



中山大學
SUN YAT-SEN UNIVERSITY



中国科学院高能物理研究所
Institute of High Energy Physics Chinese Academy of Sciences



深圳综合粒子设施研究院
Institute of Advanced Science Facilities, Shenzhen

粒子加速器原理

~加速器中的带电粒子源简介~

Charged Particle Sources in Accelerators

刘星光

liuxg@ihep.ac.cn

中国科学院高能物理研究所 东莞研究部

2023

➤ 加速器的最前端: 粒子源 Particle Sources

早期的粒子源:

天然放射性 (α, β, γ) 元素

高压气体放电

现在的粒子源:

电子: 高压直流, 脉冲冷/热阴极, 光阴极

质子重离子: 潘宁源, 射频离子源, ECR离子源

正电子: 电子+晶体

中国散裂中子源

世界五大散裂中子源：英国ISIS，美国CSNS，日本J-Parc，**中国CSNS**，ESS（调试）





中山大學理學院
SCHOOL OF SCIENCE, SUN YAT-SEN UNIVERSITY

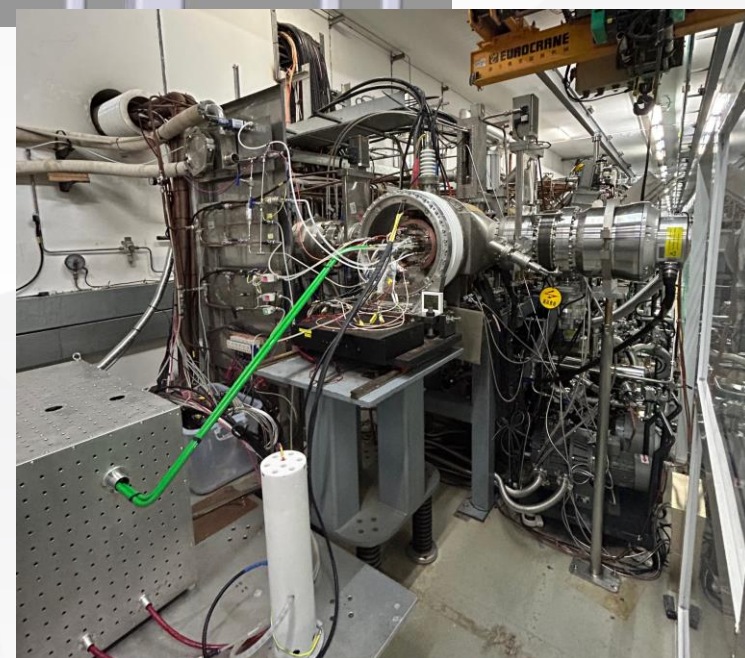
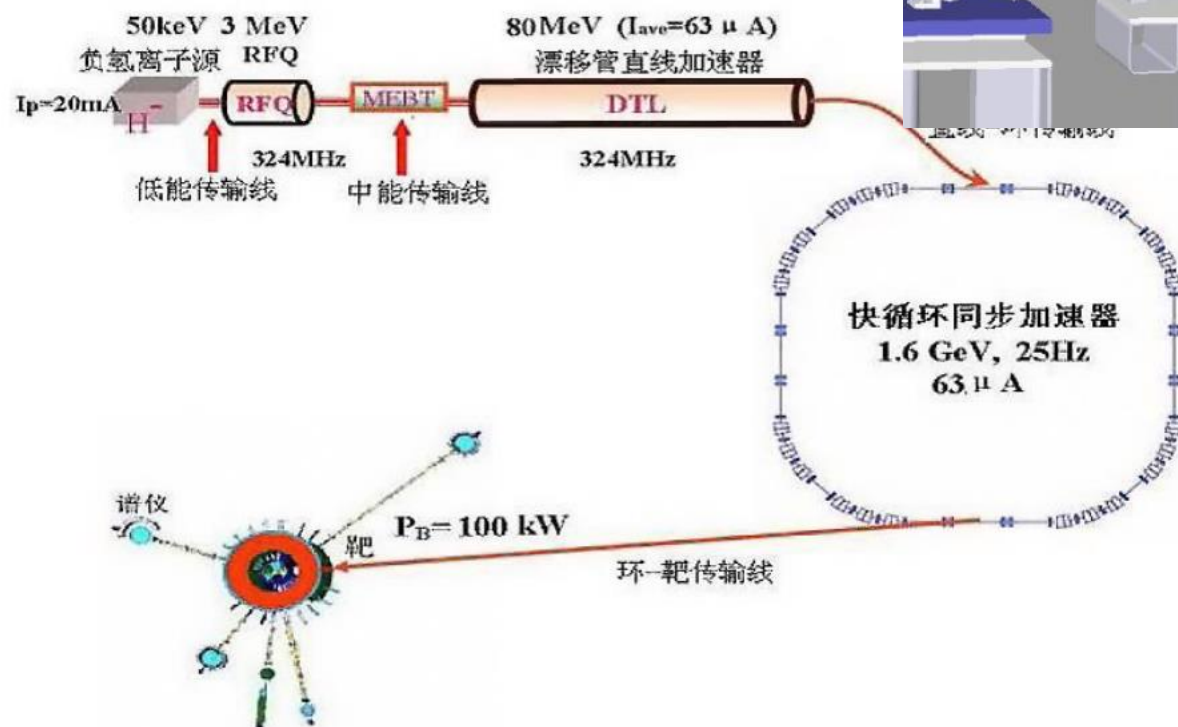
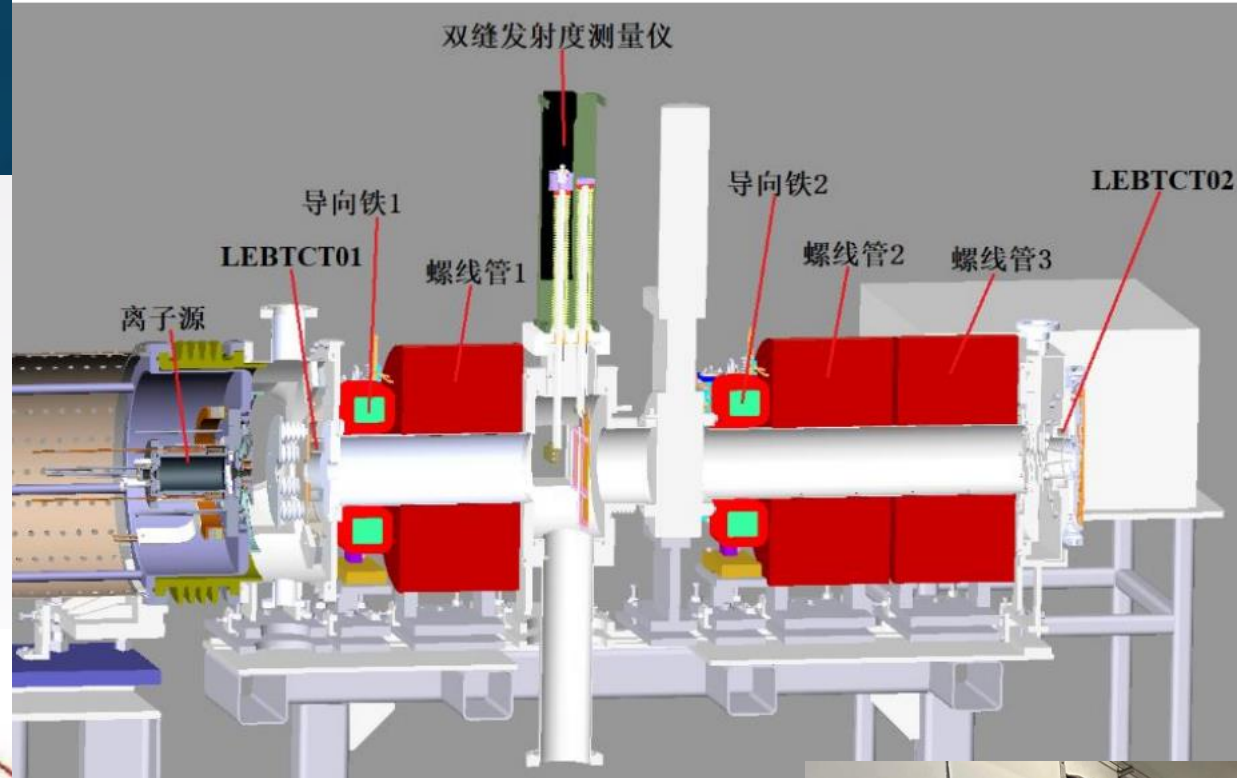
01

