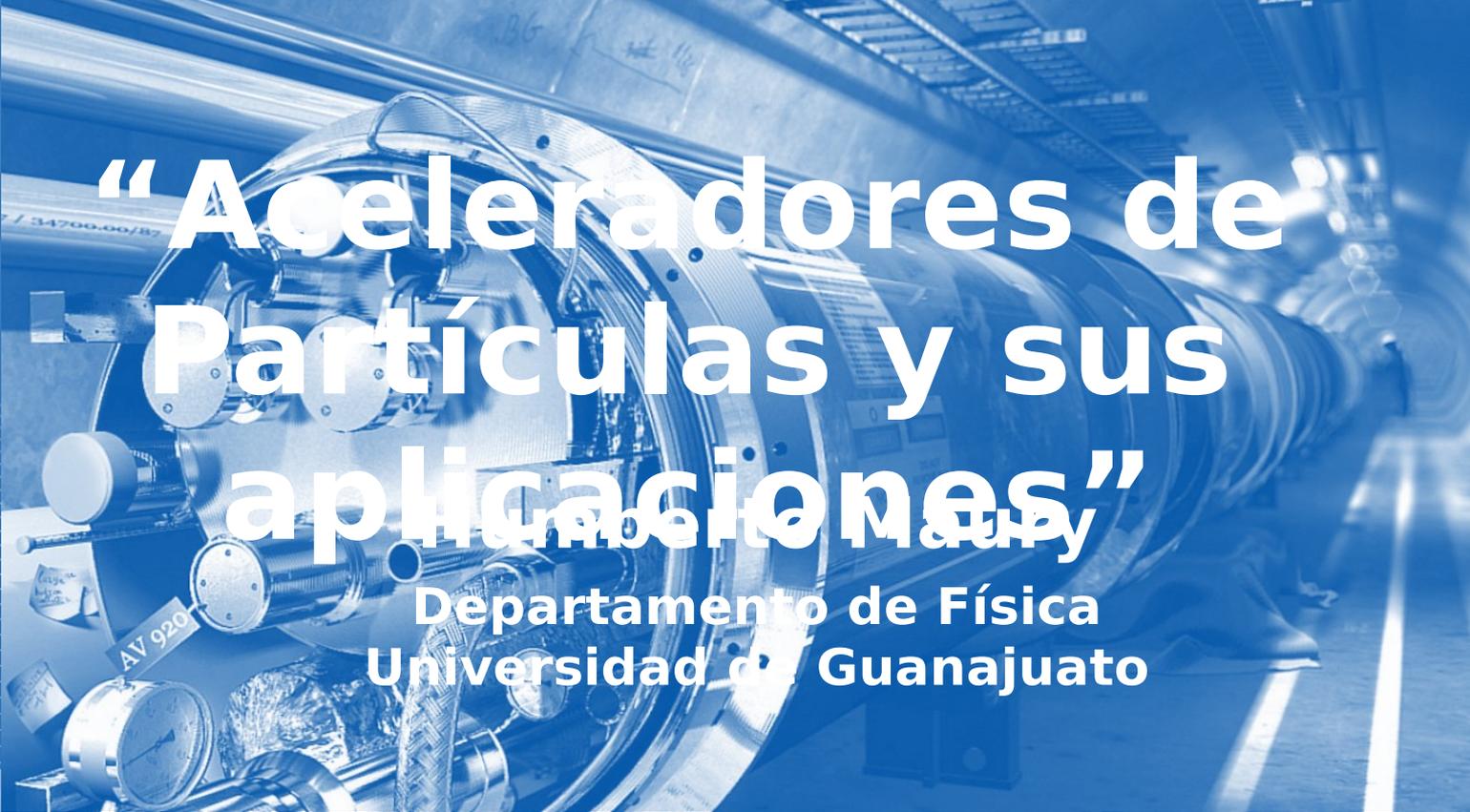




UNIVERSIDAD  
DE GUANAJUATO

# Seminario

14 de enero de 2016, FCFM-UNACH  
Tuxtla, Chiapas

A photograph of a particle accelerator tunnel, showing a long, cylindrical structure with various components and a person walking in the distance. The image is overlaid with a blue gradient.

## “Aceleradores de Partículas y sus aplicaciones”

Humberto Maury  
Departamento de Física  
Universidad de Guanajuato

Comunidad Mexicana de  
Aceleradores de Partículas

# Contenido:

- I. Introducción a los aceleradores de partículas.
- II. Aplicaciones principales.
- III. Comunidad Mexicana de Aceleradores de Partículas.
- IV. Líneas de investigación.

A photograph of a particle accelerator tunnel, showing a long, cylindrical structure receding into the distance. In the foreground, there is a large, circular opening revealing various technical components, including gauges, pipes, and a label that reads "AV 920". The scene is illuminated by overhead lights, creating a perspective effect. The entire image is overlaid with a blue gradient and a grid pattern.

# *Breve introducción a Física de Aceleradores*

Pero antes, hagamos un breve  
parentesis y hablemos de:



