

# NUKLEÁRNÍ MEDICÍNA

## Úvod

### Fyzikální a technické základy

Ing. Jaroslav Zimák, CSc.  
Klinický radiologický fyzik KNME

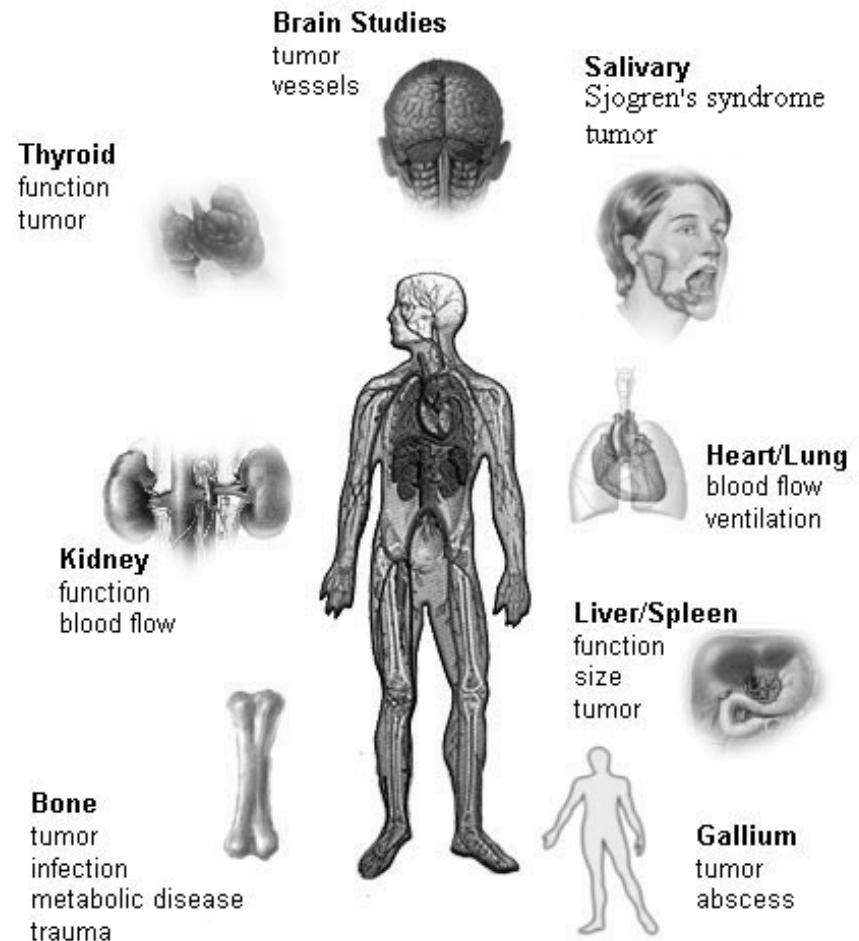
S laskavým svolením RNDr. Vojtěcha Ullmana použity některé obrázky  
z jeho prezentace na adrese <http://astronuklfyzika.cz/>

# Nukleární medicína

- Obor, zabývající se diagnostikou a terapií chorob pomocí radionuklidů, resp. tzv. otevřených zářičů, radiofarmak - RF) vpravených přímo do těla pacienta.
- Poskytuje specifické metody pro vyšetření prakticky všech orgánů.
- Zkoumá funkčnost orgánů a tkání.

# Nejrozšířenější využití NM

- Endokrinologie
- Neurologie
- Kardiologie
- Gastroenterologie
- Nefrologie
- Onkologie



DIAGNOSTIC IMAGING - NUCLEAR MEDICINE

# Radiofarmaka

- Radioaktivní látky aplikované pacientům se jmenují radiofarmaka.
- Radiofarmaka skládají z:
  - **radionuklidu** - emituje ionizující záření, které může být detekováno mimo tělo pacienta pomocí zobrazovacího zařízení (gama kamera) nebo může být detekováno ve vzorcích tělesných látek (plasma nebo moč)
  - **nosiče** = chemická molekula (fosfonáty, peptidy, protilátky, značené krevní buňky - červené i bílé krvinky), která určuje chování radiofarmaka v těle, dopraví navázaný radionuklid do cíleného orgánu

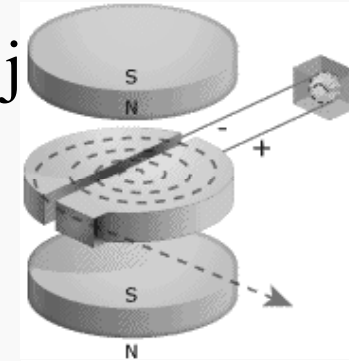


# Radionuklidy

- **Radioaktivita** - samovolná přeměna jader nestabilních nuklidů za vzniku ionizujícího záření
- **Nuklid** = atom charakterizovaný proton. č. **Z** a nukl. č. **A**
- **Přírodní** – nízké koncentrace
  - **Primární** - vznikly při termonukleárních reakcích v nitrech hvězd při vytváření vesmíru ( $T_{1/2} > 10^8$  let,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ...)
  - **Druhotné** - rozpadové produkty primárních radionuklidů- radionuklidové řady (thoriová  $^{232}\text{Th}$  -  $^{208}\text{Pb}$ , uranová  $^{238}\text{U}$  -  $^{206}\text{Pb}$ , aktiniová  $^{235}\text{U}$  -  $^{207}\text{Pb}$ ) např. různé izotopy Ra, Rn, Po
- **Uměle připravené**

# Výroba radionuklidů pro RF

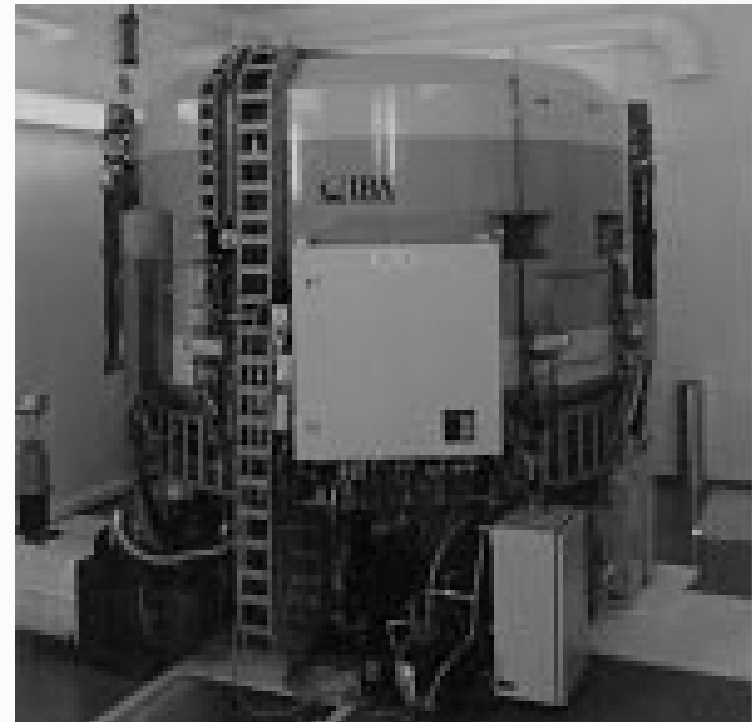
- Jaderný reaktor
  - ozařování jader neutrony (terče), separace ze štěpných produktů uranu jako paliva v reaktoru
  - $^{131}\text{I}$ ,  $^{99}\text{Mo}$ ,  $^{97}\text{Y}$ , ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{60}\text{Co}$ )
- Urychlovače částic
  - cyklotron - urychlená částice vstoupí do j
  - Gama zářiče:  $^{67}\text{Ga}$ ,  $^{123}\text{I}$ ,  $^{111}\text{In}$ ,  $^{57}\text{Co}$
  - Pozitronové zářiče:  $^{18}\text{F}$
- Radionuklidové generátory
  - radionuklidy se přeměňují na dceřinné radioaktivní prvky
  - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ,  $^{81\text{m}}\text{Kr}$



Cyklotron ÚJF Řež



Cyklotron ÚJV Homolka



# DIAGNOSTIKA

# Diagnostika – in vivo

- Aplikace malého množství vhodného radiofarmaka pacientovi
- Použité RF je specifické pro jednotlivé orgány a druhy vyšetření
- Aplikované RF vstoupí do metabolismu organismu a distribuuje se tam podle svého chemického složení - fyziologicky či patologicky se hromadí v určitých orgánech a jejich částech a následně se vylučuje či přeskupuje
- Z míst depozice RF vychází záření, které se detekuje a zjišťuje se tak distribuce RF v jednotlivých orgánech a strukturách uvnitř těla
- **Diagnostická radiofarmaka** musí způsobit minimální ozáření pacienta při zajištění požadované diagnostické informace.

# Diagnostika – in vitro

- Aplikace RF pacientovi, odebrání a měření vzorků krve (plazma), moči.
- Odebrání vzorku krve, moči pacientovi, aplikace RF do vzorku, měření.

# Ideální radionuklid pro dg

- Krátký poločas přeměny (několik hodin, max. několik dní)
- Přeměna na stabilní izotop nebo na radioizotop s velmi dlouhým poločasem přeměny ( $^{99m}\text{Tc}$ - $^{99}\text{Tc}$ ,  $T_{1/2}=200\,000$  let)
- Emise fotonů gama, bez alfa částic (absorpce v kůži, radiační zátěž)
  - Monoenergetické (možná korekce rozptylu energetickou diskriminací)
  - Energie: 50 – 300 keV, optimálně ~150 keV ( $^{99m}\text{Tc}$ ,  $^{123}\text{I}$ ,  $^{111}\text{In}$ )  
(lze s dostatečnou účinností detekovat gama kamerou)

# Ideální radionuklid pro dg

- Snadná dostupnost
- Přiměřená cena
- Dostatečně vysoká měrná aktivita
- Netoxické



# Radionuklidy používané pro dg

## Diagnostika $\gamma$ zářiče

radionuklid	E[keV]	$T_{1/2}$
$^{99m}\text{Tc}$	140	6,03 h
$^{111}\text{In}$	172, 247	2,83 d
$^{67}\text{Ga}$	93, 185, 300	78,3 h
$^{123}\text{I}$	159	13,2 h
$^{131}\text{I}$	364	8,04 d
$^{81m}\text{Kr}$	190	13 s
$^{201}\text{Tl}$	75, 167	73,2 h

## Diagnostika $\beta^+$ zářiče

radionuklid	$E_{\gamma}$ [keV]	$T_{1/2}$
$^{18}\text{F}$	511	110 min
$^{11}\text{C}$	511	20,4 min
$^{15}\text{O}$	511	2,07 min
$^{13}\text{N}$	511	10 min

TERAPIE

# Terapie

- Léčba nádorových a nenádorových onemocnění (hyperthyreóza, karcinomy š.ž., paliativní léčba kostních metastáz, chronická kloubní onemocnění )
- **Terapeutická radiofarmaka** musí dodat maximální radiační dávku do nemocném orgánu nebo nádoru a přitom musí způsobit minimální ozáření mimo cílové orgány (např. v kostní dřeni).

# Ideální radionuklid pro terapii

- Emise nabité částice (nejčastěji částice beta, ale mohou to být i Augerovy elektrony, vnitřní konverzní elektrony nebo i alfa částice)
- Nízké množství fotonů navíc je výhodou – umožňuje zobrazit rozložení radionuklidu v těle (v cílovém orgánu)
- Vhodně krátký poločas (typicky několik dní)

# Radionuklidy používané pro terapii

Terapie  $\beta^-$  zářiče

Radionuklid	$E_{\max}$ [keV]	$T_{1/2}$
$^{131}\text{I}$	606	8,04 d
$^{153}\text{Sm}$	635, 705, 808	46,7 h
$^{186}\text{Re}$	940, 1077	3,7 d
$^{89}\text{Sr}$	1495	50,5 d
$^{90}\text{Y}$	2280	64 h

Paliativní  
radionuklidová  
terapie metastáz

Chronická  
kloubní  
onemocnění

# Příprava radiofarmak

- RF dodávaná hotově (případně je potřeba je naředit)
- Připravovaná na pracovišti radiofarmaceutem
  - Dodávané neradioaktivní soupravy = kity
  - Přidání radionuklidu (při pokojové teplotě, zahříváním ve vodní lázni) (všechny  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  preparáty)