负氢离子源

世界散裂中子源性能参数比较

Machine	Energy [GeV]	Intensity [ppp]	Tune-shift	Rep-rate [Hz]	Power [MW]	Type
ISIS	0.07-0.8	2.5×10^{13}	~0.4	50	0.2	RCS
J-PARC	0.4 - 3.0	0.8×10^{14}	0.12	25	1.0	RCS
SNS	1.0	1.6×10^{14}	0.1	60	1.0	AR
CSNS	0.08-1.6	1.56×10^{13}	0.28~0.2	25	0.1~0.5	RCS
ESS	1GeV	6.86×10^{14}		14	2MW	Linac

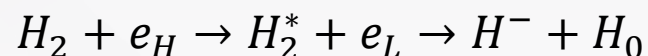
质子/负氢离子源



负氢离子源的基本原理

表面源：电离室内正离子或中性原子分子与出口电极附近的等离子体发生碰撞获得电子后被引出

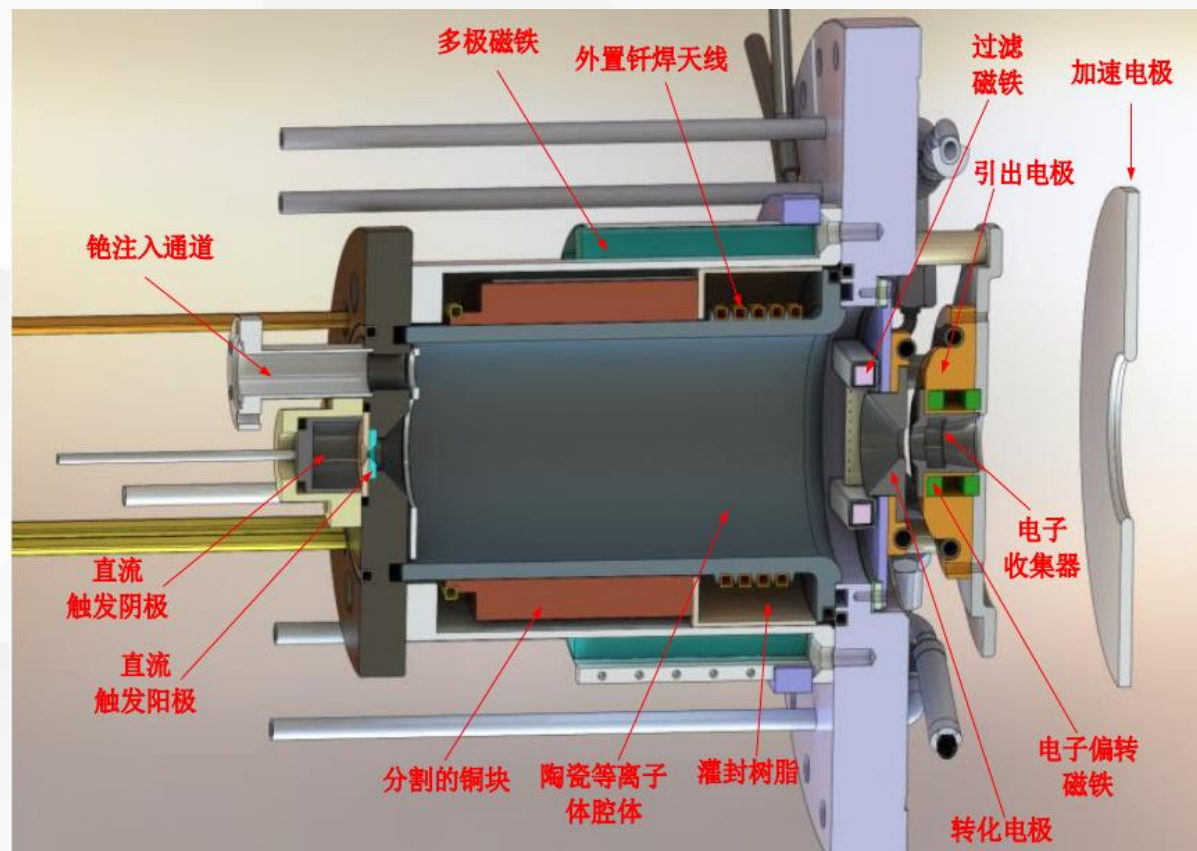
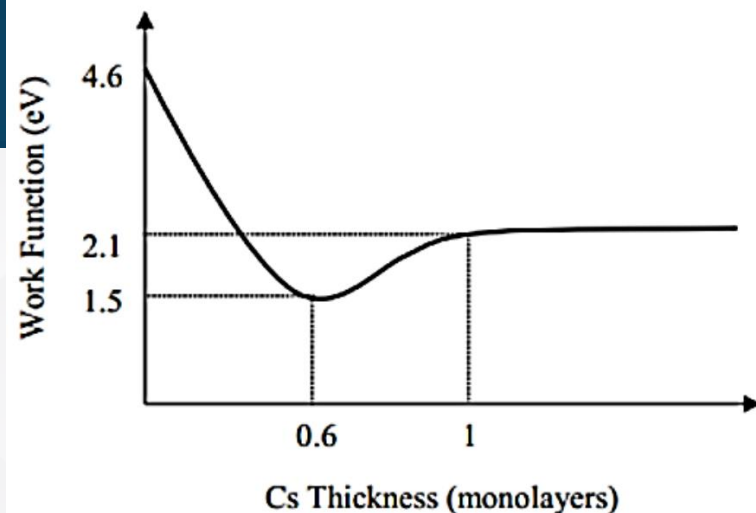
体积源：氢分子被高速电子碰撞被激发，与低速电子附着以后退激产生负氢与氢原子