**Sistema  
s de  
transpo  
rte**



# “Aceleradores de personas”



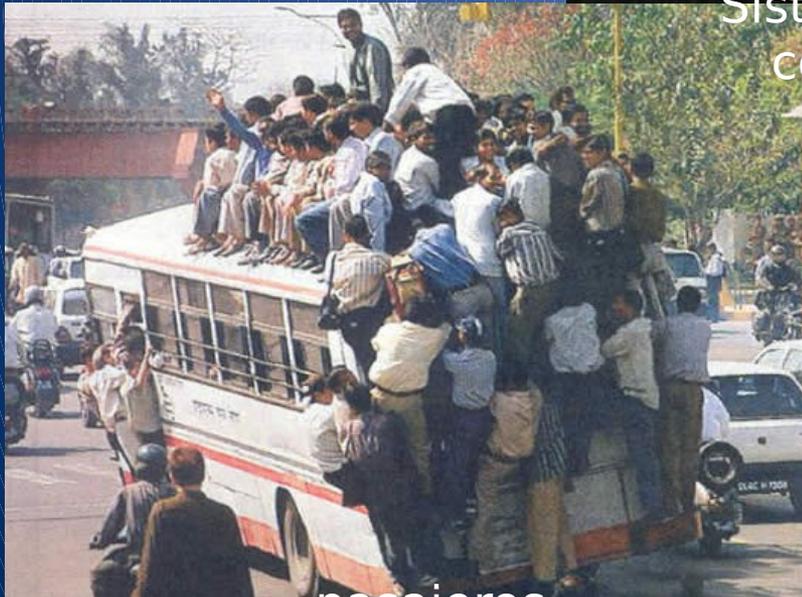
Combustible



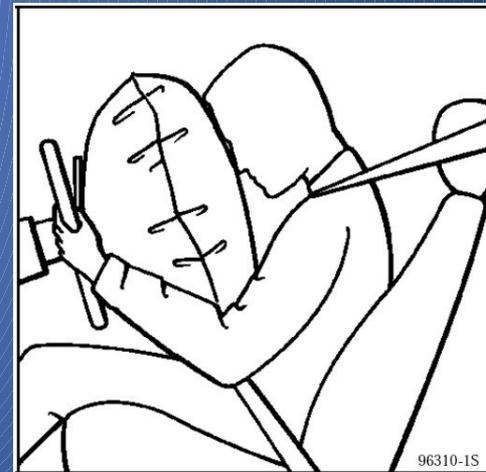
Sistema de control



Instrumentación



pasajeros



Sistemas de seguridad

# “Aceleradores de personas”



Autopistas: rectas, curvas, congestionadas o casi vacías.

# ¿Qué es un acelerador de partículas?

- Máquina que acelera partículas.
- Las confina en haces bien definidos.
- Incrementa su energía.

**Diferentes tamaños: LHC, TV**

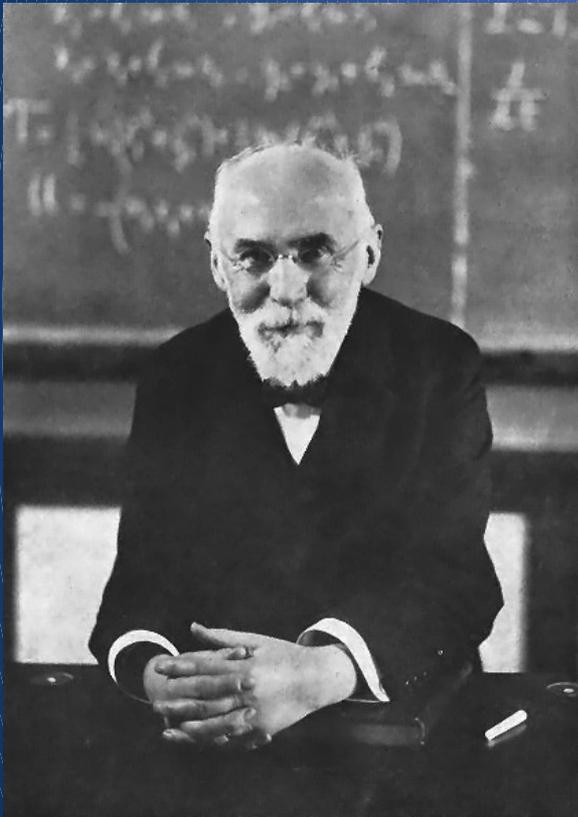


**Dos tipos: Circulares y lineales.**



# ¿Cómo se aceleran las partículas?

- Gracias a la fuerza de Lorentz:



$$\mathbf{F} = q(\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B})$$

Que describe la fuerza ejercida por un campo electromagnético ( $\mathbf{E}$ ,  $\mathbf{B}$ ) sobre una partícula con carga  $q$  y velocidad  $\mathbf{v}$

**Elementos clave en un acelerador:**

- **Campo eléctrico\_y**
- **Campo magnético.**

# ¿Cómo se aceleran las partículas?

- Gracias a la fuerza de Lorentz:



$$\mathbf{F} = q(\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B})$$

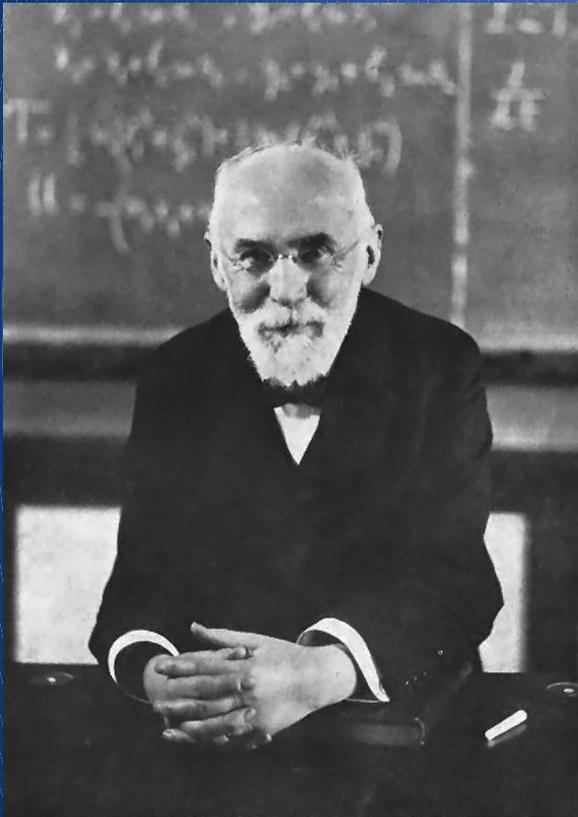
Que describe la fuerza ejercida por un campo electromagnético ( $\mathbf{E}$ ,  $\mathbf{B}$ ) sobre una partícula con carga  $q$  y velocidad  $\mathbf{v}$

**Elementos clave en un acelerador:**

- **Campo eléctrico y**
- **Campo magnético.**

# ¿Cómo se aceleran las partículas?

- Gracias a la fuerza de Lorentz:



$$\mathbf{F} = q(\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B})$$

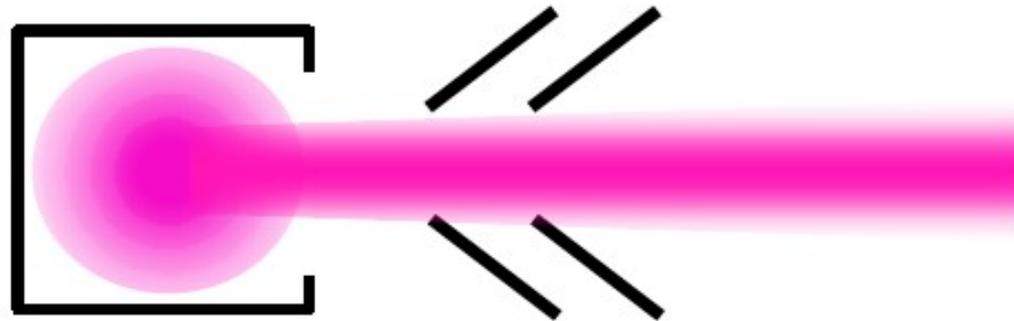
Que describe la fuerza ejercida por un campo electromagnético ( $\mathbf{E}$ ,  $\mathbf{B}$ ) sobre una partícula con carga  $q$  y velocidad  $\mathbf{v}$