# Druhy kitů

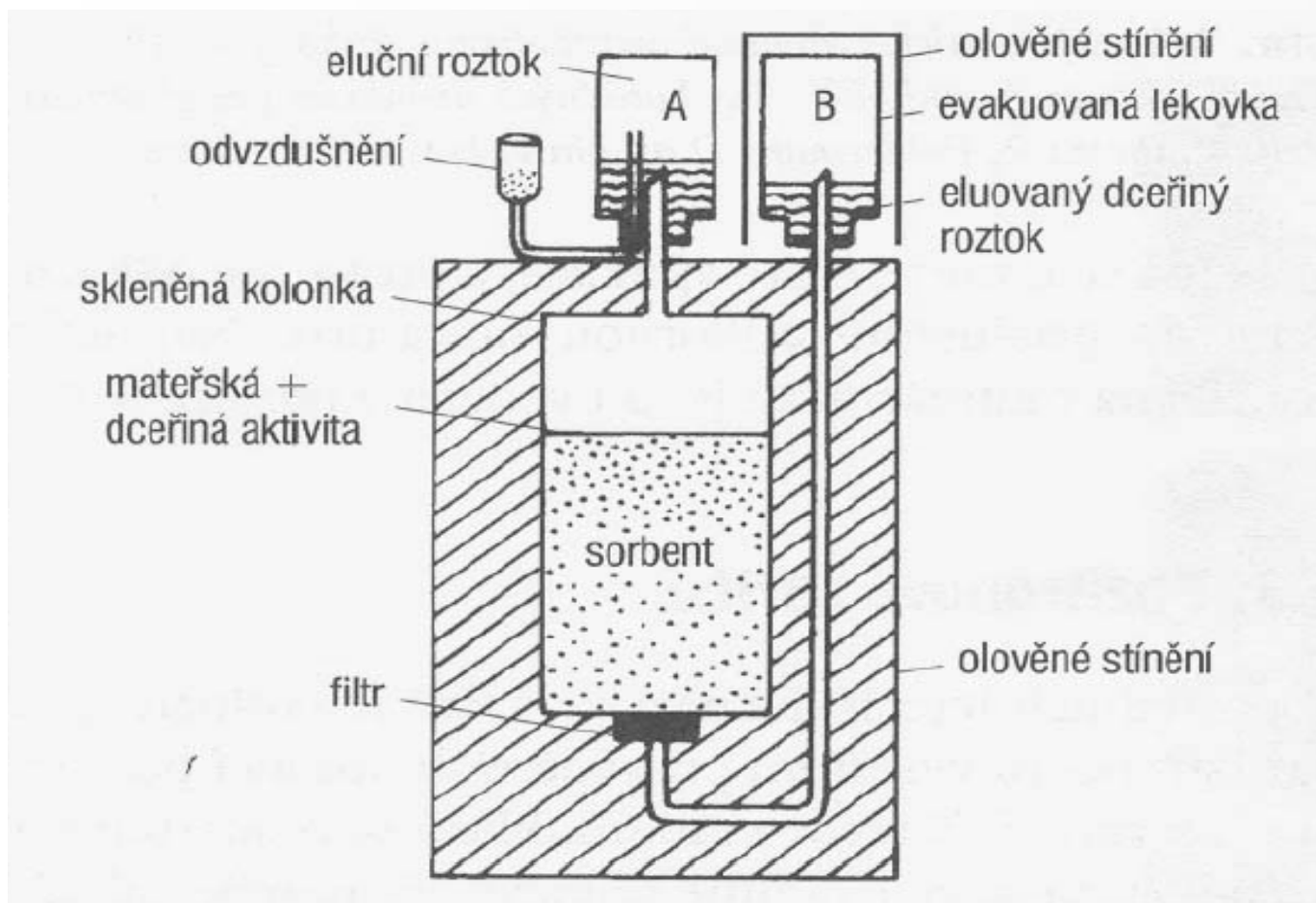
**$^{99m}\text{Tc}$**

- MDP - kosti
- MAG3 - ledviny
- DMSA - ledviny
- DTPA - ledviny
- HIBIDA - játra, žlučové cesty
- CARDIO-SPECT - scintigrafie myokardu, příštítných tělísek, tumorů
- MACRO-ALBUMON - plíce
- SENTI-SCINT - sentinelové lymfatické uzliny u karcinomu prsu a melanomu
- NEUROLITE - mozek
- ANTI-GRANULOCYTE - záněty, kostní dřeň
- LEUKO-SCINT - leukocyty značené  $^{99m}\text{Tc}$ - HM-PAO, záněty

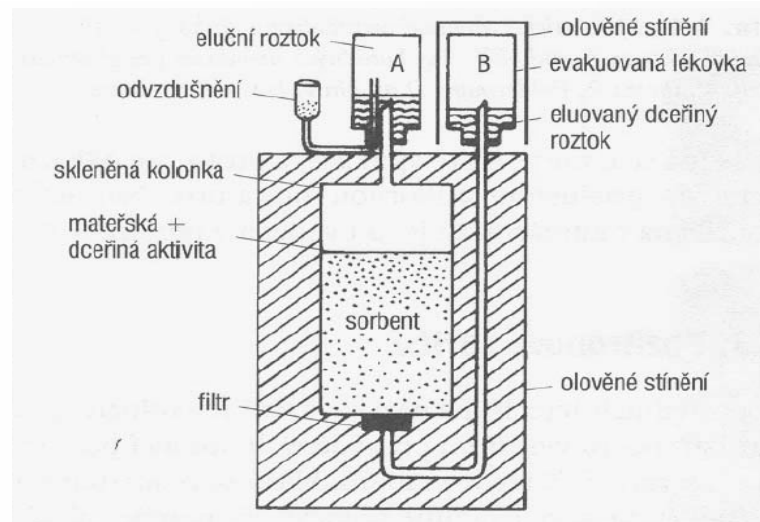
**$^{111}\text{In}$**

- OCTREOSCAN - neuroendokrinní nádory a karcinoidy

# Generátor $^{99}\text{Mo}$ - $^{99\text{m}}\text{Tc}$







- Založen na principu výrazně rozdílné afinity mateřského a dceřinného radionuklidu vůči zvolenému sorbentu (nosiči -  $\text{Al}_2\text{O}_3$ )
- Základem je skleněná kolonka, která obsahuje oxid hlinitý, na kterém je naadsorbován  $^{99}\text{Mo}$  ve formě molybdenanu
- Při eluci se kolonka propláchne fyziologickým roztokem a získá se roztok technecistanu sodného
- $T_{1/2} (^{99}\text{Mo})$  je 66 hodin  $\rightarrow$  generátor se používá obvykle 2 týdny

# Aplikační forma RF

- Intravenózní injekce
  - pravé roztoky ( $^{67}\text{Ga}$ -citrát)
  - koloidní disperze ( $^{90}\text{Y}$ , lidský albumin značený  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ,)
- Perorálně
  - roztoky (fyziologický roztok  $\text{Na}^{131}\text{I}$ )
  - pevné látky (kapsle:  $^{57}\text{Co}$ ,  $\text{Na}^{131}\text{I}$ )
- Inhalací
  - radioaktivní plyny ( $^{81\text{m}}\text{Kr}$ ,  $^{133}\text{Xe}$ )
  - aerosol ( $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -DTPA)





# Aplikace radiofarmak

---

V závislosti na požadavcích pro konkrétní vyšetření může být radiofarmakon aplikován:

- intravenózní injekcí
- inhalací jako plyn nebo aerosol
- ingescí jako kapalina nebo pevná potravina

# Zacílení na zájmovou tkáň neb orgán

---

Metabolismus radiofarmaka v těle závisí na jeho chemických vlastnostech a jsou tvořena:

- ionty - jako  $^{67}\text{Ga}$  citrát a  $\text{Na } ^{131}\text{I}$  (jodid sodný)
- částicemi nebo agregáty molekul značenými radionuklidy
- značenými krevními buňkami (červené nebo bílé krvinky)
- značenými komplexy molekul, jako jsou fosfonáty, peptidy a antilátky.

# Radionuklidy používané v diagnostice

---

Příklad nejužívanějších radionuklidů :

- $^{99m}\text{Tc}$      $T_{1/2}$  6 hodin - hlavní  $\gamma$  energie 140 keV
- $^{131}\text{I}$          $T_{1/2}$  8 dní - hlavní  $\gamma$  energie 360 keV
- $^{67}\text{Ga}$          $T_{1/2}$  3.3 dne – hlavní  $\gamma$  energie 93 keV,  
184 keV and 296 keV

# Radionuklidové zobrazování a radiační bezpečnost

---

- Na rozdíl od rtg a radioterapie, zařízení pro zobrazování v nukleární medicíně nevysílají záření.
- Laborant může pořídit libovolný počet snímků podle požadavků diagnostiky aniž se změní ozáření pacienta.

# Radionuklidové zobrazování a radiační bezpečnost

---

- Nesprávná funkce gama kamery však může způsobit chybnou diagnostiku nebo nečitelnost pořízené studie a pacient tak může být zcela zbytečně radiačně zatížen aplikovaným radiofarmakem.
- Je proto zřejmé, že se musejí provádět rutinně kontroly kvality gama kamer a v případě potřeby je vyžádán servis.



# Detektory v NM

- Plynové
  - IK ↪ měřiče aktivity
  - Proporcionální ↪ měřič dávkového příkonu, měřič plošné kontaminace
  - Geiger-Müller ↪ měřiče kontaminace, hlásiče radiace
- Polovodičové ↪ spektrometrie, osobní dozimetrie
- Scintilační



# Scintilační detektory

- In vitro soustavy:
  - Spektrometry



- In vivo soustavy:
  - Scintilační sondy (pro akumulární testy nebo radiačně navigovanou chirurgii)
  - Scintilační kamera (gama kamera) - jednodetektorové  
-  
vícedetektorové



# Scintilační kamera nebo též gamakamera

---

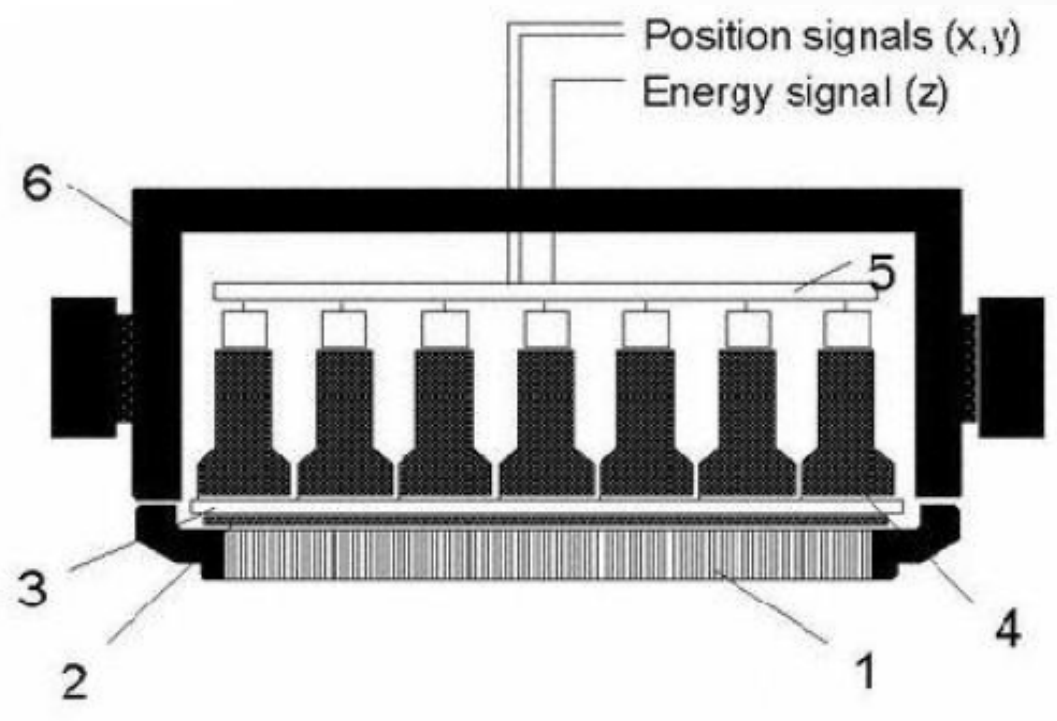
- První scintilační kameru vyvinul Hal Anger v roce 1958 (Scintillation camera - Gamma Camera).
- Principy Angerovy kamery jsou používány dosud i v moderních gamakamerách.

# Gama kamera

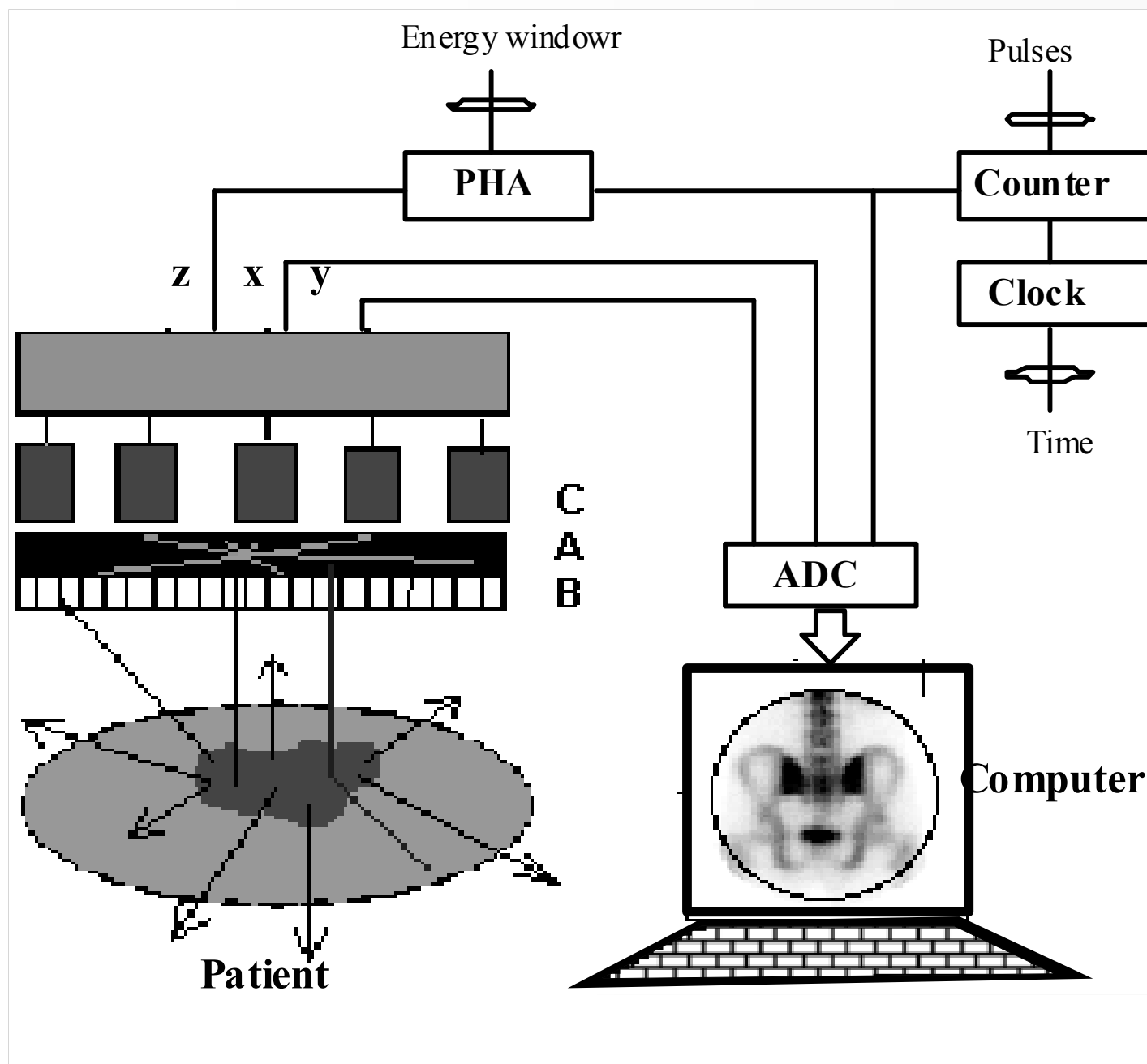


- Hal Anger
- 1952 - první prototyp gama kamery (NaI(Tl) + fotografická deska, nízká citlivost, dlouhá doba akvizice)
- 1962 - první komerční Angerova kamera, Ohio (USA)
- Principy Angerovy kamery jsou používány dosud i v moderních gama kamerách