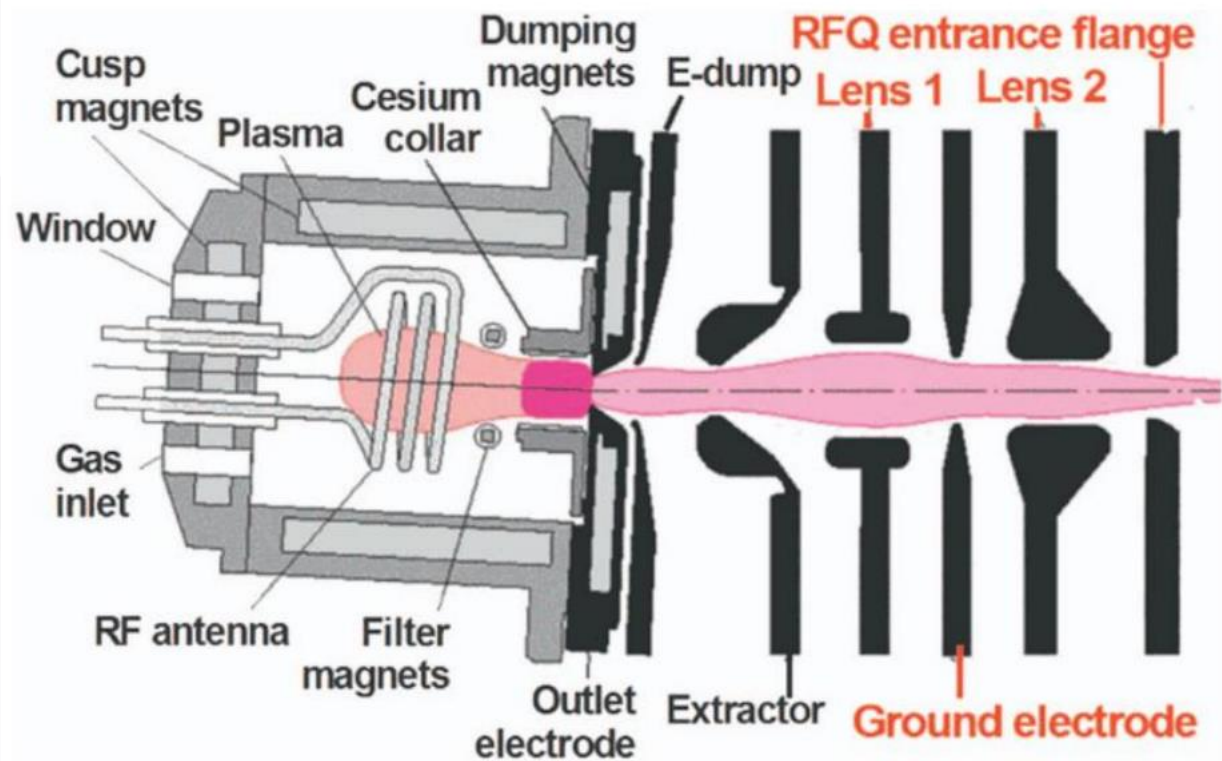
表面源+体积源



- 同时被引出的都有哪些束流？
- 如何仅保留所需的负氢？

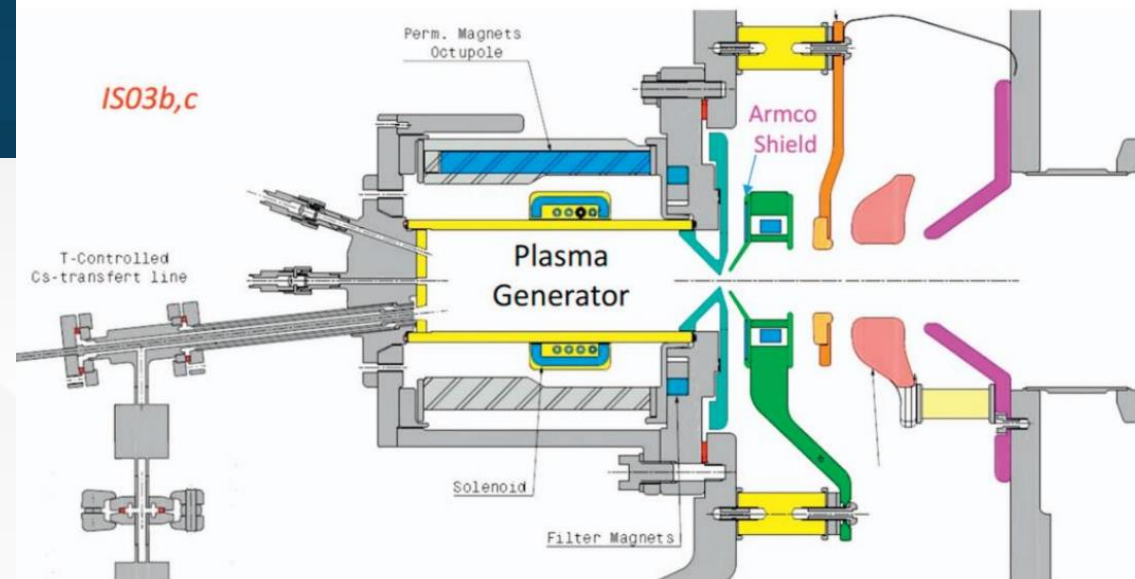


其他同类装置的离子源

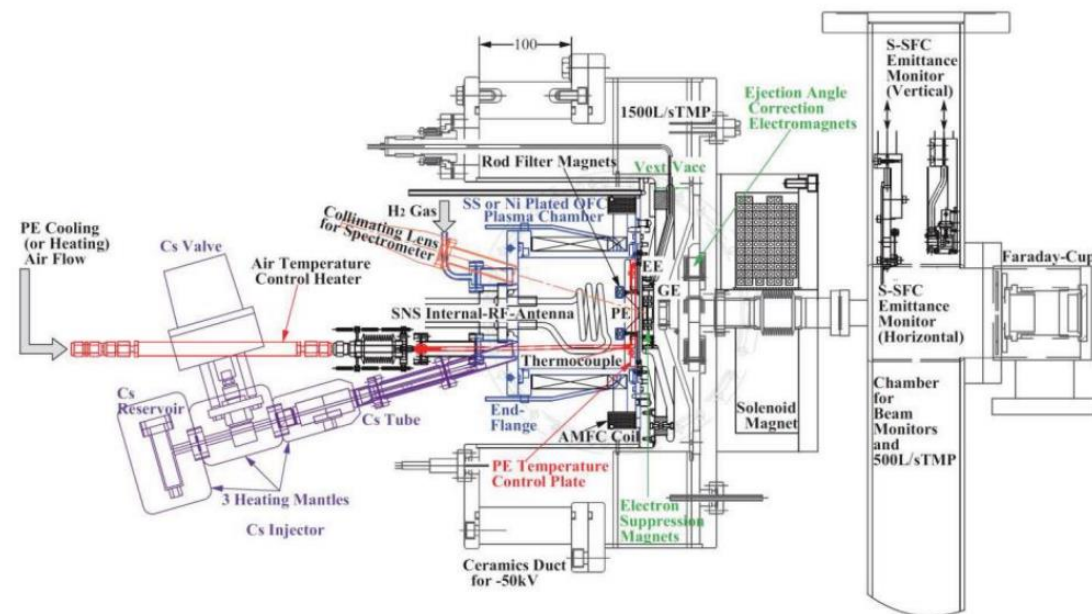


SNS的内置天线负氢离子源

- SNS的离子源为何有点“歪”



CERN-Linac4的外置天线负氢离子源



J-Parc的内置天线负氢离子源



02

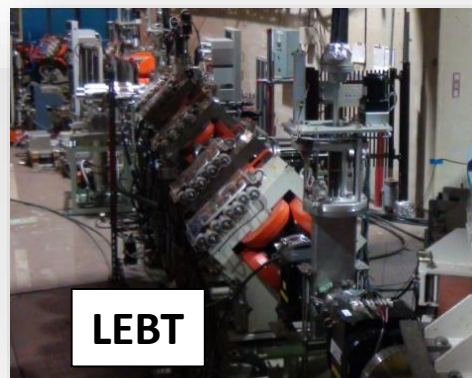
ECR离子源

➤ ECR离子源 (Electron Cyclotron Resonance Ion Source)

