

Beschleuniger im Forschungszentrum Dresden-Rossendorf

Vergangenheit - Gegenwart - Zukunft

M. Friedrich

Forschungszentrum Dresden-Rossendorf e.V.

Institut für Ionenstrahlphysik und Materialforschung

Abt. Ionentechnologie

Das Forschungszentrum Dresden - Rossendorf betreibt **anwendungsorientierte Grundlagenforschung** mit den fachübergreifenden Forschungsschwerpunkten

[Struktur der Materie](#)

[Lebenswissenschaften](#)

[Umwelt und Sicherheit](#)

Im FZD werden derzeit sechs **Großgeräte** betrieben:

[Strahlungsquelle ELBE](#)

[Ionenstrahlzentrum](#)

[Rossendorf Beamline an der ESRF](#)

[PET-Zentrum](#)

[TOPFLOW-Anlage](#)

[Hochfeld-Magnetlabor Dresden](#)

Der wissenschaftliche Geschäftsbereich ist gegliedert in:

sechs Institute

[Institut für Ionenstrahlphysik und Materialforschung](#)

[Institut für Radiopharmazie](#)

[Institut für Strahlenphysik](#)

[Institut für Sicherheitsforschung](#)

[Institut für Radiochemie](#)

[Institut Hochfeld-Magnetlabor Dresden](#)

die Zentralabteilung

[Zentralabteilung Forschungstechnik](#)

sowie die Projektgruppe

[Laser-Teilchenbeschleunigung](#)



Luftbild des FZ Dresden-Rossendorf

**Beschleuniger im Zentralinstitut
für Kernforschung Rossendorf
der AdW der DDR
1956-1991**

- * Zyklotron U-120 (seit 1956)
- * 2-MV-Van-de-Graaff-Beschleuniger(seit 1963)
- * 5-MV-Tandembeschleuniger EGP-10-1(seit 1972)



Lage der Beschleunigergebäude

DESY Zeuthen, 30.01.07

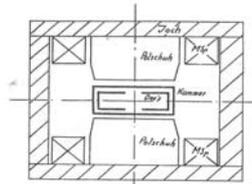
Mitglied der Leibniz-Gemeinschaft



Das Zyklotron U-120

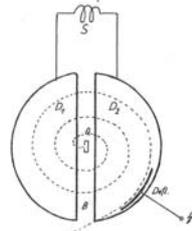
DESY Zeuthen, 30.01.07

Mitglied der Leibniz-Gemeinschaft



$$\omega = (ne/m)B$$

$$W \sim ne$$



Prinzip des Festfrequenz-Zyklotrons

Zyklotron U-120

Hersteller NIEFA Leningrad UdSSR
Inbetriebnahme 1958

Strahlparameter:

Protonen (H^+)	6.7 MeV	50 μA
Protonen (H^+)	13 MeV	50 μA
Deuteronen	13.5 MeV	50 μA
$^3He^{2+}$	27 MeV	2 μA
α -Teilchen	27 MeV	20 μA
$^6Li^{3+}$	40 MeV	100 nA
$^7Li^{3+}$	35 MeV	100 nA
$^{28}Ne^{4+}$	12 MeV	400 nA
$^{28}Ne^{4+}$	21 MeV	8 nA
Neutronen aus der Be(d,n)-Reaktion: mittlere Energie 6 MeV		

Zyklotronanwendung:

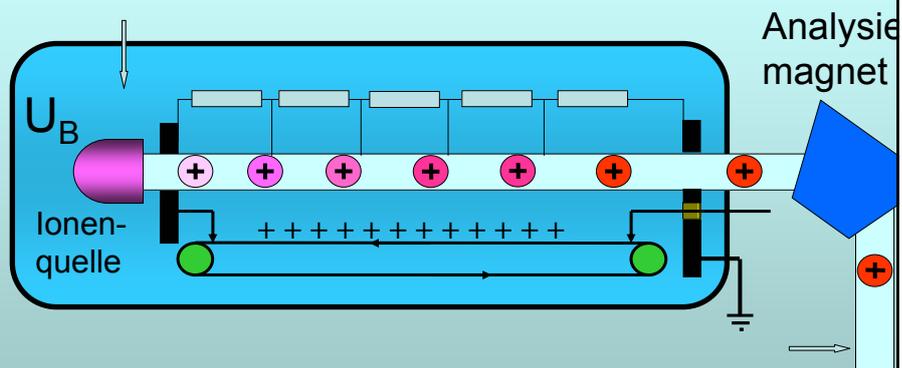
- Kernphysikalische und radiochemische Grundlagenforschung
- Nuklidherstellung für medizinische und industrielle Forschung
- Dünnschichtaktivierung mit externem Strahl (Freiluftbestrahlung)
- Bestrahlung mit Neutronen: Neutronentherapie (Tumorbestrahlung)

Herstellungparameter der Zyklotronisotope für die Isotopenproduktion

Nuklid	Halbwertszeit	Targetmaterial	Kernreaktion
⁶⁵ Zn	244 Tage	Kupfer	⁶⁵ Cu (d,2n) ⁶⁵ Zn
⁶⁷ Ga	78,3 Stunden	metallische Zinkschicht auf Silberblock	⁶⁷ Zn (d,2n) ⁶⁷ Ga
⁸⁵ Sr	64,9 Tage	RbCl auf Kupfer- oder Silberblock	⁸⁵ Rb (d,2n) ⁸⁵ Sr
⁸⁷ Y	80,3 Stunden	angereichertes ⁸⁷ Sr als SrCl ₂ auf Platinunterlage	⁸⁷ Sr (d,2n) ⁸⁷ Y
⁸¹ Rb	4,5 Stunden	NaBr auf Silberblock	⁷⁹ Br (α,2n) ⁸¹ Rb

Alle aufgeführten Nuklide wurden in der medizinischen Forschung bzw. medizinischen Diagnostik benutzt.