**Elementos clave en un acelerador:**

- Campo eléctrico y
- **Campo magnético.**

# Primero necesitamos una fuente de partículas:

Particle sources/guns consist of:

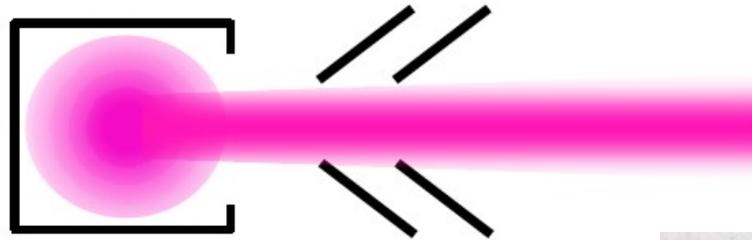


Something to make  
the particles +

An extraction  
system to create  
and accelerate a  
beam

# Primero necesitamos una fuente de partículas:

Particle sources/guns consist of:

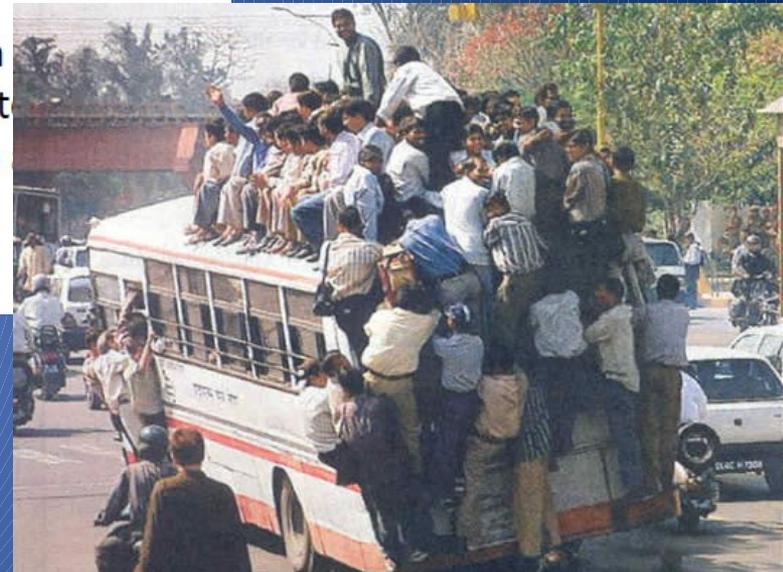


Something to make  
the particles

+

An extraction  
system to create  
and accelerate  
beam

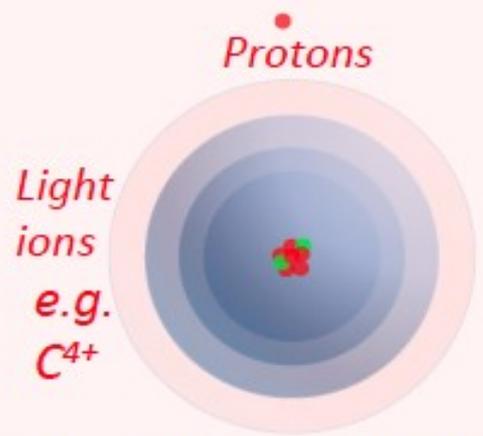
## ¿Qué tipo de partículas?



