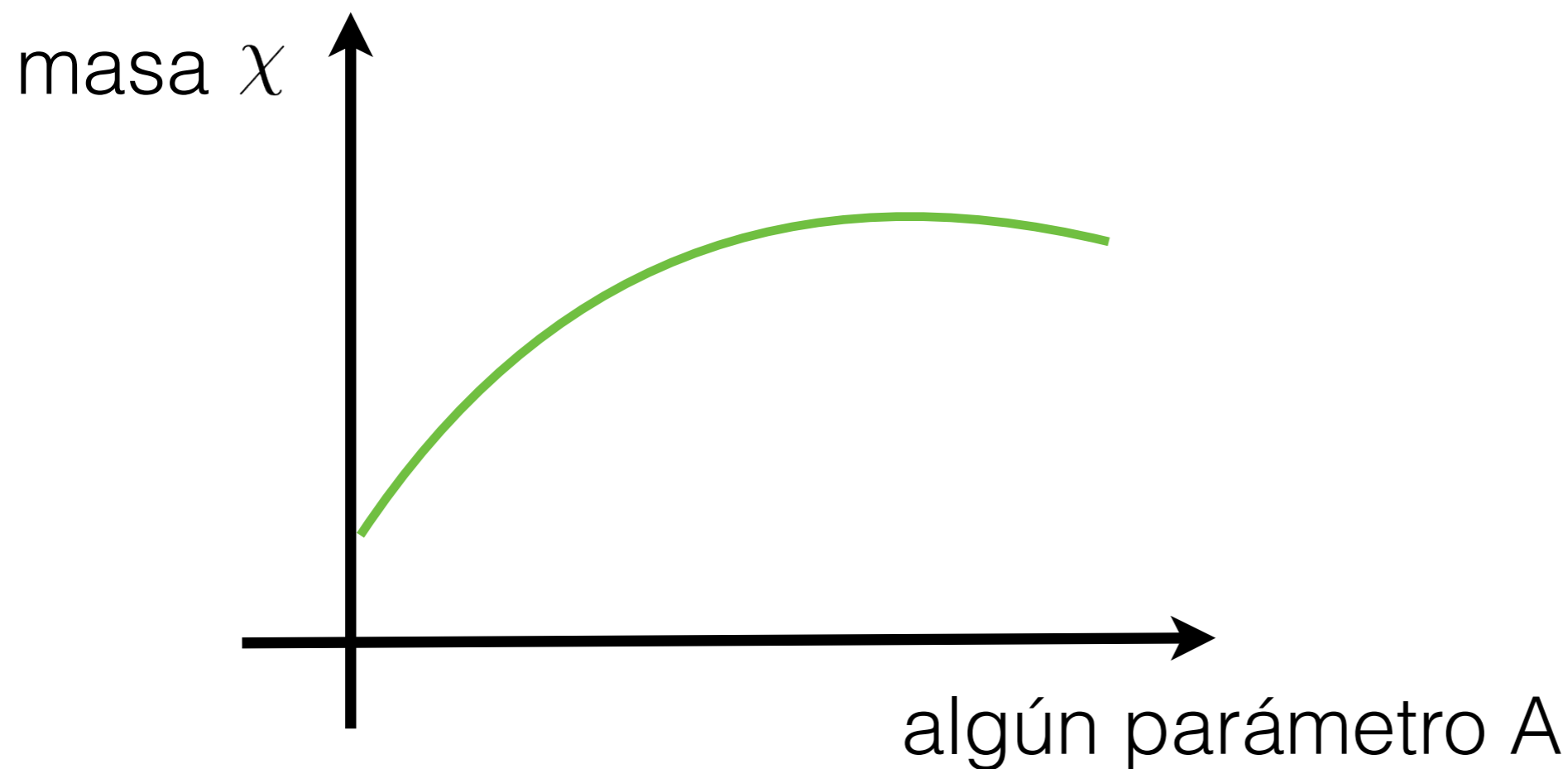
Qué hacen en física de partículas?