Einstufiger elektrostatischer Beschleuniger (Van-de-Graaff-Beschleuniger)



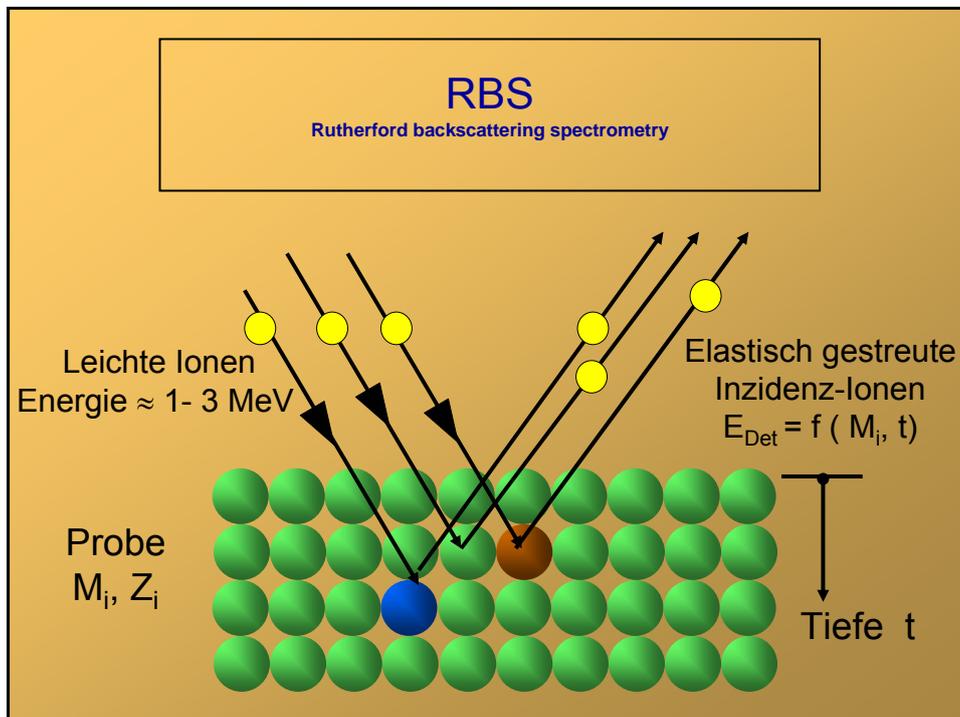
$$E = q e U_B$$



2-MV-Van-de-Graaff-Beschleuniger

DESY Zeuthen, 30.01.07

Mitglied der Leibniz-Gemeinschaft

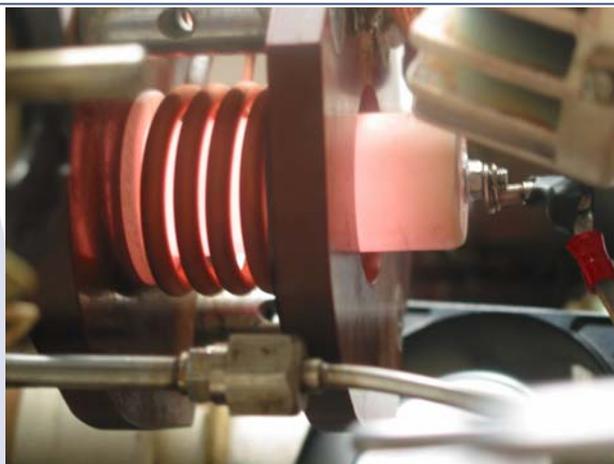




RBS-Streukammer am 2-MV-VdG-Beschleuniger

DESY Zeuthen, 30.01.07

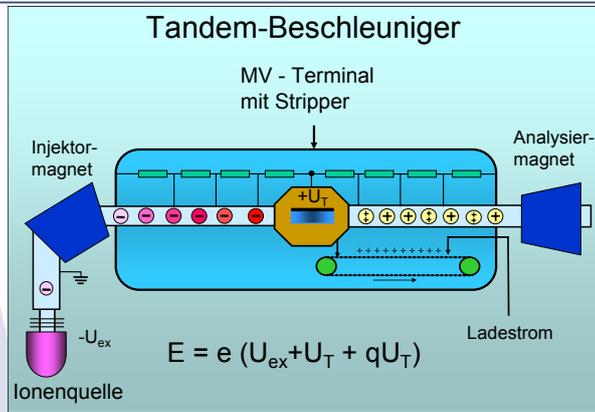
Mitglied der Leibniz-Gemeinschaft



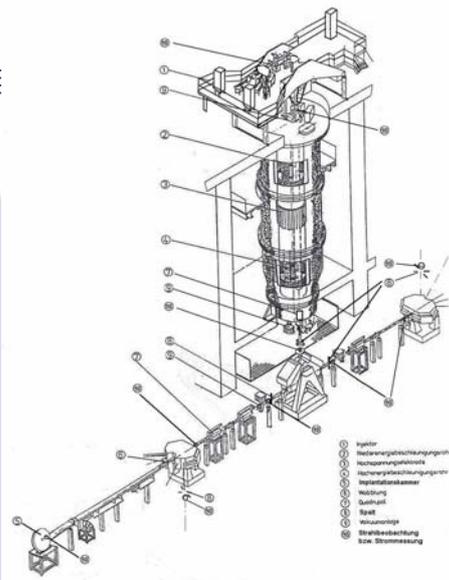
Plasma inside a rf ion source with ceramic bottle

