

Universidade de São Paulo

Instituto de Física

Física Aplicada

Aula 15

Profa. Márcia de Almeida Rizzutto

Edifício Oscar Sala – sala 220

rizzutto@if.usp.br

<http://disciplinas.stoa.usp.br/course/view?id=24279>

2º Semestre de 2016

Programa

- O Espectro Eletromagnético
 - Dimensões dos objetos
 - Produção de energia
- Revisão sobre ondas Mecânicas;
- Princípios de acústica - Efeito Doppler;
 - Imagens por Ultrassom
 - Levitação mecânica
- Revisão das Equações de Maxwell - Equação da onda eletromagnética
 - Ondas de rádio; TRC, LCD,
 - Estrutura atômica – Revisão de física moderna;
 - Efeito Fotoelétrico, Celulares solares, Modelo atômico
- Descrição dos princípios de geração dos Raios-X: Tubos de raios-X
 - Propriedades dos Raios-X – Difração, Absorção
 - Aplicações de raios X: e interação com a matéria
 - Imagens obtidas com Raios-X – Radiografia,
 - Fluorescência de raios X (XRF)
 - Tomografia.
 - Microscopia
 - Aceleradores de partículas e radiação Síncrotron
 - Uso de aceleradores para análise de materiais
 - Lasers e Aplicações
 - Física Aplicada e Reatores

| Domingo | Segunda | Terça | Quarta | Quinta | Sexta | Sábado |
|---------------|-------------|---------|--------------|--------|-------|--------|
| agosto | | | | | | |
| | Aula 1 | | Aula 2 | | | |
| | Aula 3 | | Aula 4 | | | |
| | Aula 5 | | Aula 6 | | | |
| | Aula 7 | | Aula 8 | | | |
| setembro | | | | | | |
| | SEMANA DA | DA | PÁTRIA | | | |
| | AULA 9 | | não AULA | | | |
| | não AULA | | não AULA | | | |
| | Aula 10 | | Aula 11/AP1 | | | |
| outubro | | | | | | |
| | Aula 12/AP2 | | Aula 13/AP3 | | | |
| SEMANA Física | Aula 14 | | feriado | | | |
| | Aula 15/AP4 | | Aula 16/AP5 | | | |
| | Aula 17/AP6 | | Aula 18 /AP7 | | | |
| | Aula 19/AP8 | | | | | |
| novembro | | | feriado | | | |
| | Aula 20 | | Aula 21 | | | |
| | RECESSO | feriado | não AULA | | | |
| | Aula 22 | | Aula 23 | | | |
| | Aula 24 | | Aula 25 | | | |
| dezembro | | | | | | |
| | PROVA | | | | | |

Calendário

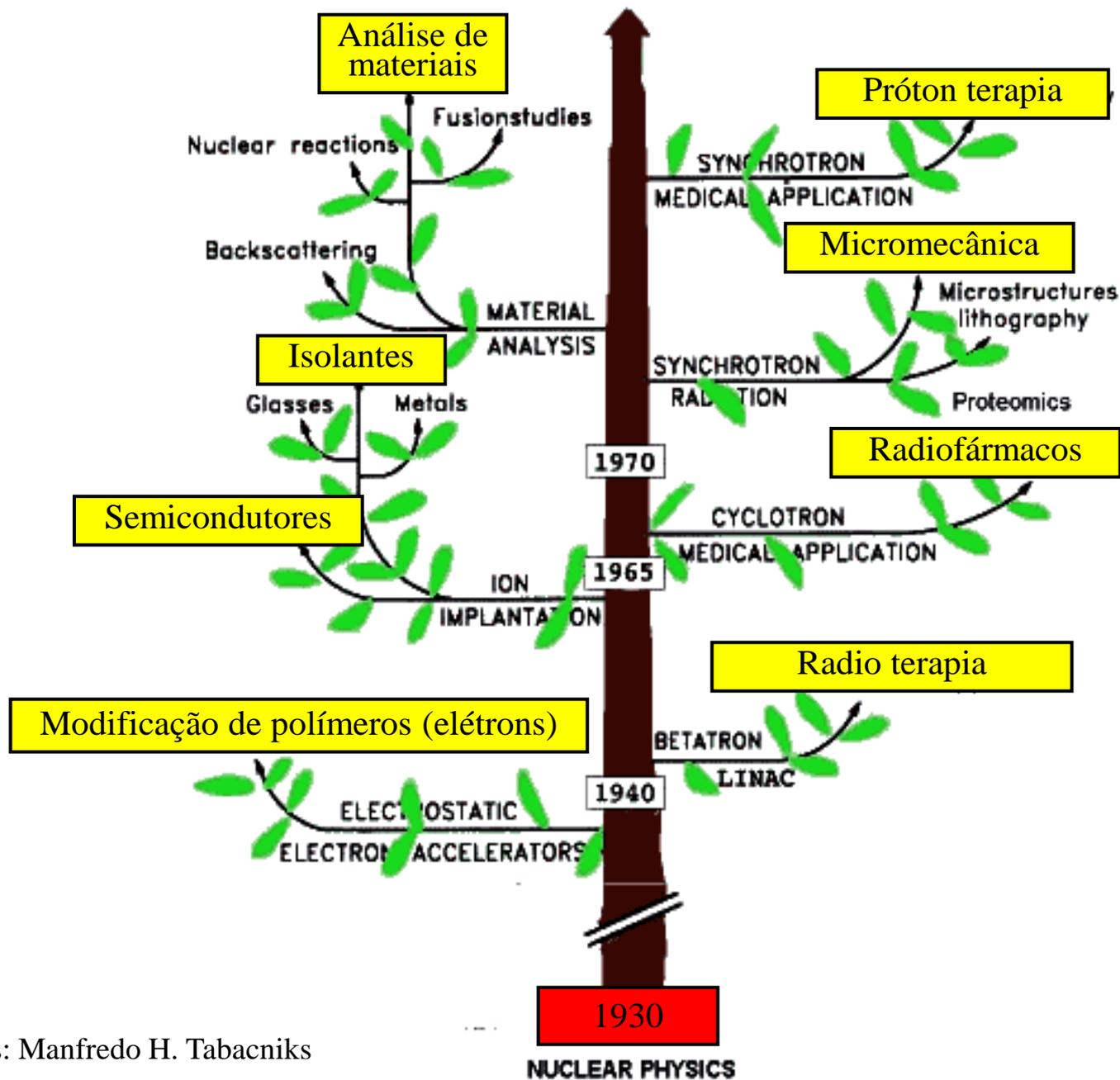
ACELERADORES

| Categoria | Número |
|---|---------------|
| Impantadores de íons e modificação de superfícies | 7000 |
| Esterilização e polimerização | 1500 |
| Aceleradores em pesquisa não nuclear | 1000 |
| Radioterapia | 5000 |
| Produção de Radioisótopos | 200 |
| Terapia com Hadrons | 20 |
| Fontes Síncrotron | 70 |
| Pesquisa em FN e partículas | 110 |
| total | 14900 |

Inventário mundial de aceleradores (2000)

(cresce 15% /ano)

