การอบรมพัฒนาศักยภาพบุคลากรผู้ตรวจสอบสถานประกอบการทางนิวเคลียร์และรังสี

การตรวจสอบสถานประกอบการทางอุตสาหกรรมและระบบรักษาความปลอดภัยที่ใช้เครื่องกำเนิดรังสีประเภท LINAC , Synchrotron , E-Beam Fluoroscopy และRadiography

พีระศักดิ์ สุนทรนนท์
กองตรวจสอบความปลอดภัยนิวเคลียร์และรังสี
สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ

ห้องประชุมใหญ่ชั้น ๒ วันที่ ๒๑ กันยายน ๒๕๖๐

การตรวจสอบความปลอดภัยนิวเคลียร์และรังสีของสถานปฏิบัติการ

การเตรียมการ

- หาข้อมูลหน่วยงานทีจะตรวจสอบฯ
- วางแผนการตรวจสอบฯ + ขออนุมัติ
- จัดทำข้อมูลเอกสารการตรวจสอบฯ + ศึกษาข้อมูลของต้นกำเนิดรังสี
- เตรียมเครื่องมือเกี่ยวกับการตรวจสอบฯ
- เตรียมความพร้อมของผู้ตรวจสอบและทีม

การตรวจสอบความปลอดภัยนิวเคลียร์และรังสีของสถานปฏิบัติการ

การเข้าตรวจสอบ

- ประสานงานกับเจ้าหน้าที่ของหน่วยงานในเบื้องต้น
- แนะนำตัวเองและคณะ
- บอกถึงวัตถุประสงค์ในการเข้าตรวจสอบฯ
- เริ่มดำเนินการตรวจสอบฯ

การตรวจสอบความปลอดภัยนิวเคลียร์และรังสีของสถานปฏิบัติการ

สิ่งที่ต้องตรวจสอบ

- **การตรวจสอบข้อมูล (Identifying Information)**
  - ใบอนุญาต
  - ข้อมูลในใบอนุญาต
  - RSO และคุณสมบัติ
  - ผู้ปฏิบัติงานทางรังสี (Radiation worker)

สิ่งที่ต้องตรวจสอบ (ต่อ)

😐 **การตรวจพิสูจน์ระบบความปลอดภัยทางรังสี และ ความมั่นคงปลอดภัยของต้นกำเนิดรังสี (Verification of Safety and Security of Source)**

- บัญชีวัสดุกัมมันตรังสี
- ห้องปฏิบัติการทางรังสี
- ระบบควบคุมความปลอดภัย
- ป้ายเตือนทางรังสี
- การบริหารจัดการด้านความปลอดภัย
- การจัดการด้านเทคนิคเกี่ยวกับความปลอดภัยทางรังสีที่เพียงพอ
- มีระบบบันทึกและสืบสวนกรณีเกิดอุบัติเหตุ
- ระบบความมั่นคง

สิ่งที่ต้องตรวจสอบ (ต่อ)

การตรวจพิสูจน์การป้องกันอันตรายจากรังสีสำหรับผู้ปฏิบัติงาน

(Verification of Workers Protection)

- การจัดแบ่งพื้นที่ในการปฏิบัติงาน
- จัดทำระเบียบเกี่ยวกับความปลอดภัยในการปฏิบัติงาน
- การเฝ้าระวังทางรังสี
- ประเมินการได้รับรังสีของผู้ปฏิบัติงานโดย RSO
- ผู้ปฏิบัติงานต้องได้รังสีไม่เกินเกณฑ์ที่กำหนด
- มีเครื่องวัดรังสีที่ได้มาตรฐาน
- บันทึกการตรวจวัดรังสี
- การประเมินผล
- การซ่อมบำรุงและตรวจสอบอุปกรณ์ทางรังสี

สิ่งที่ต้องตรวจสอบ (ต่อ)

😐 **การตรวจพิสูจน์ความปลอดภัยของสาธารณชน**

(Verification of Public Protection)

- **การควบคุมบุคคลที่จะเข้าพื้นที่ปฏิบัติงานทางรังสี**
- **การตรวจวัดรังสี ในบริเวณปฏิบัติงาน**
- **มีการประเมินผล จากการตรวจวัดรังสี**
- **การจัดการกากกัมมันตรังสี**

สิ่งที่ต้องตรวจสอบ (ต่อ)

- **การตรวจสอบความพร้อมเมื่อเกิดอุบัติเหตุฉุกเฉินทางรังสี (Emergency Preparedness)**

- แผนฉุกเฉินทางรังสี

- อุปกรณ์ตามแผนฉุกเฉินทางรังสี

- การฝึกซ้อมฉุกเฉินทางรังสี

สิ่งที่ต้องตรวจสอบ (ต่อ)

❑ ข้อมูลที่จัดเก็บหรือบันทึกเพื่อการตรวจสอบ (Records)

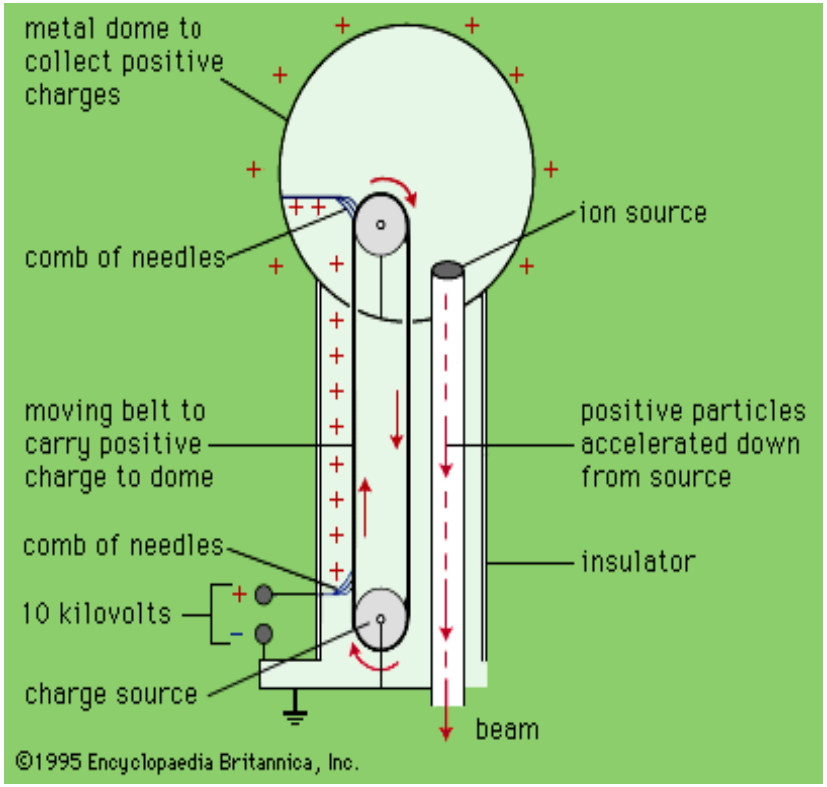
- ใบอนุญาตฯ
- ผลการตรวจวัดรังสี
- บัญชีต้นกำเนิดรังสี
- รายงานการซ่อมบำรุง
- รายงานการจัดการกาก
- ผลการได้รับรังสี
- ใบรับรองการปรับเทียบฯ เครื่องวัดรังสี
- รายงานเหตุผิดปกติ
- ประวัติการฝึกอบรม
- รายงานการขนส่ง

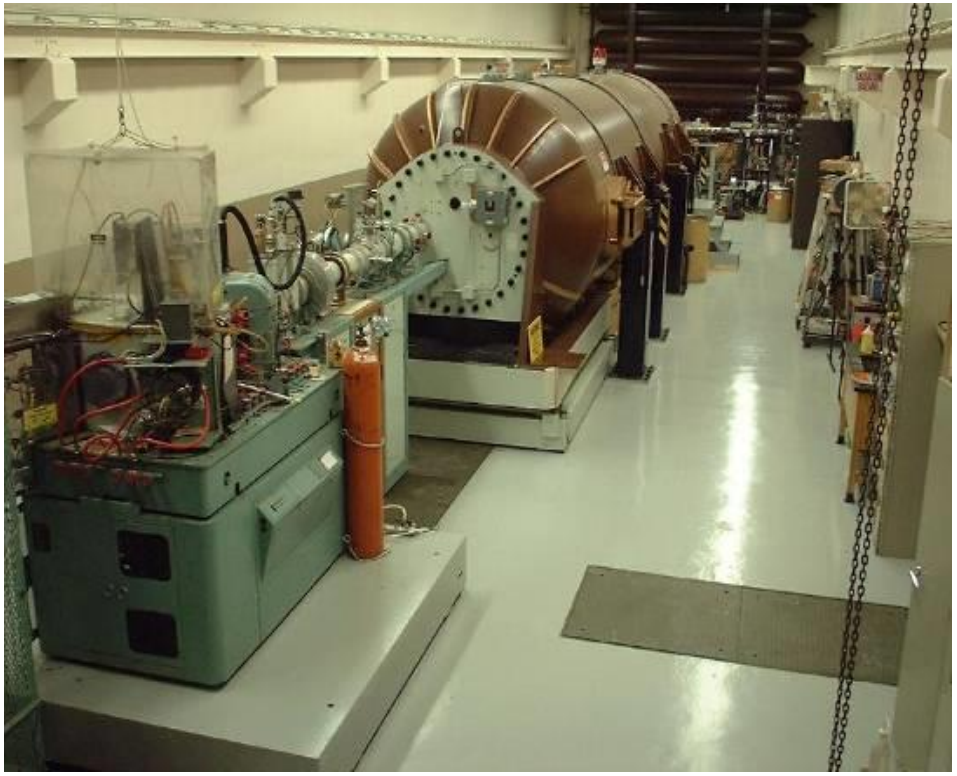
เครื่องเร่งอนุภาค (Accelerator)