DESY Zeuthen, 30.01.07

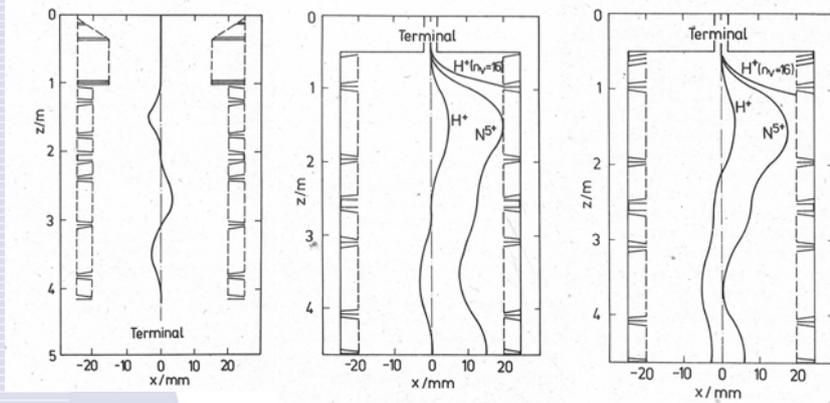
Mitglied der Leibniz-Gemeinschaft



Prinzip eines Tandem-Van-de-Graaff-Beschleuniger



Tandembeschleuniger EGP-10-1



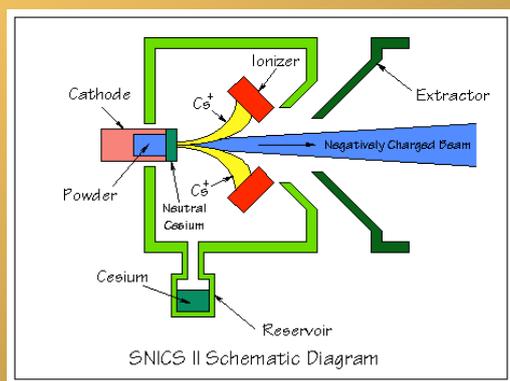
Ionenbahnen im Schrägfeld-Beschleunigungsrohr

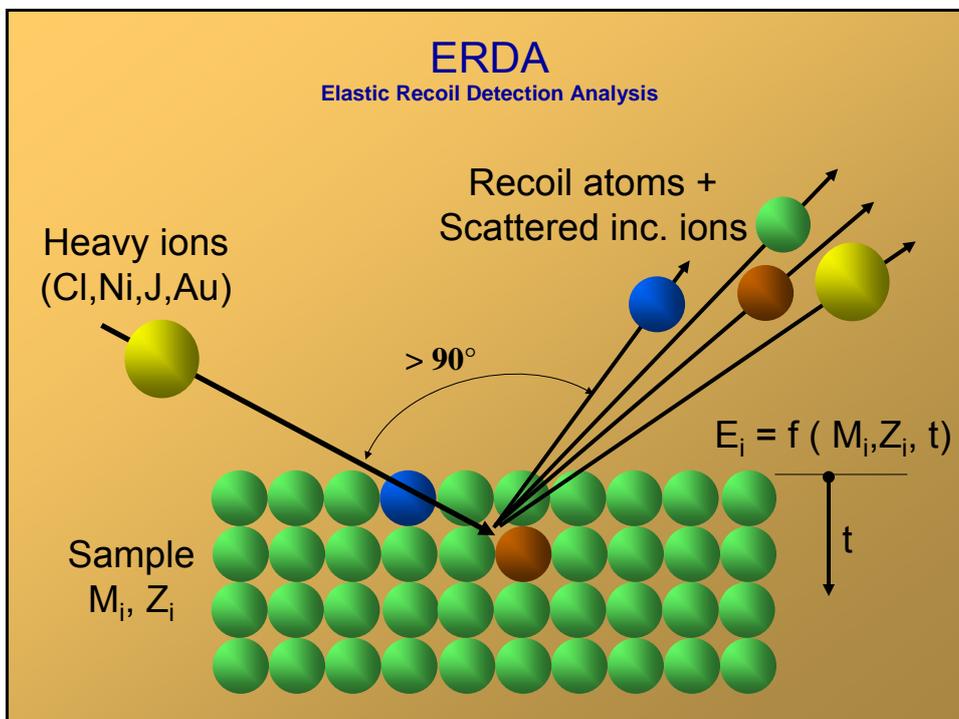
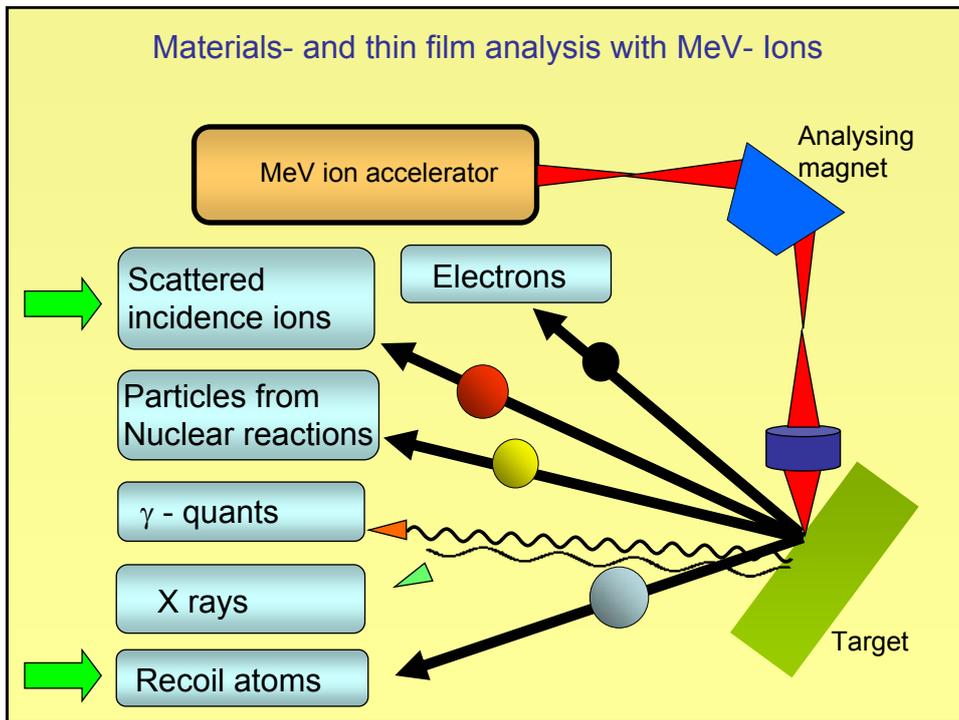
DESY Zeuthen, 30.01.07