# Základní části gama kamery



- 1 – kolimátor
- 2 – scintilační krystal
- 3 – světlovod
- 4 – fotonásobič
- 5 – zpracování signálu
- 6 - stínění



PHA analyzátor  
výšky impulzů

Counter  
čítač impulzů

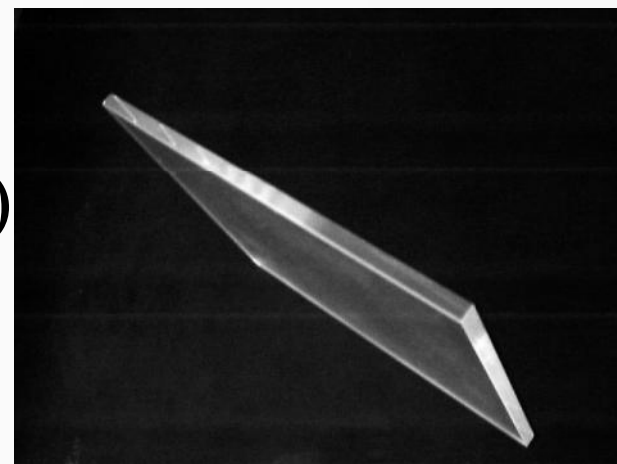
ADC  
analogově  
digitální  
převodník

Computer



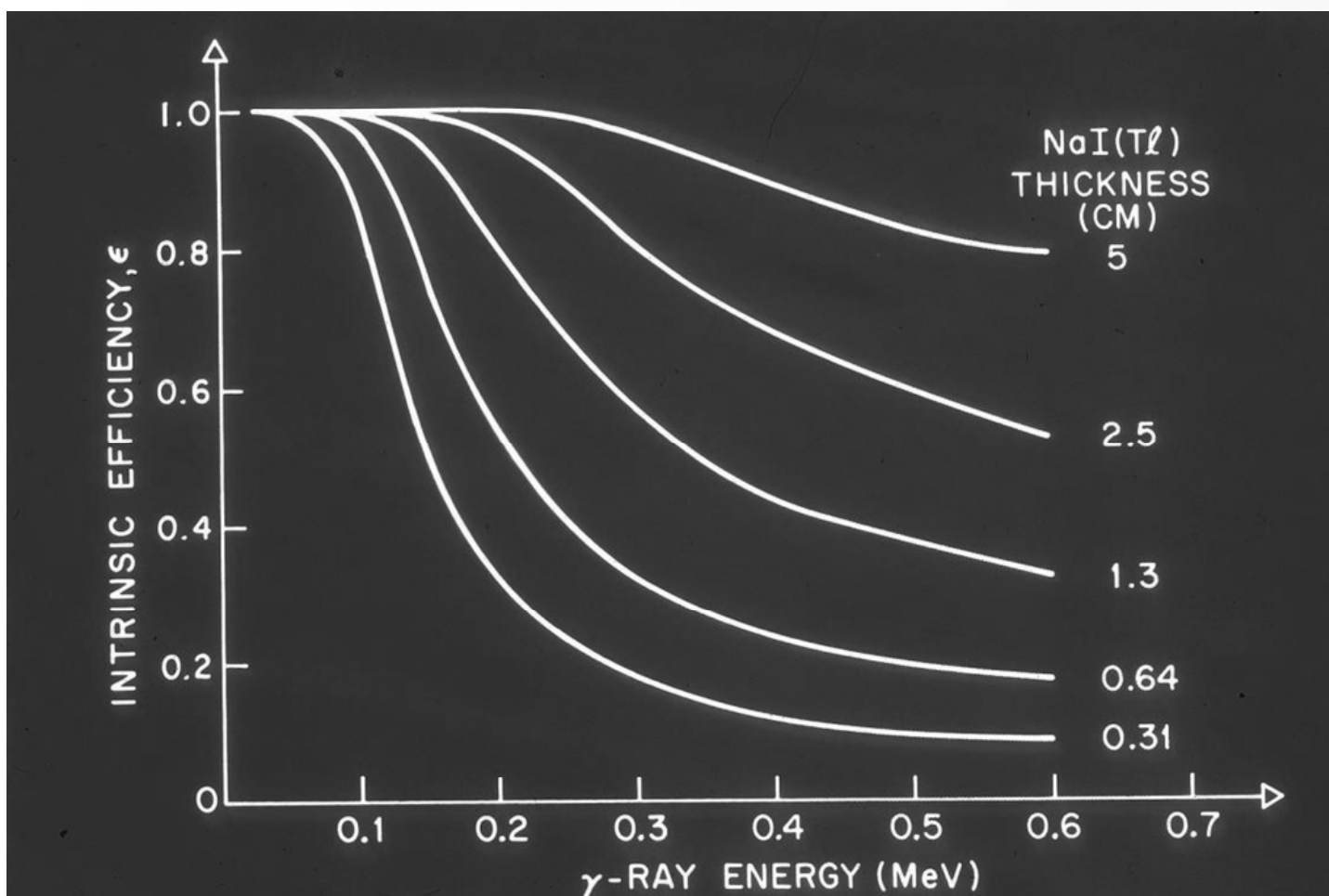
# Scintilační krystal

- Jodid sodný aktivovaný thaliem NaI(Tl) má vysokou hustotu ( $3,67 \text{ g/cm}^3$ ) a vysoké atomové číslo
- Účinnost detekce roste s  $\uparrow$  tloušťkou krystalu  
klesá  $\uparrow$  energií fotonů
- Použitelný do 500 keV
- Tloušťka obvykle 9,5 mm ( $3/8''$ )
- rozměr: 40 x 60 cm,  $\varnothing$  až 50 cm





# Detekční účinnost v závislosti na tloušťce krystalu a energii fotonů

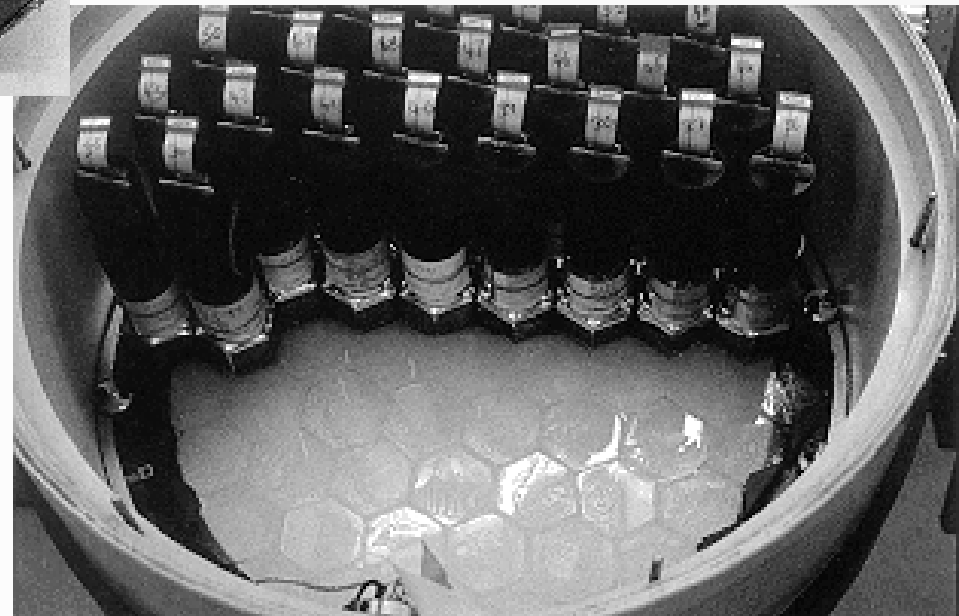
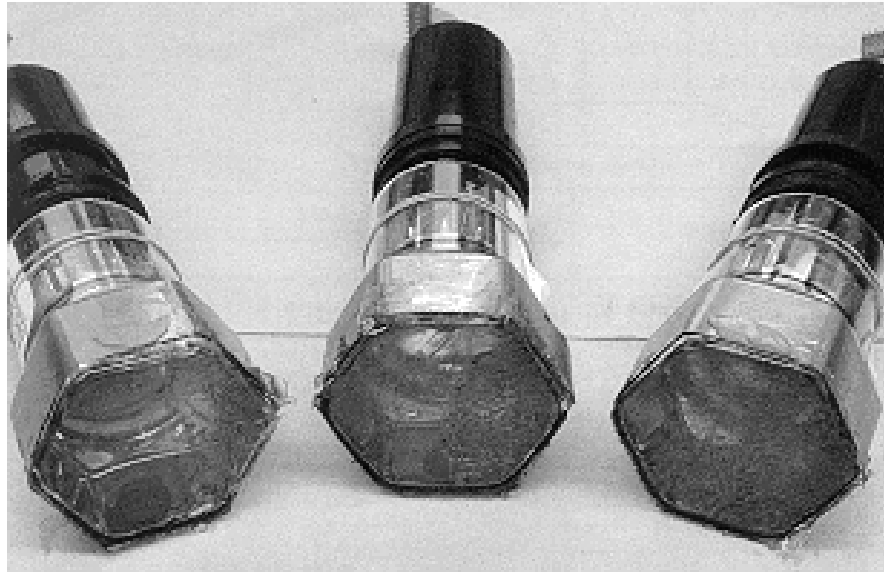


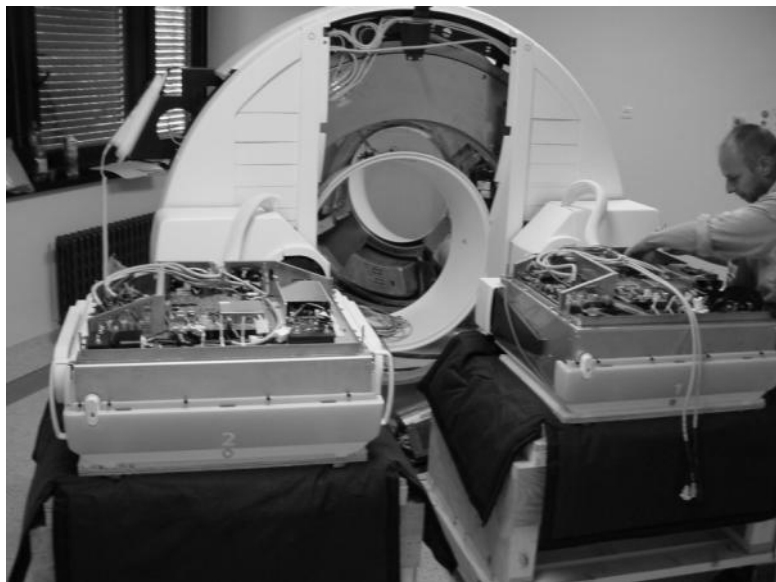
# Fotonásobiče



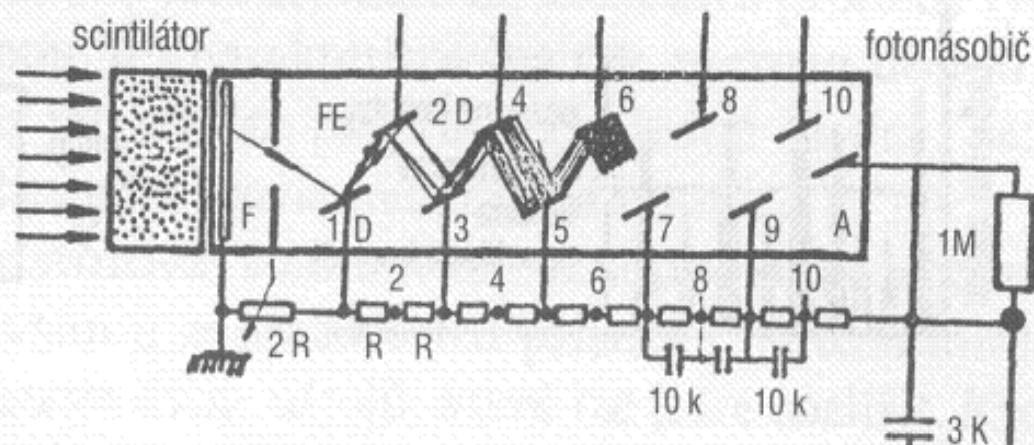
- Fotokatoda + vakuová trubice se soustavou elektrod (dynody, cca 10)
- Opticky spojeny s krystalem (vlnovod)
- Původní Angerova kamera používala 7 fotonásobičů. Moderní kamery mají až 90 fotonásobičů (gamakamera Sopha má 87 fotonásobičů).
- Kruhové ( $\varnothing$  5cm), hexagonální, čtvercové

# Fotonásobiče

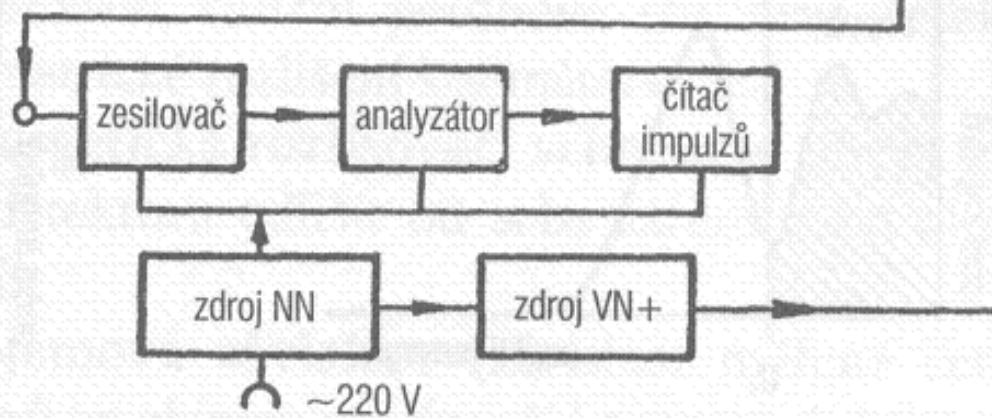




## SCINTILAČNÍ DETEKTOR



## VYHODNOCOVACÍ APARATURA



# Uspořádání fotonásobičů

---

- Scintilační fotony produkované v krystalu jsou detekovány seskupením fotonásobičů, které jsou opticky spojeny s krystalem.
- Původní Angerova kamera používala 7 fotonásobičů. Modernější kamery mají 55 a více fotonásobičů (gamakamera Sopha má 87 fotonásobičů).