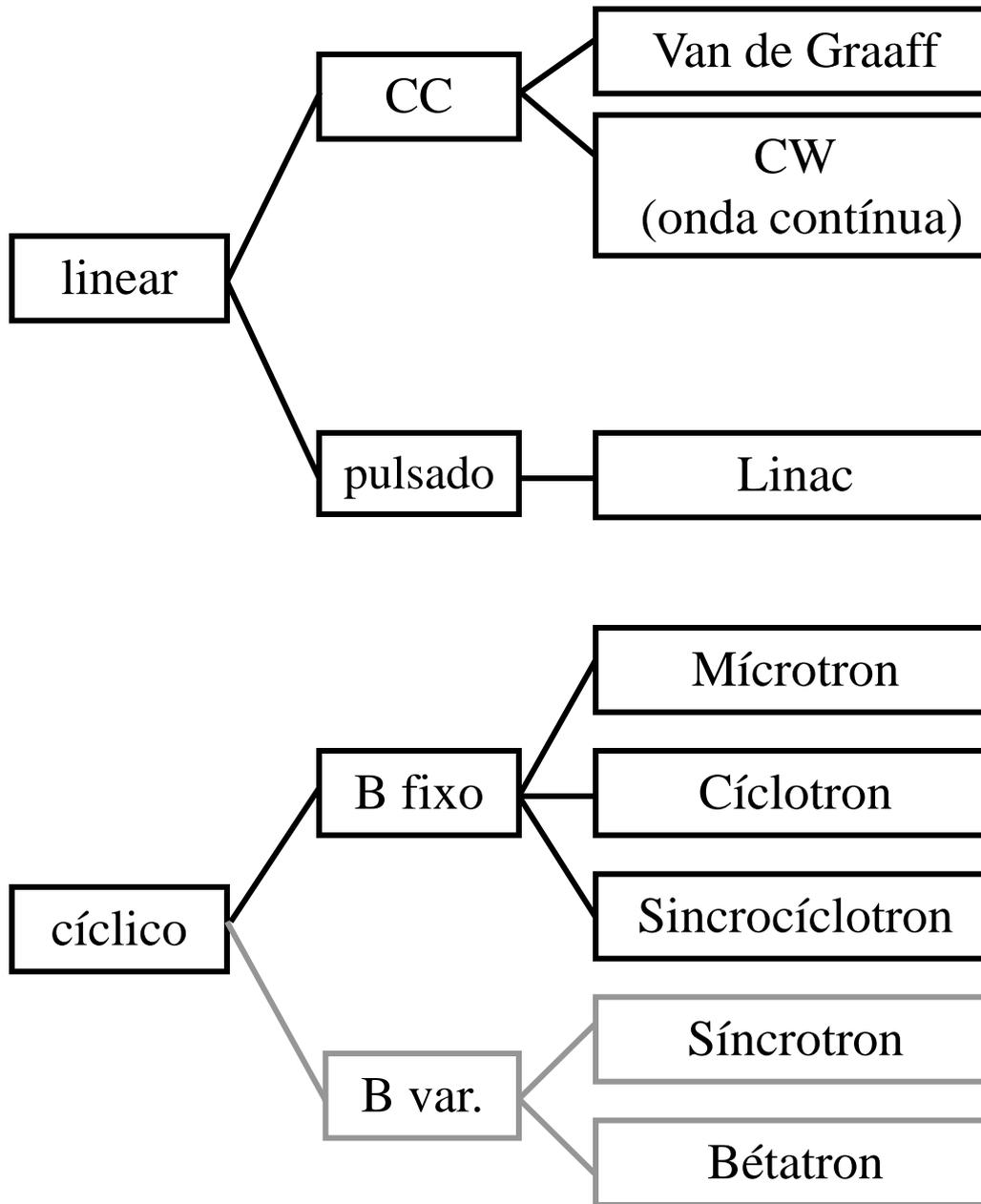
Pesquisa Básica em Física Nuclear



Aceleradores em ciência tecnologia



- Militar
- Armas, segurança, inspeção (γ e neutrons)
 - Pesquisa e Análise de Materiais
 - Análise de materiais com feixes iônicos (RBS, PIXE, PIGE, NRA, ERDA, AMS, MALDI..)
 - Datação
 - Luz Síncrotron
- Matéria Condensada, Microbiologia, Proteômica, Morfologia Molecular
- Implantação de íons. Quantum dots.
 - Micro e nano feixes
- Tratamento e diagnóstico médico
- Radioterapia (e^- , H, γ , X..), dosimetria, dano em DNA..
 - Radiofármacos, marcadores isotópicos
 - Radiodiagnóstico - tomografia
 - Aplicações Tecnológicas
- Polimerização e reticulação (embalagens, isolantes, pneus, tintas..)
 - Implantação de íons (semicondutores, superfícies biologicamente ativas..)
 - Análises estruturais, μ Litografia, micromecânica
 - Esterilização (alimentos, embalagens, eq. médico)
 - Geração de energia
 - Reatores nucleares, ADS...



Aceleradores

Van de Graaff

CW

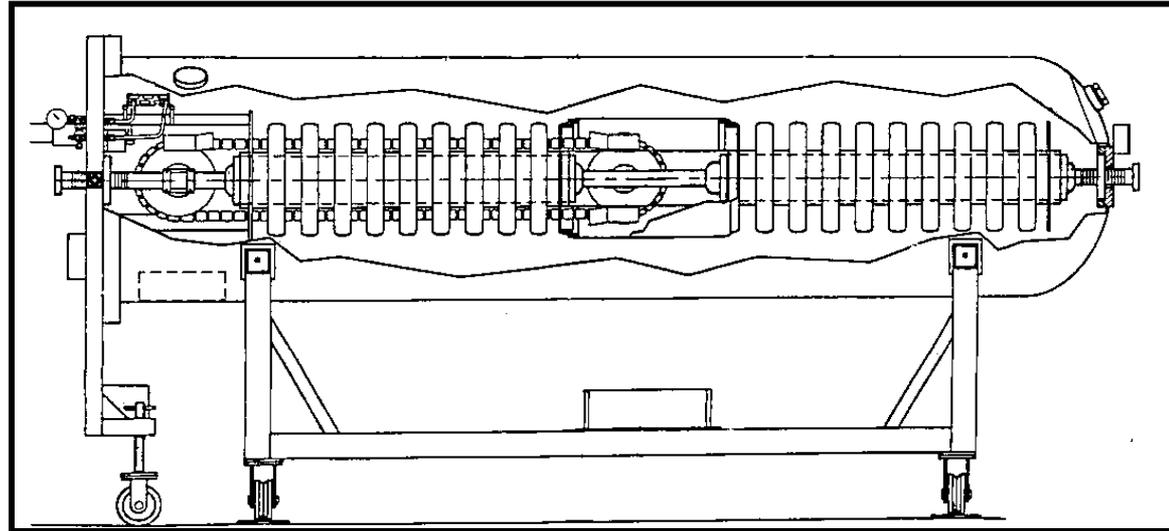
Linac...

Cíclotron

Sincrocíclotron

Bétatron

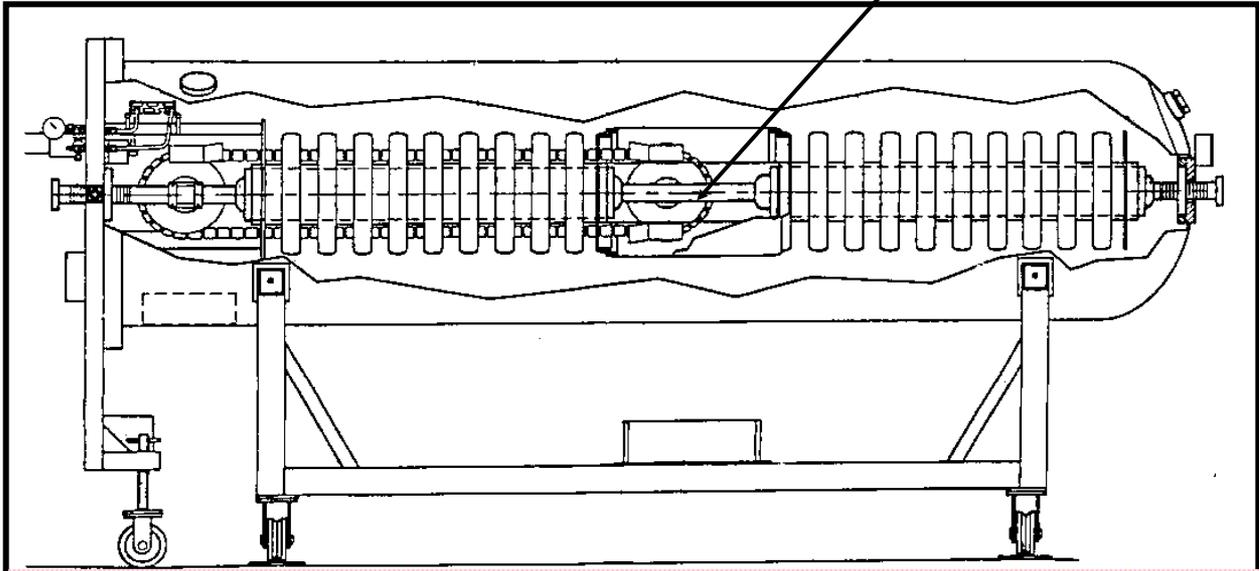
Acelerador Pelletron tipo tandem com *stripper* gasoso