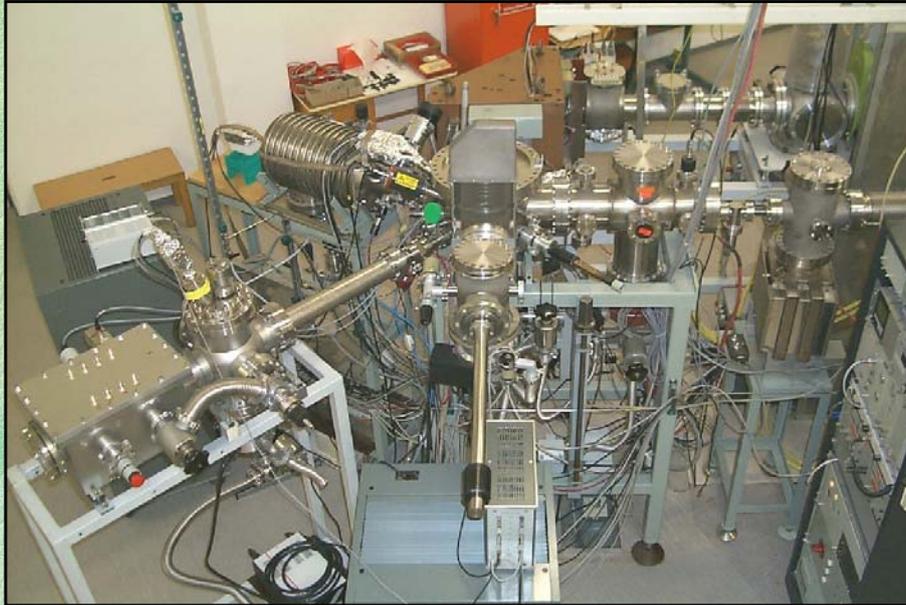
Mitglied der Leibniz-Gemeinschaft

Sputter- Ionenquelle

- Cäsium wird geheizt auf ca. 120°C
- Cs - Dampf gelangt zwischen Kathode (gekühlt) und heissem Ionisierer
- Ein Teil des Cs kondensiert auf der kalten Kathode
- Ein anderer Teil wird vom Ionisierer rückverdampft und teilweise als Ion zur Kathode beschleunigt und fokussiert, wo die Ionen Katodenmaterial abputtern.
- Abgesputterte Atome nehmen vom Oberflächencäsium ein Elektron auf und bilden so einen Strahl negativer Ionen
- Der Extraktor beschleunigt und fokussiert diesen Strahl zu Tandem

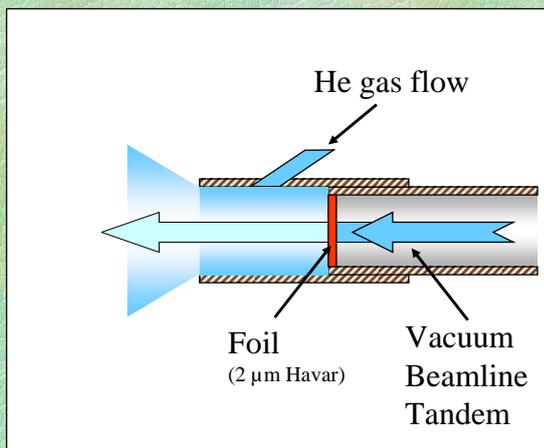






FORSCHUNGSZENTRUM ROSSENDORF
 Institute für Ion Beam Physics and Materials Research