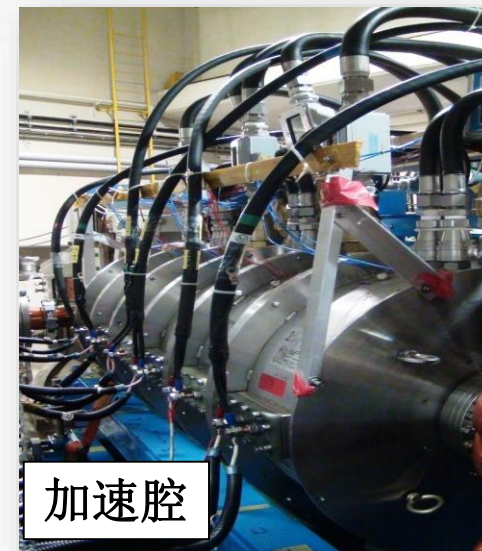
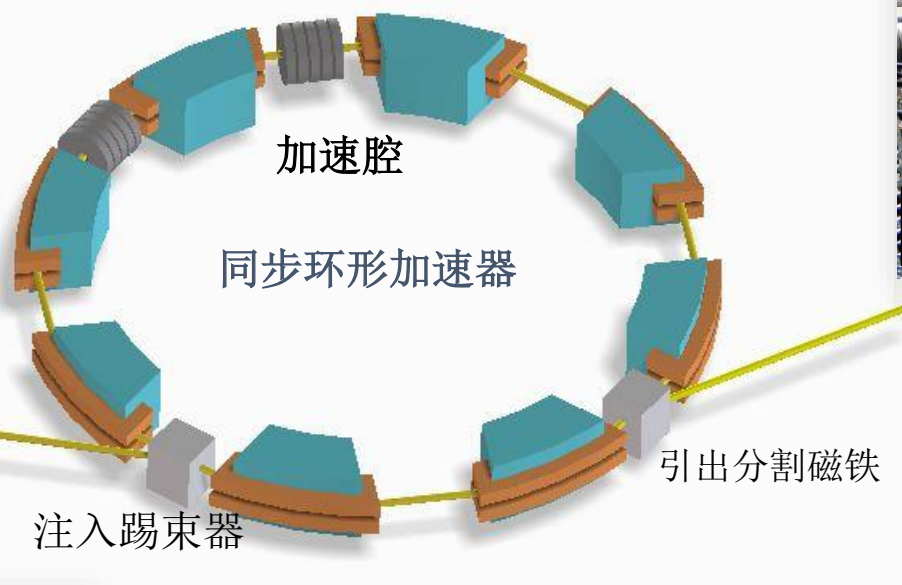


