

# 未来先进高能粒子加速器设施的 辐射安全需求和关键技术

夏晓彬

中国科学院上海应用物理研究所

上海光源

2016. 9. 22 东莞



中国科学院上海应用物理研究所

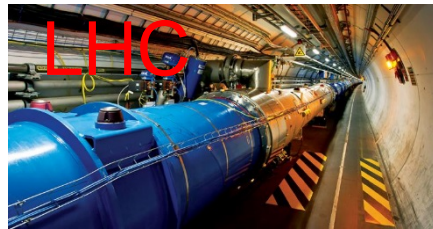
Shanghai Institute of Applied Physics, Chinese Academy of Sciences

# 世界主流的高能粒子加速器

## 1) 电子



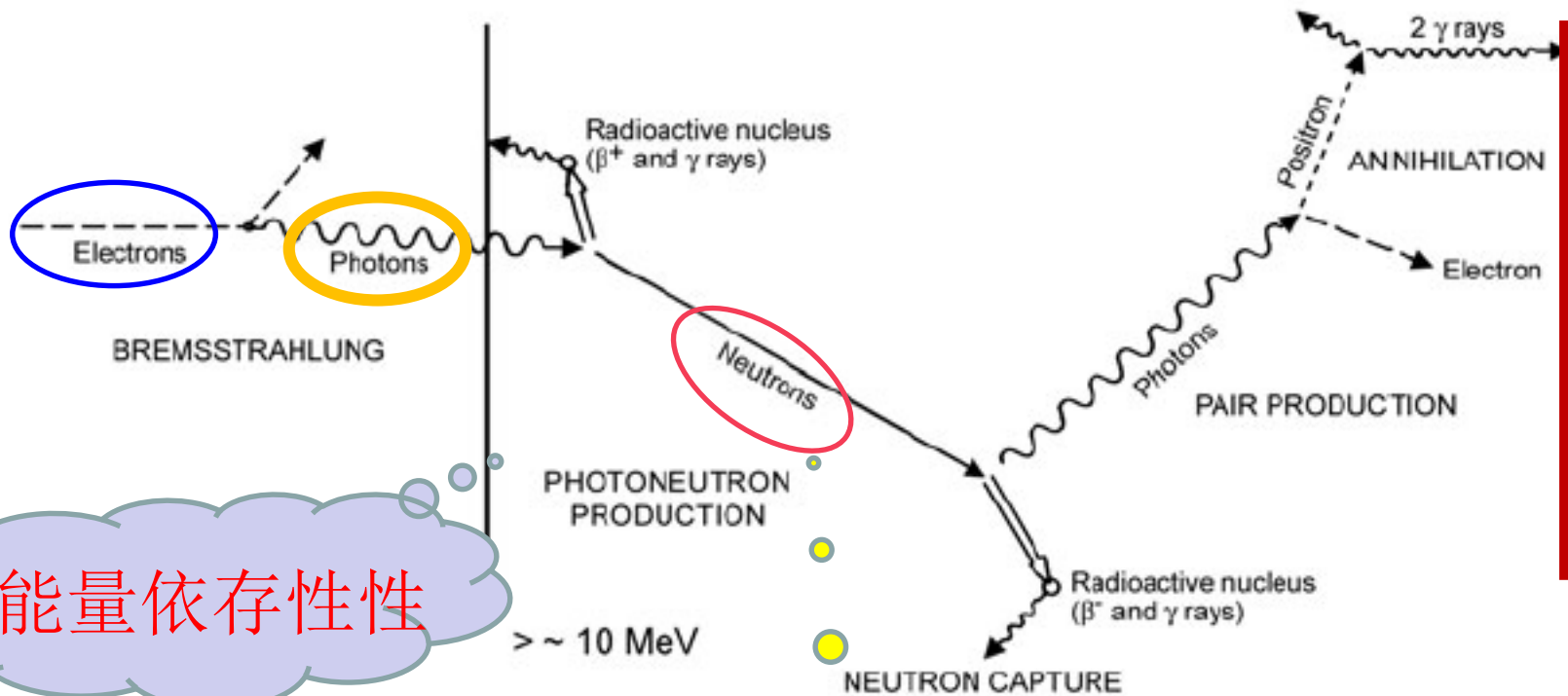
## 2) 质子



## 3) 重离子



# 高能电子加速器的辐射产生



能量依存性

中子重要性

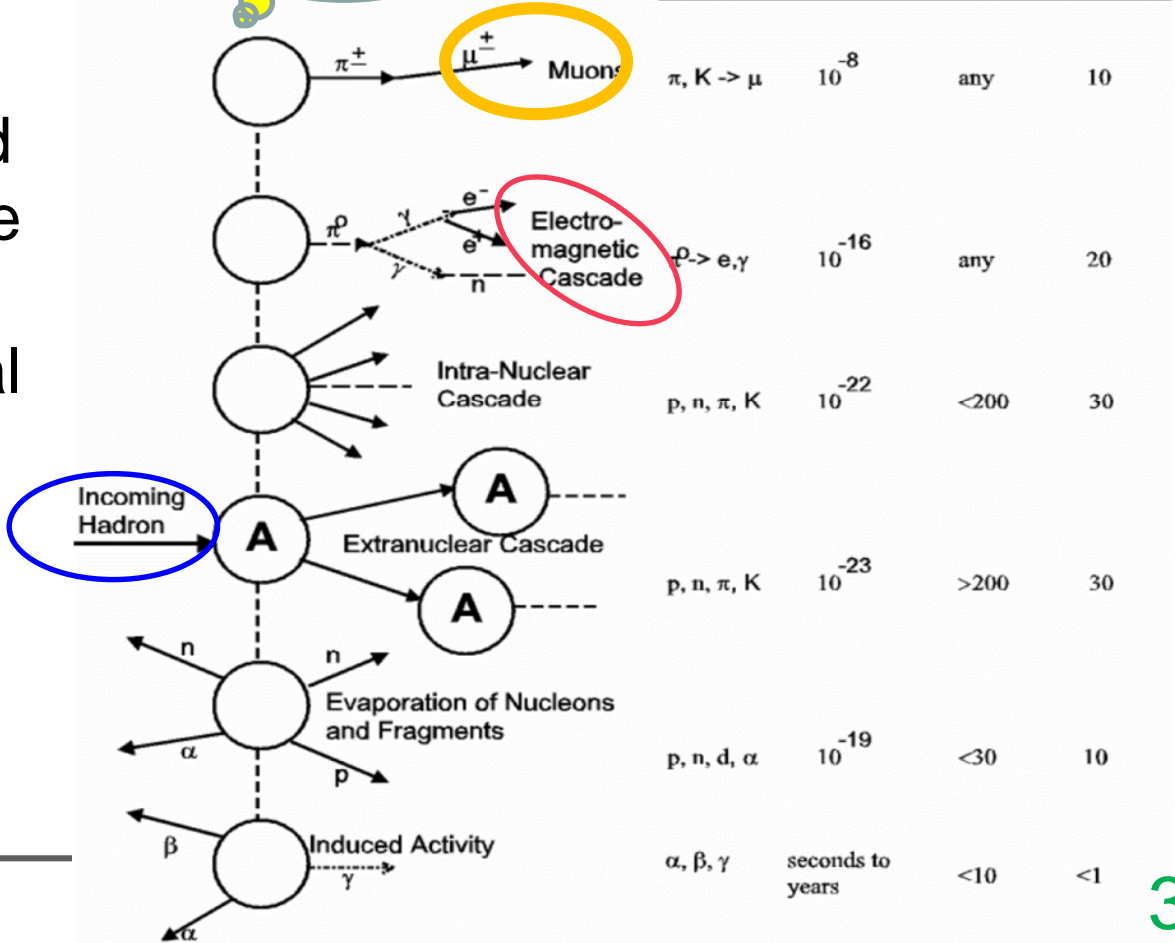
# 高能质子重离子加速器的辐射产生

☞ pions, kaons, fragments of the struck nucleus.

☞ above ~ 1.0 GeV and at forward angles, the pions, protons, and neutrons nearly equal in number