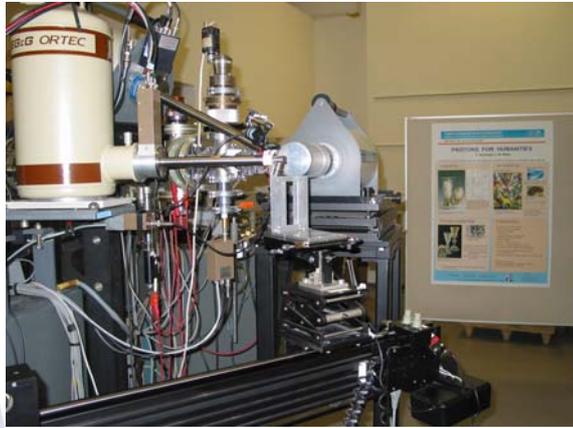
Ion beam analysis at air



- Protons
- Energy: 1 - 4 MeV
- Helium atmosphere
- external ion beam

- Beam parameter:
 - * 1 mm Ø
 - * 100 pA
 - * Data recording time 30 s bis min

FORSCHUNGSZENTRUM ROSSENDORF
 Institute für Ion Beam Physics and Materials Research



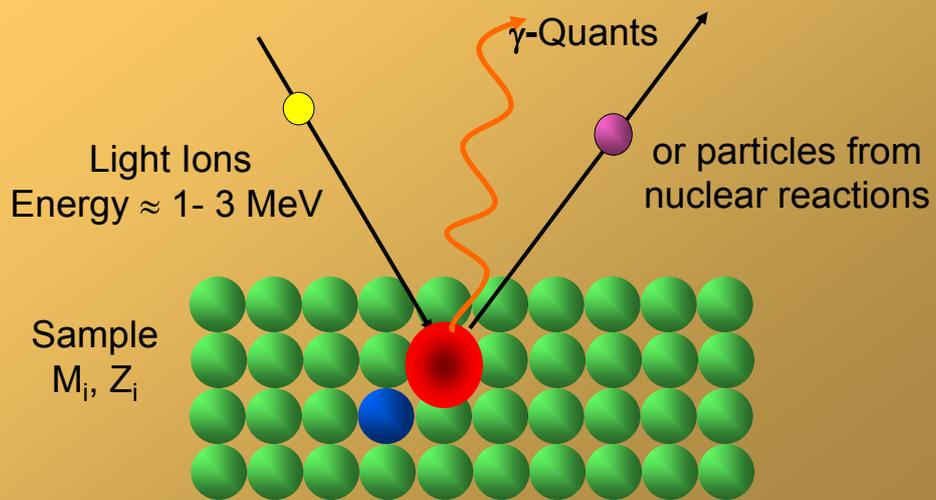
External proton beam at the 5 MV tandem

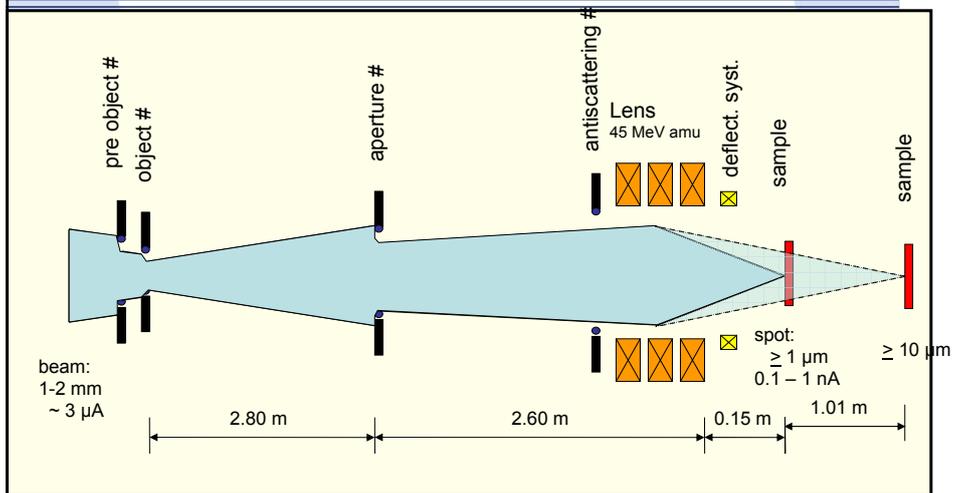
DESY Zeuthen, 30.01.07

Mitglied der Leibniz-Gemeinschaft

NRA

Nuclear reaction analysis / Analytik mittels Kernreaktionen





Nuclear microprobe

DESY Zeuthen, 30.01.07

Mitglied der Leibniz-Gemeinschaft

01.01.1992

Gründung des FZ Rossendorf e.V.

- Reduzierung des Personals um 60%
- Verlust der Betriebsgenehmigung für die Beschleuniger (1 Jahr)
- **Anschubfinanzierung**
- **Infrasrukturverbesserung**
- **Neuer Beschleuniger (3-MV-Tandetron)**

DESY Zeuthen, 30.01.07

Mitglied der Leibniz-Gemeinschaft

Beschleuniger im Forschungszentrum Rossendorf e.V. 1992-2006

- * Zyklotron U-120 (bis 1999)
- * 2-MV-Van-de-Graaff-Beschleuniger (ab 1963)
- * Tandembeschleuniger EGP-10-1 (ab 1972)
- * 3-MV-Tandetron (ab 1993)
- * Kompaktzyklotron Cyclone 18/9 (ab 1997)
- * 40-MeV-Elektronenbeschleuniger ELBE (ab 2003)
- * Laserbeschleunigung (im Aufbau)