- **DC voltage Accelerator**
- **RF - Accelerator**
- **Linear accelerators**
- **Cyclotrons**
- **Synchrotrons**
- **Storage ring**

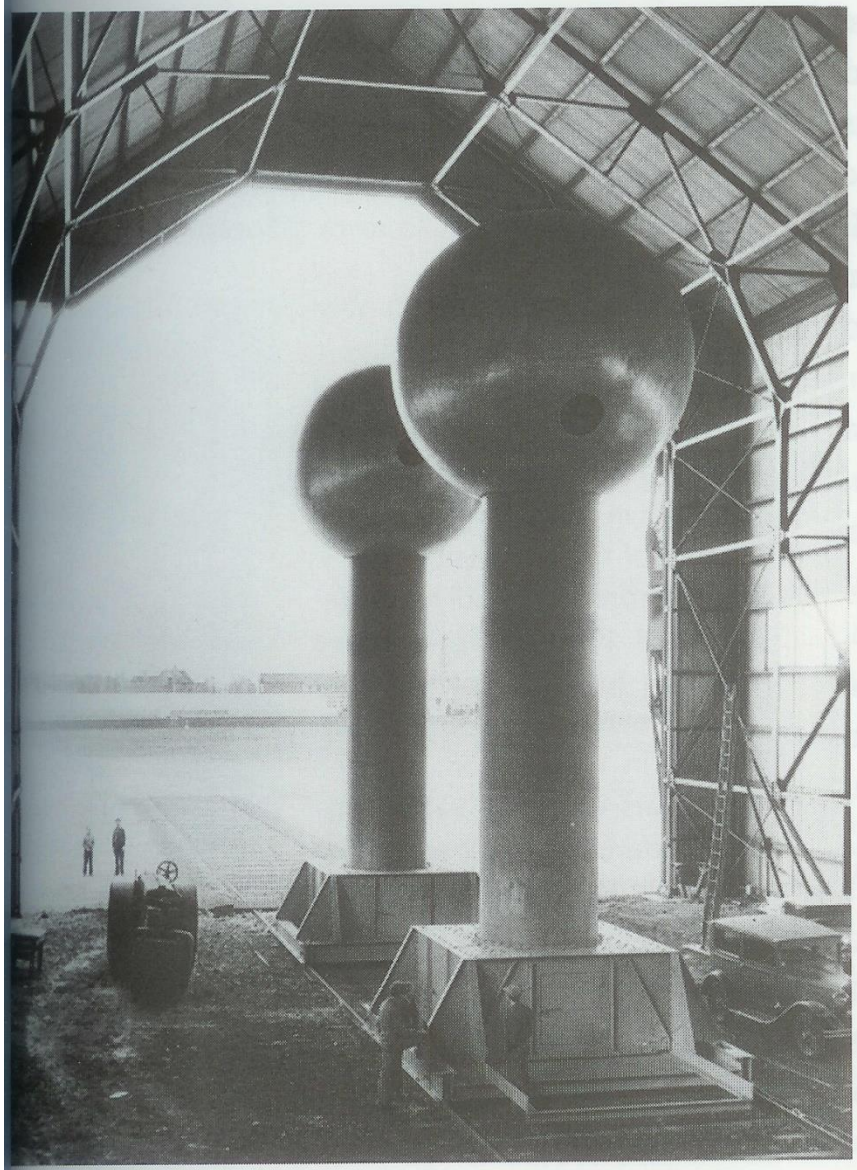
DC accelerators: Cockcroft–Walton and Van de Graaff Generator

•In **1929/30 J.D.Cockcroft** and **E.T.S.Walton** (Cavendish Labor, E.Rutherford) as well as **R.J.Van de Graaff** (Princeton) started to develop High Voltage Generators, for generating up to 10 MV.

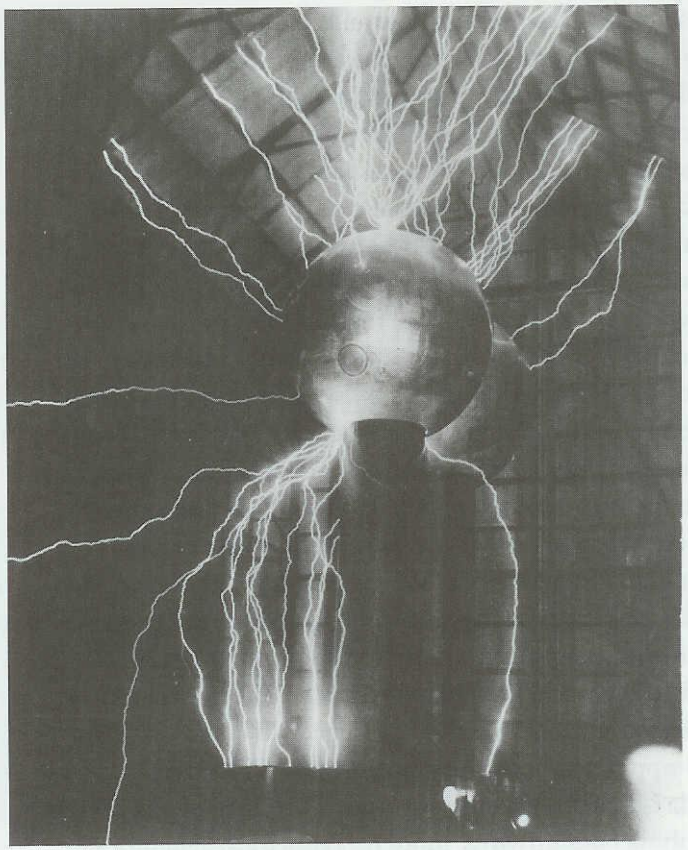




The tandem Van de Graaff accelerator at Western Michigan University is used mainly for basic research, applications and undergraduate instruction.



THE GENERATOR INTHE HANGAR AT ROUND HILL



AT ROUND HILL SPARKING TO HANGAR (LONG EXPOSURE)

©MIT Museum All rights reserved

Fig. 1.5 Van de Graaff's very large accelerator built at MIT's Round Hill Experiment Station in the early 1930s. The spheres stood 43 feet above the ground, supported on steel trucks that ran on a railroad track to make it possible to change the striking distance.

From DC to RF accelerators

- The limit of high-voltage equipment is several million volts. The plants are very complex for higher energy, and higher voltage cause spark discharges.
- Proposal of the Swedish scientist **Ising 1924** to use fast-changing high-frequency voltage to accelerate instead of DC.
- The Norwegian scientist **Wideröe 1928** successfully tested the first linear accelerator, which is based on this principle.
- Today almost all accelerators use RF systems for accelerating particles.

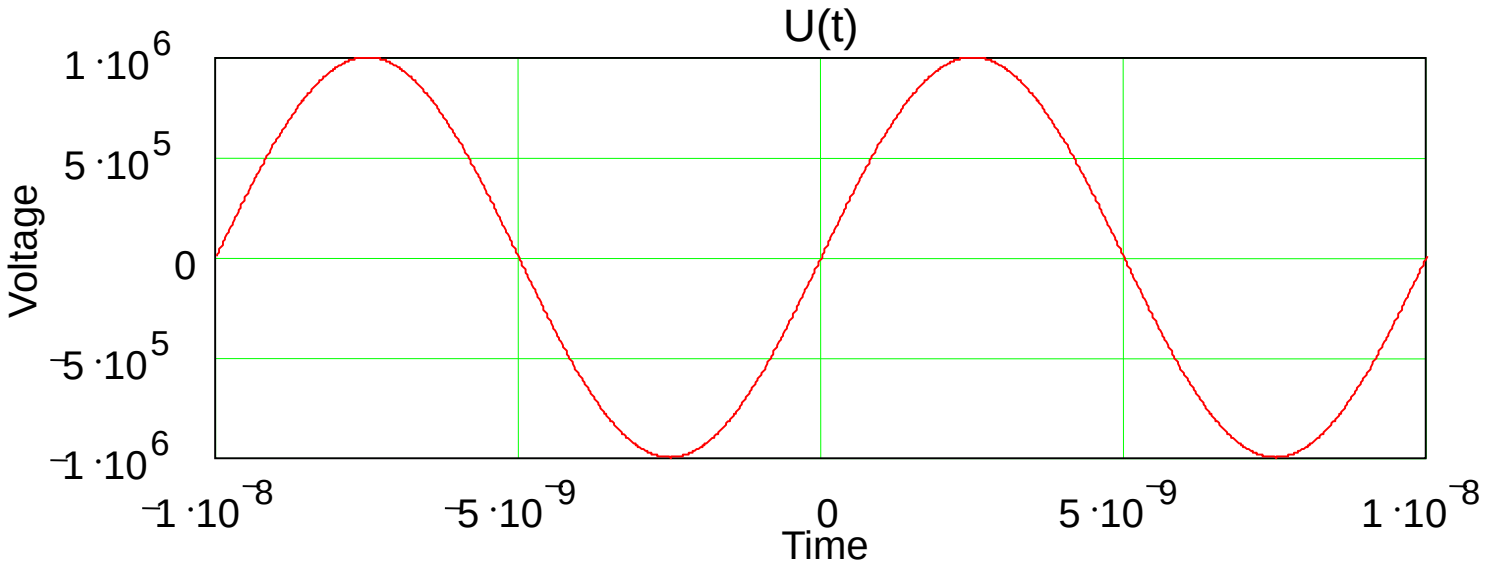
Acceleration with a high-frequency electric field