Positrons  
 $e^+$

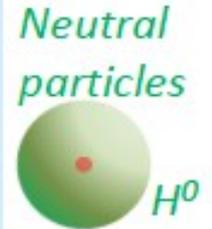
Electrons  
 $e^-$

Photons  
Neutrinos  
 $\nu_e \nu_\mu \nu_\tau$   
Neutrons  
 $n$



$\mu^+$  Muons  $\mu^-$  Antiprotons

Negative ions



### Positively Charged Particles

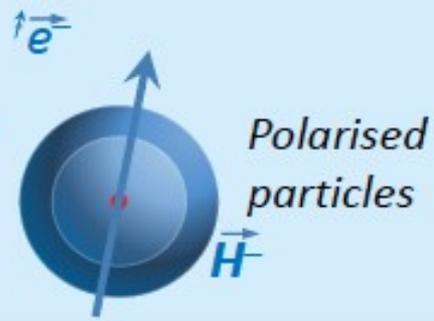
### Negatively Charged Particles

### Neutral Particles

Highly charged ions  
e.g.  $Ag^{32+}$



Fully stripped nuclei  
e.g.  $U^{92+}$   $\ddagger \bar{p}$



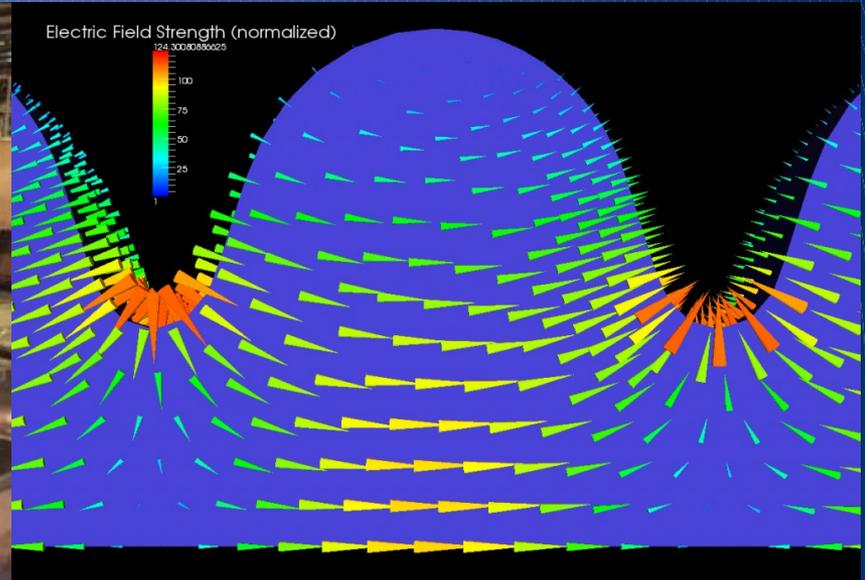
Higgs Bosons

Exotic nuclei e.g.  $Lr^{103+}$



**Zoo of curiosities**  
Tauons  
Mesons  
Baryons  
W + Z  
Bosons

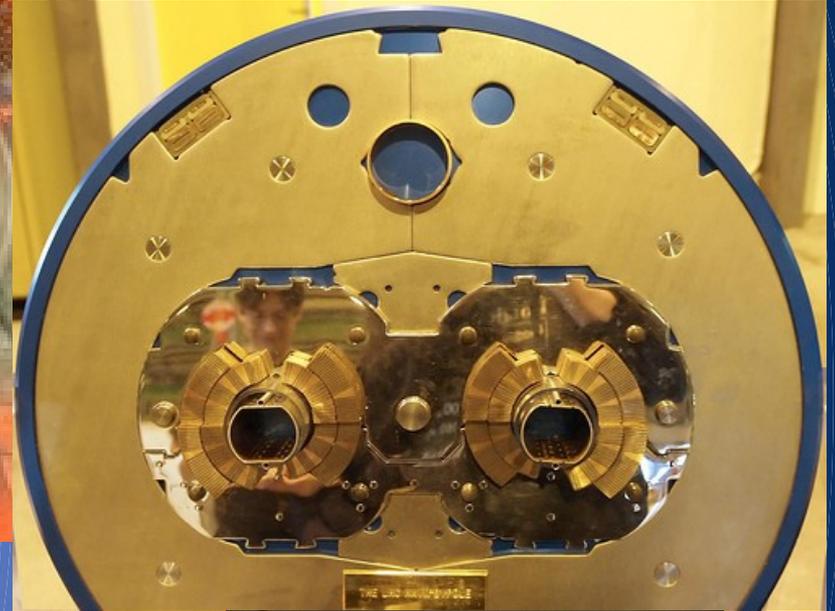
# Fuerza eléctrica



$$\mathbf{F} = q(\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B})$$



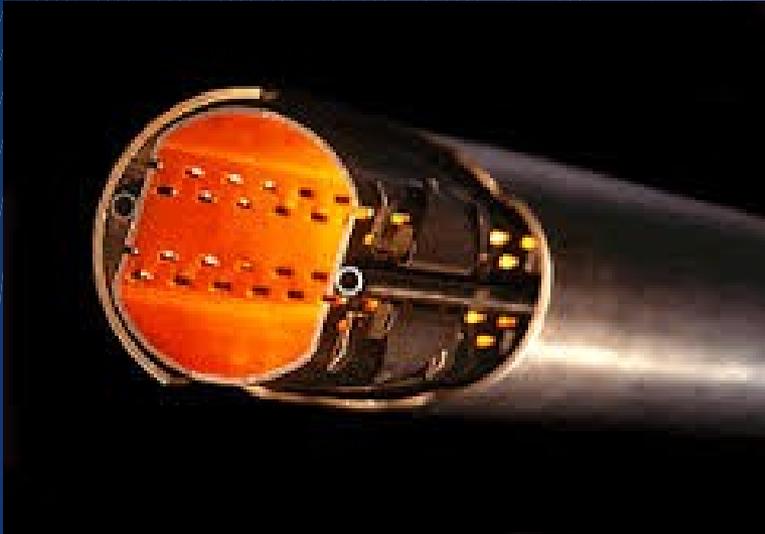
# Fuerza magnética



$$\mathbf{F} = q(\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B})$$



# Cámara de vacío



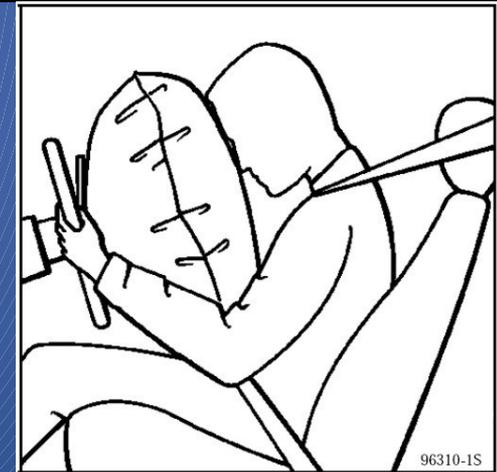
La “autopista” por donde circulará el haz de partículas.



Objetivo del sistema de vacío: despejar la ruta de las partículas, disminuir las colisiones con el gas residual.

# Otros elementos clave (vitales):

- Sistema de monitoreo del haz: BPM, BLM, BSRT, et
- Sistema de enfriamiento
- Sistemas electrónicos
- Sistemas de Control
- Sistemas de protección
- Etc.,



# Aceleradores de partículas en números

Actualmente: ~30,000  
aceleradores en el  
mundo\*



Menos del 1% es usado en ciencia básica e investigación\*. Casi todos los demas son empleados por las ***industrias*** y la ***medicina***:

- **Aplicaciones industriales:**  
~20,000\*
- **Aplicaciones médicas:**  
~10,000\*

## ¿Y en el caso de MÉXICO?



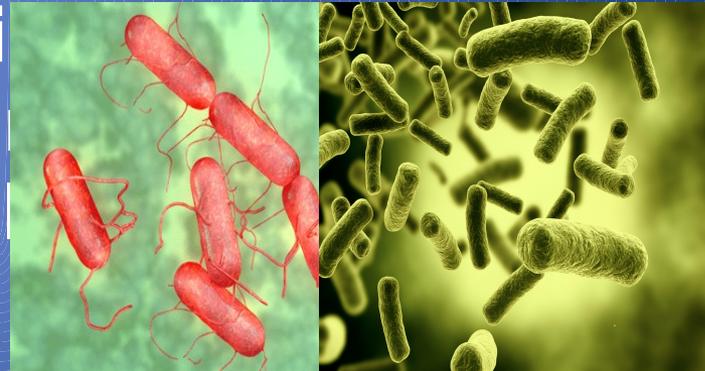
\* World Scientific Reviews of Accelerator Science and Technology,  
A W Chan

# ¿Por qué necesitamos aceleradores de partículas?

- Múltiples aplicaciones: **Industria**



**Industria alimenticia: Frutas son irradiadas con un haz de electrones para eliminar los microbios y salvarlas.**



# ¿Por qué necesitamos aceleradores de partículas?

- Múltiples aplicaciones: **Industria**



**Industria  
alimenticia: Frutas  
son irradiadas con  
un haz de  
electrones para  
eliminar  
contaminantes  
sancionados**