能量的高度依存性

强子的重要性



# 高能粒子加速器设施辐射危害源

- ❏ 初级瞬发辐射
- ❏ 次级瞬发辐射
- ❏ 残余辐射
- ❏ 屏蔽体及部件的活化
- ❏ 冷却水活化
- ❏ 空气活化
- ❏ 地下水活化

对环境主要是空气活化、天空散射

与粒子种类、能量和损失功率高度依存性

# 高能粒子加速器设施的辐射安全目标

👉 对人的防护（工作人员、**用户**、公众）

👉 对环境的保护

👉 **对机器的保护**

# 高能粒子加速器设施的辐射安全需求

- 👉 对人的防护：个人防护器具、辐射安全系统
- 👉 对环境的保护：环境排放、废物管理
- 👉 对机器的保护：新监控技术和新材料开发

## 技术与管理上的挑战

- 👉 混在辐射场、变动辐射场
- 👉 束流损失造成辐射水平的大幅度动态特性
- 👉 源项数据的不确定性
- 👉 活化水平预测与废物量估算方法困难
- 👉 对于脉冲辐射的快速响应
- 👉 射频干扰
- 👉 仪器仪表的高精度、高可靠性和稳定性要求
- 👉 远程操作与维护
- 👉 管理对象的多元化
- 👉 管理物项的复杂化（含放射性物质测量与豁免管理）