The voltage changes with time:

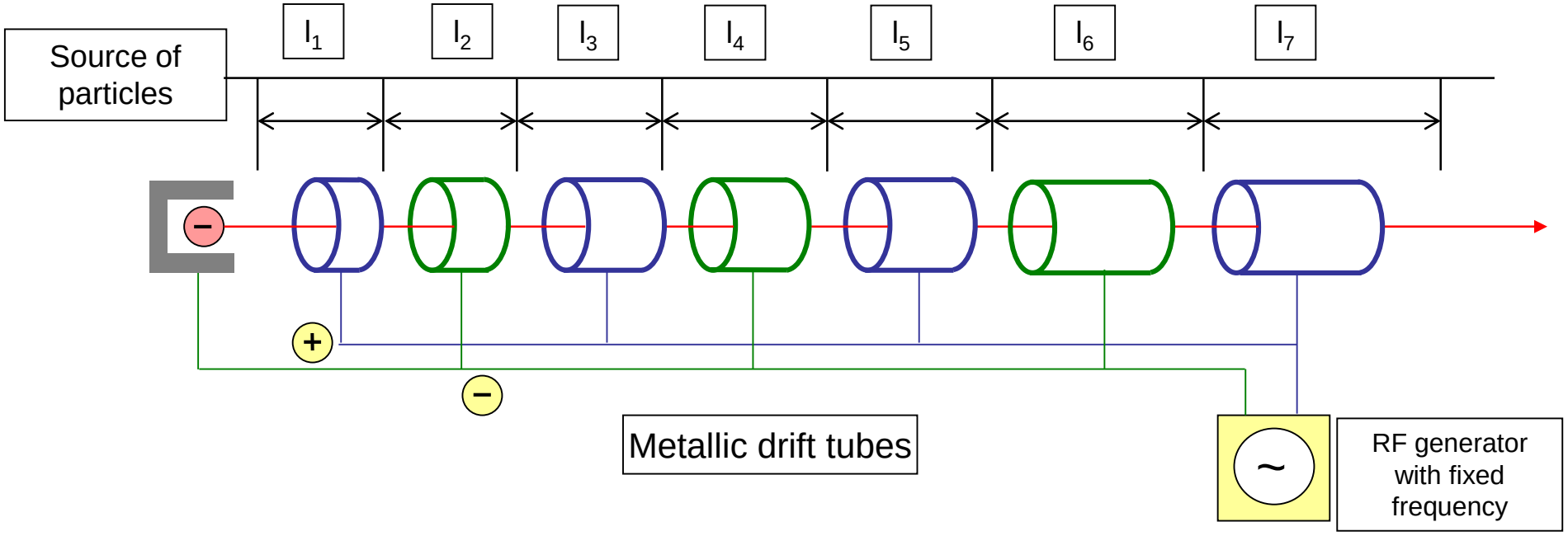
$$U(t) := U_0 \cdot \sin\left(2 \cdot \pi \cdot f_{rf} \cdot t\right)$$

Frequecy : $f_{rf} = 100\,\text{MHz}$

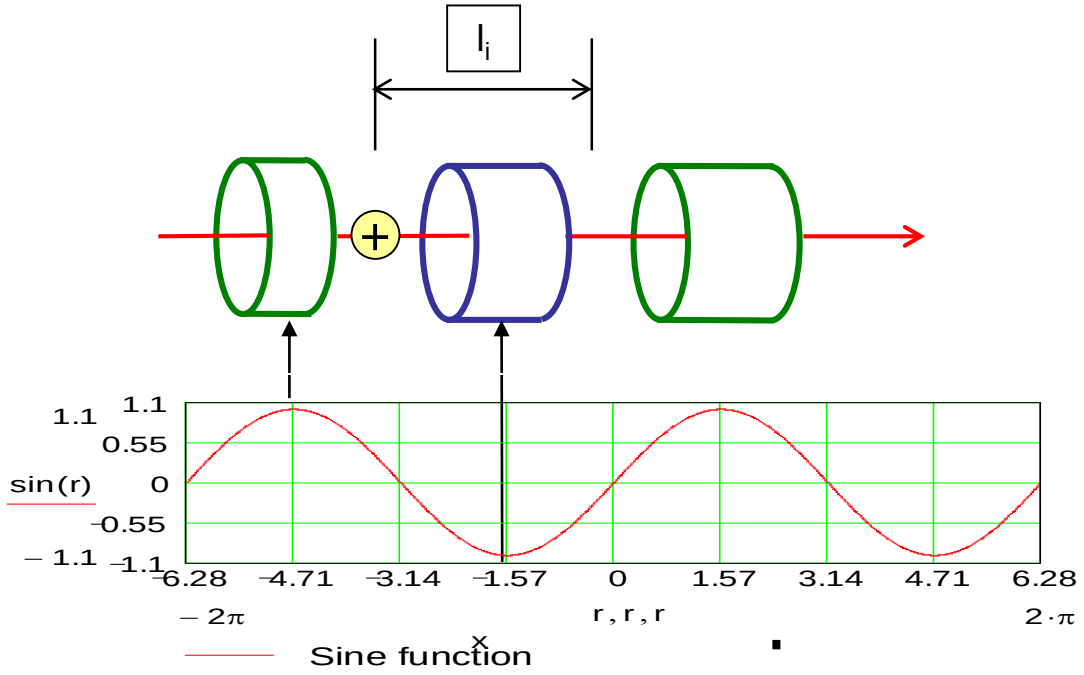
Maximum voltage: $U_0 = 1 \cdot 10^6\,\text{V}$



Linear accelerator (LINAC)



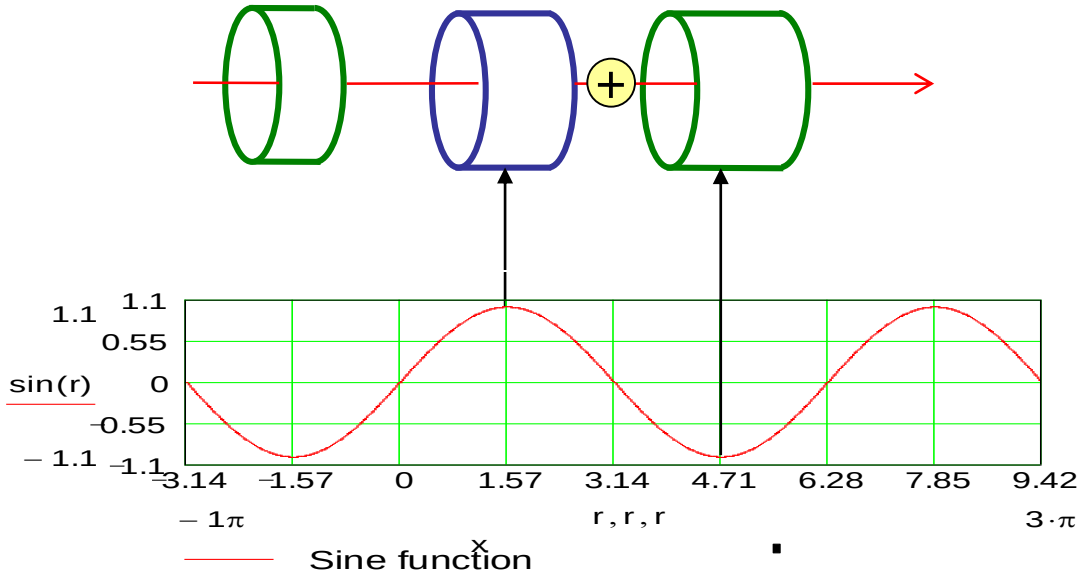
- Particles exit from the source and are accelerated by the potential of the first drift tube
- While the particles travel through the drift tube, the sign of the potential reverses
- The particles exit from the first drift tube and are accelerated by the potential of the second drift tube
- As the speed of the particles increases, the distance between two tubes increases