**Dr. Luis Villaseñor, D  
Julio Vargas (UMSNH)**

# ¿Por qué necesitamos aceleradores de partículas?

- Múltiples aplicaciones: **Seguridad** 



**Seguridad Nacional:**  
Aceleradores juegan un rol importante en la inspección de camiones de carga y contenedores.



# ¿Por qué necesitamos aceleradores de partículas?

- Múltiples aplicaciones: **Seguridad** 



**Seguridad Nacional: Aceleradores juegan un rol importante en la inspección de camiones de carga y contenedores.**

M. Sc. Gabriela Enriquez

Ing. Joel Baez (PGJ-Puebla)

# ¿Por qué necesitamos aceleradores de partículas?

- Múltiples aplicaciones: **Medicina**



**Aceleradores nos ayudan a vivir más:  
combaten el cáncer.**



**Medicina: protones pueden destruir tumores y son una alternativa para la terapia de radiación ya que tienen un mayor poder de penetración que los electrones. Pueden pasar a través del tejido sano causando poco daño, pero acabando con células**

# ¿Por qué necesitamos aceleradores de partículas?

- Múltiples aplicaciones: **Medicina**



**Aceleradores nos ayudan a vivir más:  
combaten el cáncer.**



Dr. Arturo Fernández  
Téllez  
(BUAP)

**Medicina:** protones pueden destruir tumores y son una alternativa para la terapia de radiación ya que tienen un mayor poder de penetración que los electrones. Pueden pasar a través del tejido sano causando poco daño, pero acabando con células

# ¿Por qué necesitamos aceleradores de partículas?

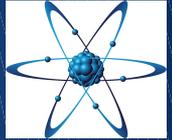
- Múltiples aplicaciones: **Ciencia y tecnología**



**Ciencia básica: Nos ayudan a contestar preguntas fundamentales de nuestro universo.**  
**Tecnología: Resolver problemas prácticos.**

# ¿Por qué necesitamos aceleradores de partículas?

- Múltiples aplicaciones: **Ciencia y tecnología**



**Ciencia básica: Nos ayudan a contestar preguntas fundamentales de nuestro universo.**  
**Tecnología: Resolver problemas**

Dr. Matías  
Moreno  
(UNAM)  
Red TULS





**Comunidad Mexicana de  
Aceleradores de  
Partículas**

# Comunidad Mexicana de Aceleradores de Partículas (CMAF)



# Recursos humanos de alto nivel:

- Especializados en:
  - **Fuentes de partículas: Dr. Cristhian Valerio (UAS)**
  - **Magnetos: Daniel Chavez (UG)**
  - **Cavidades de RF: Karim Hernandez (UG), Salvador Sosa (ODU), Alex Castilla (CERN)**
  - **Aceleradores lineales: Dr. Cristhian Valerio (UAS), Dr. Humberto Maury (UG) et al.**
  - **Aceleradores circulares: Varios.**
  - **Dinámica de haces (beam dynamics): Luis Medina (UG), Emilia Cruz (Universidad de Liverpool)**
  - **Sistemas de Vacío: Dr. Carlos Hernández (JLAB)**
  - **Sistemas de protección y diagnóstico: Dr. Bruce Yee (KEK), David Pavel (UG)**
  - **Radiación Sincrotrón: Gerardo Guillermo (CINVESTAV)**
  - **Efectos colectivos: Ing. Alan Canto (UADY) y Dr. Humberto Maury (UG),**

# Líneas de investigación





# ¿Qué es una nube de electrones?

Es un grupo de electrones producidos en el interior de la cámara de vacío del acelerador y que es capaz de interferir con el funcionamiento óptimo de la máquina y/o degradar la calidad del haz de partículas.



**¿De dónde provienen estos electrones?**

**Origen:**

- **Ionización del gas residual dentro de la cámara de vacío.**
- **Fotoemisión inducida por la radiación sincrotrón proveniente del haz de**



# Efectos de la nube de electrones en el LHC

---

## **Efectos nocivos:**

- **Pérdida de estabilidad en el haz de partículas**
- **Incremento de la presión dentro de la cámara de vacío.**
- **Fuente de calentamiento adicional para el sistema criogénico.**

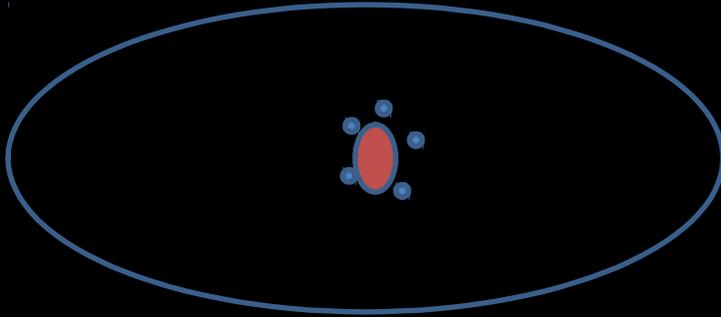


**¿Cómo podemos estudiar este efecto? Mediante simulaciones computacionales (PyEcloud)**



# Ingredients for e-cloud build-up simulation

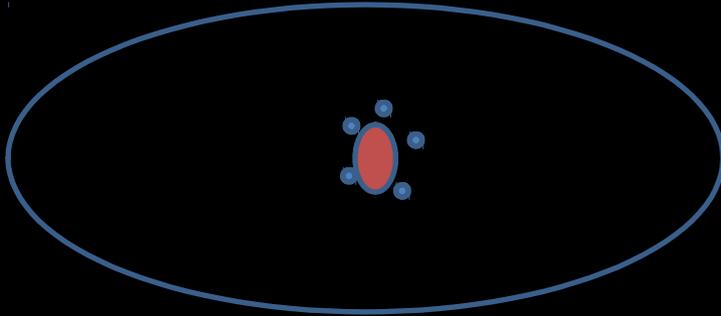
## 1. Seed electrons generation (gas ionization, photoemission)