CALCULAR

Requerimientos para χ ?



candidato de
materia oscura



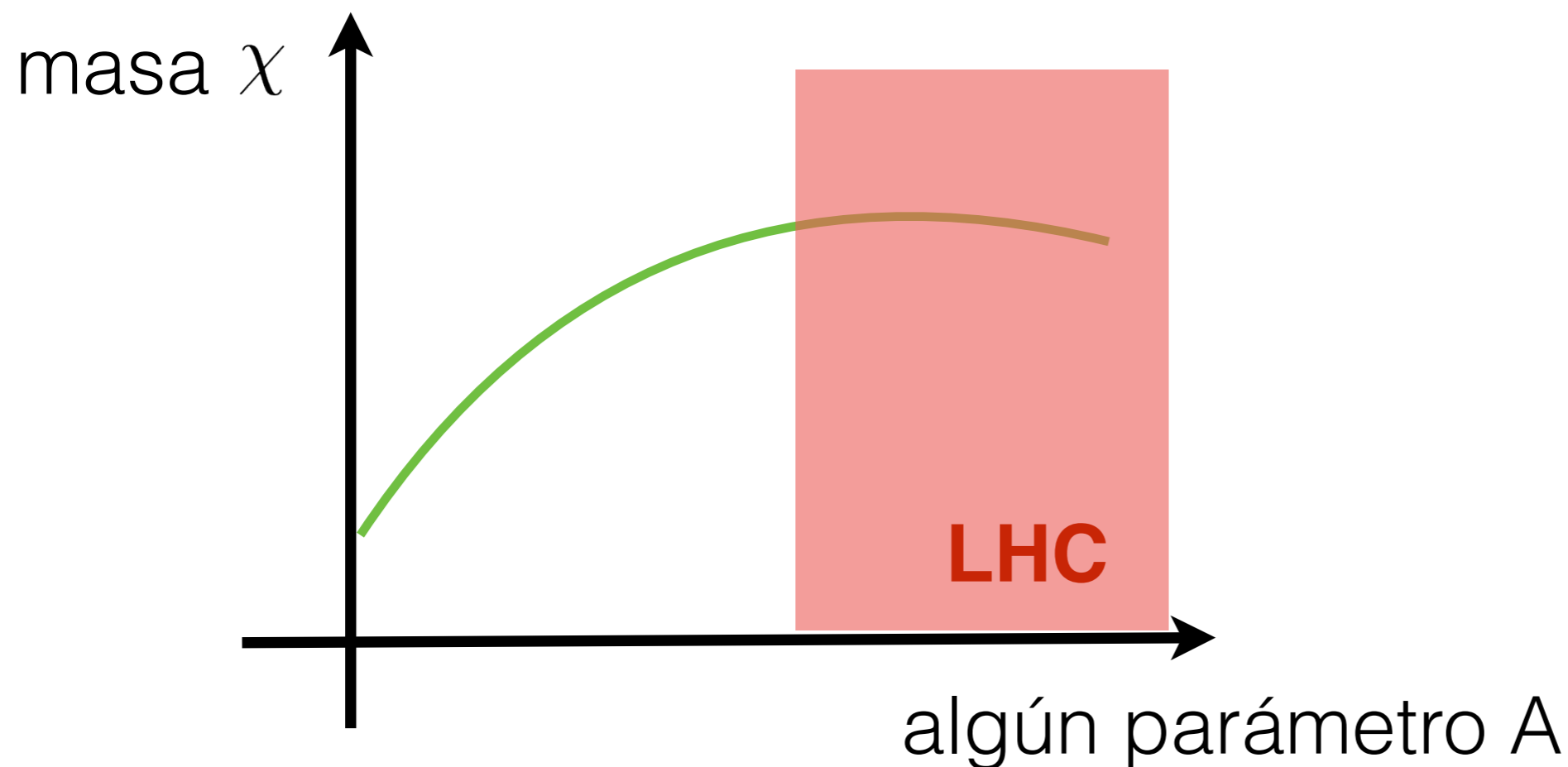
Qué hacen en física de partículas?

CALCULAR

Requerimientos para χ ?