- Energy of a particle after the first tube:

$$E_i = i \cdot e_0 \cdot U_0 \cdot \sin(\Psi_s)$$

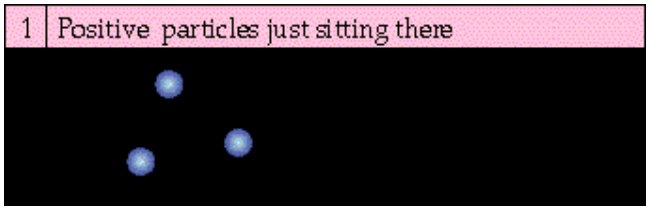
- U_0 is the maximum voltage of the RF generator and Ψ_s the average phase of the particle between the two tubes

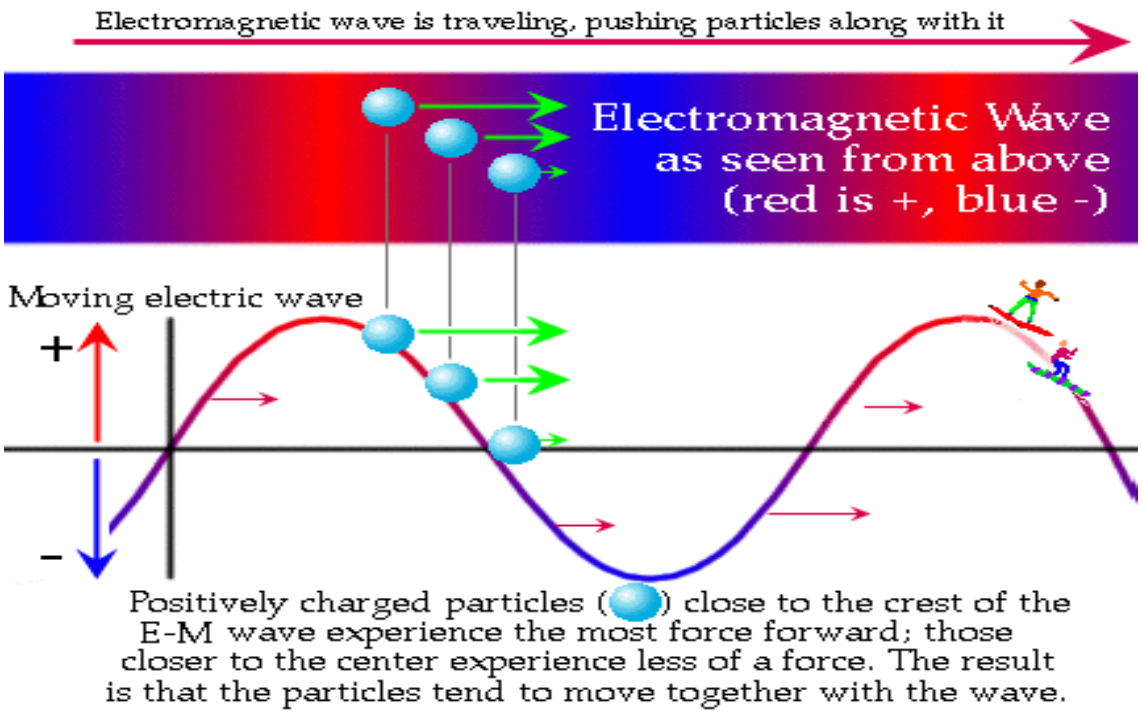


Consequence: it not a possible to accelerate continuous beam, the particles are accelerated in bunches, the average bunch length is between less than 1 mm up to 1 m

Riding the Waves

Accelerators speed up charged particles by creating large electric fields which attract or repel the particles. This field is then moved down the accelerator, "pushing" the particles along.





The major components of Linear Accelerator

- ❑ **Power Supply**
- ❑ **Modulator**
- ❑ **Magnetron or Klystron**
- ❑ **Electron Gun**
- ❑ **Wave Guide system**
- ❑ **Accelerator Tube or Accelerator Structures**

A power supply → *Provides DC power to the* **modulator**

Modulator → *Deliver the pulses to* → the **electron gun**

the magnetron or klystron

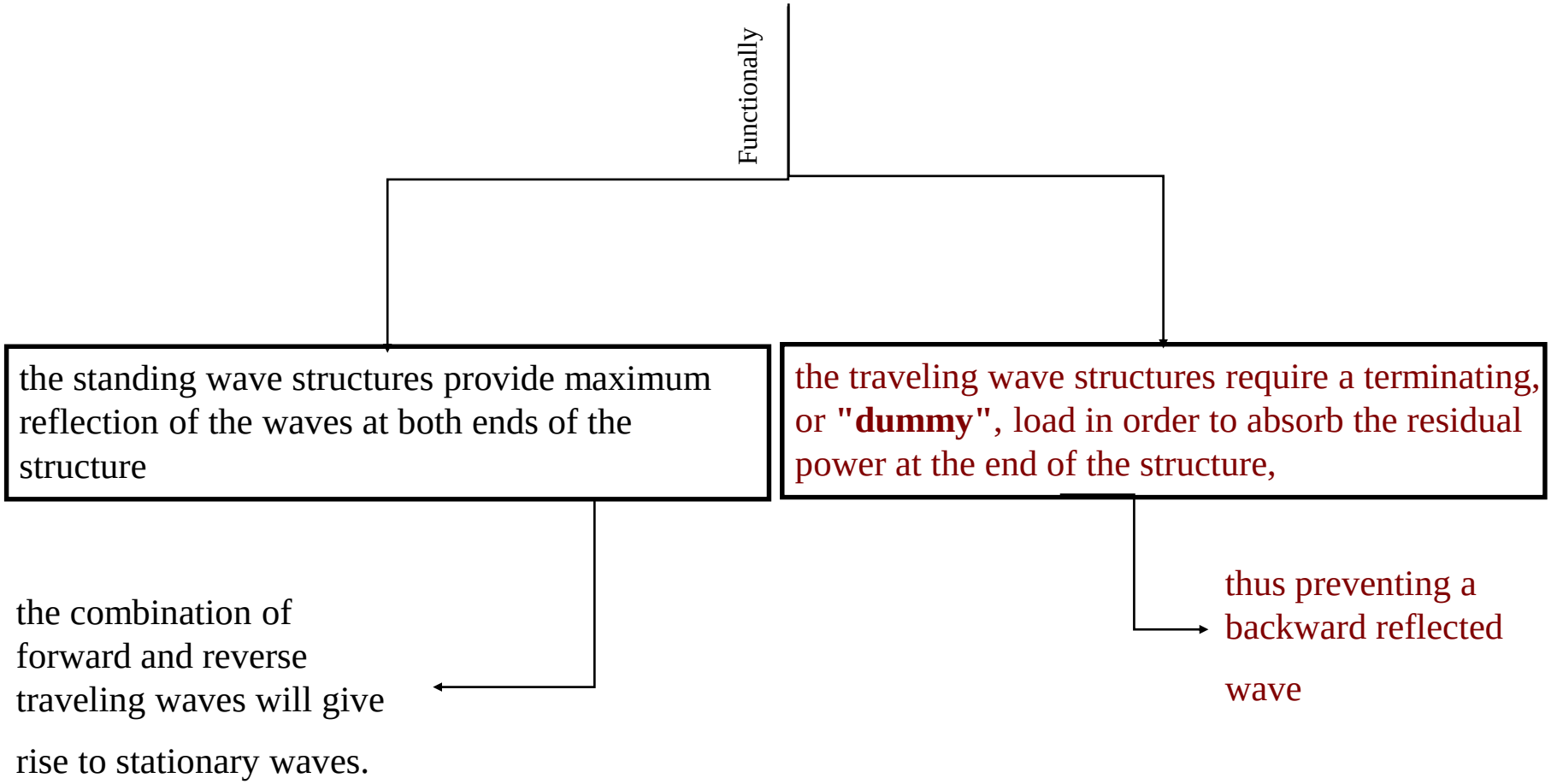
Pulsed microwaves

electrons

the accelerator tube or structure via a waveguide systems.