离子源

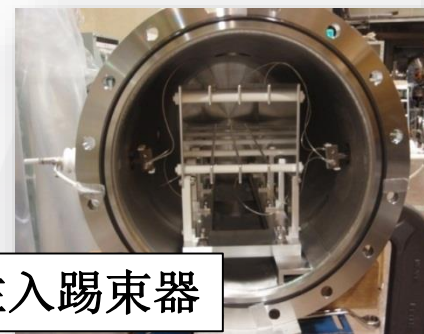
离子源



LEBT

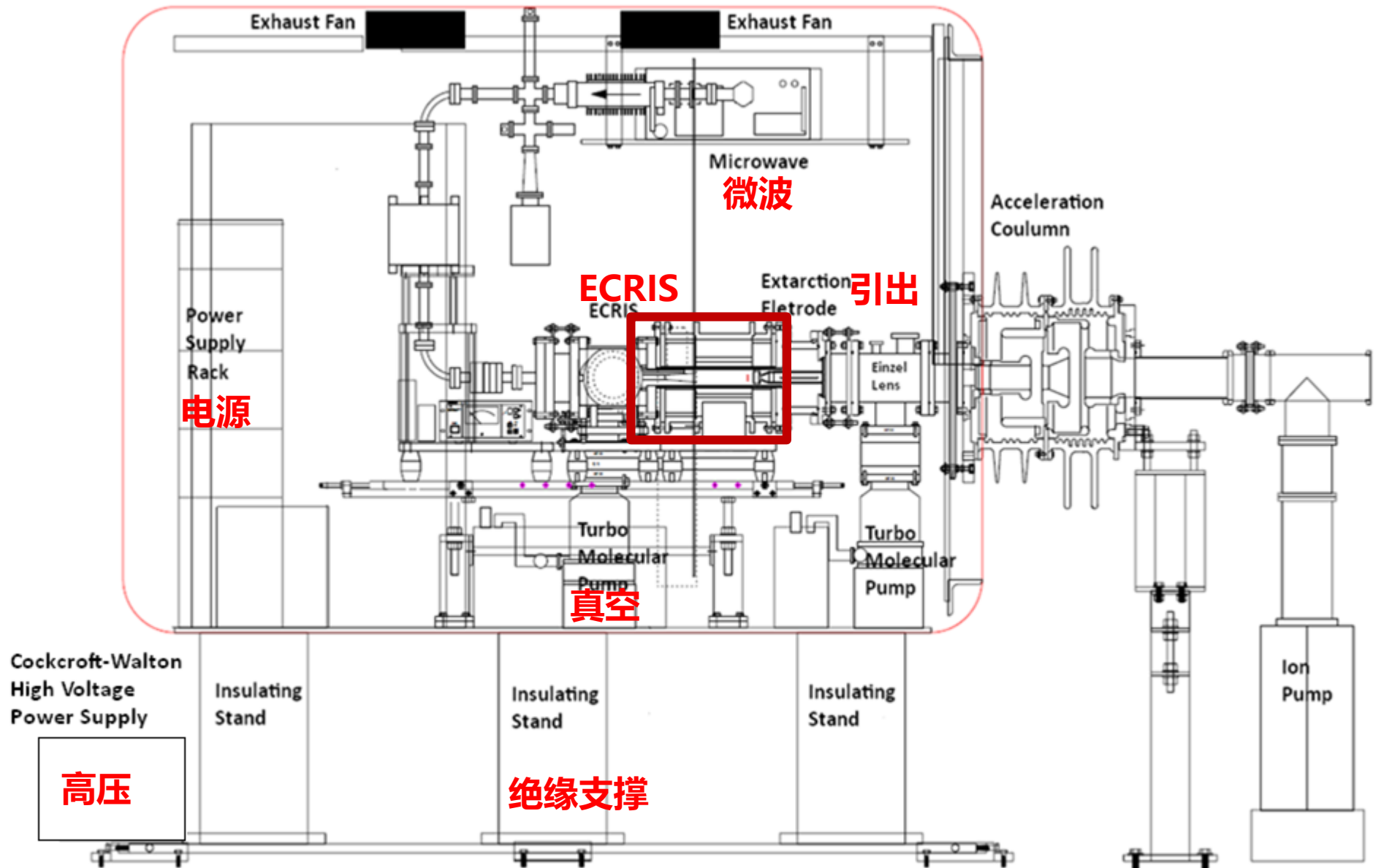


加速腔



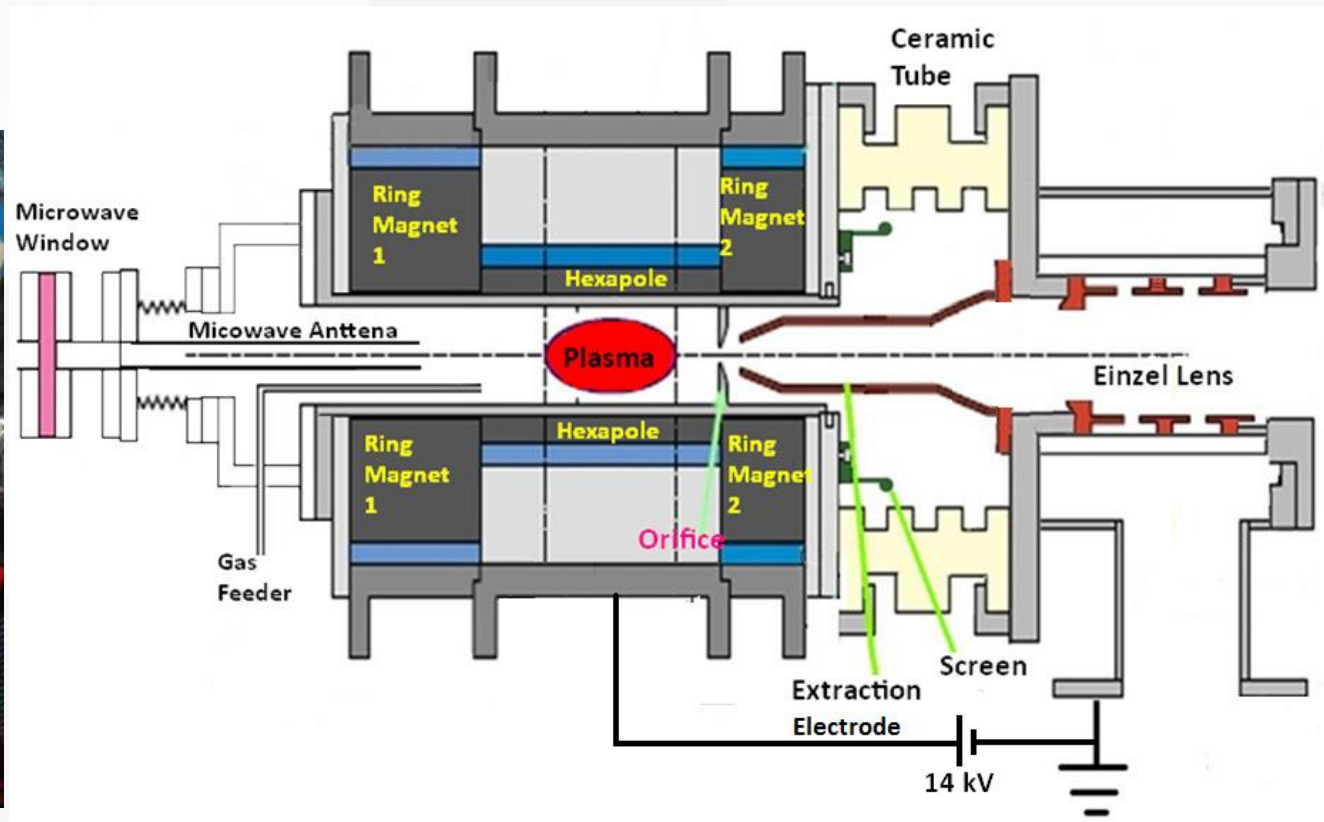
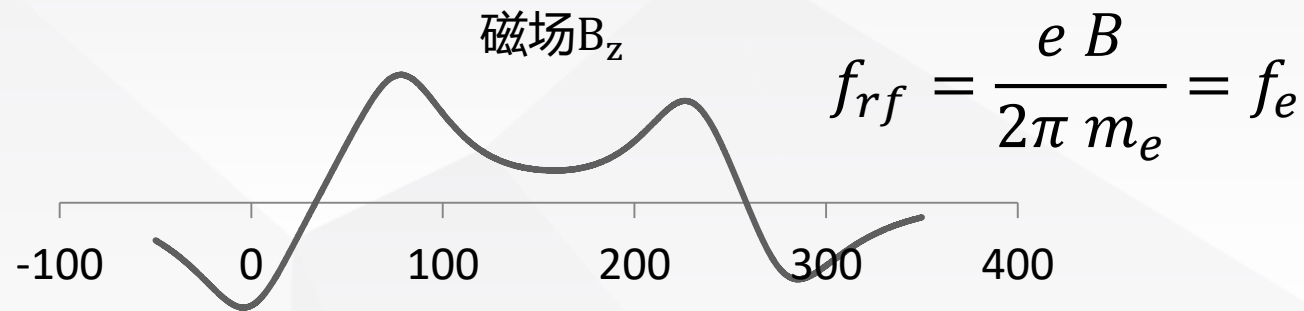
注入踢束器

ECR离子源高压平台内部各系统组成



基本条件:

- 微波
- 气体
- 磁场





中山大學理學院
SCHOOL OF SCIENCE, SUN YAT-SEN UNIVERSITY

03

光阴极电子枪

国内第四代先进光源分布

极限衍射环

HEPS (Beijing)

- 6GeV SR facility
- 0.06nm-rad emittance
- 1360m storage ring



HALS (Hefei)

2.4GeV SR facility
0.03nm-rad emittance
672m storage ring



SXFEL(Shanghai)

1.6 GeV, 10 Hz
530 m

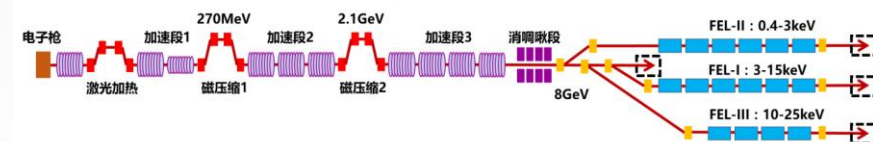


自由电子激光

SHINE(Shanghai)

8 GeV, 1 MHz
3 km

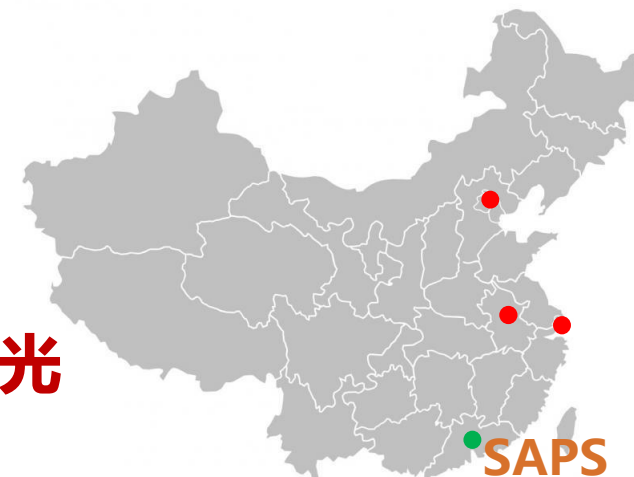
Shanghai High repetition rate XFEL and Extreme light facility (SHINE)



SAPS(粤港澳大湾区)

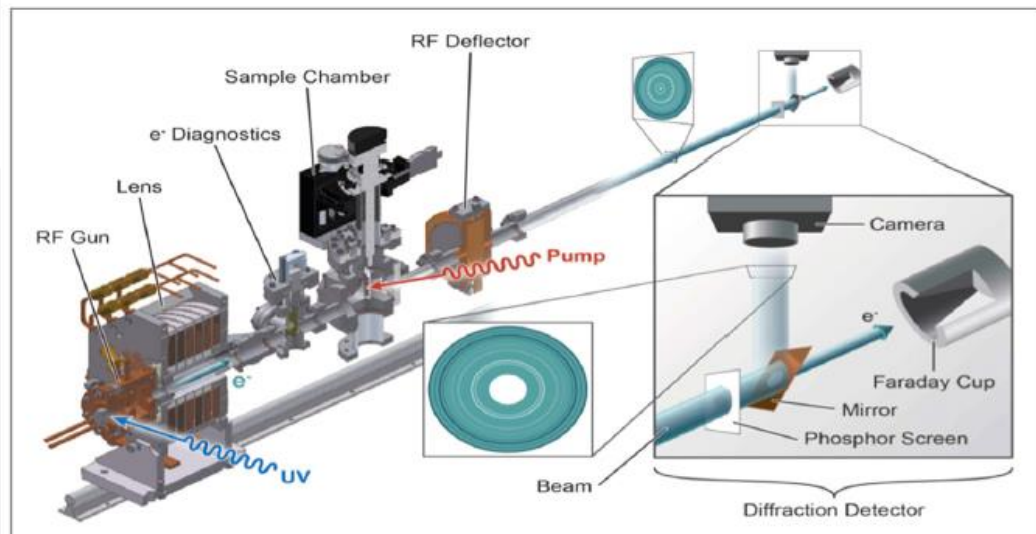
3.5 GeV SR
0.06 nm.rad
~1000 m

+3.5~5 GeV FEL, 100 Hz
~700 m (加速器200~300m)