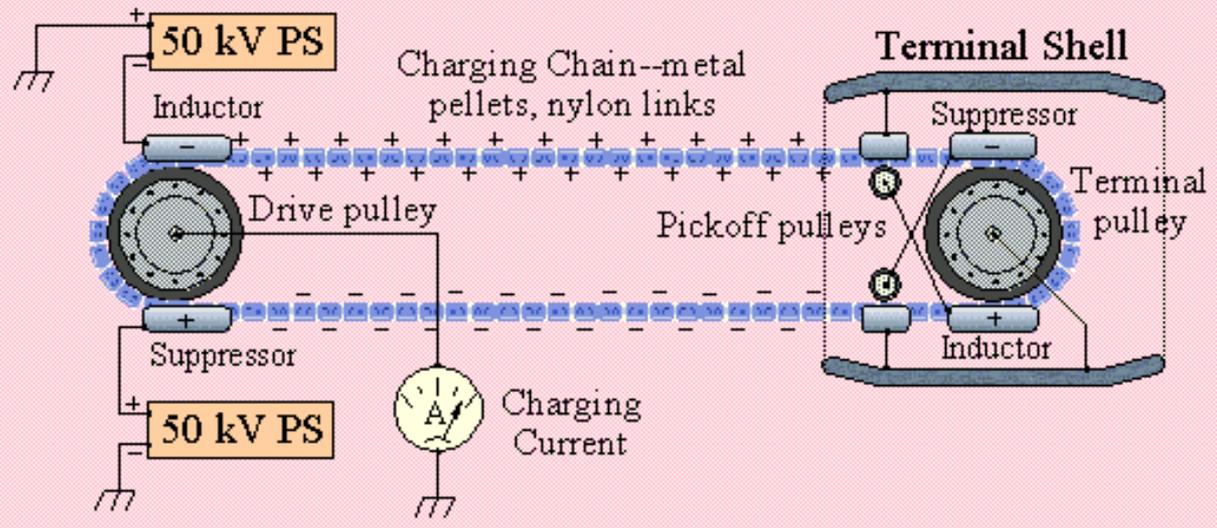
- Tensão máxima 25MV (tandem)
- 74+ Pelletrons construídos (~35 anos)
60 $U < 5\text{MV}$
- 300+ aceleradores VDG da HVE

Acelerador eletrostático

Acelerador Pelletron tipo tandem com *stripper* gasoso

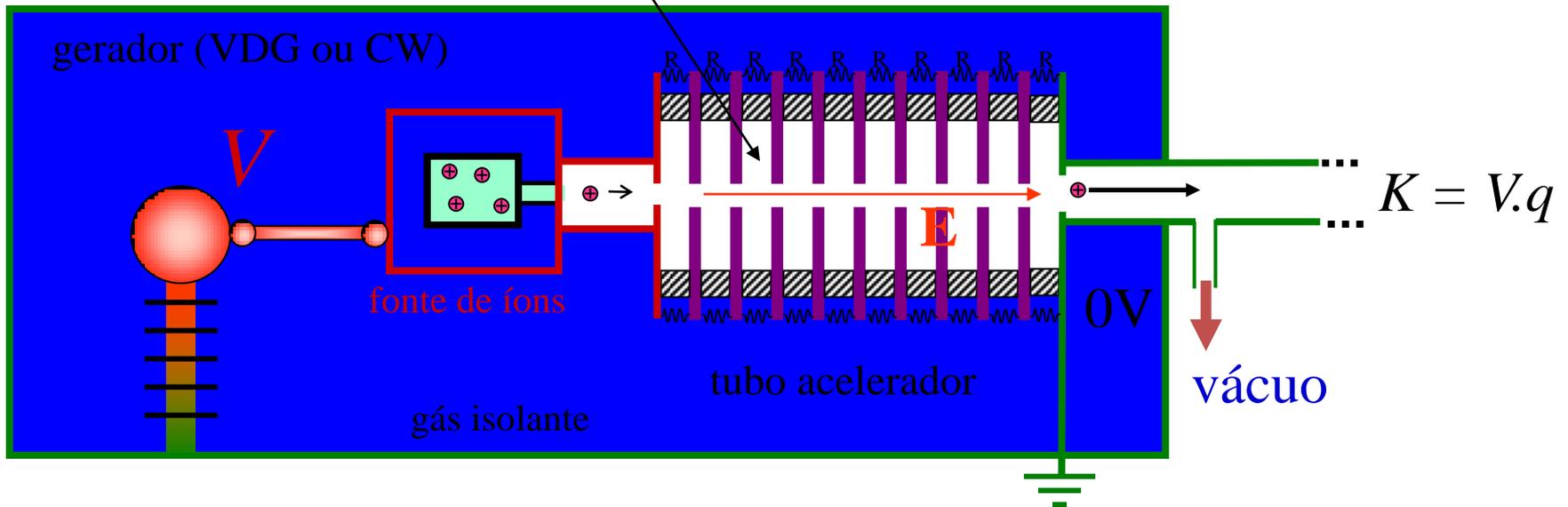


Pelletron Charging System
(Positive configuration shown)



Um acelerador eletrostático

- Fonte de íons (ou de elétrons)
- Fonte de alta tensão (VDG ou Crockroft Walton)
- Estrutura em vácuo para transporte do feixe (íons ou elétrons)



Aceleradores

Van de Graaff

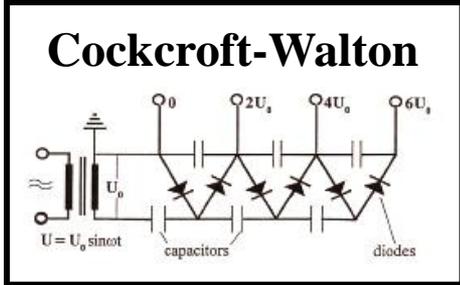
CW

Linac...

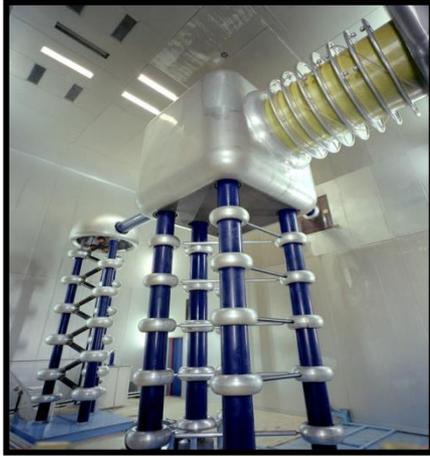
Cíclotron

Sincrocíclotron

Bétatron



- ### Cockcroft-Walton (1932)
- Carrega em paralelo CA e descarrega em série
 - **É a fonte em qualquer TRC**
 - $(V \propto 1/I)$: baixa corrente em alta tensão
 - *Ripple* alto ($\propto I/f$) => f alta
 - Oferece tensões intermediárias. (polarização de dinodos, fotomultiplicadoras, etc.)



Injetor de prótons do Fermilab (750 kV)

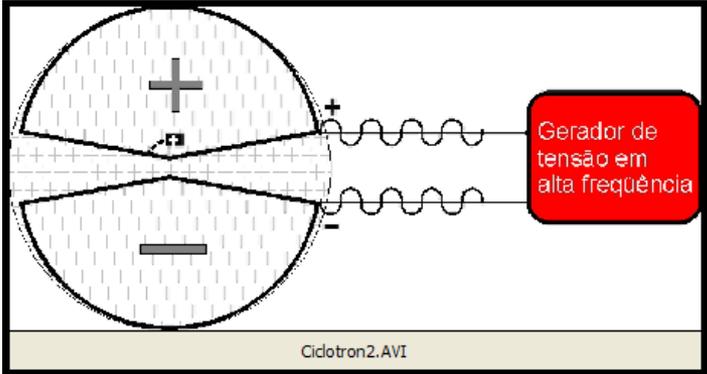
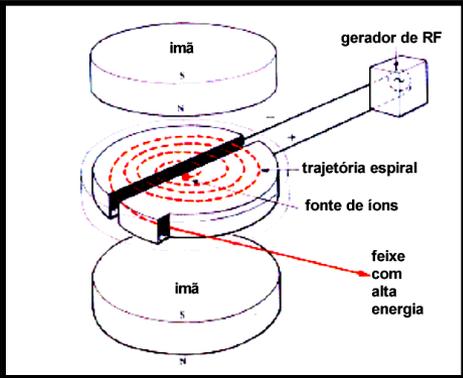


Fonte de AT do implantador de íons do IFUSP (400 kV)

Aceleradores

Van de Graaff

CW



Linac...

$$r = \frac{m v}{q B}$$

$$f = \frac{1}{2\pi} \frac{q B}{m}$$

Frequência ciclotrônica constante.