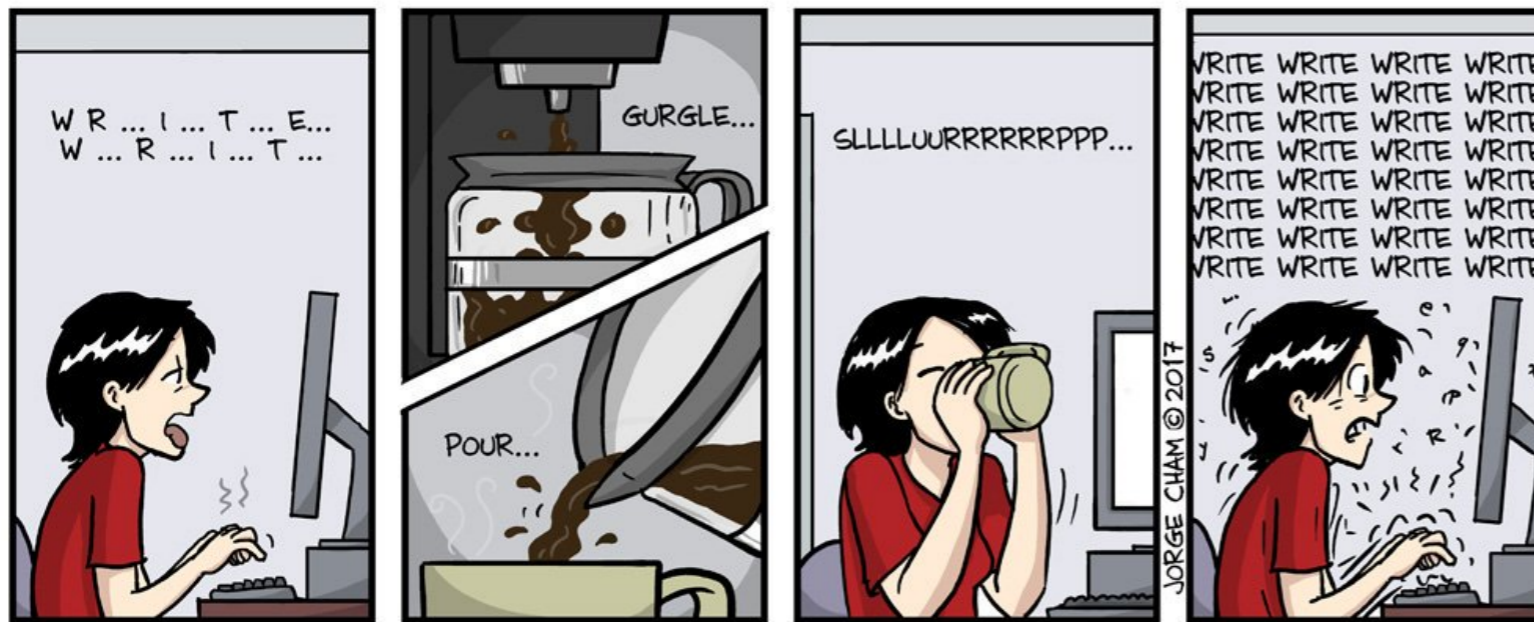


candidato de
materia oscura



Qué hacen en física de partículas?