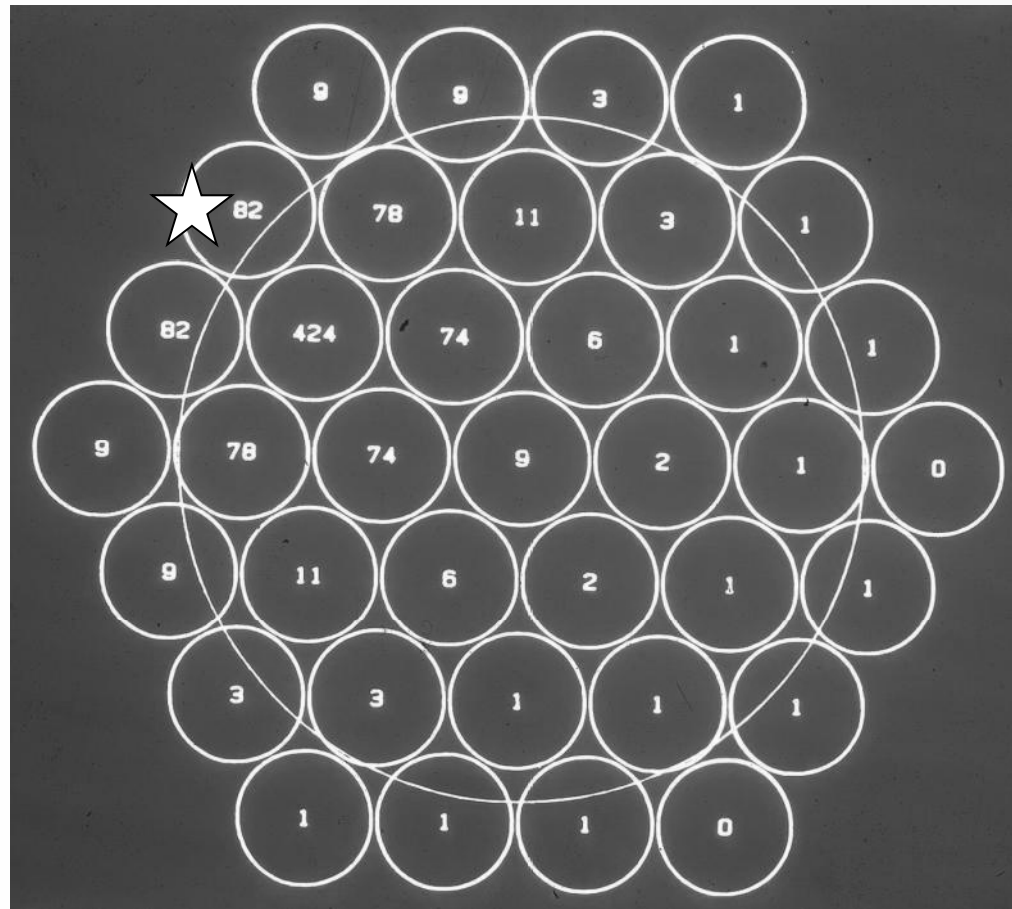
# Uspořádání fotonásobičů

---

- Velikost výstupního signálu fotonásobiče závisí na vzdálenosti fotonásobiče od místa scintilace v krystalu.
- Signály X a Y jsou vytvářeny jako vážený součet z výstupů seskupení fotonásobičů.
- Kombinací všech výstupů z fotonásobičů obdržíme tzv. Z signál (impuls), jehož velikost je úměrná totální energii deponované v krystalu.

# Signál z fotonásobičů způsobený interakcí v krystalu

---



# Analýza výšky impulzů

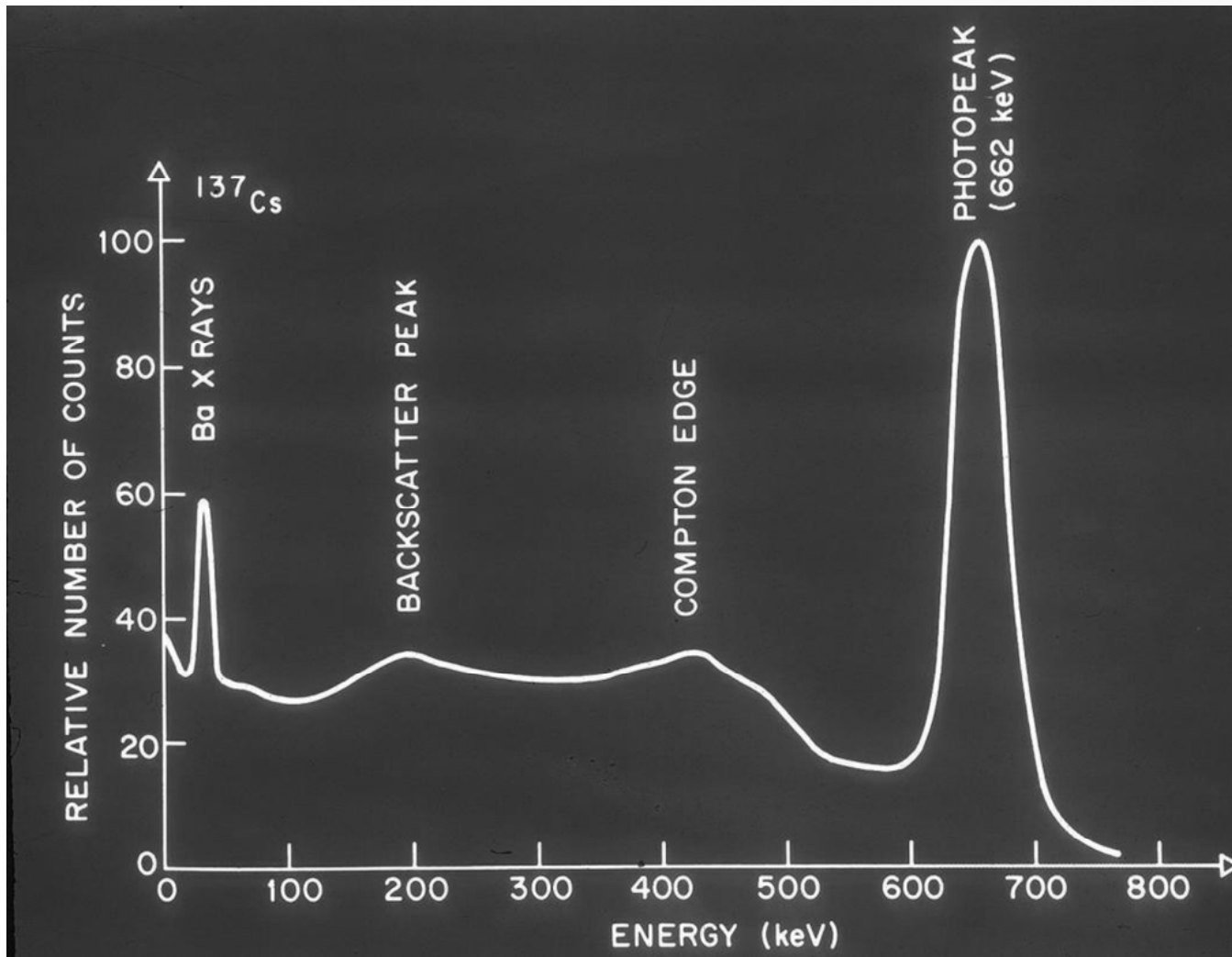
---

Analýza spektra Z impulzů (energetické spektrum) umožňuje:

- omezení vlivu rozptýlených fotonů na zobrazení
- dvou-izotopové zobrazování
- účinnou detekci radionuklidů s 2 a více primárními fotony (např.  $^{67}\text{Ga}$  a  $^{111}\text{In}$ )



# Energetické spektrum $^{137}\text{Cs}$



# Kolimátor

---

- Umožňuje projekci distribuce zdroje záření na krystal tím, že absorbuje fotony mimo úzký vymezený úhel.
- Původně se kolimátory vyráběly lepením zprohýbaných pásků olova.
- Moderní kolimátory jsou vyráběny jako kompaktní kus s hexagonálními děrami.

# Kolimátor

---

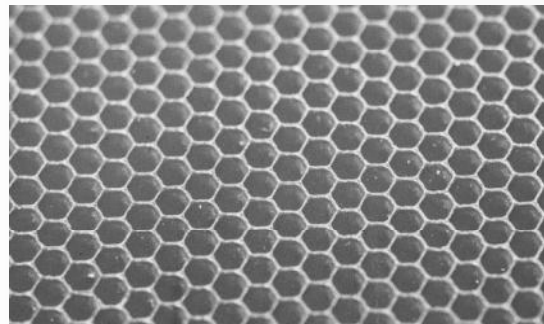
- Citlivost a rozlišovací schopnost kolimátoru je funkcí :
  - průměru otvorů
  - délky otvorů
  - tloušťkou sept mezi otvory
  - vzdáleností objektu od čela kolimátoru

Kolimátory jsou proto navrhovány pro různé energie emitovaných fotonů a rozlišovací schopnost

- Kolimátory mohou mít paralelní otvory, konvergující nebo divergující otvory nebo mohou mít jediný otvor - pinhole.

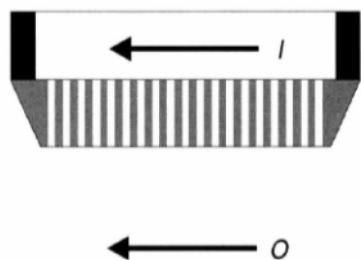
# Kolimátor

- Olověná clona vymezující směr fotonů dopadajících na scintilační krystal (kompaktní kus s hexagonálními děrami)
- Fotony, které neprochází ve směru osy otvorů kolimátoru jsou pohlceny v olověných septech mezi otvory