Limitado para cerca de 10 MeV de prótons. Acima dessa energia, é necessário considerar o incremento de massa dos prótons (γm).

Cíclotron

Sincrocíclotron

$$f_{RF} = \frac{1}{2\pi} \frac{q B}{\gamma m}$$

O maior sincrocíclotron em operação (Gatchina, St. Petesburgo) acelera prótons até 1 GeV. Pesa 10000 t. As peças polares têm 6 m de diâmetro.

Bétatron

Aceleradores

Van de Graaff

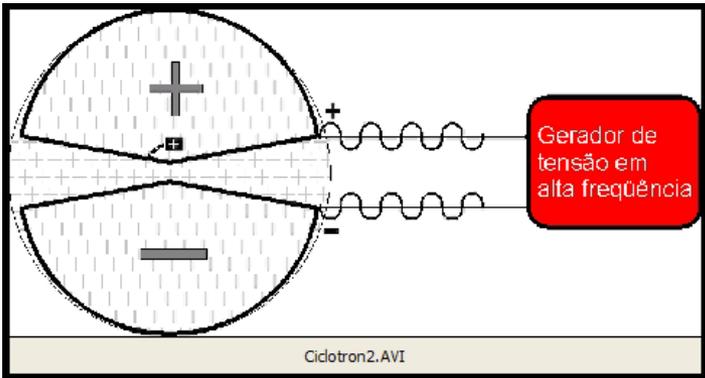
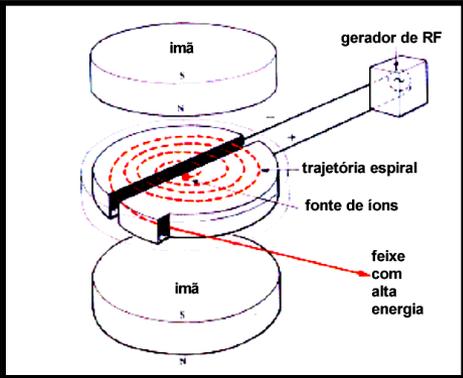
CW

Linac...

Cíclotron

Sincrocíclotron

Bétatron



$$r = \frac{m v}{qB}$$

$$f = \frac{1}{2\pi} \frac{qB}{m}$$

Frequência
ciclotrônica
constante.

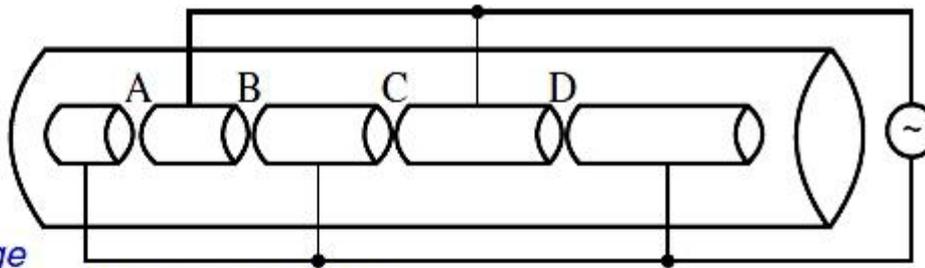
Variando o *gap* entre as peças polares (1960) foi possível reprojeter os imãs “*sector focused cyclotron*” para compensar a perda de velocidade devido ao incremento de massa, aumentar a energia e manter constante a frequência da fonte de RF.

D. Robin. Michigan State University (2007)

O maior cíclotron focado é o de Vacouver.
Gera feixe de H⁻ com 600 MeV

Linear

G. Ising, 1924, *The principle of a method for the production of canal rays of high voltage*



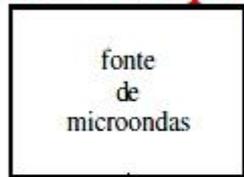
R. Wideröe, 1928

Altas frequências \Rightarrow microondas

L. W. Alvarez, *Phys. Rev.* 70(1946)799

Estabilidade de fase

E. M. McMillan, *Phys. Rev.* 68(1945)143



Linear de onda caminhante

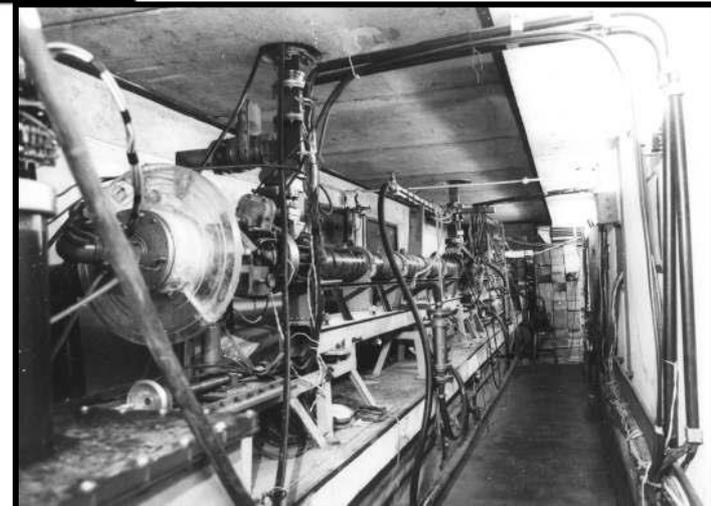
guia de onda

tubo acelerador

feixe de partículas

onda caminhante

injetor de elétrons

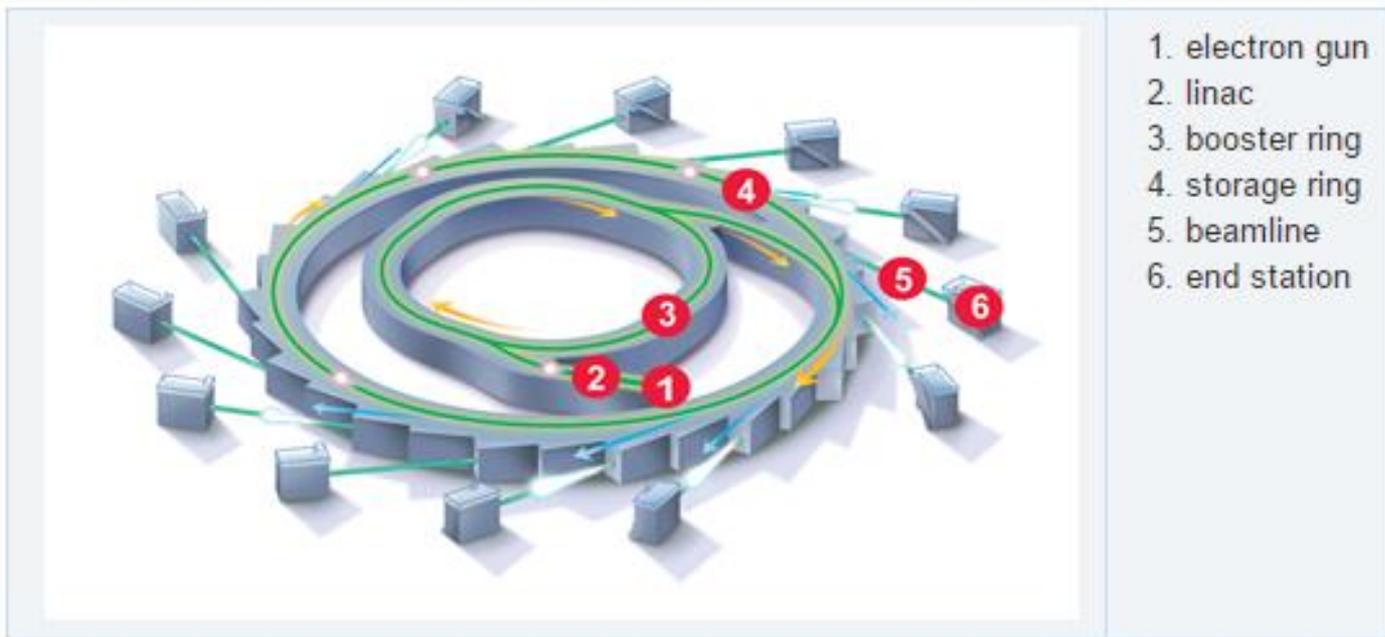


Acelerador linear de elétrons, de 70MeV instalado em 1967 pelo Prof. Goldemberg no IFUSP. Doado pela U. de Stanford, funcionou até meados de 1980. No canto à esquerda vê-se o injetor de elétrons.