The difference between traveling wave and stationary wave accelerators is

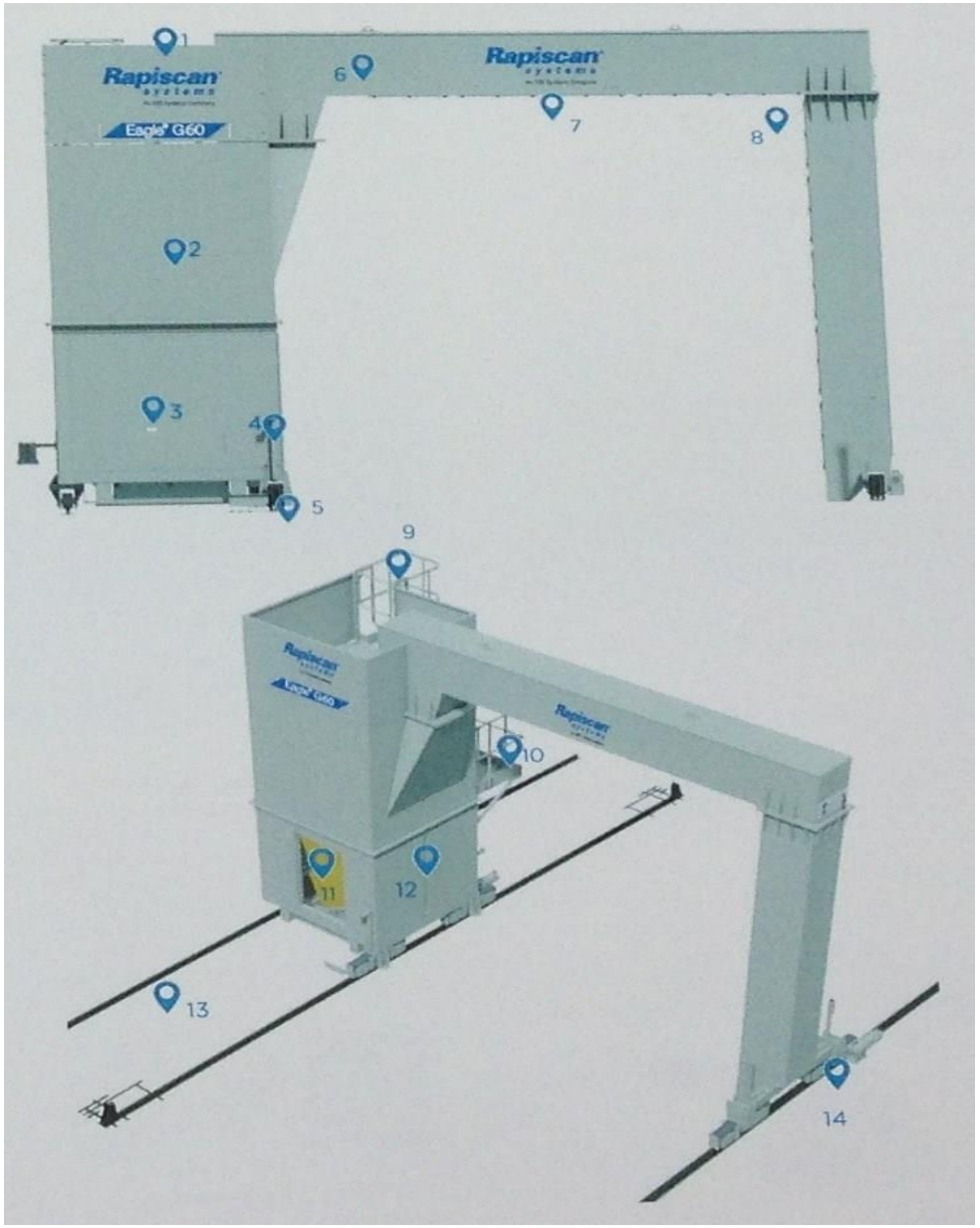
the design of the accelerator structure



Airport Cargo

Portal

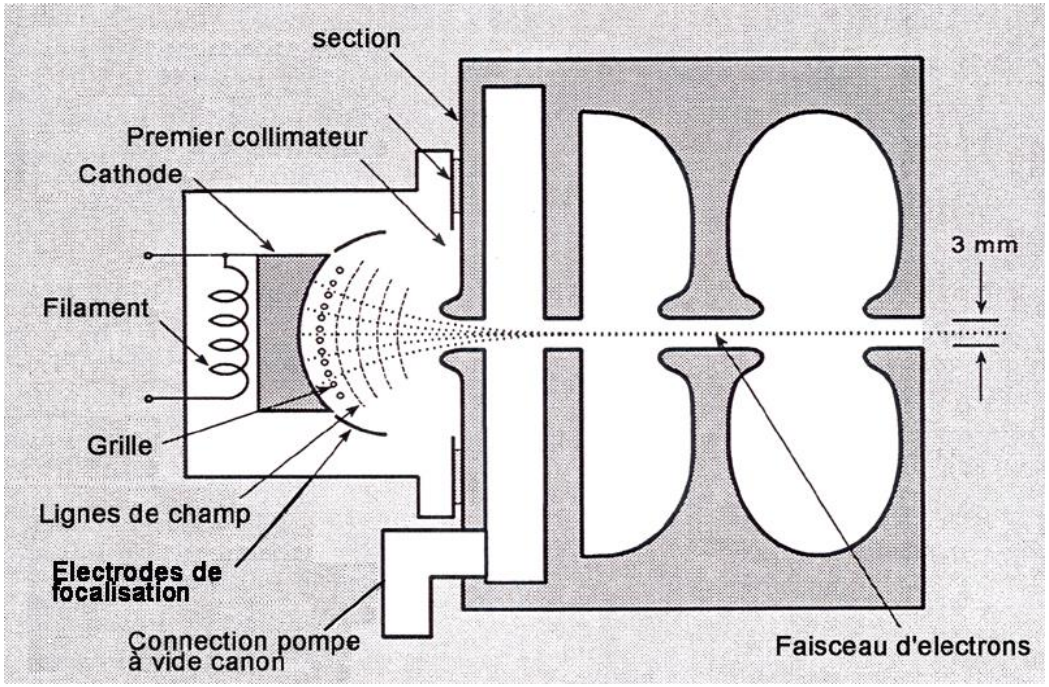
Gantry



Rail

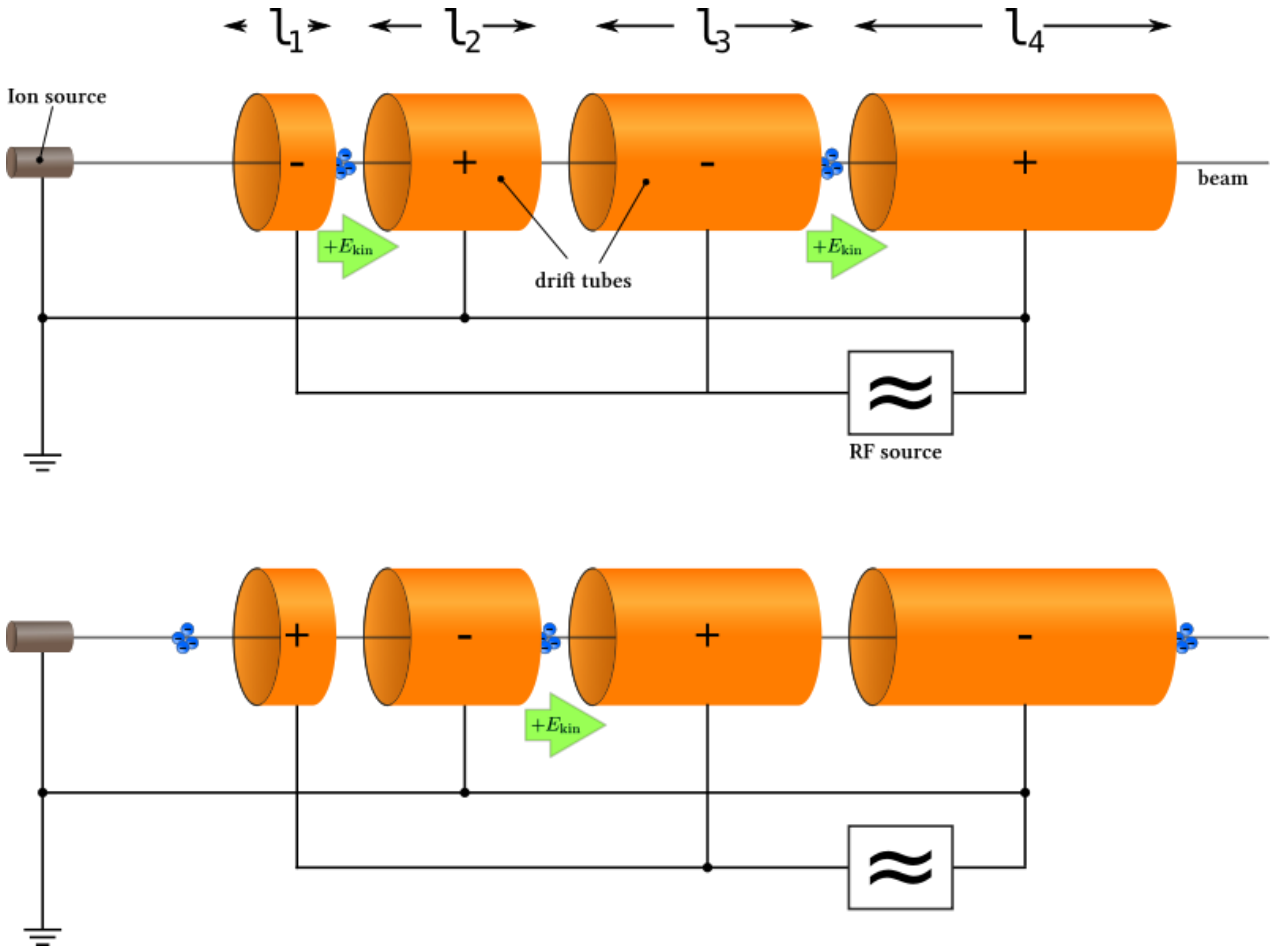
Mobile

Electron Gun



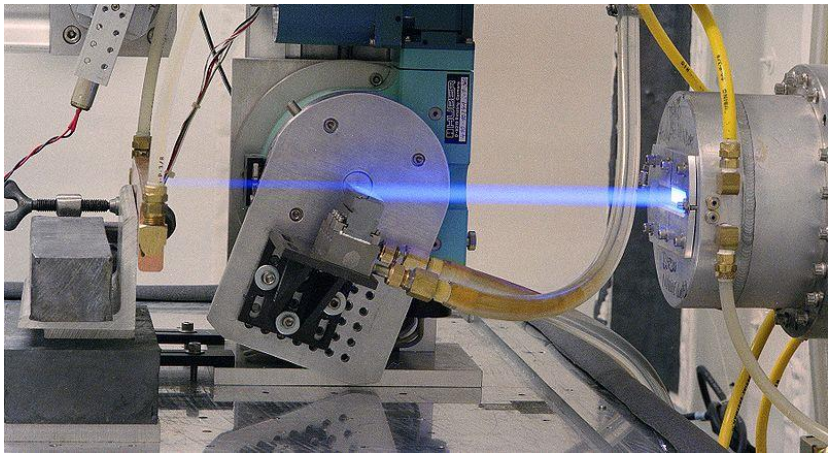
เครื่องเร่งอนุภาคแนวตรง

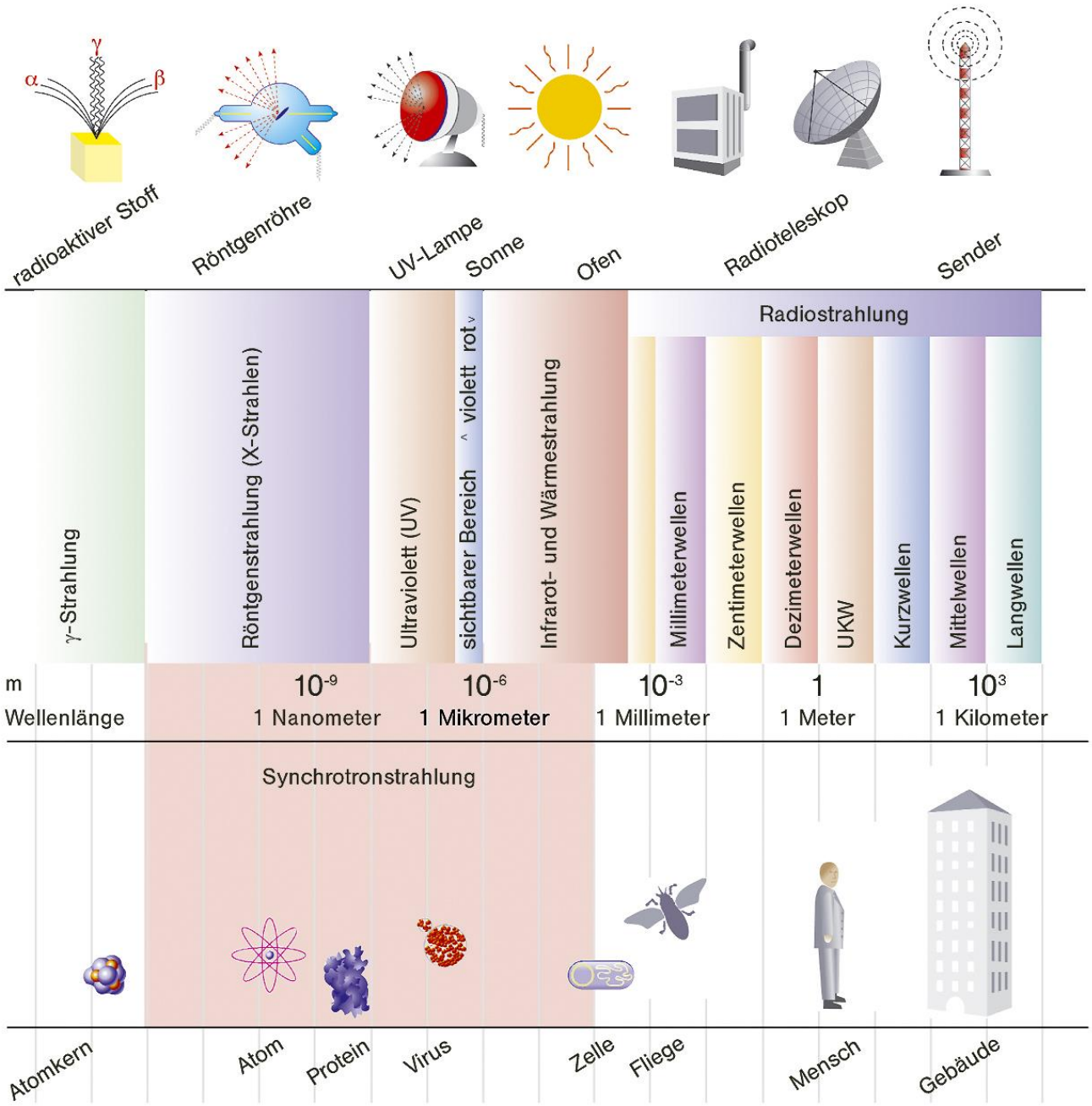
(Linear Accelerator : LINAC)



เครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอน
(Synchrotron Light Source)

E ~ 1-8 GeV




γ
α
β
radioaktiver Stoff
Röntgenröhre
UV-Lampe
Sonne
Ofen
Radioteleskop
Sender
γ-Strahlung
Röntgenstrahlung (X-Strahlen)
Ultraviolett (UV)
sichtbarer Bereich
violett