# 辐射源项评估方法与不确定性

Hybird of the methods

Simple empirical

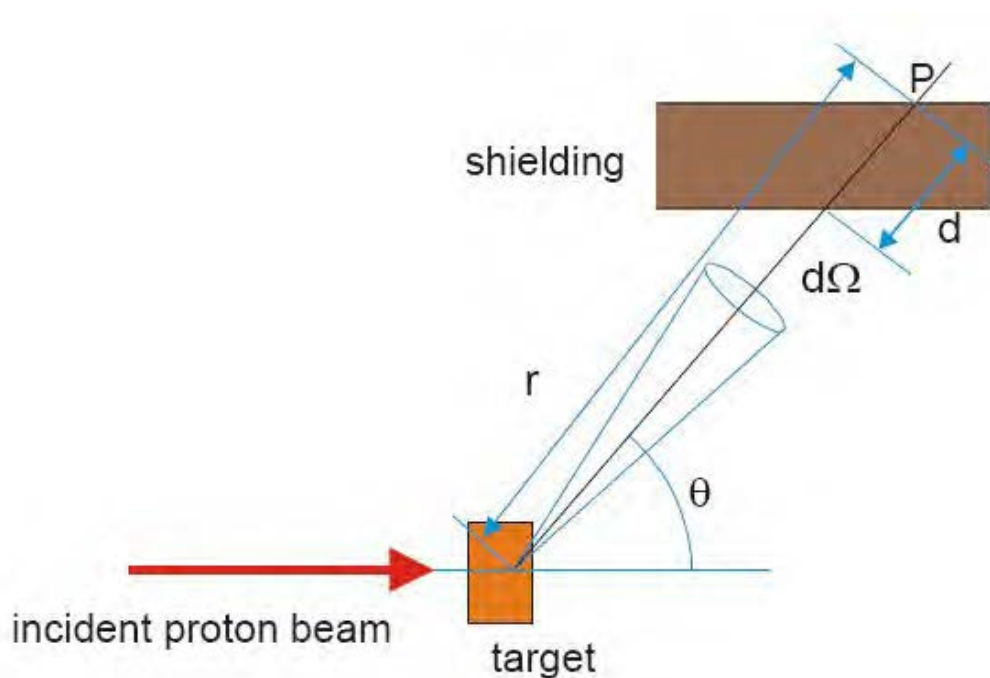
Moyer model

Monte Carlo Simulation (MC)

Typical codes such as MARS, EGS 4, FLUKA, GEANT4, MCNP/MCNPX, PHITS

MC importance for High-energy case

# Moyer Model for the Shielding Calculation



- ☞ A point kernel equation Form
- ☞ Development to be the generalized formulation
- ☞ Application to point-source and extended source calculations
- ☞ Parameters: (target material & primary proton energy) the attenuation length, the angular Distribution, *Source-strength*

$$\underbrace{H(E_p, \theta, d(\theta))}_{\text{dose equivalent at point P}} \equiv \frac{1}{r^2} \left[ H_{0,1}(E_p, \theta) \cdot e^{-\frac{d(\theta)}{\lambda_1(E_p, \theta)}} + H_{0,2}(E_p, \theta) \cdot e^{-\frac{d(\theta)}{\lambda_2(E_p, \theta)}} \right]$$

# MC Codes for Shielding Calculation

- 👉 **MARS**: multi-particle, handling complex geometries, 1 MeV to 100 TeV, & includes a pre-equilibrium model for neutron production, deuteron and photonuclear interactions
- 👉 **EGS4**: electron and photon scattering including electromagnetic shower generation. 1 keV-100 GeV
- 👉 **FLUKA**: handling complex geometries, magnetic fields, and deep penetration problems; a high-energy hadron transport, > 30 different particles including neutrons (thermal-20 TeV), electrons and photons (1 keV-1000 TeV), muons (any energy), optical photons; radioactivation

# MC Codes for Shielding Calculation

- 👉 **MCNP/MCNPX** : typical for neutrons, photons and electrons below 100 MeV, MCNP contains very sophisticated geometry, biasing and scoring options and ;widely used code for low-energy neutron shielding and dosimetry, usually as a standards
- 👉 **PHITS**: the multi-purpose Particle and Heavy Ion Transport , three-dimensional Dose distribution

## 关键技术（不包括管理规定）

- 👉 核反应模型、数据库和计算软件的不确定性评价
- 👉 低放废物的快速检测技术
- 👉 废物分类依据、豁免与认定程序
- 👉 抗干扰、耐辐射、宽量程束流损失探测技术
- 👉 快电子学响应系统
- 👉 宽量程中子能谱系统
- 👉 标准化远程客户端系统
- 👉 用户安全培训和仿真系统

仅为抛砖引玉、启动