LABORATÓRIO DE LUZ SINCROTRON EM campinas

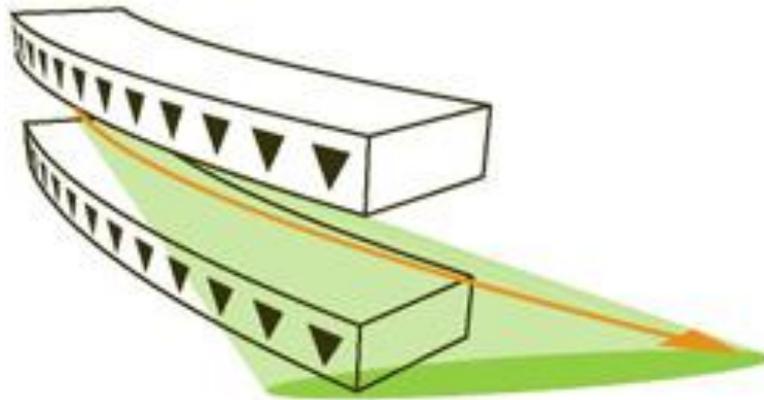


**Sirius: New Brazilian Synchrotron
Light Source**



1. electron gun
2. linac
3. booster ring
4. storage ring
5. beamline
6. end station

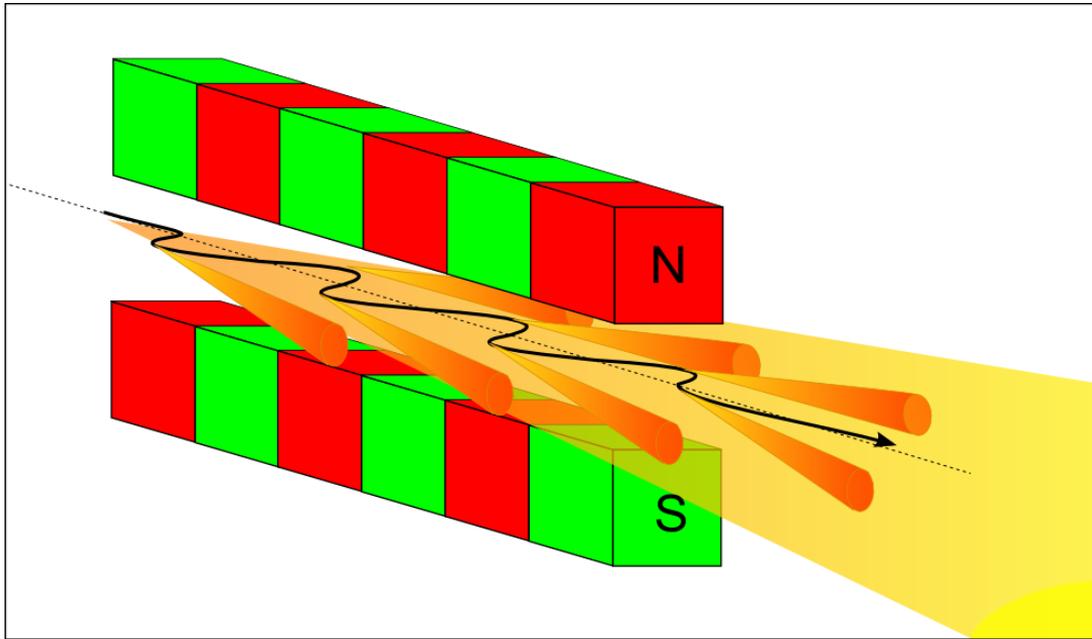
- Os elétrons são gerados no centro (canhão de elétrons) e acelerados a 99,9997% da velocidade da luz pelo acelerador linear (linac).
 - Os elétrons são então transferidos para o anel de reforço, onde ganham maior energia.
 - São então transferidas para o anel de armazenamento externo.
 - Os elétrons circulam em torno do anel de armazenamento por uma série de ímãs separados por seções retas.
 - À medida que os elétrons são desviados através do campo magnético criado pelos ímãs, libertam radiação eletromagnética, deste modo que em cada ímã magnético é produzido um feixe de luz síncrotron
 - Os elétrons são acelerados até uma energia de ~ 6 bilhões de elétrons-volts (6 GeV) antes de serem injetados no anel de armazenamento.
- Estes elétrons são empacotados (em “bunches”) e, em seguida, são acelerados até 200 milhões de elétrons-volts, o suficiente para a injeção no síncrotron (booster).



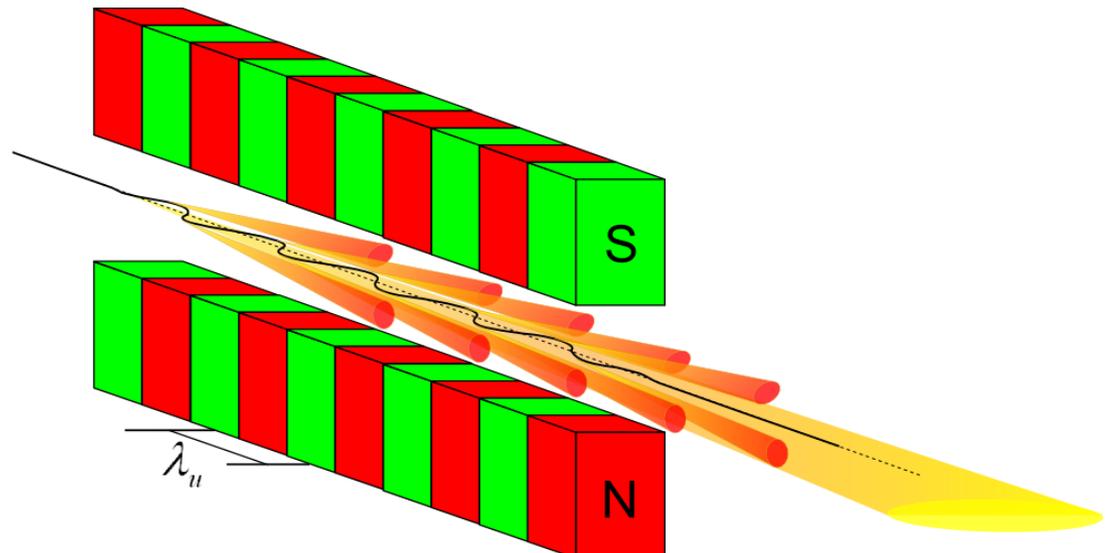
Em cada deflexão do percurso dos elétrons é produzido um feixe de luz. O efeito é semelhante à varredura de uma luz de busca.

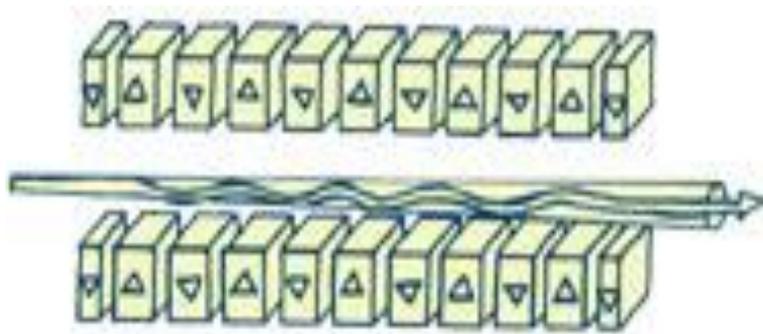
Estes feixes podem ser capturados e focalizados em um comprimento de onda específico apropriado para uma técnica particular.