rot
Infrarot- und Wärmestrahlung
Radiostrahlung
Millimeterwellen
Zentimeterwellen
Dezimeterwellen
UKW
Kurzwellen
Mittelwellen
Langwellen
m
Wellenlänge
10-9
1 Nanometer
10-6
1 Mikrometer
10-3
1 Millimeter
1
1 Meter
103
1 Kilometer
Synchrotronstrahlung
Atomkern
Atom
Protein
Virus
Zelle
Fliege
Mensch
Gebäude

Aviation Security Inspection

Carry-On Baggage

Checked (Hold) Baggage

Air Cargo

Passengers

Inspection of Vehicles and Cargo Container

Seaports

Facility Entrances

Border Crossings

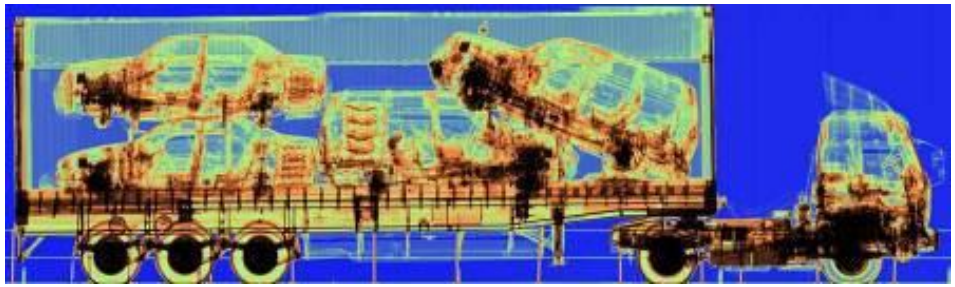
Anywhere

Why Security Inspection?

- Counterterrorism
  - Explosives
  - Weapons
  - Weapons of Mass Destruction
- Counter-drugs
- Manifest Verification/Duty Collection