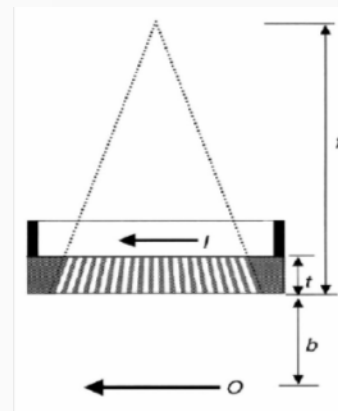


# Typy kolimátorů

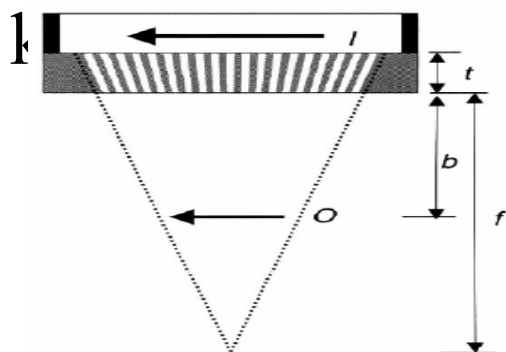
- Paralelní kolimátor



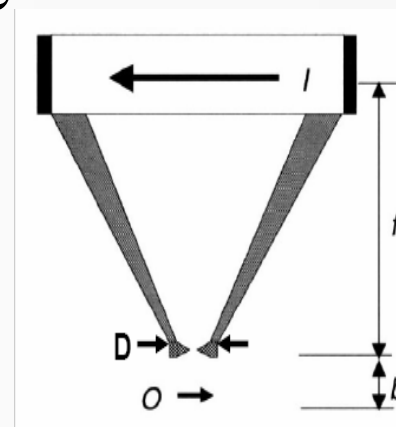
- Divergentní kolimátor



- Konvergentní

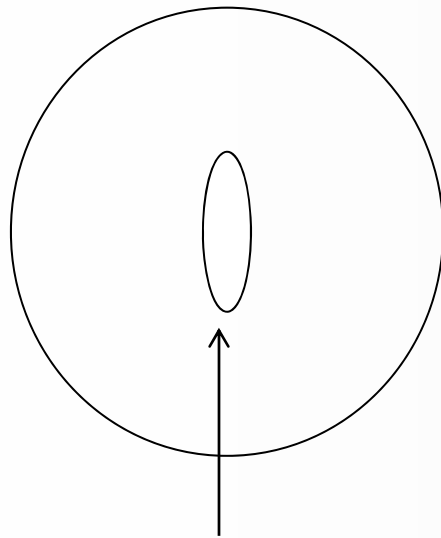


- Pinhole

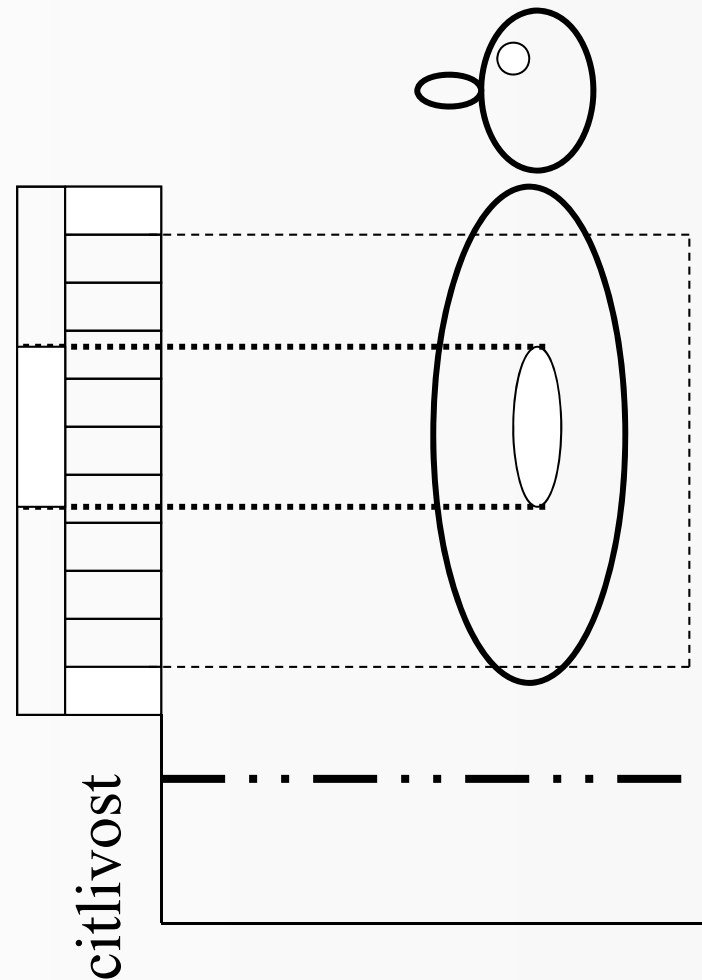


# Paralelní kolimátor

## **Obraz**

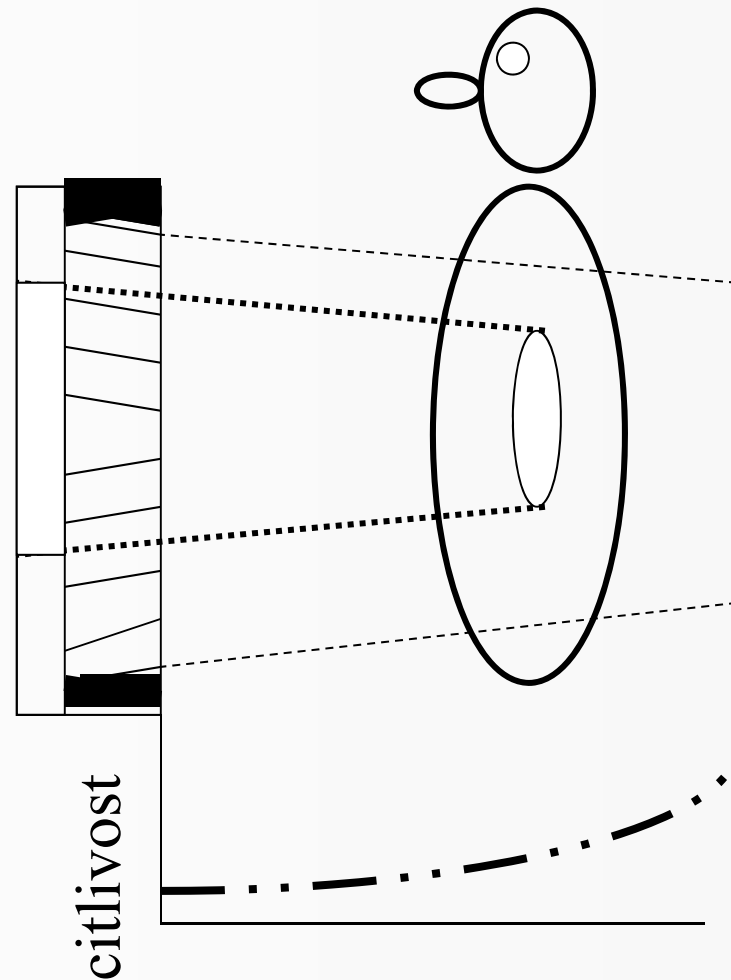
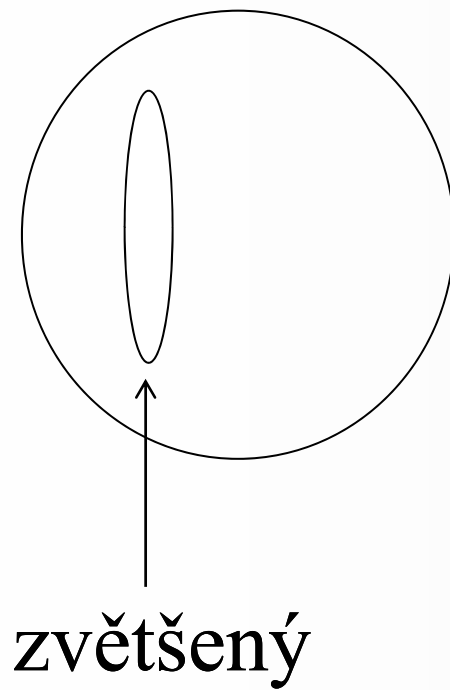