Representação esquemática de um “wiggler”

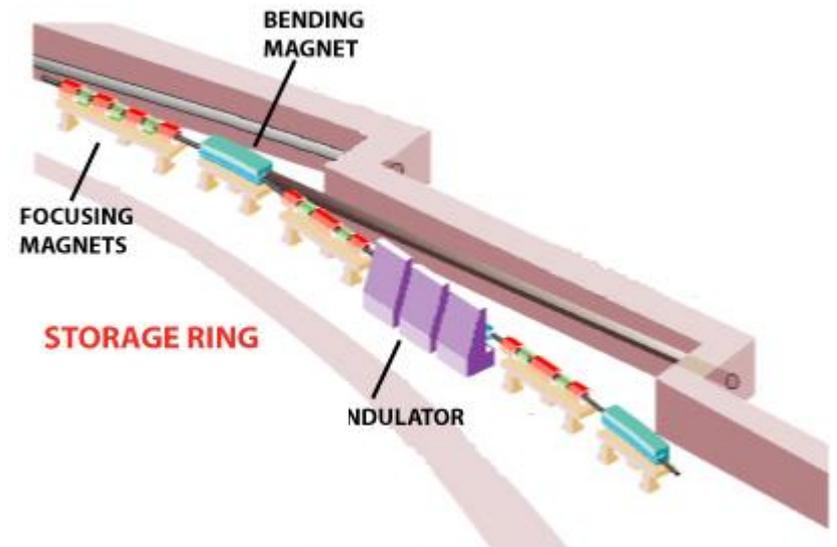


Representação esquemática de um ondulator



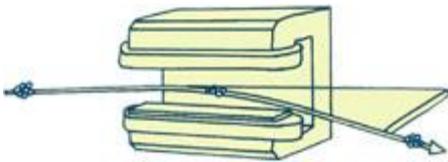


Ondulador (o Dispositivo de Inserção)



- Essas estruturas magnéticas são formadas por um conjunto complexo de pequenos ímãs que obrigam os elétrons a seguir em uma trajetória ondulante.
- A radiação emitida em cada curva consecutiva sobrepõe-se e interfere com a de outras curvas.
- Isso gera um feixe de radiação muito mais focado, ou brilhante, do que aquele gerado por um único ímã.
- Além disso, os fótons emitidos são concentrados em certas energias (chamadas de fundamental e harmônicas).
- O intervalo entre as filas de ímãs pode ser alterado para ajustar o comprimento de onda dos raios X no feixe.

Bending magnets (Ímãs de dobrar)



A função principal destes ímãs é dobrar os elétrons em sua órbita.. No entanto, à medida que os elétrons são desviados de seu caminho reto ao passar por esses ímãs, eles emitem um spray de raios X tangencialmente ao plano do feixe de elétrons. A luz sincrotron de um ímã de dobra cobre um espectro largo e contínuo, desde microondas a raios X duros, e é muito menos focada, ou brilhante, do que o feixe fino de raios-X a partir de um dispositivo de inserção.

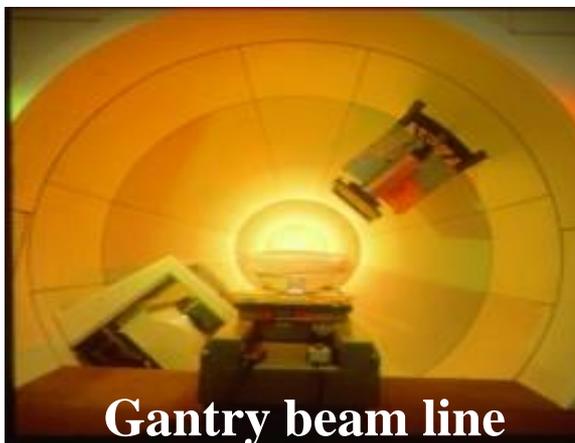
APLICAÇÕES

1-800 PROTON

The Use of High-Energy Protons in Cancer Therapy

Dr. Reinhard W. Schulte

Loma Linda University Medical Center

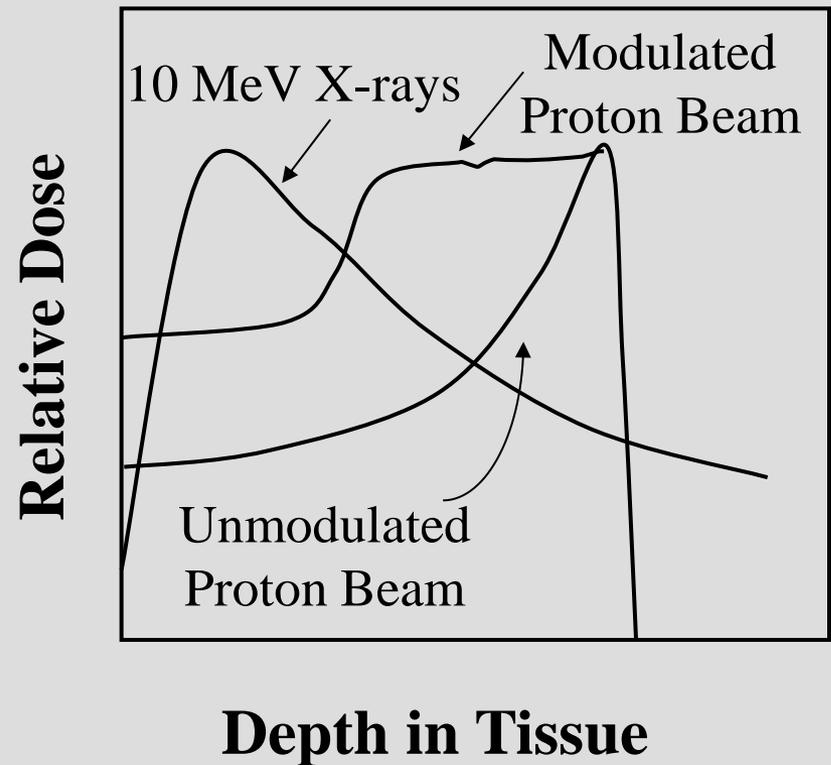


HMI?

APLICAÇÕES

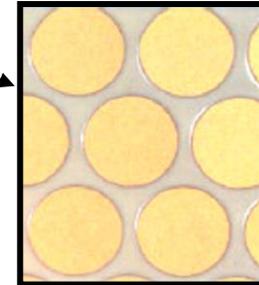
Why Protons are advantageous

- Relatively low entrance dose (plateau)
- Maximum dose at depth (Bragg peak)
- Rapid distal dose fall-off
 - Energy modulation (Spread-out Bragg peak)



IPEN - Centro Tecnológico das Radiações

- Irradiação de polímeros para reação de reticulação “*crosslinking*”
- Tratamento de efluentes (planta piloto 3 m³/h)
- Esterilização de produtos biomédicos
- Cura de madeiras e lâminas por radiação
- Indução de cor em pedras preciosas
- Modificação de tiristores (Semikron)
- Desinfestação de obras de arte e livros
- Desinfestação de flores
- Preservação de alimentos



Some of the commonly used terms in radiation processing are:

absorbed dose

amount of radiation energy absorbed by material while exposed to a radiation source

gray (Gy)

unit of absorbed dose, equivalent to 1 joule per kilogram of material

radioactivity

strength (or power) of a gamma radiation source (like cobalt-60)

curie (Ci) or becquerel (Bq)

unit of radioactivity of a gamma radiation source (like cobalt-60)

half-life

characteristic of a gamma radiation source;
time taken for the activity of a radiation source to decay to half of its value

FONTE DE RADIAÇÃO COBALT-60

O radionuclídeo cobalto-60 (Co-60 ou $^{60}\text{Co}_{27}$) é o mais comum usado como fonte de radiação gama para a tecnologia de radiação, tanto para a indústria como para fins médicos.

A produção de cobalto radioactivo começa com Cobalto (metal), que é um elemento com 100% de abundância do Isótopo cobalto-59. estável ; O minério rico em cobalto é raro e esse metal é 0,001% da crosta terrestre. Slugs (pequenos cilindros) ou pelotas feitas de 99,9% de pó sintetizado de cobalto puro e geralmente soldado em cápsulas de Zircaloy. Depois são colocados num reator de energia nuclear, onde permanecem por um período limitado (Cerca de 18-24 meses) dependendo do fluxo de nêutrons do local. Neste processo dentro do reator, um átomo de Co59 absorve um nêutron e é convertido no átomo de Co60.