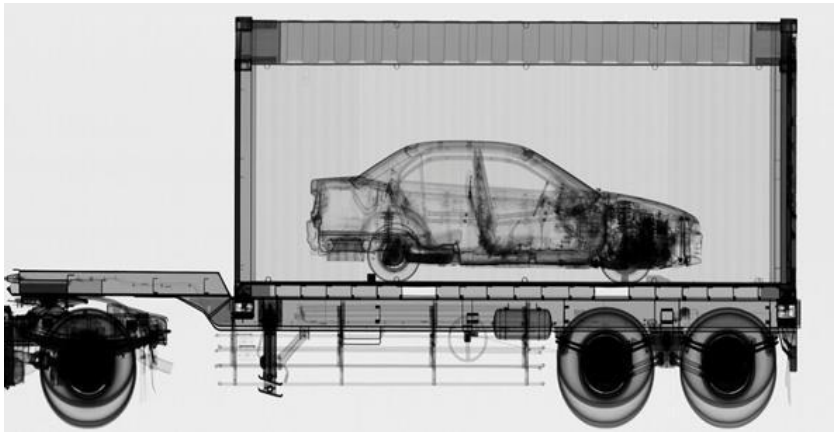
Cargo and Vehicle Inspection Approaches

- Imaging - X-ray



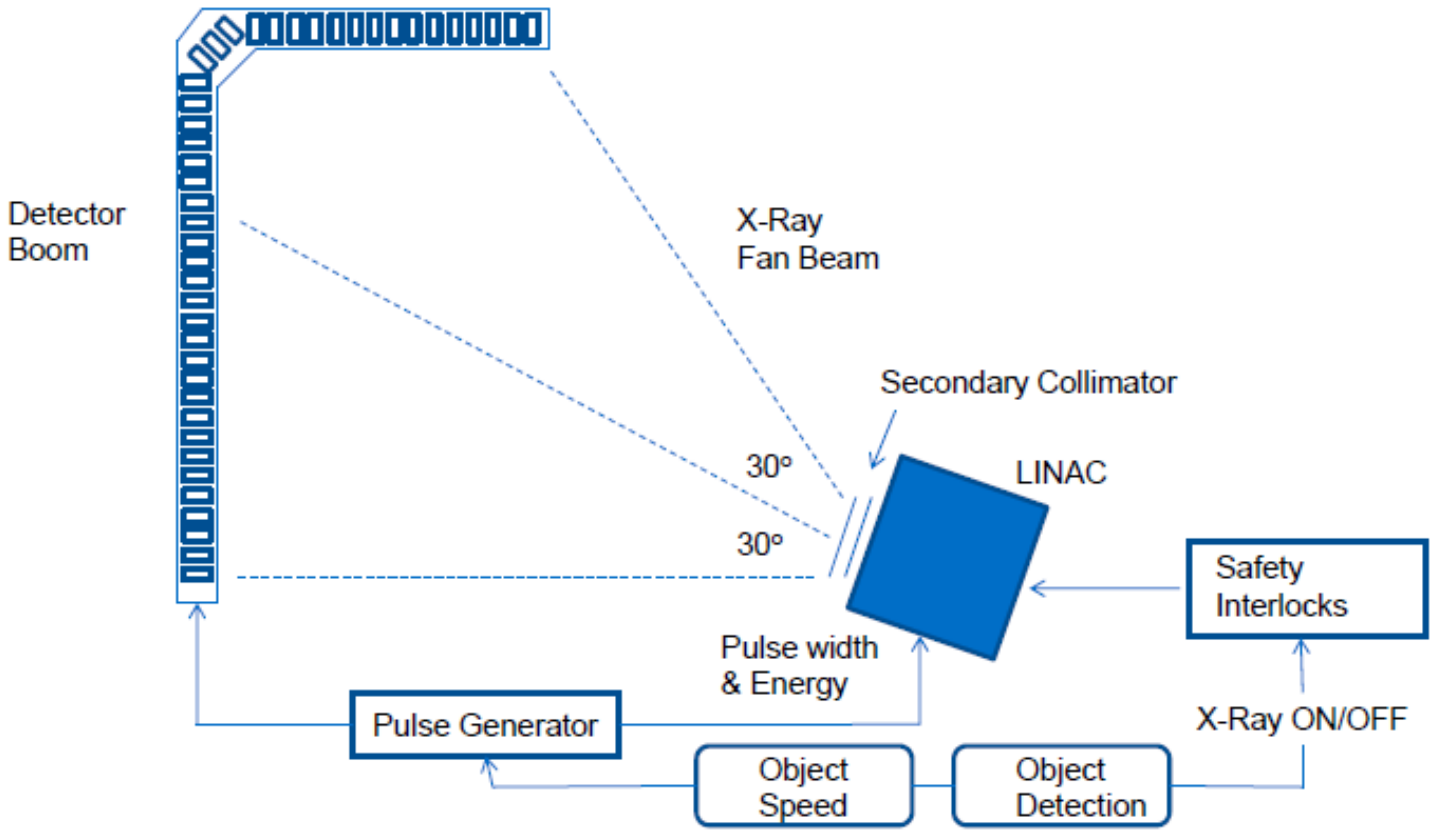
- **Evaluate picture of cargo**
- **Inspector dependent**
- **Detect anomalies**
- **Detect recognizable shapes**

Cargo screening



A major use is in cargo screening to ensure that what is in a shipping container is what is in the manifest and not cash, drugs, gold, uranium, cigarettes or cars.

Linac and Array set-up



Horizontal Resolution

The horizontal resolution is created by moving the object or the linac in time.

- **For trucks they go through the scanner at a few mph**
- **For air cargo they go on a conveyor**
- **For shipping containers the gantry moves**

Linac Specifications

Penetration

Energy	1.25 MeV	2 MeV	3 MeV	4 MeV	6 MeV	9 MeV
Steel	133 mm	205 mm	297 mm	352 mm	406 mm	430 mm
Water	880 mm	1370 mm	2050 mm	2530 mm	3160 mm	3640 mm

Below 2 MeV X-rays do not penetrate heavy cargo, and above 9 MeV requires shielding from neutrons produced. Typically systems operate 3-6 MeV.

For aviation cargo which are typically much smaller 1-3 MeV is used.

Linacs are typically pulse at 50-500 Hz with 4 ms pulses, and peak currents of 100 mA.

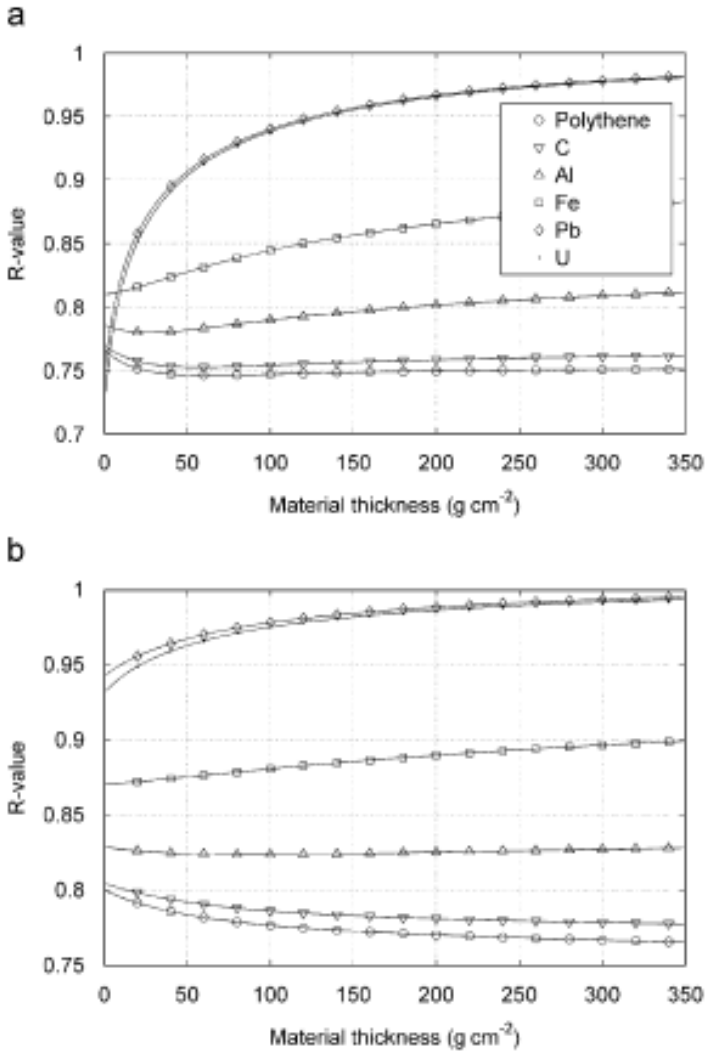
Normally magnetron driven for size and cost but some high energy Klystron systems are available

Material Separation

- Different materials have slightly different attenuation coefficients.
- If we do a measurement at a single energy we get the product of the attenuation coefficient and the path travelled, two unknowns.
- Hence we need two different measurements to resolve both, this is normally done by using two different X-ray energies.
- R is the ratio of mass attenuation coefficients, μ, given by

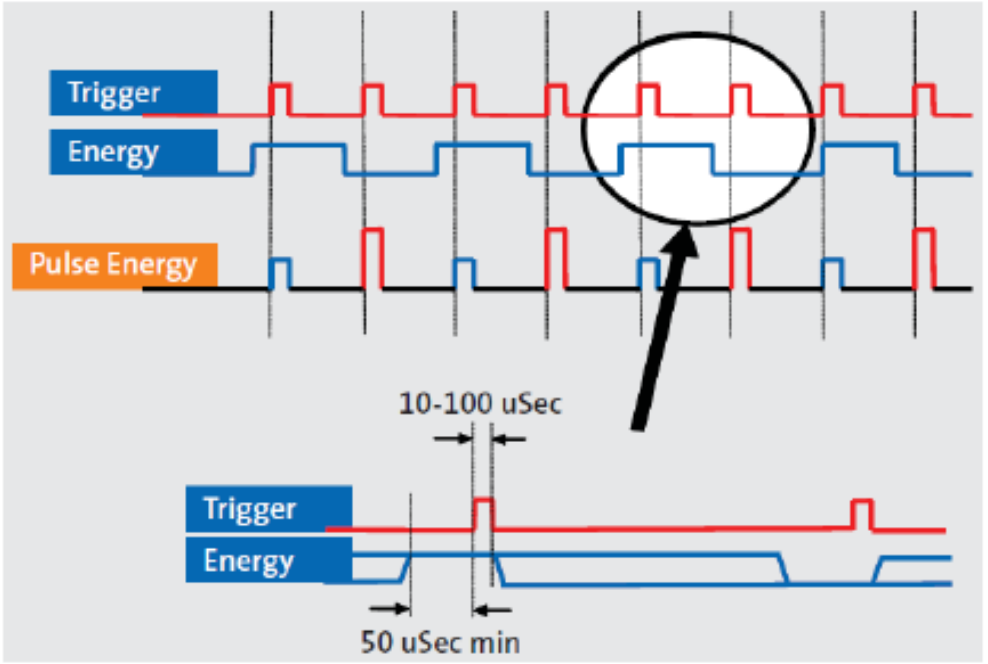
$$R = \mu_2/\mu_1 = \log(I_2/I^0_2)/\log(I_1/I^0_1)$$

- Where I is the intesity with the cargo in place and I^0 is the intensity with no cargo for energy 1 and 2.