3 MV Tandetron

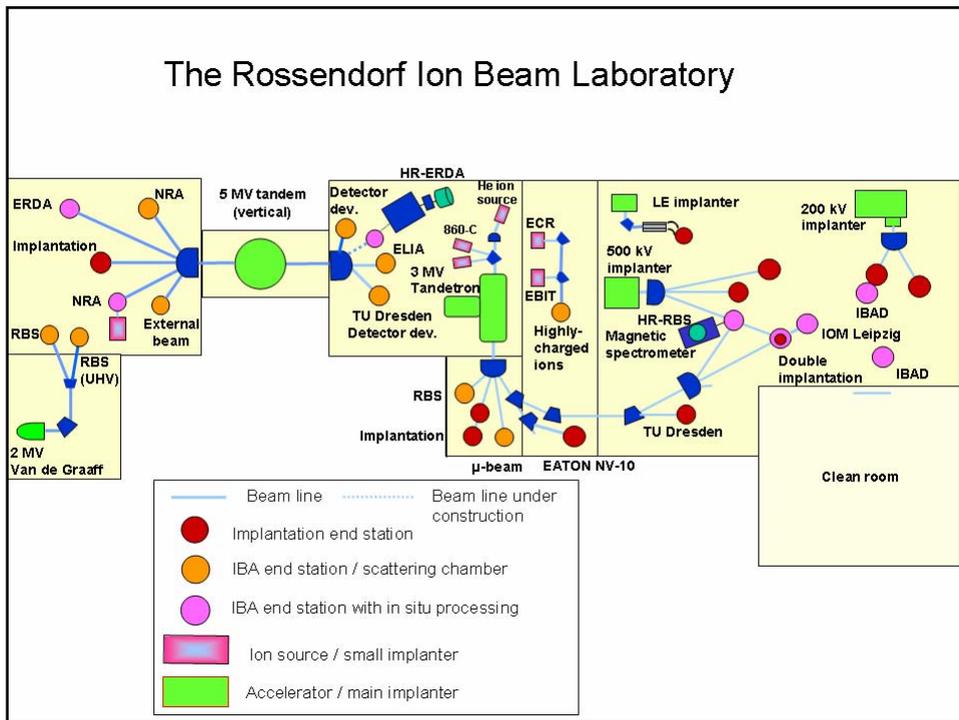
Isotope	Negative Ion	Beam current/μA	Source material	Ion source
¹ H	H ⁻	10 - 40	THI ₂	860-C, MISS-790
¹ H	H ⁻	10 - 20	H ₂ gas	EKTON-4
¹ H	only H ⁻	0.1 - 2.0	H ₂ gas	rf ion source
¹ H	D ⁻	20 - 40	TID ₂	860-C
⁴ He	He ⁻ = 150 μA	He ⁻ = 0.1 - 2.5 μA	He gas	duoplasmatron + I ₁ (Rb)-canal
⁴ He	only He ⁻	0.1 - 3.0	He gas	rf ion source
⁷ Li	Li ⁻	1.7 - 2.4	Li ₂ O + W	860-C
⁹ Be	BeO ⁻	4.5 - 6.2	BeO + W	special 860-C
¹¹ B	B ⁻	2.0 - 4.0	B + W	860-C, MISS-790
¹² C	C ⁻	40 - 80	graphite	860-C, MISS-790
¹³ N	(NH ₂) ⁻	2.0 - 2.7	80% H ₂ +20% N ₂	EKTON-4
¹⁴ N	(CN) ⁻	1.0 - 15	BN+C	860-C, MISS-790
¹⁶ O	O ⁻	40 - 140	Fe ₂ O ₃	860-C, MISS-790
¹⁹ F	F ⁻	10 - 35	LiF + W	860-C, MISS-790
²⁷ Al	Al ⁻	0.6 - 2.0	Al	860-C, MISS-790
²⁸ Si	Si ⁻	50 - 130	Si single crystal	860-C, MISS-790
³¹ P	P ⁻	10 - 45	GaP	860-C, MISS-790
³⁵ Cl	Cl ⁻	8 - 33	CsCl+W	860-C, MISS-790
³⁹ K	K ⁻	0.2	KHCO ₃ +Ag	860-C
⁴⁶ Ti	Ti ⁻	5 - 10	THI ₂	860-C
⁵² Cr	(CrH) ⁻	2 - 8	Cr+THI ₂	860-C
⁵⁶ Fe	Fe ⁻	2 - 4	Fe ₂ O ₃	860-C
⁵⁸ Ni	Ni ⁻	20 - 35	pure Ni	860-C
⁵⁹ Co	Co ⁻	4.0 - 10	pure Co	860-C
⁶³ Cu	Cu ⁻	5.0 - 25	Cu	860-C
⁶⁵ Zn	(ZnO) ⁻	0.5 - 1.0	Zn-Li alloy	860-C
⁷⁴ Ge	Ge ⁻	5 - 13	Ge	860-C, MISS-790
⁷⁵ As	As ⁻	9 - 20	GaAs	860-C, MISS-790
⁸⁰ Se	Se ⁻	5 - 20	CdSe	860-C
⁸³ Br	Br ⁻	10 - 30	CsBr+W	860-C, MISS-790
⁹³ Nb	(NbC) ⁻	1.2 - 1.5	Nb+C	860-C
^{105,106} Pd	Pd ⁻	0.6 - 0.9	pure Pd	860-C
¹⁰⁷ Ag	Ag ⁻	4.0 - 6.0	pure Ag	860-C
^{112,113,114} Cd	Cd ⁻	0.1 - 0.2	Cd+W	860-C
¹¹⁵ In	In ⁻	0.3 - 0.5	InO ₂ +W	860-C
¹²⁰ Sn	Sn ⁻	2.0 - 7.0	pure Sn, Sn+W	860-C
^{121,123} Sb	Sb ⁻	0.8 - 1.4	Sb+Pb	860-C
¹²⁷ I	I ⁻	20 - 50	CsI+W	860-C
^{166,167,168} Er	(ErO) ⁻	0.9	ErO+W	860-C
^{195,195m,196} Pt	Pt ⁻	25 - 30	pure Pt	860-C, MISS-790
¹⁹⁷ Au	Au ⁻	60 - 75	pure Au	860-C