Implantação Iônica (semicondutores, biocompatibilidade até Qdots)

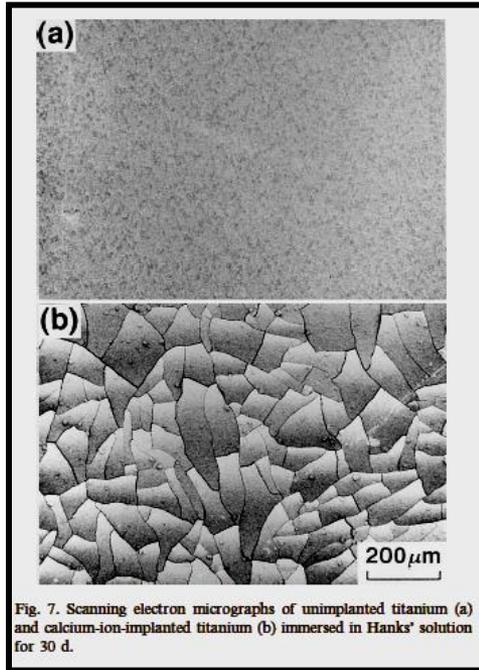


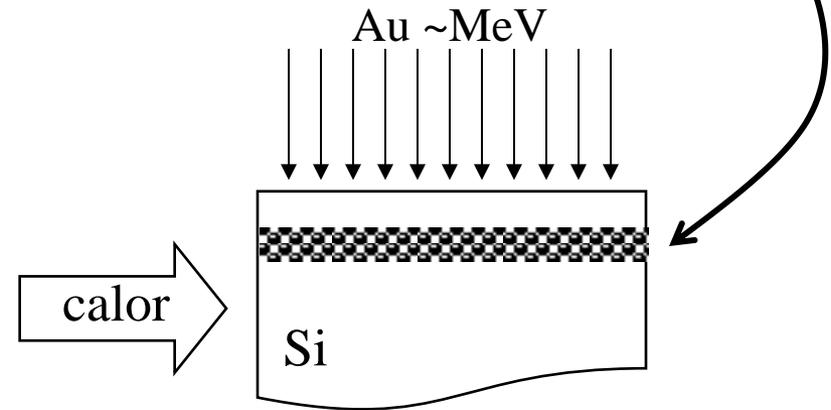
Fig. 7. Scanning electron micrographs of unimplanted titanium (a) and calcium-ion-implanted titanium (b) immersed in Hanks' solution for 30 d.

Hanawa, 1999

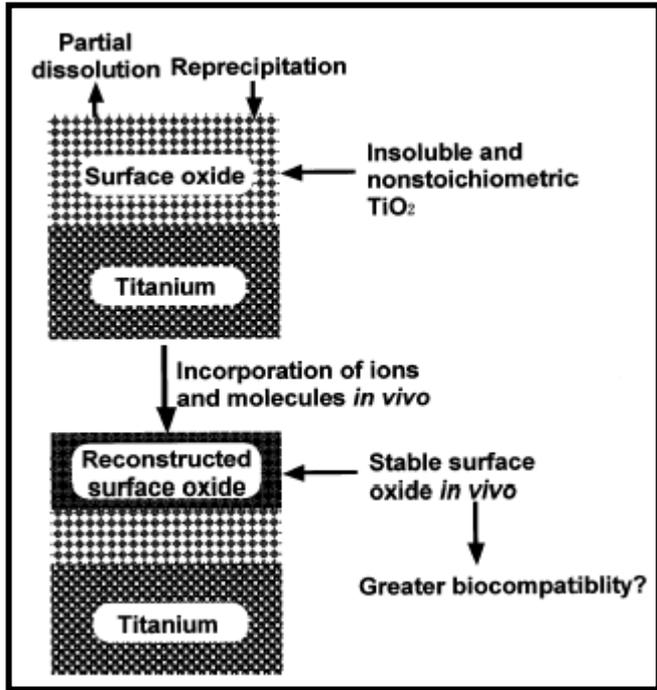
Titânio não tratado

Titânio implantado com Ca

Soluções sólidas muito além do equilíbrio precipitam Quantum Dots

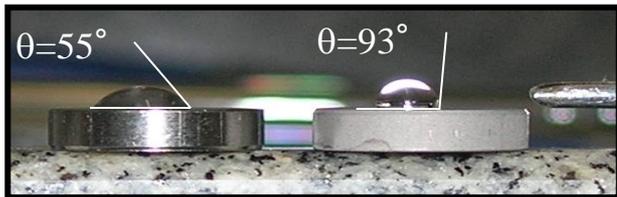


Aceleração da biocompatibilidade: Ca (ou P) implantado em em Ti



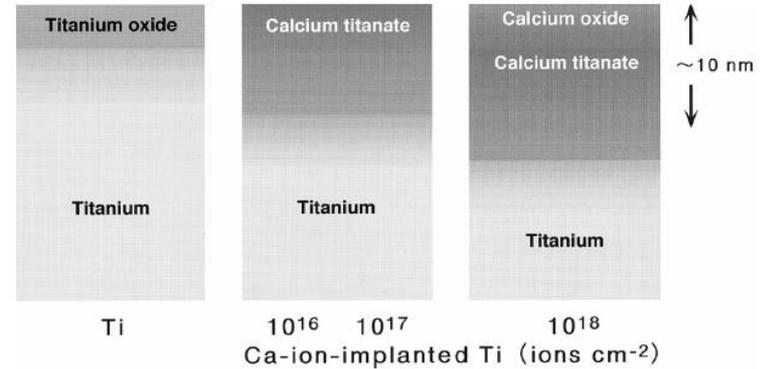
Hanawa, Materials Science and Engineering
A267 260–266 (1999)

hidrofilicidade



Ti usado

Ti tratado



Superfície de amostras de Ti impantadas com Ca

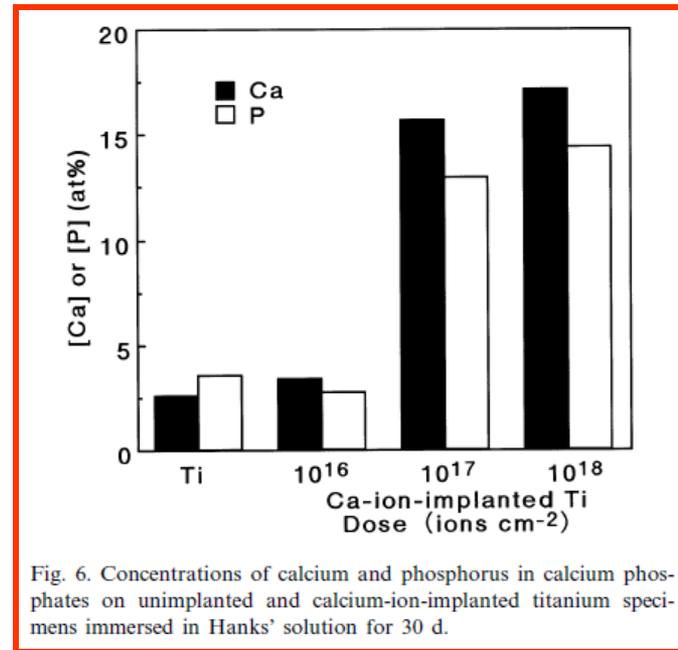


Fig. 6. Concentrations of calcium and phosphorus in calcium phosphates on unimplanted and calcium-ion-implanted titanium specimens immersed in Hanks' solution for 30 d.

Acelera
deposição
de Ca (e P)

Tratamento bactericida: Ag implantado em PET

Introduction

- > Endocarditis and thromboembolism remain major complications of prosthetic valves. These problems are usually related to surface properties of the base prosthetic valves materials.
- > Modification to biomaterial surfaces will allow the programming of cell-to-substratum events, thereby diminishing infection and embolism by enhancing tissue compatibility or integration, or by directly inhibiting bacterial adhesion.
- > It was suggested that silver coating of prosthetic valve sewing rings might protect against prosthetic endocarditis.

Feixe de Ag, 20kV, E16/cm²
XRD
XPS

> Fig. 4 demonstrates that the Ag-ion-PET sample have significantly bactericidal property. The adhered colonies of SE on the surface of Ag-ion-PET sample are as less as 24% on the control PET surface.