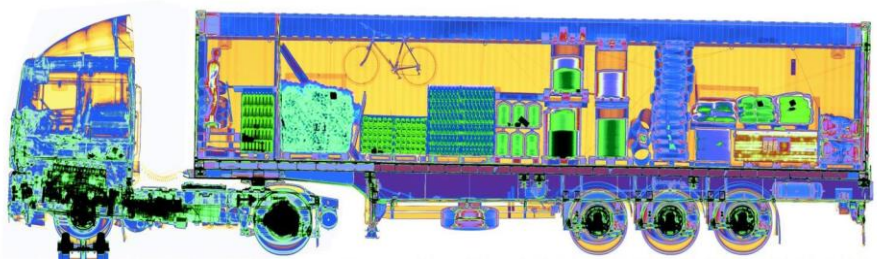


Dual Energy

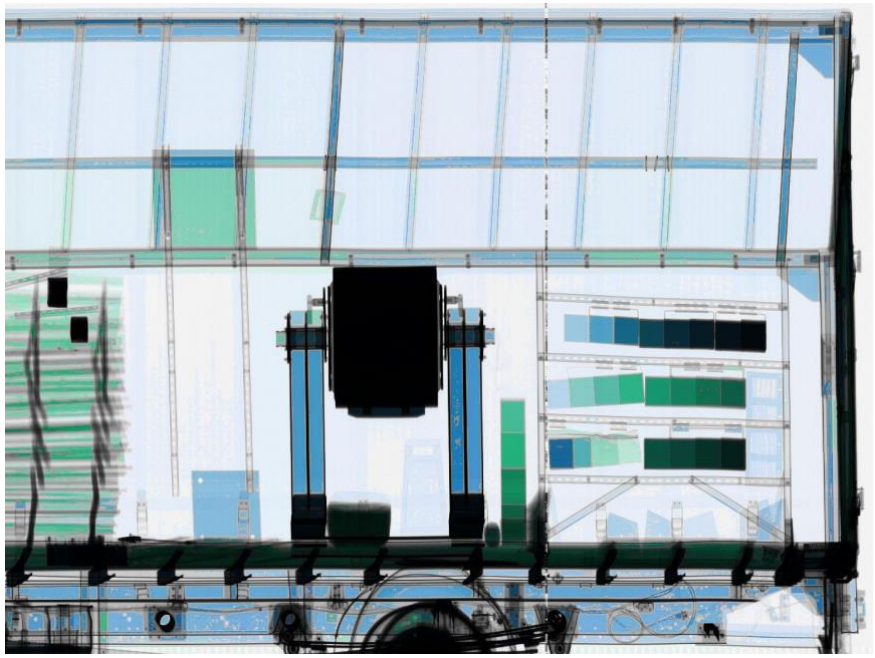
- Typically the linac will produce two interleaved energies.
- The energy is varied by varying the power supplied from the magnetron.
- This means the current from the modulator needs to vary, this takes time to switch so the pulses have to be at least 50 µs apart.



Dual Energy Images



The R value is dependant on Z so we can designate colour with Z on the images. High Z materials are red low Z is blue.



Current/Future developments

•Time of flight Compton Backscatter

– Alloys 3D images to be created with access to only one side. Handling distortion cased by intensity dropping with distance is a challenge. Improved resolution can be achieved with smaller pulse lengths with higher current. Needs a higher current due to low backscattered dose.

• CW linacs

– Lower peak dose, and easier for detector to deal with temporally.

•Phase contrast

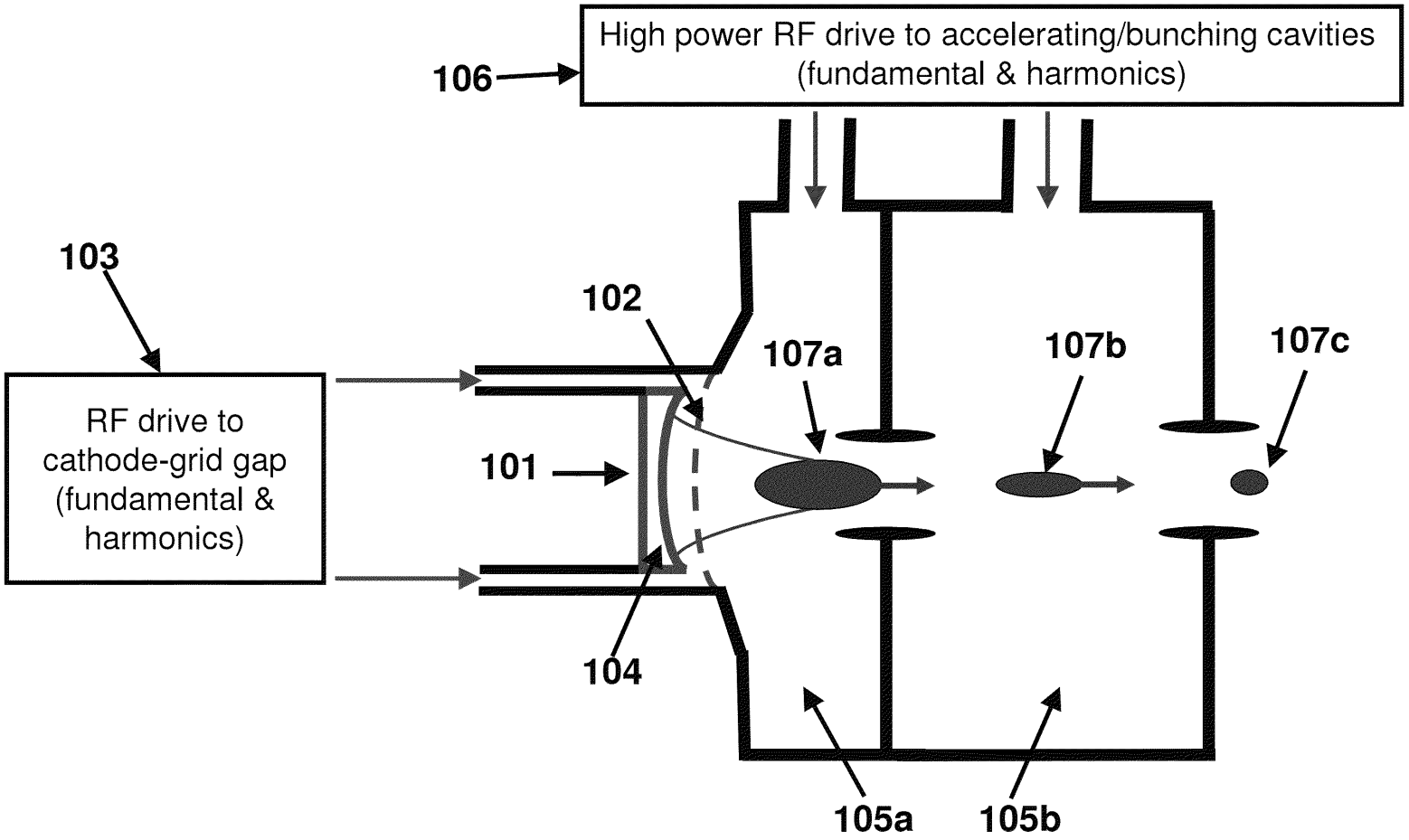
– Offers better contrast for low Z materials (a weakness in X-ray scanners).

SW vs TW

	SW	TW
Gradient:	~10MeV/m	~5MeV/m
Efficiency:	30~60%	20~50%
Capture:	20~30%	~80%
Gun voltage:	5~20kV	~40kV
Band:	~200kHz	~2MHz
AFC:	Required	not need
Size:	small and simple	large
Stability:	good	can be

X-band, C-band , S-band or L-band?

- **Mainly depends on:**
  - **– Requirement of different applications**
  - **– Commercial microwave power source available**
  - **– The knowledge and technology**
- **Most of the low energy linacs are s-band**
  - **– The microwave power source are common and cheaper**
  - **– Size and weight are medium**
  - **– Technologies are easy now**
  - **– Electron parameters are enough for most applications**
- **X-band is used for mini-systems or portable systems**
  - **– Cybernife and Mobitron for radiotherapy**
  - **– Mobile cargo inspections**
- **L-band and C-band used not common**
  - **– For L-band power source can deliver more than 1MW average power,suitable for high power electron linac used in irradiation**
  - **– C-band less of commercial power source**


High power RF drive to accelerating/bunching cavities (fundamental & harmonics)
106
103
RF drive to cathode-grid gap (fundamental & harmonics)
102
101
104
107a
107b
107c
105a
105b

Magnetron

เชื่อมต่อ 1

เชื่อมต่อ 2

เชื่อมต่อ 3

เชื่อมต่อ 4

เชื่อมต่อ 5

เชื่อมต่อ 6

เชื่อมต่อ 7