Mainly accelerated ions at the
 2 MV van de Graaff
 5 MV tandem
 3 MV Tandetron

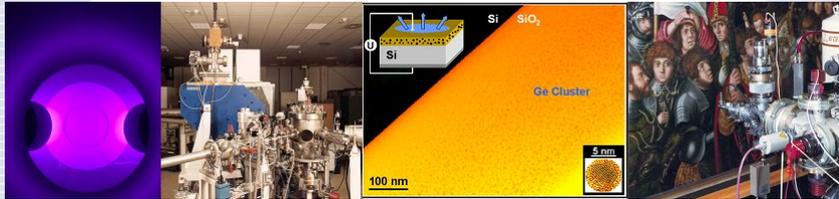


Implantation chambers at the 3 MV Tandetron
 up to 4" wafers (left chamber) or 6" wafers (5" irradiated area, right)

The Rossendorf Ion Beam Laboratory



Double-implantation at the 3 MV Tandetron



**AIM - Center for Application
of Ion Beams in Materials
Research
"Research Infrastructures
Transnational Access"**

DESY Zeuthen, 30.01.07

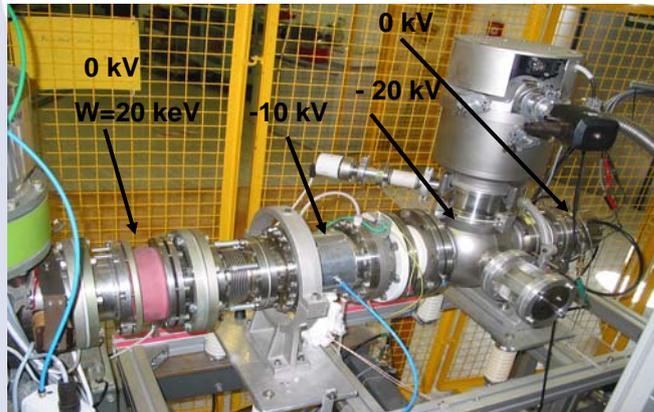
Mitglied der Leibniz-Gemeinschaft



Zusätzlicher Helium-Injektor am 3-MV-Tandetron

DESY Zeuthen, 30.01.07

Mitglied der Leibniz-Gemeinschaft



New injector for He ions at the 3 MV Tandatron

DESY Zeuthen, 30.01.07

Mitglied der Leibniz-Gemeinschaft



100-kV-Tandembeschleuniger für Tiefenprofil-Messungen
von Tritium mittels Beschleuniger-Massenspektrometrie (AMS)

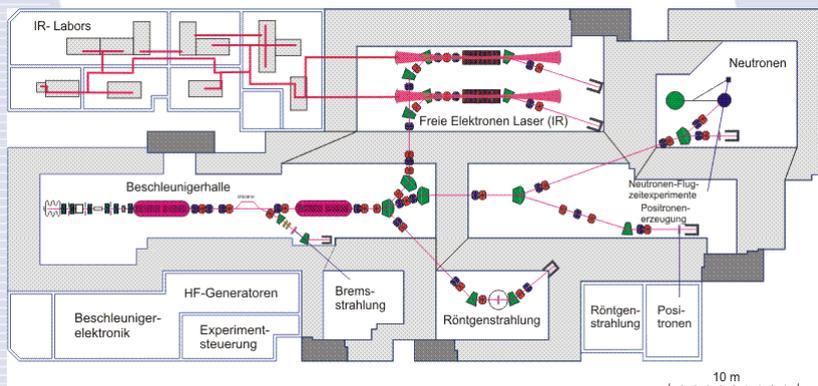
DESY Zeuthen, 30.01.07

Mitglied der Leibniz-Gemeinschaft



Das **CYCLONE 18/9** ist ein computergesteuertes Zyklotron zur Herstellung von PET-Radionukliden. Die Herstellung der Radionuklide erfolgt durch Bestrahlung von Flüssigkeiten und Gasen. Nach dem Transport in radiochemische Laboratorien werden die Radionuklide für die Synthese verschiedener PET-Radiotracer verwendet.

Mit dem CYCLONE 18/9 können negative Wasserstoff- und Deuterium-Ionen auf 18 MeV bzw. 9 MeV beschleunigt werden. Die Targets befinden sich am äußeren Umfang des Magnetjochs. Die negativen Ionen werden mit Stripperfolien extrahiert und treffen als Protonen bzw. Deuteronen auf die Targets. Erreichbare Strahlströme auf den Stripperfolien sind 80 μA für Protonen und 35 μA für Deuteronen. Gegenwärtig werden im Routinebetrieb mit dem Zyklotron die PET-Radionuklide $[^{18}\text{F}]\text{F}^-$ und $[^{18}\text{F}]\text{F}_2^-$ (110 min Halbwertszeit), ^{11}C (20 min), ^{13}N (10 min) und ^{15}O (2 min) hergestellt.