Shodná velikost  
s objektem



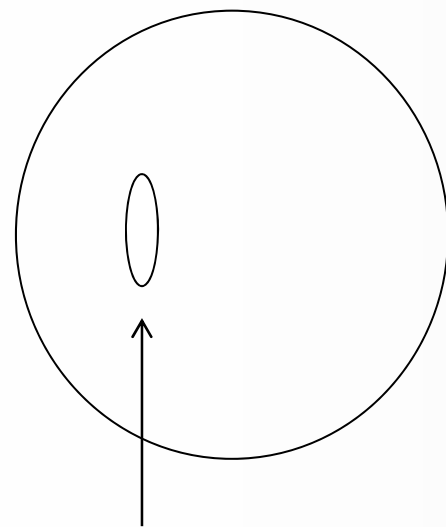
# Divergentní kolimátor

**Obraz**

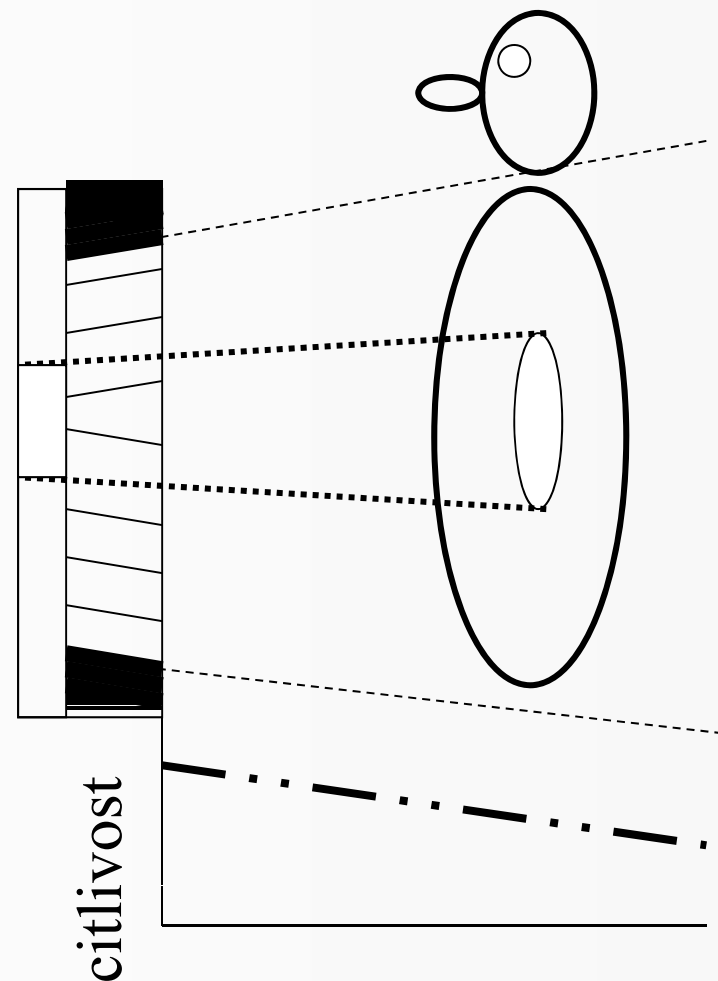


# Konvergentní kolimátor

**Obraz**

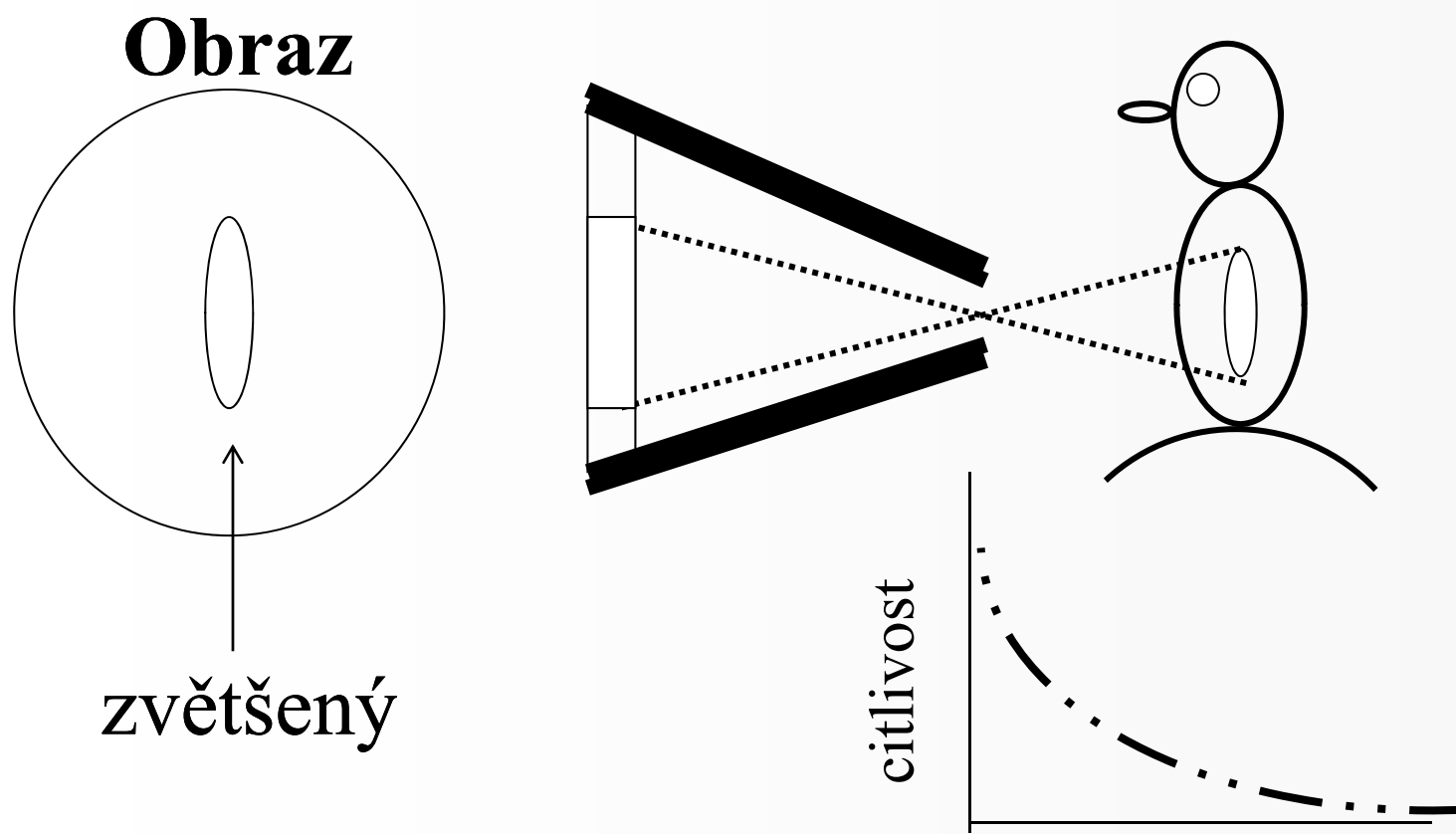


zmenšený



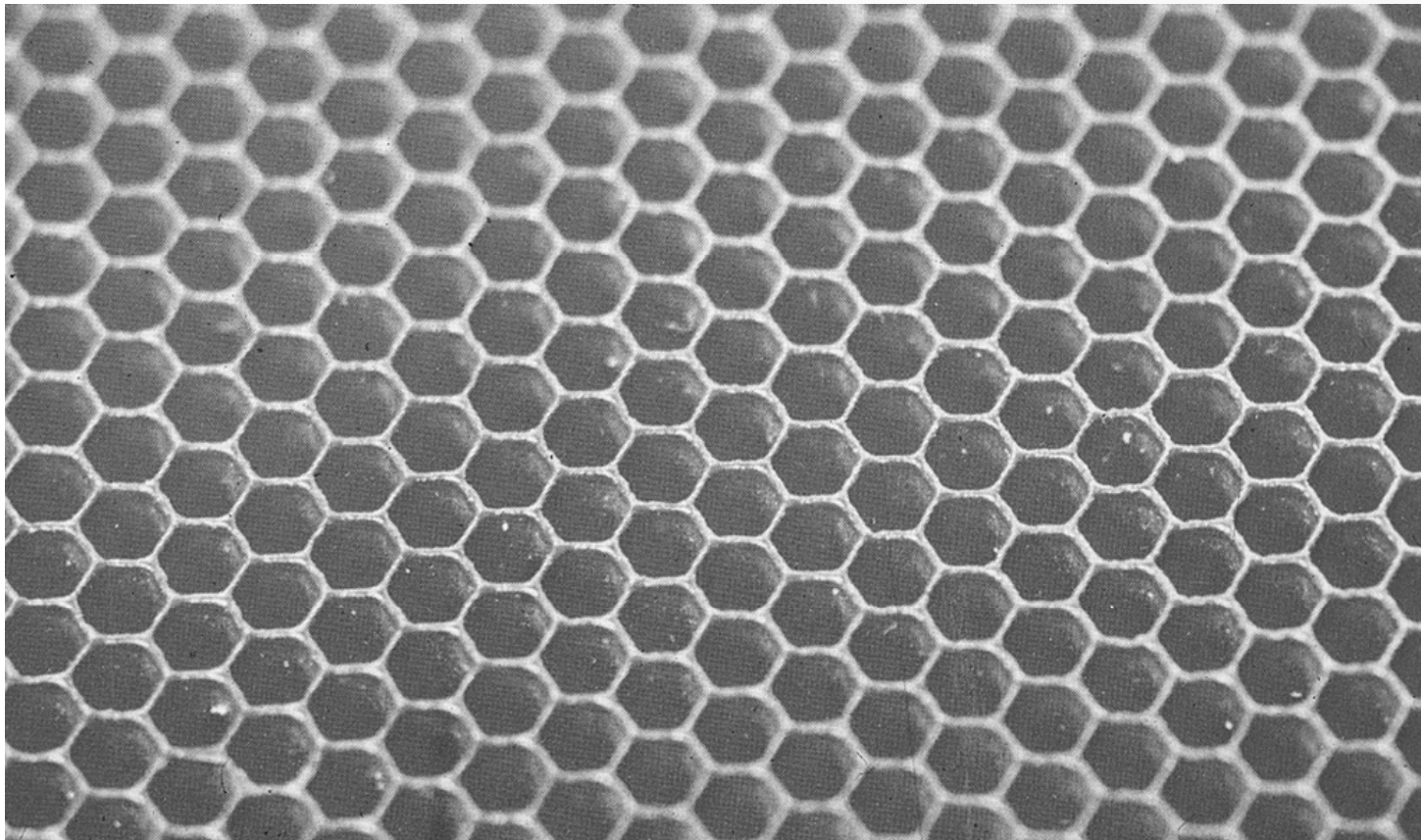


# Jednoděrový kolimátor (Pin-Hole)



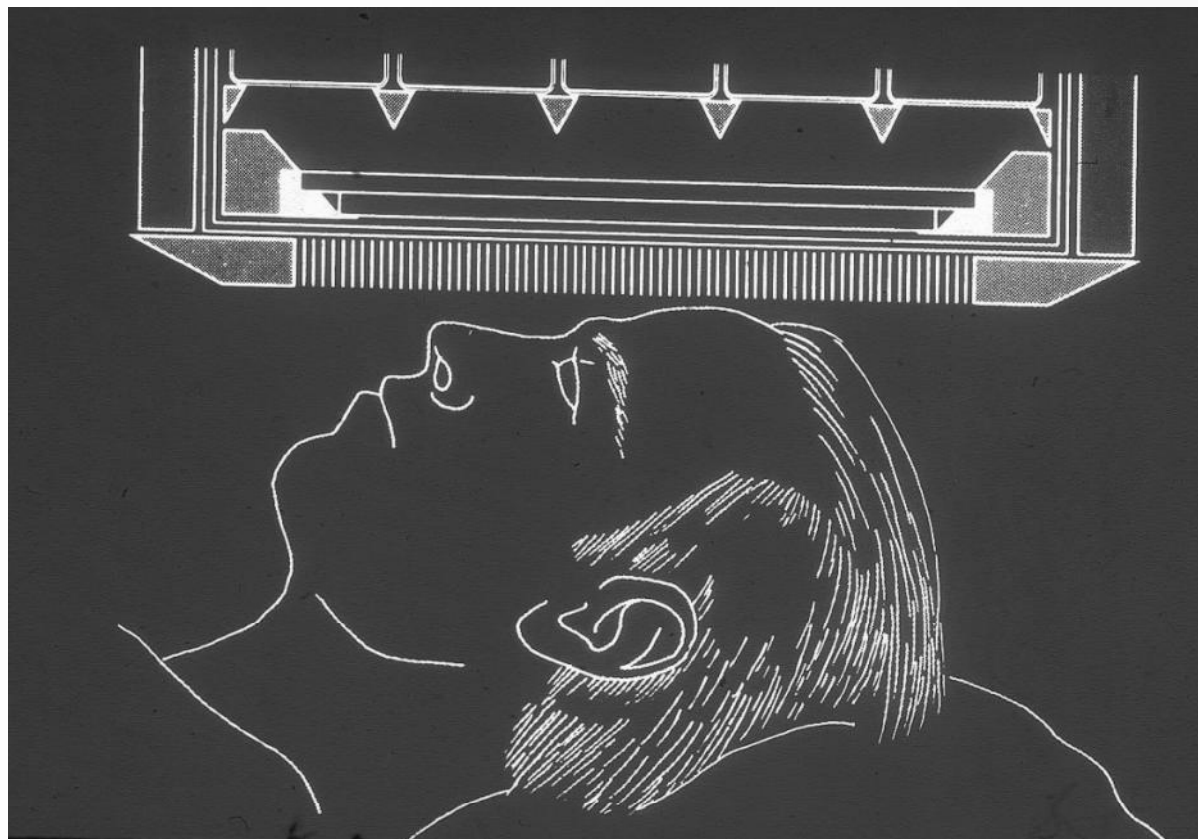
# Vnitřní struktura paralelního kolimátoru

---



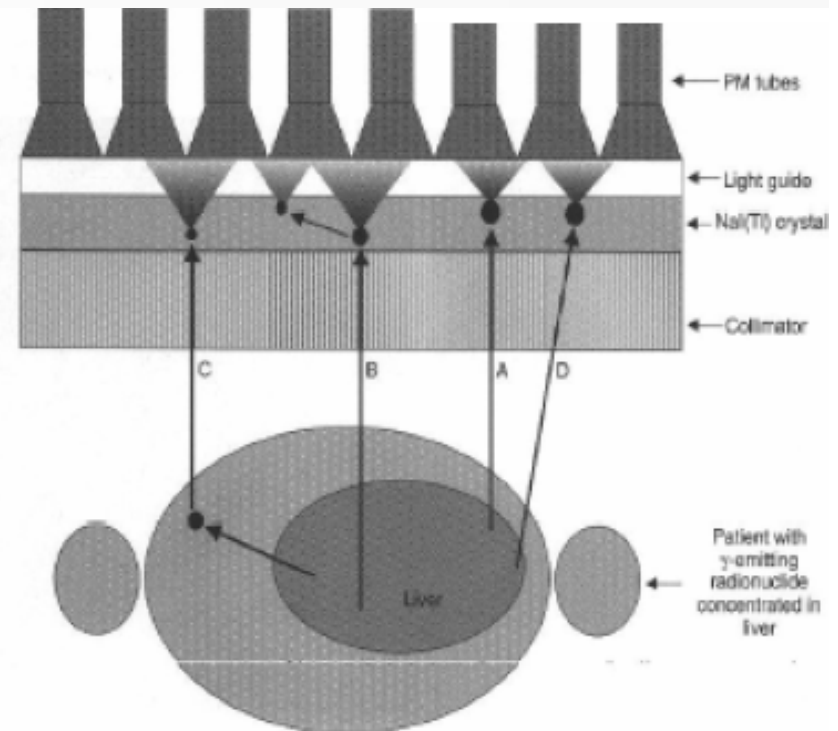
# Příklad využití paralelního kolimátoru

---



# Nedostatky gama kamery

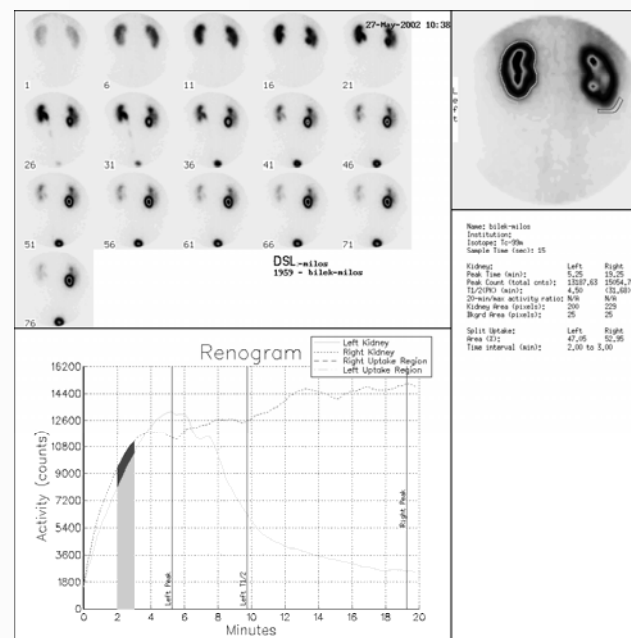
- Základní Angerova kamera má řadu nedokonalostí, které omezují finální kvalitu zobrazení. K nápravě nedokonalostí poskytují v současnosti výrobci:
  - on-line energetickou korekci
  - on-line korekci linearity
  - automatické nastavování zisku
  - záznam vyšších četností impulzů
    - A...“správná“ interakce
    - B... rozptyl v krystalu
    - C... rozptyl v pacientovi



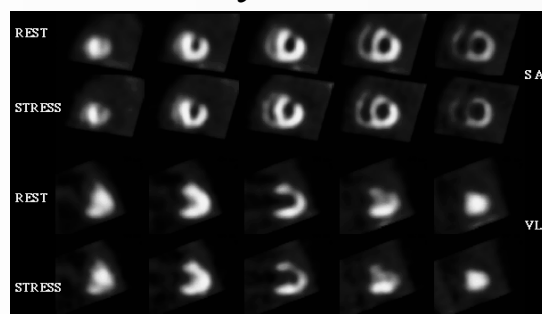
# Typy vyšetření na gama kameře

- Statické studie
  - celotělové
  - cílené
- Dynamické
  - dynamické
  - gated
- Tomografické
  - SPECT

Dynamická renografie



Gated study



Bone scinti



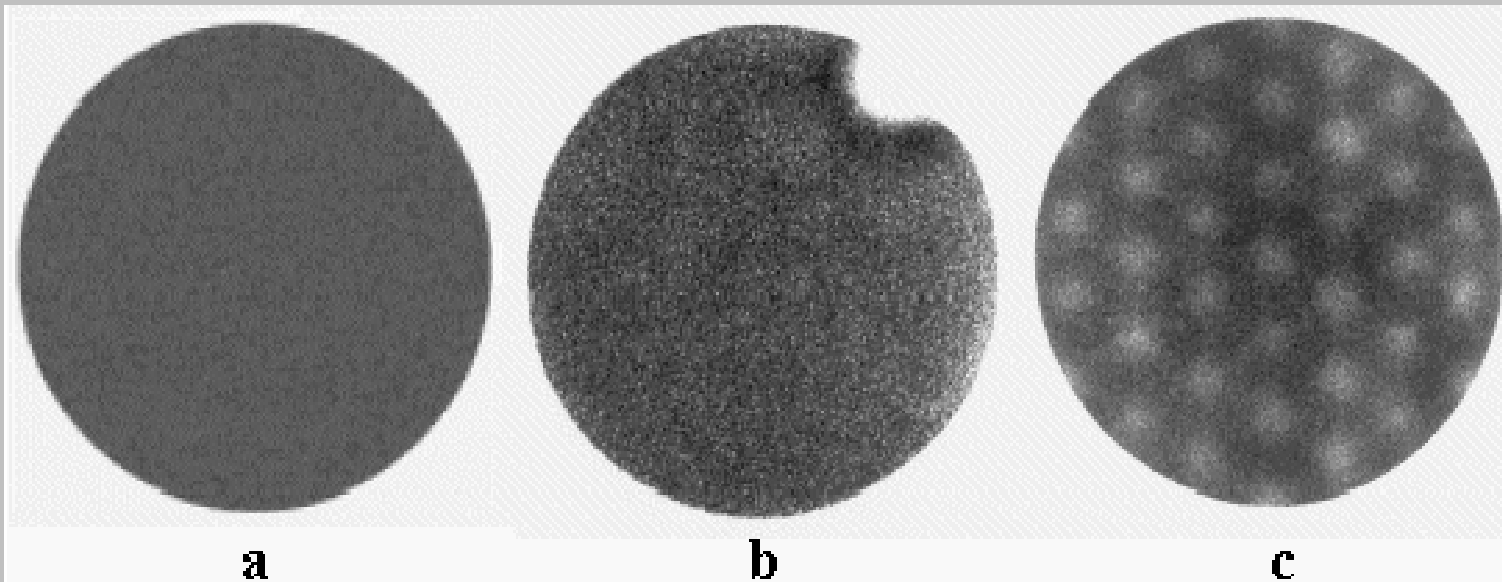
# Radionuklidové zobrazování a radiační bezpečnost

- Na rozdíl od radiodiagnostiky a radioterapie, zařízení pro zobrazování v nukleární medicíně nevysílají záření.
- Laborant může pořídit libovolný počet snímků podle požadavků diagnostiky aniž se změní ozáření pacienta.

# Radionuklidové zobrazování a radiační bezpečnost

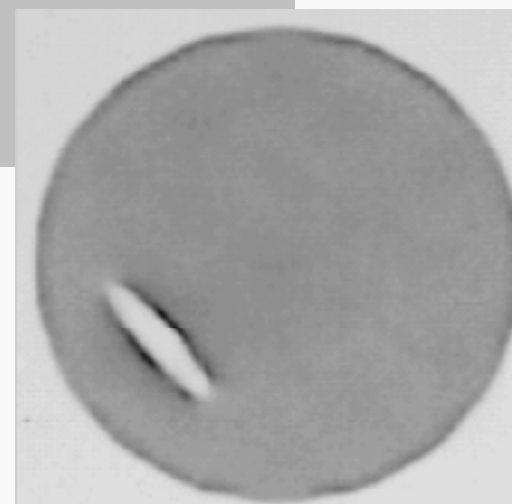
- Nesprávná funkce gama kamery však může způsobit chybnou diagnostiku nebo nečitelnost pořízené studie a pacient tak může být zcela zbytečně radiačně zatížen aplikovaným radiofarmakem.
- Musí se rutinně provádět **kontroly kvality** gama kamer a v případě potřeby je vyžádán servis.

# Homogenita na gama kameře



Některé typické obrazy homogenity s plošným zdrojem či bodovým zářičem.  
a) Normální obraz homogenity. b) Výpadek periferního fotonásobiče.  
c) Celkově rozladěné fotonásobiče či fotopík nastavený mimo okénko analyzátoru.

Defekt krystalu  
způsobený nárazem  
nebo proražením





# Kontrola jakosti gama kamery

---

- Quality Control of Nuclear Medicine Instruments
- IAEA Tecdoc 602 1991
- Doporučení SÚJB pro zajištění jakosti u přístrojové techniky v nukleární medicíně

# Kontrola jakosti gama kamery

---

- Musí být jednoduše a rychle proveditelná
- Přesnost není hlavní
- Reprodukovatelnost je velmi důležitá
- Doporučené kontroly vycházejí z protokolu NEMA

(NEMA = National Electrical Manufacturers Association)

# Kontrola jakosti gama kamery

---

- Denní testy:
  - Stejnoměrnost zobrazení - homogenita
  - Četnost pozadí (detekuje možnou kontaminaci)
  - Citlivost systému
- Týdně nebo měsíčně (záleží na kameře)
  - Rozlišovací schopnost a linearita

# Kontrola jakosti gama kamery

---

## Homogenita zobrazení

- musí se provádět denně před vyšetřováním pacientů
- může se provádět s kolimátorem nebo bez něj
- hrubé změny mohou být detekovány vizuálně
- postupné změny mohou být zjištěny jen pomocí počítačové kvantifikace homogenity

# SPECT

---

- Single Photon Emission Computed Tomography poskytuje:
  - Zlepšený kontrast zobrazení
  - 3 rozměrné zobrazení
  - SPECT vyžaduje dodatečné kontroly kvality

# SPECT

## akvizice obrazu a rekonstrukce

- 1) sběr dat (akvizice):
  - Hlava kamery rotuje kolem pacienta a je nabírána řada obrazů.
  - Typický je počet 60 nebo 120 obrazů získaných za 20 až 30 minut.