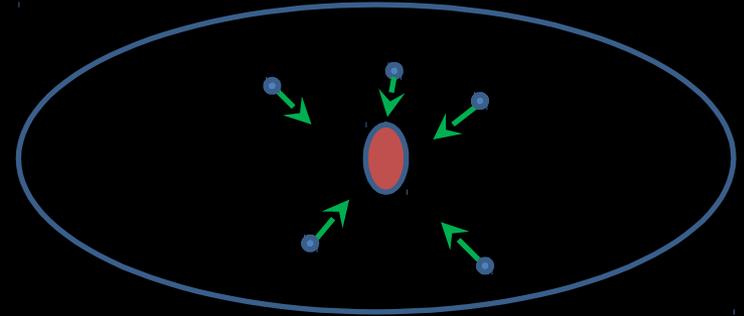


# Ingredients for e-cloud build-up simulation

## 1. Seed electrons generation (gas ionization, photoemission)



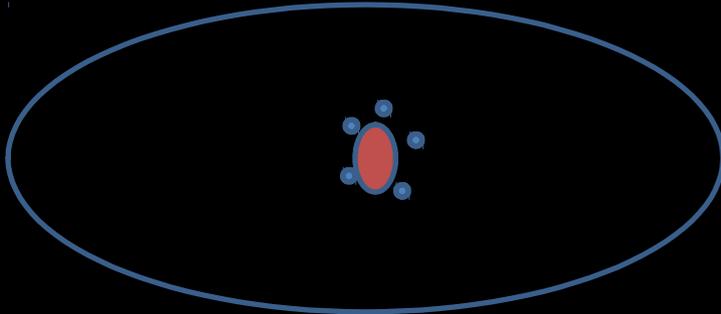
## 2. Force exerted by the beam on $e^-$



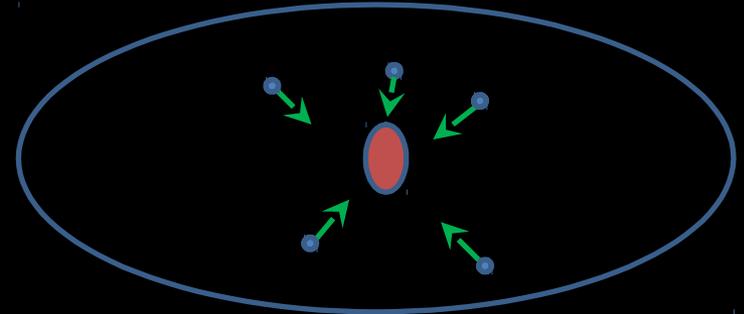


# Ingredients for e-cloud build-up simulation

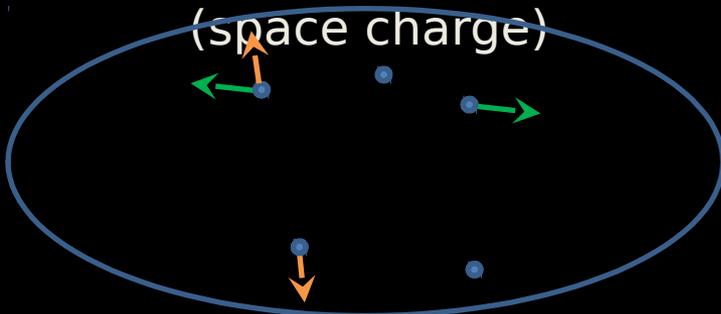
## 1. Seed electrons generation (gas ionization, photoemission)



## 2. Force exerted by the beam on $e^-$



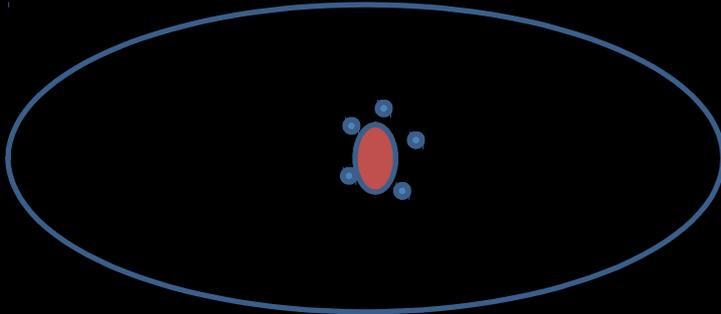
## 3. Force exerted by the $e^-$ on each other (space charge)



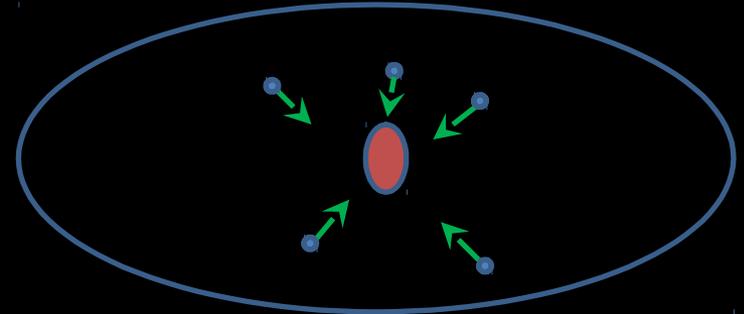


# Ingredients for e-cloud build-up simulation

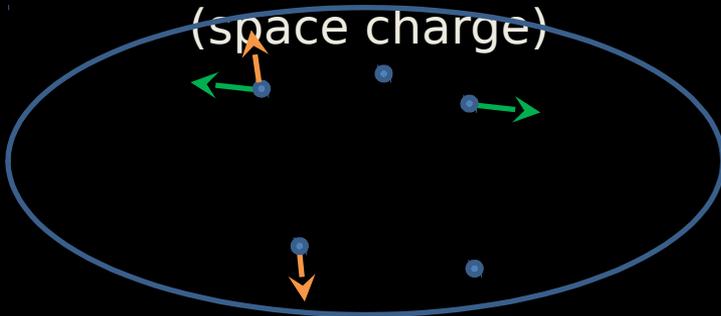
## 1. Seed electrons generation (gas ionization, photoemission)



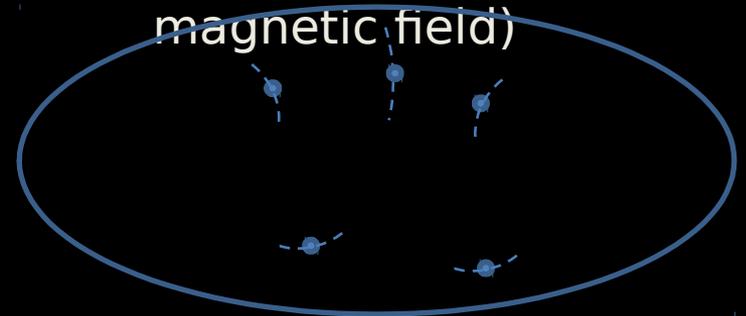
## 2. Force exerted by the beam on $e^-$