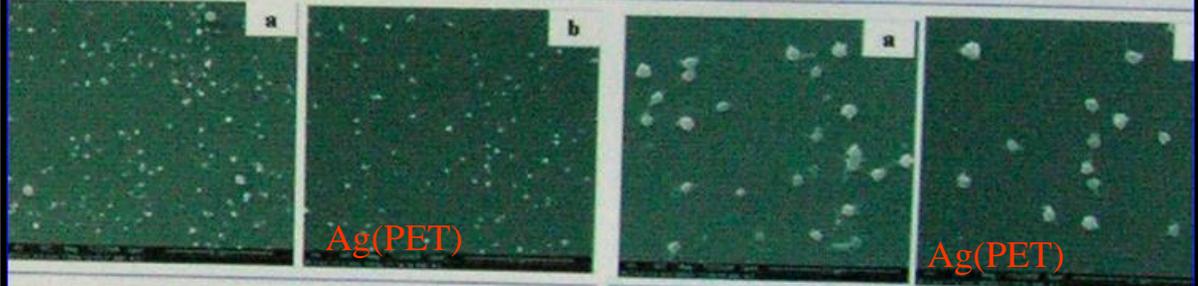


Fig.5 SEM photos of platelet adhered on (a) PET and (b) Ag-ion-PET (×1000)

Fig.6 SEM photos of platelet adhered on (a) PET and (b) Ag-ion-PET (×3000)

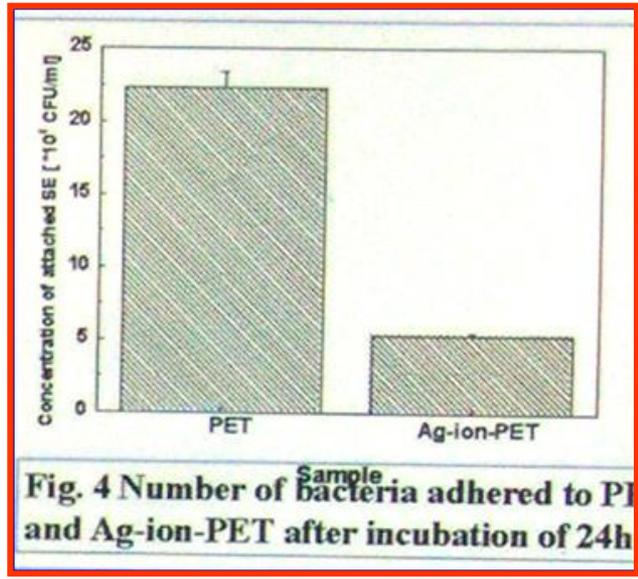


Fig. 4 Number of bacteria adhered to PET and Ag-ion-PET after incubation of 24h

The biomedical properties of polyethylene terephthalate surface modified by silver ion implantation J. Wang, Ren Ling, Li Jianxin, Shen Liru, Xu Zejin, Zhao Ansha, Leng Yongxiang, Huang Nan (IBMM2006)

Excitação com Partículas para análise de materiais

Aceleradores

...investigar os materiais.



Com muita energia



LAMFI – LABORATÓRIO DE ANALISE DE MATERIAIS POR FEIXES IÔNICOS - IF - USP

1992 LAMFI instalação do acelerador e início do trabalhos de análise de materiais com feixes iônicos

2000 GFAA – Grupo de Física Aplicada com Aceleradores

2003 Construção do arranjo experimental de feixe externo:

- Materiais Biológicos: dentes, ossos, sedimentos, água de rio, Flúor em água
- Bens Culturais (estatuetas metálicas, pinturas)

Laboratório para Análise de Materiais com Feixes Iônicos - LAMFI

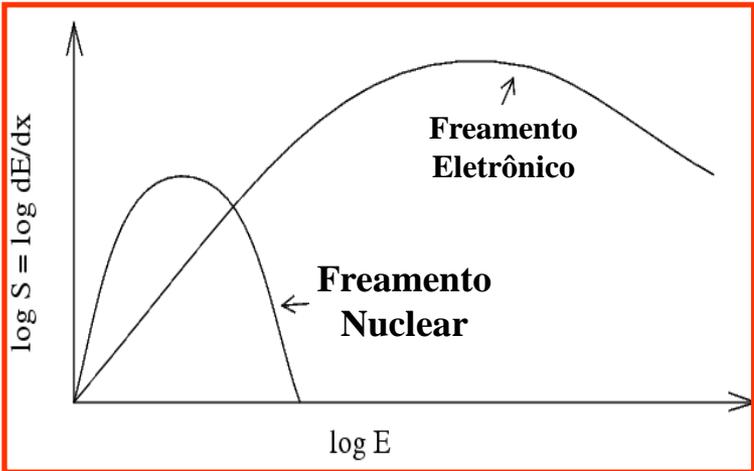
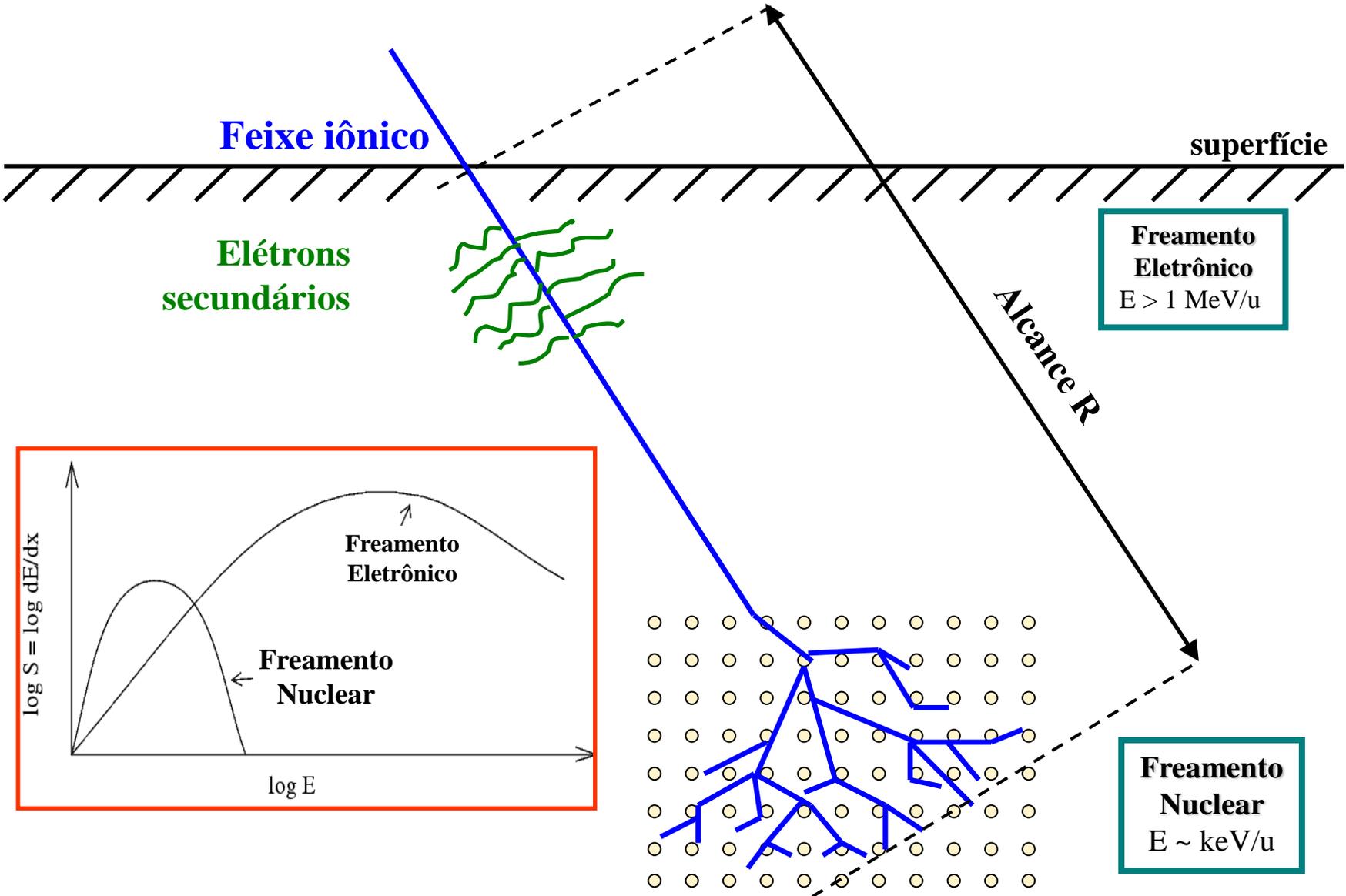


Console

Acelerador

Fontes de íons

Poder de freamento (*stopping power*)



Principais processos de freamento...