# SPECT

## akvizice obrazu a rekonstrukce

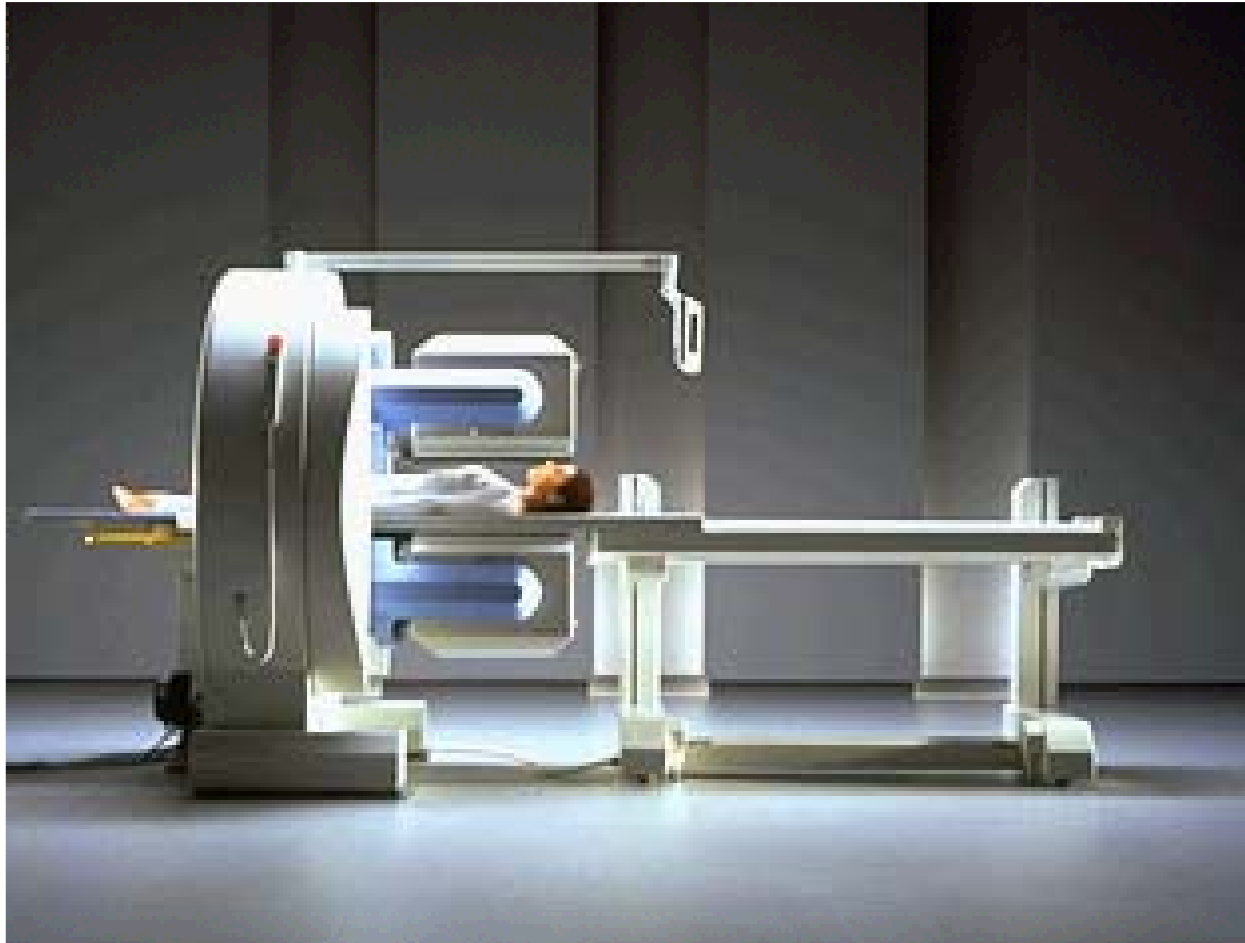
- 2) Rekonstrukce obrazu:
  - Pomocí techniky zvané *Filtered Backprojection* (filtrovaná zpětná projekce) - která poskytuje řadu transverzálních řezů.
  - *Iterativní algoritmy*
- Sagitální řezy jsou vypočteny z transverzálních řezů.



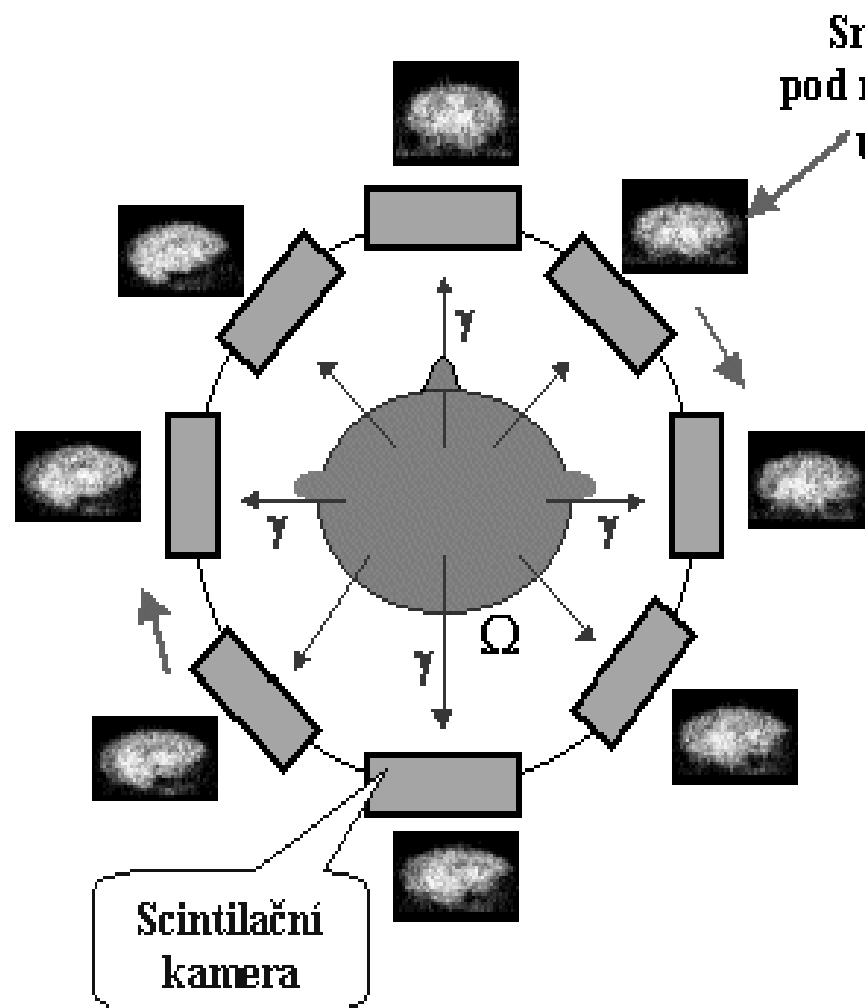




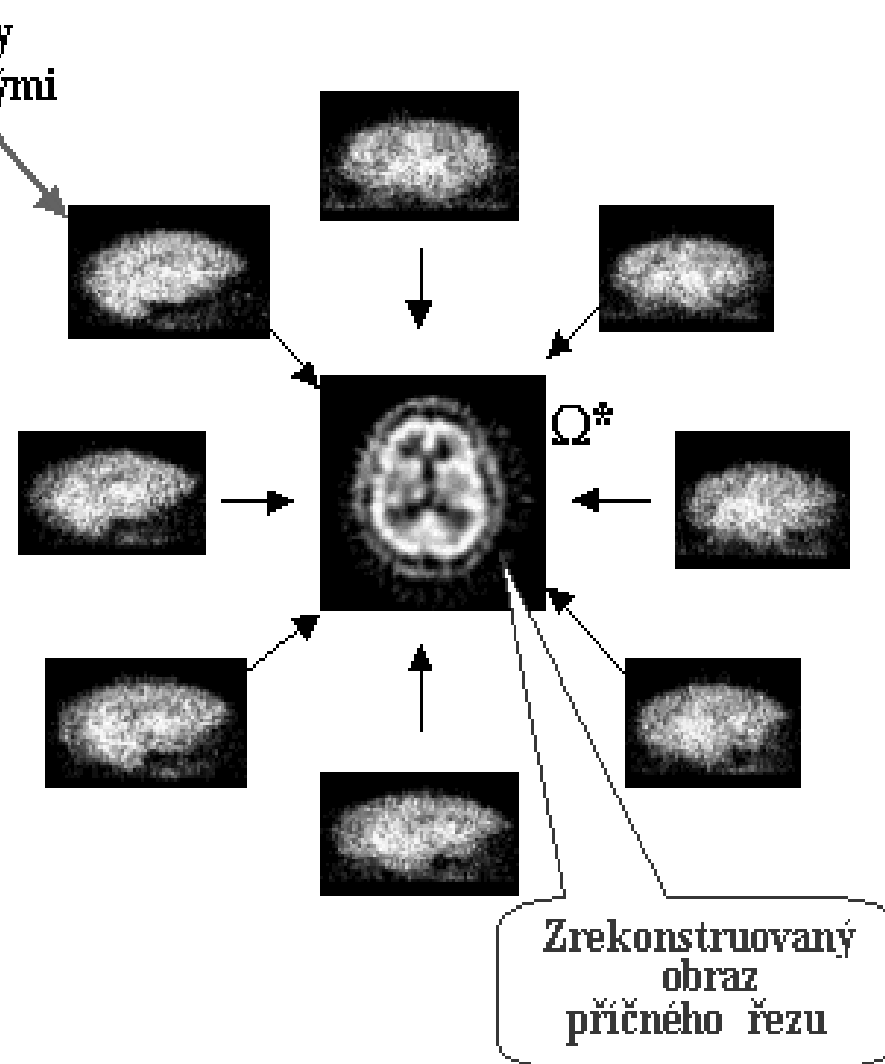
# SPECT



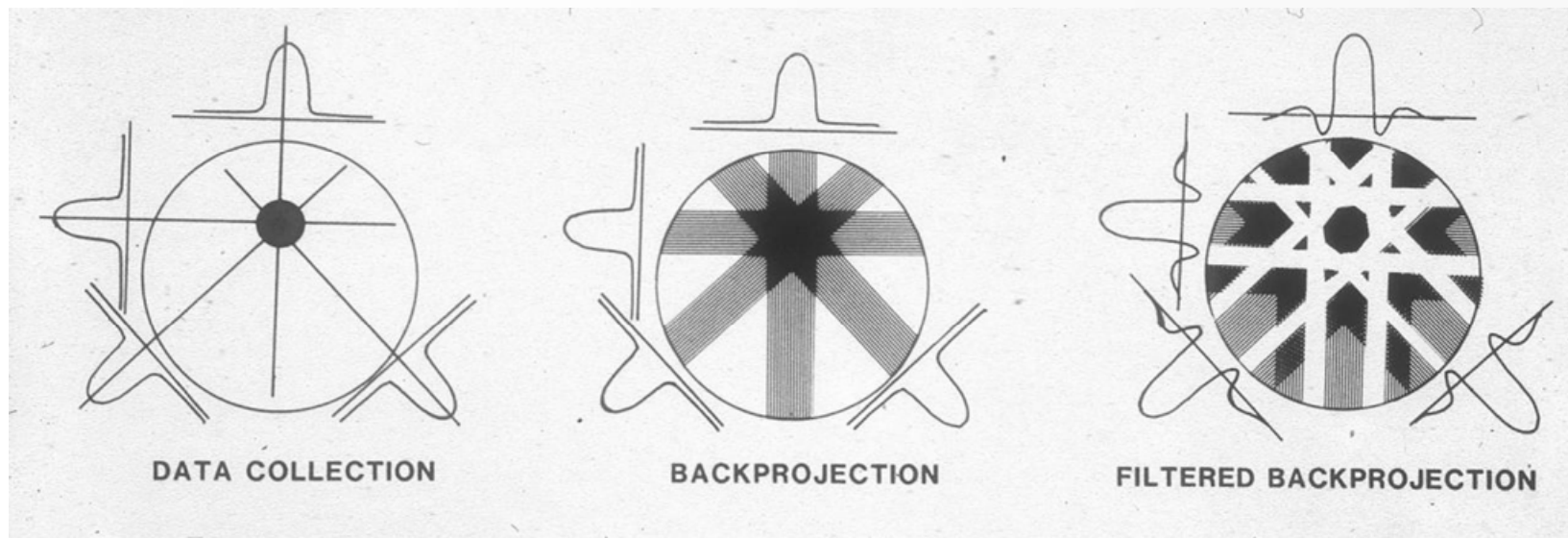
## Akvizice SPECT



## Rekonstrukce SPECT



# Princip rekonstrukce SPECT obrazů s použitím filtrované zpětné projekce



Analýza dat je prováděna  
výpočetním systémem



# Kontrola kvality SPECT

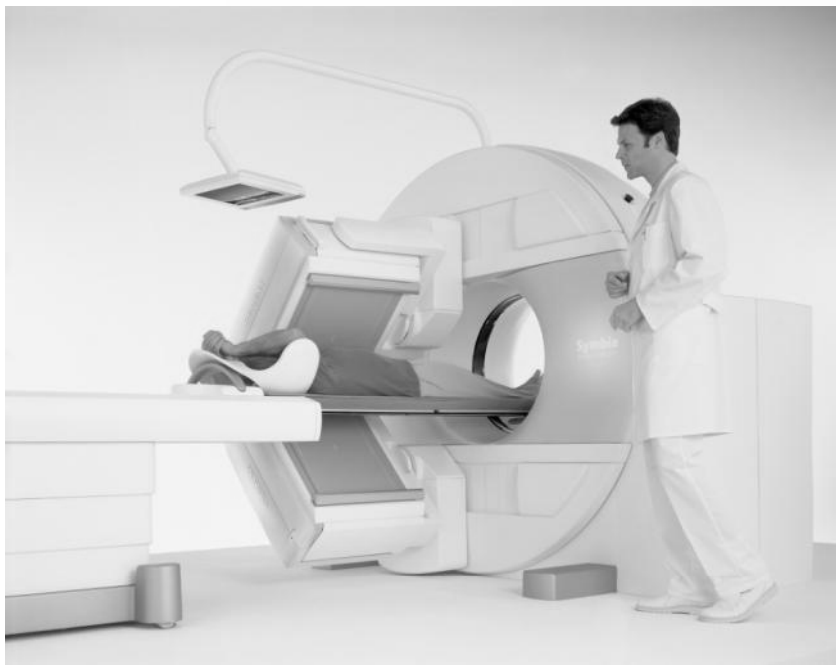
---

- Přísná kontrola kvality je zásadní jinak dojde ke vzniku artefaktů.
- Musí se používat kontrola kvality jako u planární kamery, konkrétně test homogeneity
- Kalibrace centra rotace se musí provádět pro každý kolimátor používaný pro SPECT.
- U starších SPECT systémů se musí provádět kontrola rotační stability
- Celková kvalita zobrazení SPECT se stanovuje pomocí SPECT fantomů, při přejímací zkoušce a po jakékoliv hlavní opravě.