## 3. Force exerted by the $e^-$ on each other (space charge)



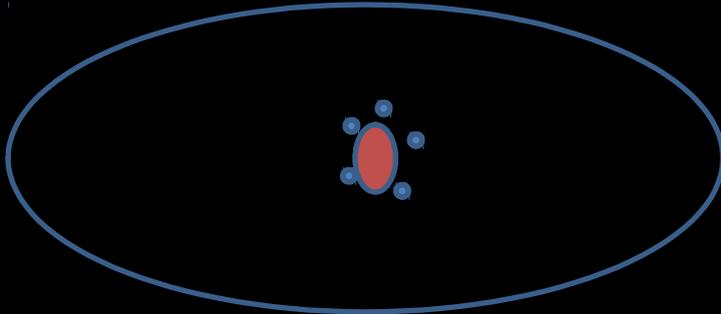
## 4. Equations of motion (also in presence of an external magnetic field)



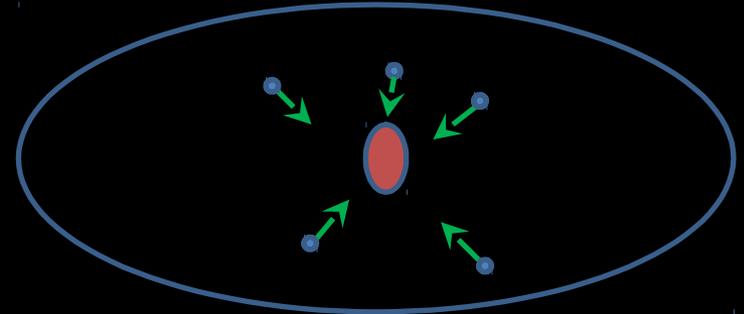


# Ingredients for e-cloud build-up simulation

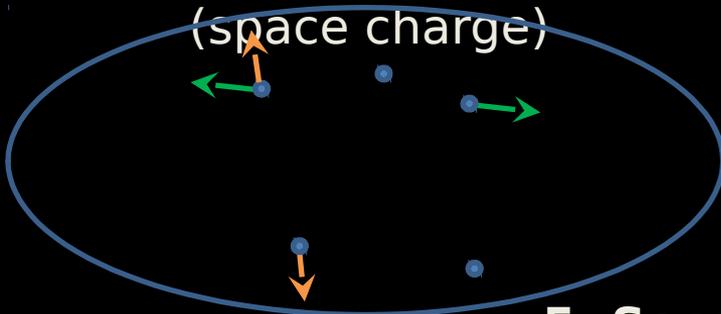
## 1. Seed electrons generation (gas ionization, photoemission)



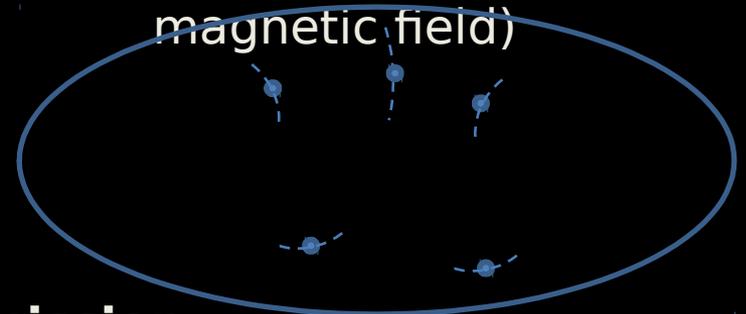
## 2. Force exerted by the beam on $e^-$



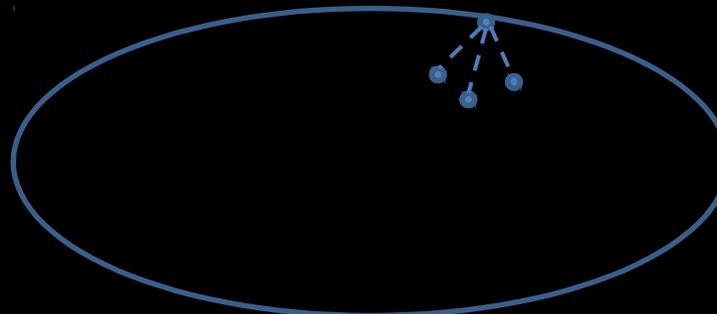
## 3. Force exerted by the $e^-$ on each other (space charge)



## 4. Equations of motion (also in presence of an external magnetic field)



## 5. Secondary emission



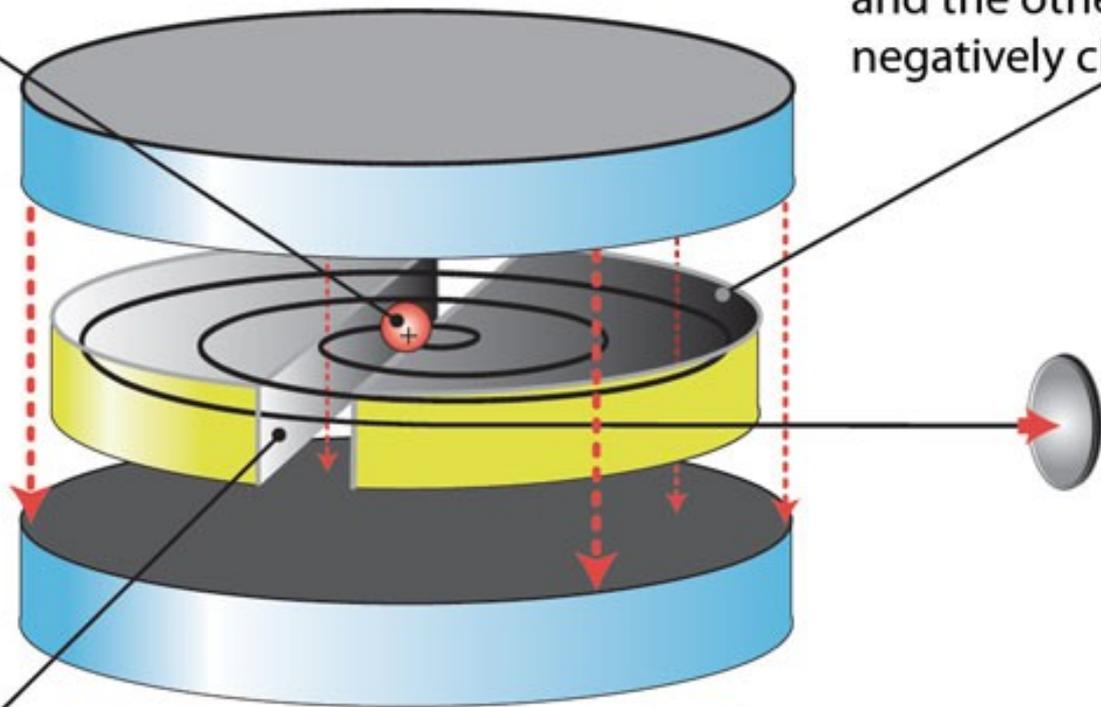
Slides taken from G. Iadarola ECLLOUD meeting presentation on 28 - Nov - 2001

# Cyclotron

Proton source

Two D-shaped cavities - one is positively charged and the other is negatively charged.