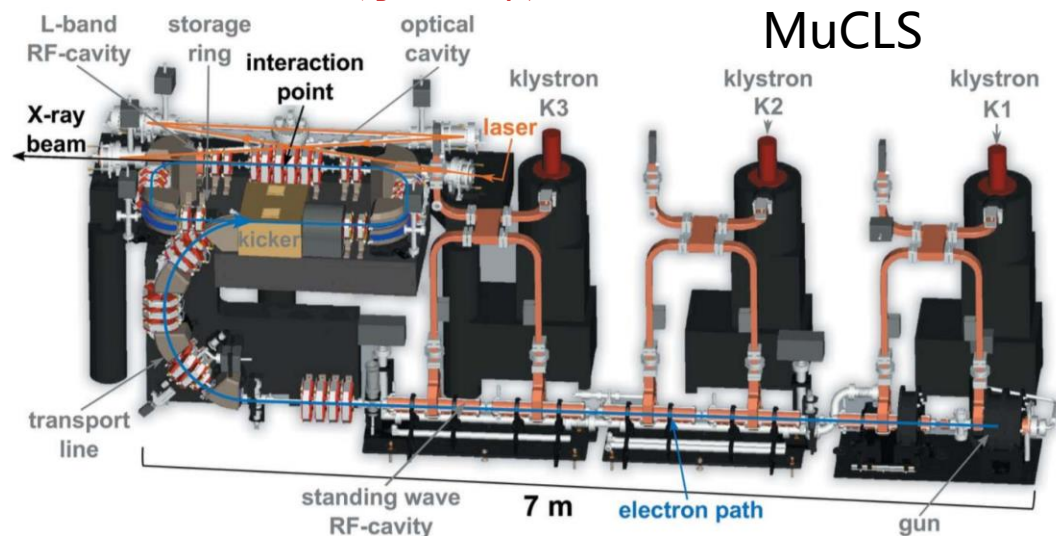


➤ 光阴极电子枪的其他应用

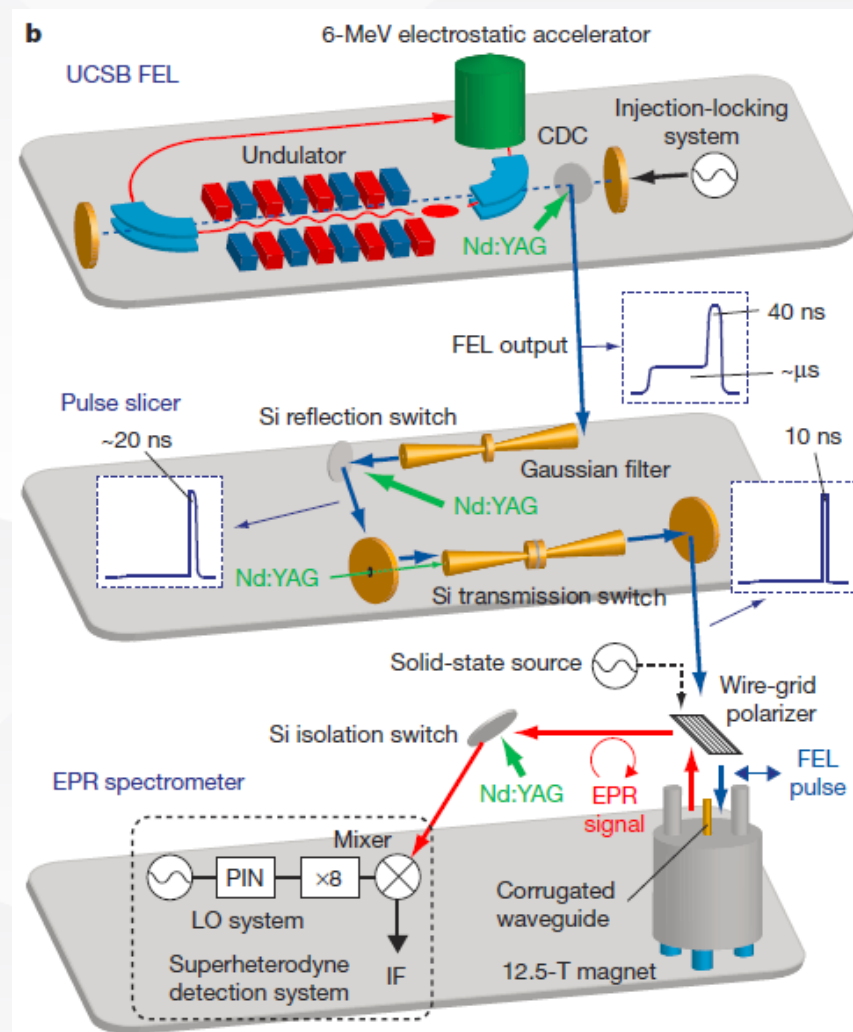
超快电子衍射 (UED)



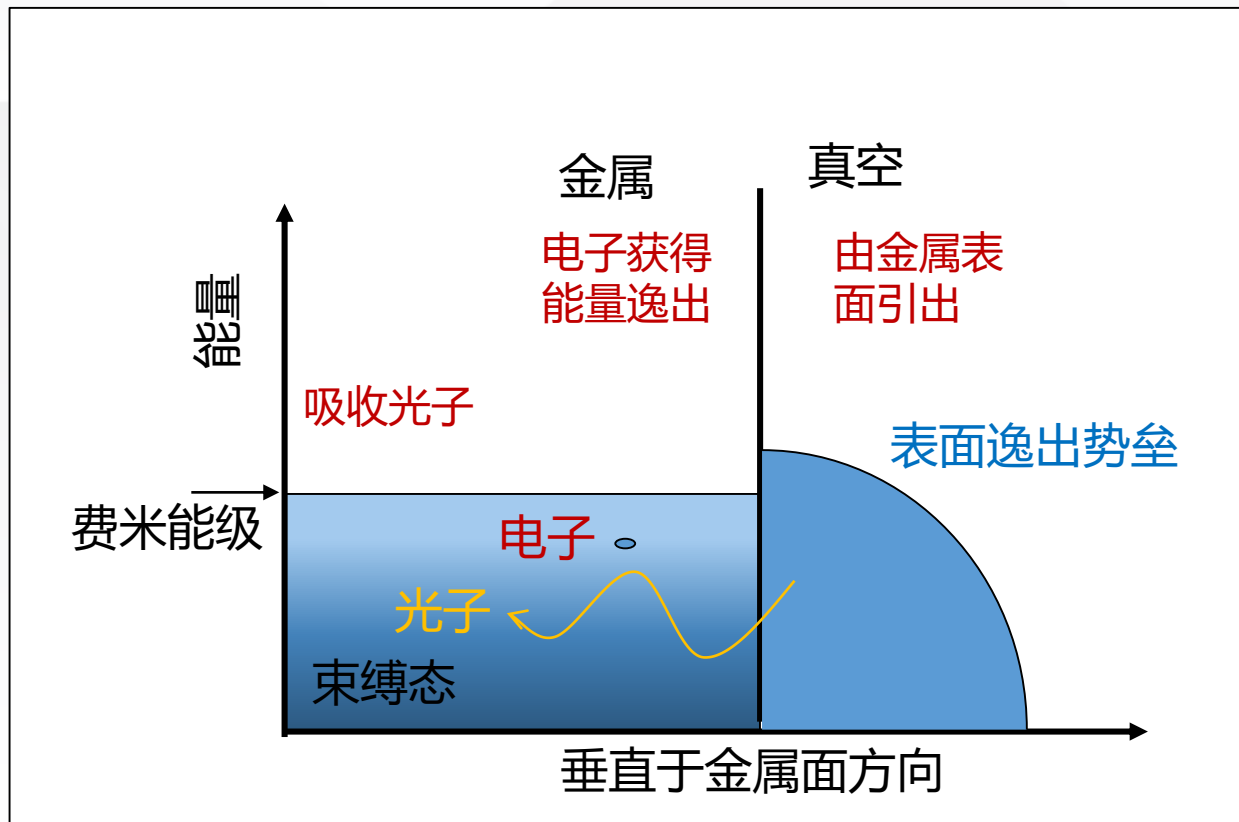
逆康普顿散射源



太赫兹成像



➤ 光阴极电子枪基本原理



光子能量:

$$E = hc/\lambda$$

量子效率:

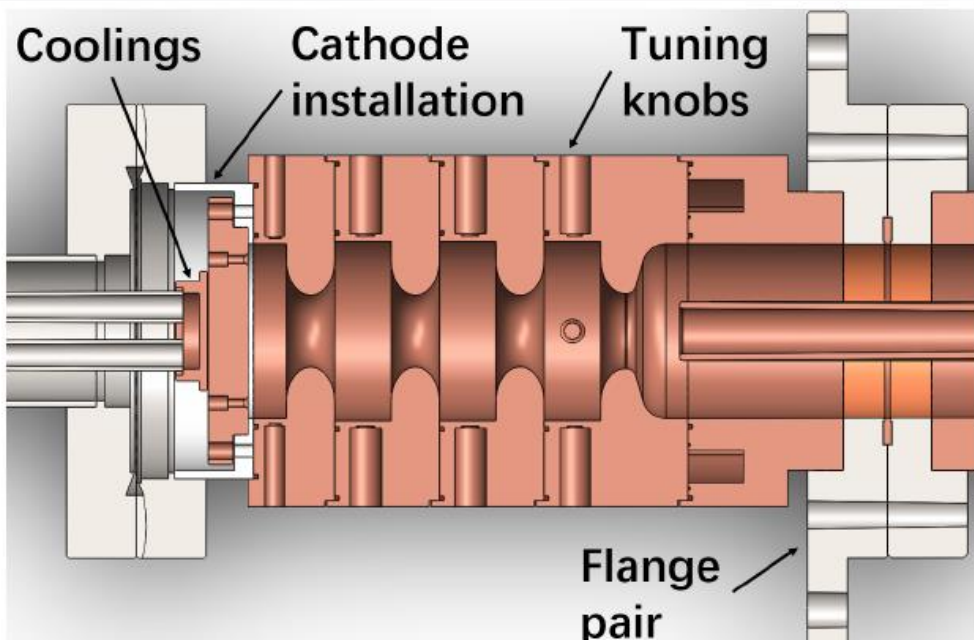
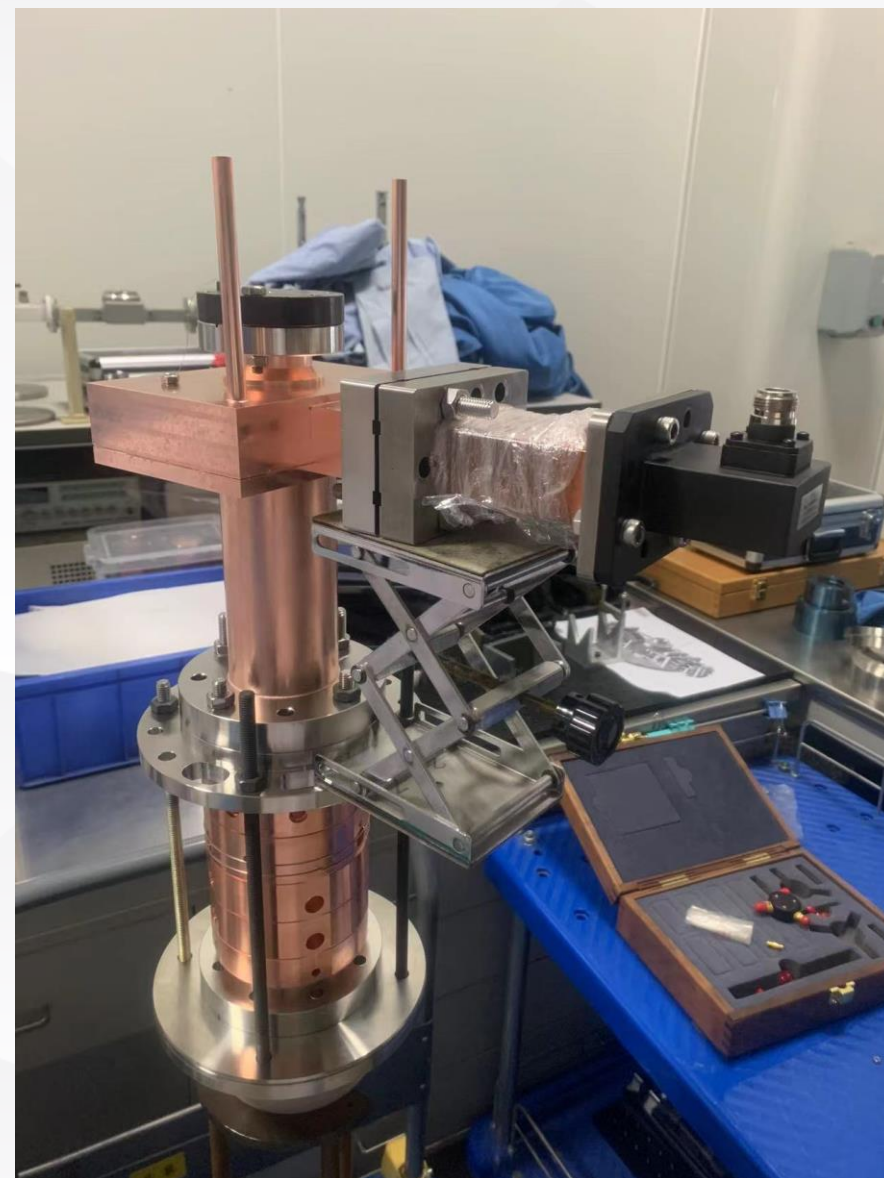
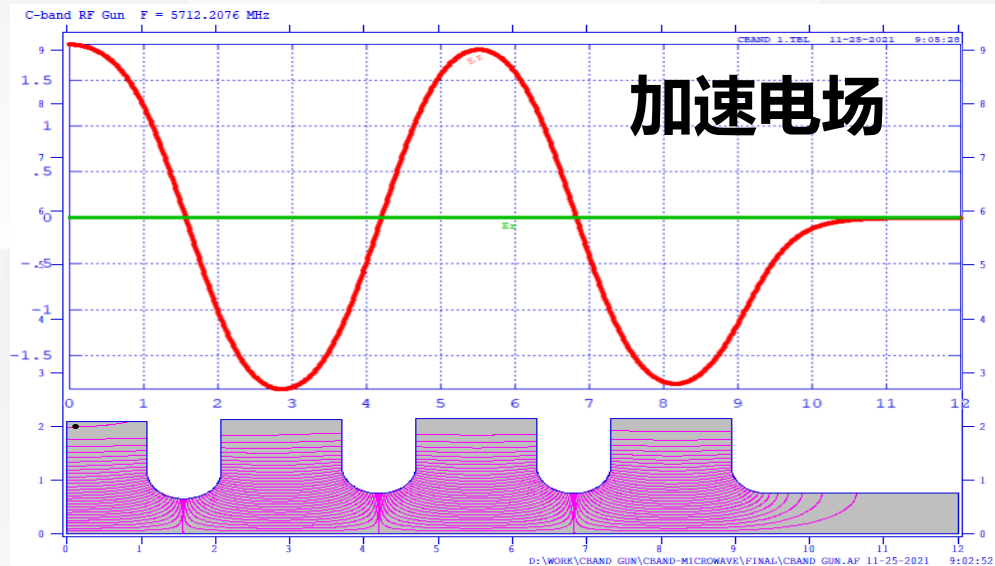
$$QE = \frac{hv[eV]}{E_{laser}[J]} q[C]$$

基本条件:

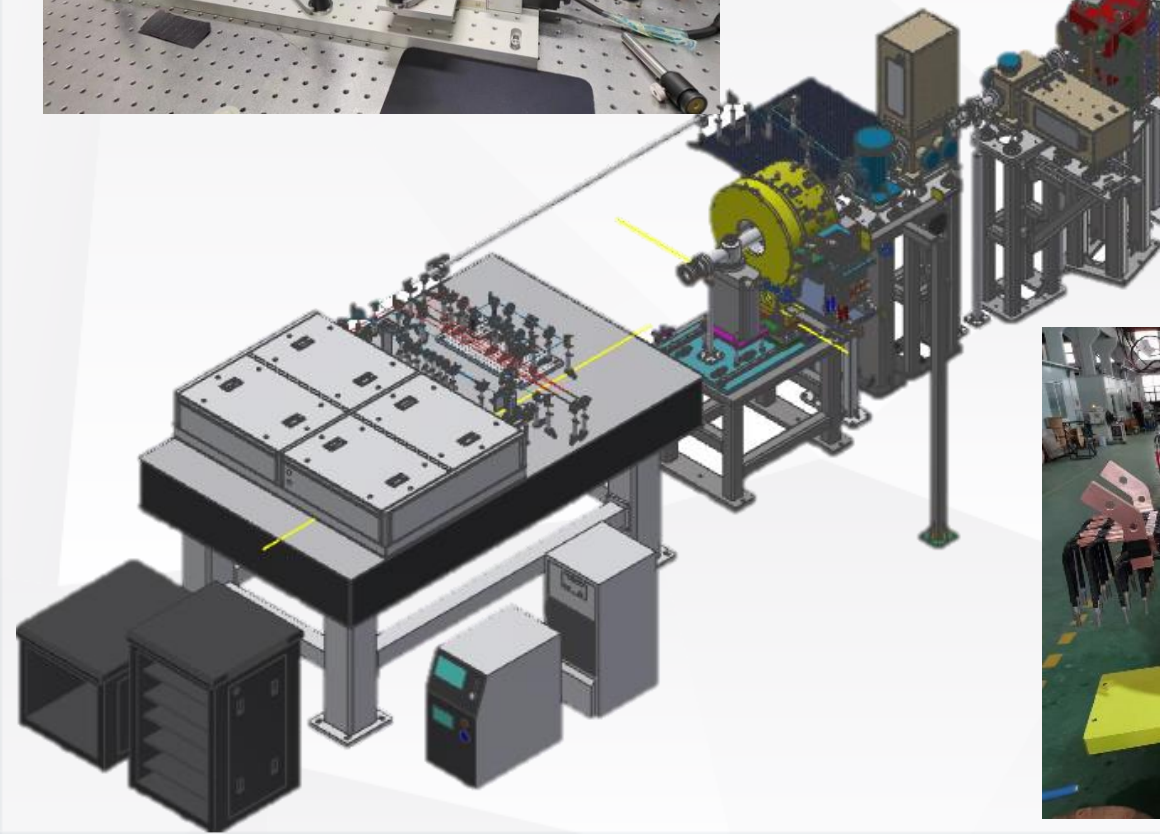
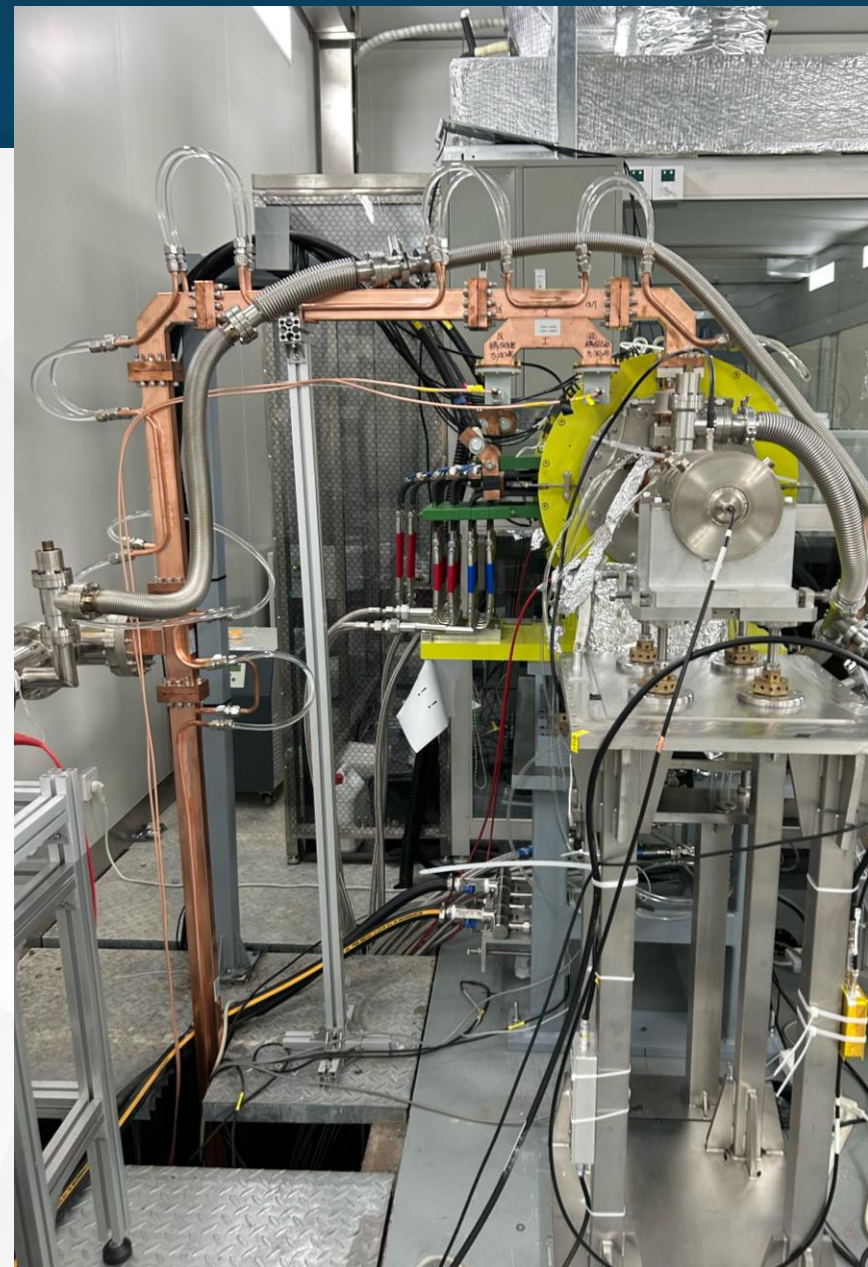
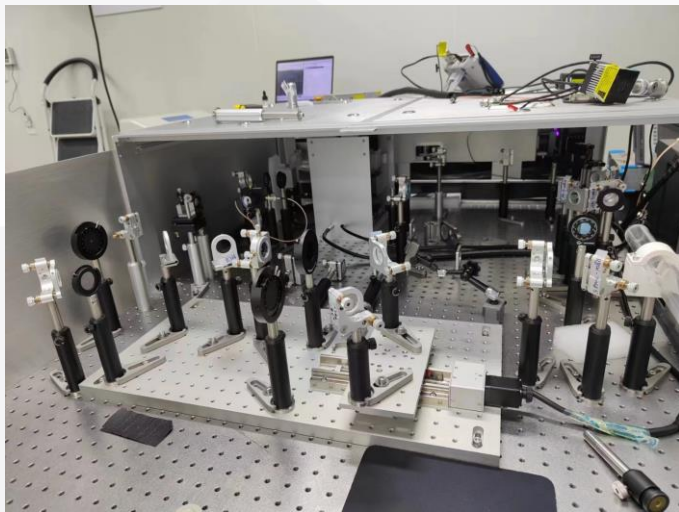
- 激光
- 电场
- 磁场



➤ 光阴极电子枪结构及加速电场



➤ 光阴极电子枪研究平台





- 1 粒子源为所有加速器提供带电粒子，其种类多种多样
- 2 粒子源很多时候就是最简单的加速器，包含一般加速器所需要的真空、磁铁、加速结构和束测等系统，一般作为大型加速器的前端
- 3 本次课程对以下源的基本原理和组成进行了介绍：

负氢离子源

ECR离子源

光阴极