ESCRIBIR

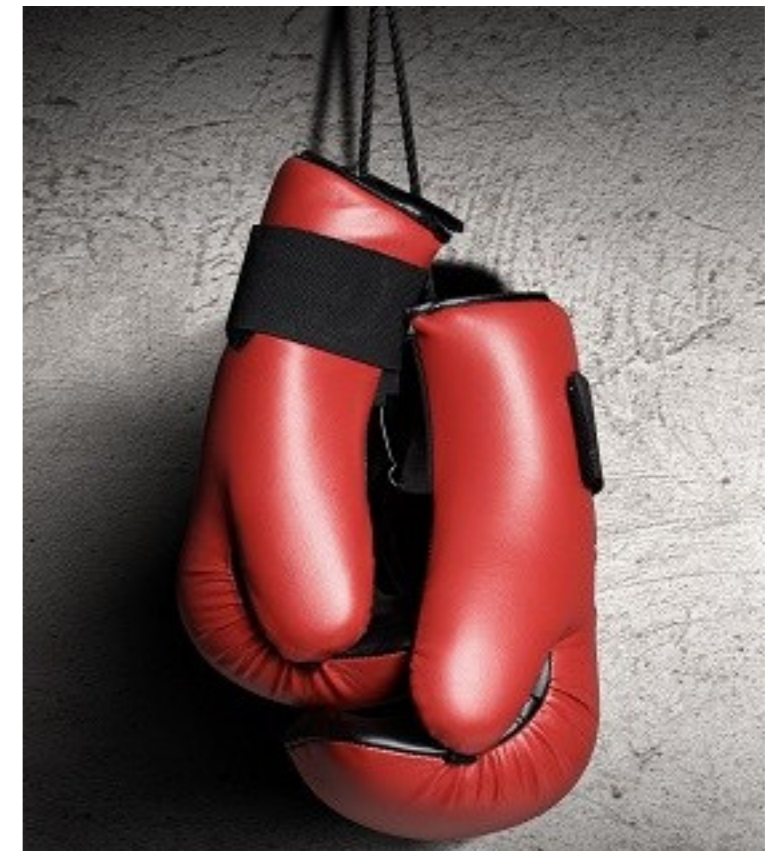


WRITING: JUST ADD COFFEE.

WWW.PHDCOMICS.COM



Videollamadas / emails



Consensos en redacción

Qué hacen en física de partículas?

PUBLICAR

Thermal dark matter via the flavon portal

Carlos Alvarado,^{*} Fatemeh Elahi,[†] and Nirmal Raj[‡]

Department of Physics, University of Notre Dame, 225 Nieuwland Hall, Notre Dame, Indiana 46556, USA
(Received 19 June 2017; published 3 October 2017)

Dark matter (DM) is added to the Froggatt-Nielsen (FN) mechanism, and conditions for its successful freeze-out identified. Requesting the FN scale Λ_{FN} to be the cutoff of the theory renders freeze-out scenarios surprisingly few. Fermionic DM is typically charged under $U(1)_{\text{FN}}$, with the dominant annihilation channel a CP -even flavon + CP -odd flavon. A minimal case is when the DM-flavon coupling strength is $\mathcal{O}(1)$, with several implications: (1) the DM mass is $\mathcal{O}(100 \text{ GeV} - 1 \text{ TeV})$, thanks to the WIMP coincidence, (2) requiring perturbativity of couplings puts a lower *and* upper limit on the flavor scale, $2 \text{ TeV} \lesssim \Lambda_{\text{FN}} \lesssim 14 \text{ TeV}$, on account of its relation to DM mass and couplings, (3) DM is a “secluded WIMP” effectively hidden from collider and direct detection searches. Limits on the masses of dark matter and mediators from kaon mixing measurements constitute the best constraints, surpassing Xenon1T, Fermi-LAT, and the LHC. Future direct detection searches, and collider searches for missing energy plus a single jet/bottom/top, are promising avenues for discovery.

DOI: [10.1103/PhysRevD.96.075002](https://doi.org/10.1103/PhysRevD.96.075002)

I. INTRODUCTION

The nature and origin of dark matter (DM) remain

It is to this picture that we wish to add DM. A profitable pursuit, one that gives experiments a well-motivated target,

Conclusiones (mensaje para llevar)

- El modelo estándar de partículas ha sido un éxito en términos de explicar, cuantificar y precisar la física microscópica
- Nos ha motivado la curiosidad. Pero ha generado tecnología y a su vez se ha beneficiado de ella para continuar respondiendo los misterios restantes del ME.
- Un(a) físico(a) de partículas busca respuestas a interrogantes físicas tomando como punto de partida el ME. Propone, evalúa, verifica, presenta resultados.

Conclusiones (mensaje para llevar)

- El modelo estándar de partículas ha sido un éxito en términos de explicar, cuantificar y precisar la física microscópica
- Nos ha motivado la curiosidad. Pero ha generado tecnología y a su vez se ha beneficiado de ella para continuar respondiendo los misterios restantes del ME.
- Un(a) físico(a) de partículas busca respuestas a interrogantes físicas tomando como punto de partida el ME. Propone, evalúa, verifica, presenta resultados.

GRACIAS