The magnetic field bends the path of a charged particle into a semi-circle.



Target

An electric field accelerates the charge at each gap crossing.

Large flat electromagnets on the bottom and top

# “Construcción de un ciclotrón de pequeñas dimensiones para propósitos educativos”

- Entrenar estudiantes.
- Aplicaciones médicas:
  - Terapia con protones para pacientes con cancer.
  - Producción de radiofármacos

¿Qué hacemos en México para impulsar el desarrollo de la ciencia y tecnología de y con aceleradores de partículas?



# MEXICAN PARTICLE ACCELERATOR SCHOOL VOL. 2

INTRODUCTION TO ACCELERATOR SCIENCE AND TECHNOLOGY:

SUPERCONDUCTING  
MAGNETS

RADIOFREQUENCY  
CAVITIES

SYNCHROTRON  
RADIATION

ACCELERATOR  
DESIGN

INSTRUMENTATION

CRYOGENIC AND  
VACUUM SYSTEMS

SAFETY AND  
CONTROL



/MEPAS2015



@MEPAS2015

11-21 NOVEMBER

# 2015

GUANAJUATO, GTO. MEXICO

[www.mepas2.wix.com/mepas2015](http://www.mepas2.wix.com/mepas2015)

[mepas@fisica.ugto.mx](mailto:mepas@fisica.ugto.mx)



# MePAS 2015



# MePAS 2015



- USPAS-CAS-ILC
- 36 estudiantes (licenciatura, maestría y doctorado):
  - **50% físicos y 50% ingenieros.**
  - **1/3 mujeres.**
- 50% de los profesores fueron Mexicanos.
- Participación internacional: CERN, USA, Brasil

# Conclusiones

- México comienza a tener RH altamente especializados en FA.
- Proyectos mexicanos de aceleradores en las áreas de: industria, seguridad, medicina, ciencia básica y aplicada.
- MePAS 3 coming soon! ¿Quizás en Chiapas?
- **Un acelerador es una máquina compleja pero fascinante, con múltiples aplicaciones, donde se combina la física y la ingeniería.**

# Agradecimientos

- Facultad de Ciencias en Física y Matemáticas – Universidad Autónoma de Chiapas
- Dra. Karen Caballero Mora

Muchas gracias por su  
atención

**israel.maury@ug  
to.mx**



How to become an accelerator  
professional?

# How to become an accelerator professional?

## Getting training:

- Working at an accelerator facilities: Fermilab, CERN, DESY, SLAC, KEK, LNL, etc.,
- Going to accelerator schools



# U.S. Particle Accelerator School

Education in Beam Physics and Accelerator Technology

www.uspas.fnal.g

Home

About

Programs

Course Materials

**O**Vtutorials

Photos

Opportunities

Contact

## Current Program

USPAS sponsored by  
the University of Texas, Austin  
January 25 - February 5, 2016  
held in Austin, Texas

[View Details >>](#)

APPLY NOW

## Next Program

USPAS sponsored by  
Colorado State University  
June 13-24, 2016  
held in Fort Collins, Colorado

# DIVISION OF PHYSICS OF BEAMS

Join the APS Division of Physics of Beams. Click slide for more information.



## Hot Topics

- Congratulations to USPAS faculty member Don Cossairt who received a [Lifetime Achievement Award](#) for accelerator safety from the DOE Office of Science.
- Many thanks to [Rohde & Schwarz USA, Inc.](#) for loaning us an [oscilloscope](#) and a [function generator](#) for our Accelerator Fundamentals course this summer.

## Accelerator Tutorials

### How FERMI FEL works

FERMI is the free electron laser (FEL) facility located in the research centre Elettra Sincrotrone Trieste, Italy. This video shows its basic components and functioning, in the specific configuration of externally seeded FEL (High Gain Harmonic Generation), from the electron gun through the linear accelerator and the undulator, to the



[\*Dr. Roger Bailey \(Head of CAS\)\*](#)

[\*Dr. Werner Herr \(Deputy Head of CAS\)\*](#)

[\*Dr. Bernhard Holzer \(CAS Member\)\*](#)

[\*Barbara Strasser \(CAS Administrator\)\*](#)

**www.cas.web.c  
ern.ch**

**Welcome to the CERN Accelerator School**

**The CERN Accelerator School holds training courses on accelerator physics and associated technologies for physicists, engineers, technicians and students throughout the year. The courses take place in different member states of CERN and consist of a programme of lectures and tutorials spread over a period of one or two weeks. Participants are welcome from member states of CERN and other countries world-wide.**

**The pattern of courses is:**

- **spring/autumn course on a specialised topic.**
- **autumn course on accelerator physics which is at the introductory level in even years and at the advanced level in odd years.**
- **occasional courses in the framework of the Joint Accelerator School (JAS)**

**Forthcoming Events:**

- **Free Electron Lasers and Energy Recovery Linacs (FELs and ERLs), 31 May - 10 June, 2016**



# MEXICAN PARTICLE ACCELERATOR SCHOOL VOL.2

INTRODUCTION TO ACCELERATOR SCIENCE AND TECHNOLOGY:

SUPERCONDUCTING  
MAGNETS

RADIOFREQUENCY  
CAVITIES

SYNCHROTRON  
RADIATION

ACCELERATOR  
DESIGN

INSTRUMENTATION

CRYOGENIC AND  
VACUUM SYSTEMS

SAFETY AND  
CONTROL



/MEPAS2015



@MEPAS2015

11-21 NOVEMBER

# 2015

GUANAJUATO, GTO. MEXICO

[www.mepas2.wix.com/mepas2015](http://www.mepas2.wix.com/mepas2015)

[mepas@fisica.ugto.mx](mailto:mepas@fisica.ugto.mx)