40-MeV-Elektronenbeschleuniger ELBE



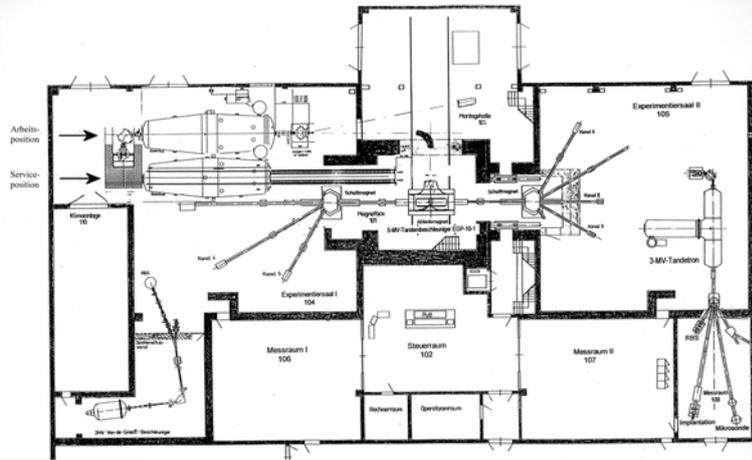
Sekundärstrahlen an ELBE:
kohärente Infrarotstrahlung (5 - 150 μm) vom FEL
quasi-monochromatische Röntgenstrahlung (10 - 100 keV)
(polarisierte) MeV-Bremsstrahlung
gepulste Neutronenstrahlen
gepulste monoenergetische Positronen (1 - 30 keV)

ELBE-Gebäude und Hochfeldlabor



Zukünftige Entwicklungen auf dem Gebiet der Beschleuniger im Forschungszentrum Dresden- Rossendorf

- Ausbau ELBE
- Ersatz des 2-MV-VdG und des 5-MV-Tandems durch einen modernen Beschleuniger (2010)
- Laserbeschleunigung (Start 2007)

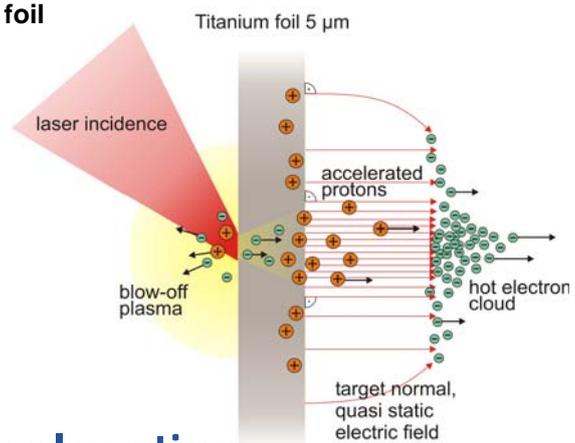


Aufbauvariante eines 6-MV-Tandetrans

DESY Zeuthen, 30.01.07

Mitglied der Leibniz-Gemeinschaft

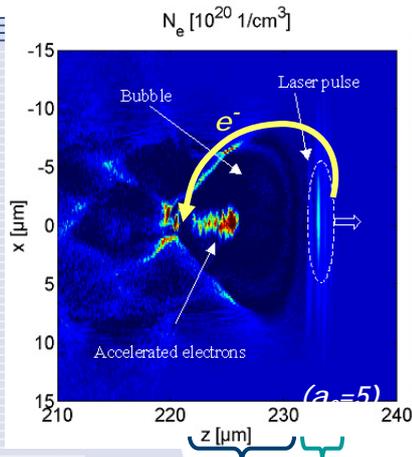
- hot electrons traversing the foil (divergence, pulse length)
- quasi static field normal to target surface (inhomogeneous)
- source size \gg laser spot



Proton acceleration

DESY Zeuthen, 30.01.07

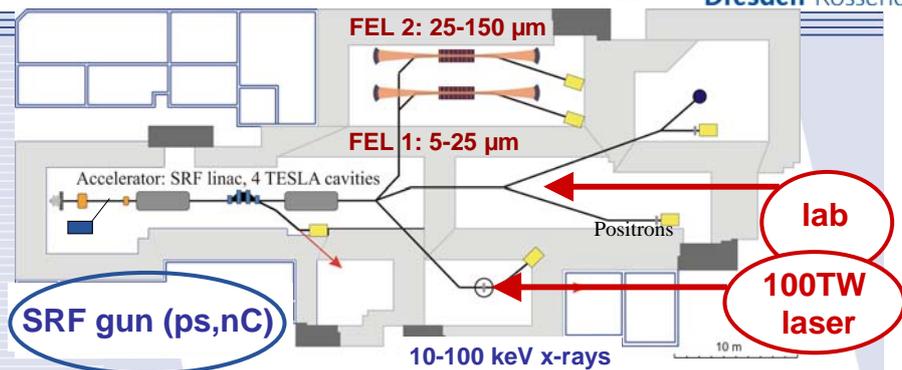
Mitglied der Leibniz-Gemeinschaft



bubble formation
*oscillating transverse fields
rectified into long. field [TV/m]*

plasma wavelength < pulse length

'Bubble' acceleration



- high current, low emittance accelerator
- laser acceleration studies (shielding provided)
- X-ray generation (applications existing)

Radiation source ELBE 40MeV 1mA (nC) linac