# SPECT 3D zobrazování



# Hybridní kamera SPECT/CT

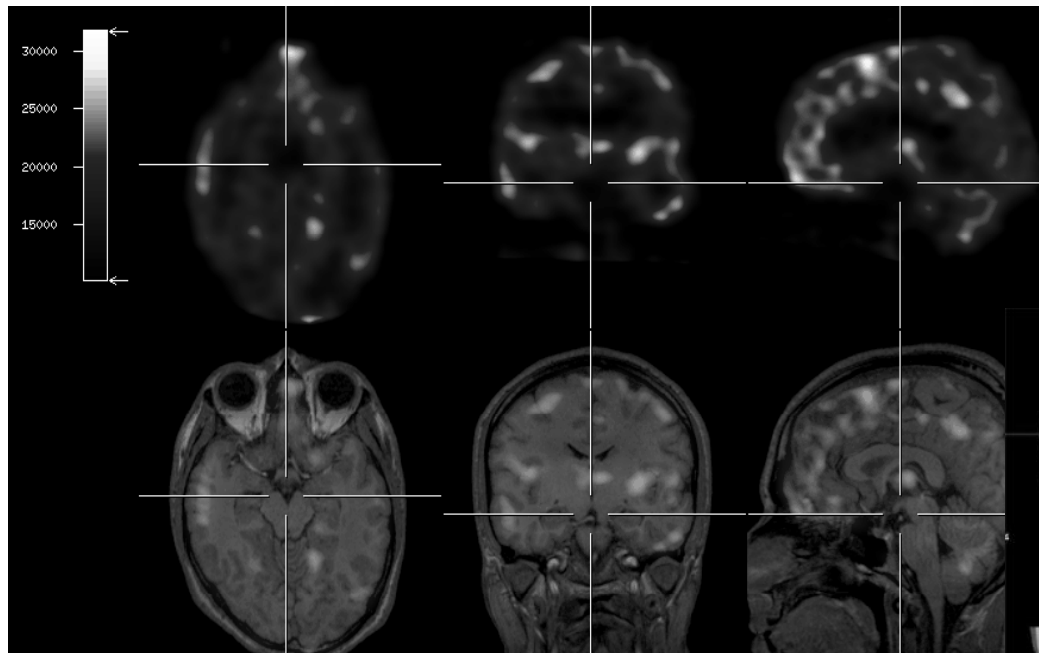




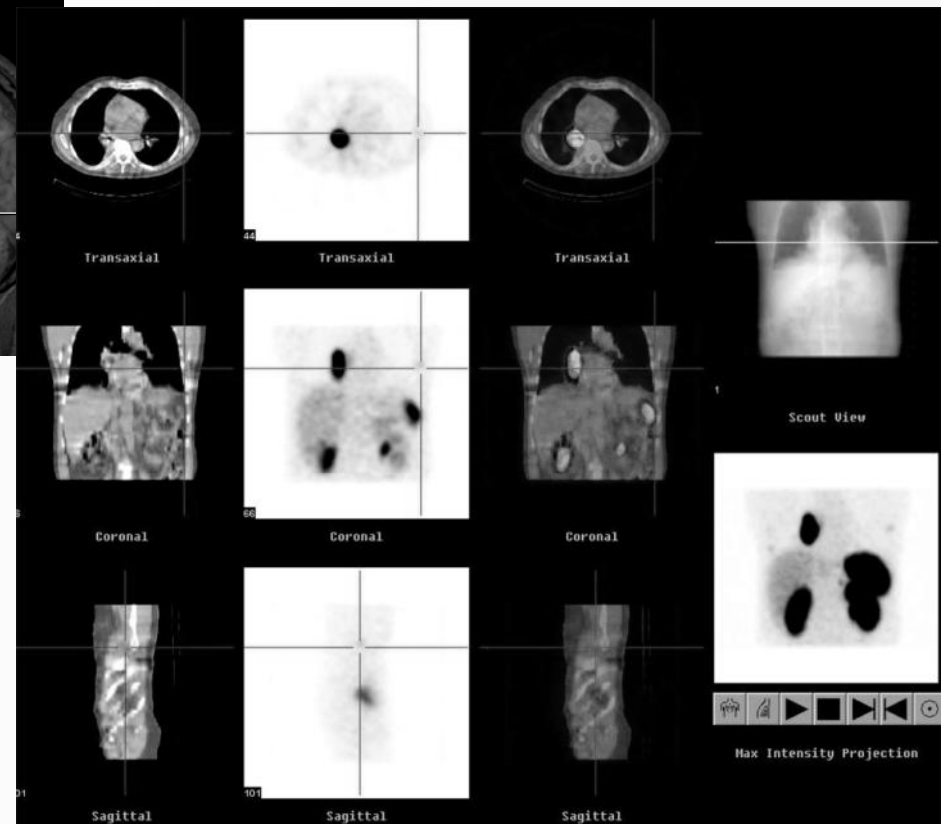
# Hybridní kamera SPECT/CT



# Zobrazení SPECT/CT



- Lokalizační diagnostika
- Korekce na atenuaci (při průchodu záření tkání dochází k zeslabení)



# Zobrazení SPECT/CT



**PET**

**Positron Emission Tomography**

# Pozitronová emisní tomografie PET

- Positron Emission Tomography (PET).
- Používá se ke studiu fyziologických a biochemických procesů v těle
- Umožňuje sledovat procesy jako je krevní průtok, metabolismus kyslíku, glukózy a mastné kyseliny, transport aminokyselin, pH and hustoty neuroreceptorů.

# Pozitronová emisní tomografie PET

- Využívá pozitronové zářiče, v České republice  $^{18}\text{F}$  ve formě  $^{18}\text{F}$ -FDG
- Je nezbytný cyklotron pro výrobu pozitronových zářičů (Řež, PET Centrum Na Homolce)
- Detekují se fotony anihilačního záření

# PET



## Pozitronové zářiče

$^{18}\text{F}$

109.8 min

$^{18}\text{O}(\text{p},\text{n})^{18}\text{F}$

$^{20}\text{Ne}(\text{d},\alpha)^{18}\text{F}$

$^{11}\text{C}$

20.3 min

$^{14}\text{N}(\text{n}, \alpha)^{11}\text{C}$

$^{15}\text{O}$

122 s

$^{14}\text{N}(\text{d},\text{n})^{15}\text{O}$

$^{16}\text{O}(\text{p},\text{pn})^{15}\text{O}$

$^{13}\text{N}$

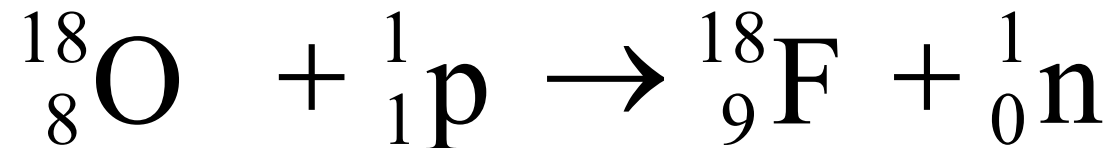
9.96 min

$^{16}\text{O}(\text{p},\alpha)^{13}\text{N}$

$^{13}\text{C}(\text{p},\text{n})^{13}\text{N}$

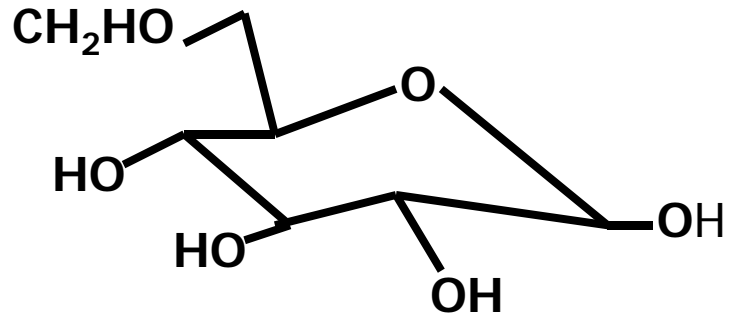
# Výroba $^{18}\text{F}$

- proton je v cyklotronu urychlen
- dopadne na terč  $^{18}\text{O}$
- spojí se s jádrem  $^{18}\text{O}$
- z jádra je vymrštěn neutron
- kyslík je transmutován na  $^{18}\text{F}$



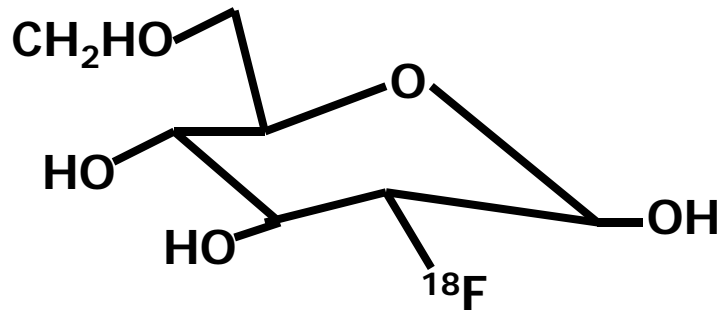


# FDG



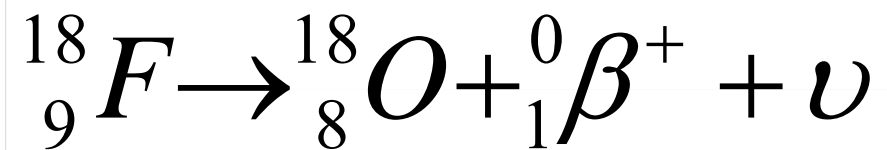
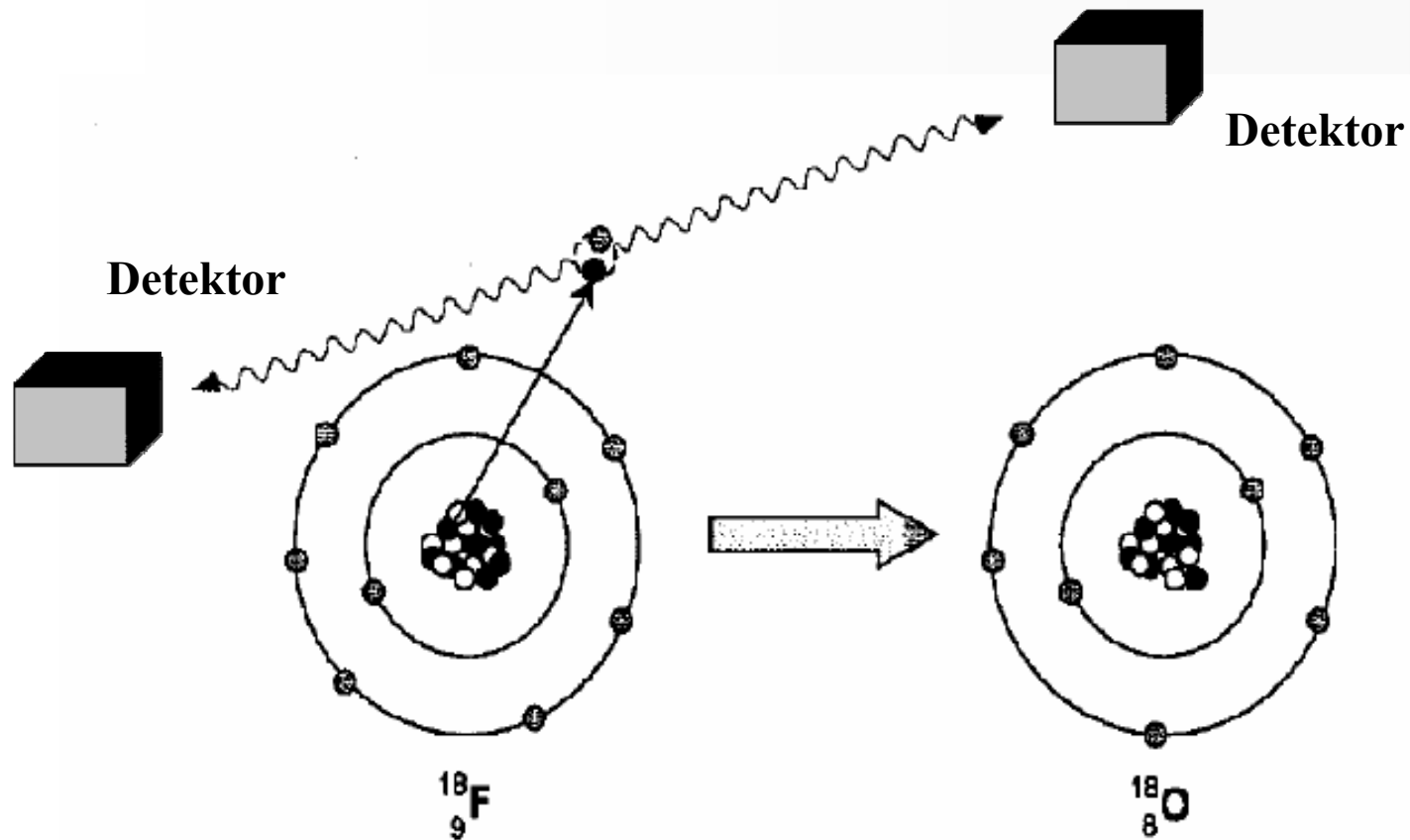
glukóza

- Nejrozšířenější radiofarmakum pro PET
- Využití glukózy
- Dychtivě vychytávána většinou nádorů

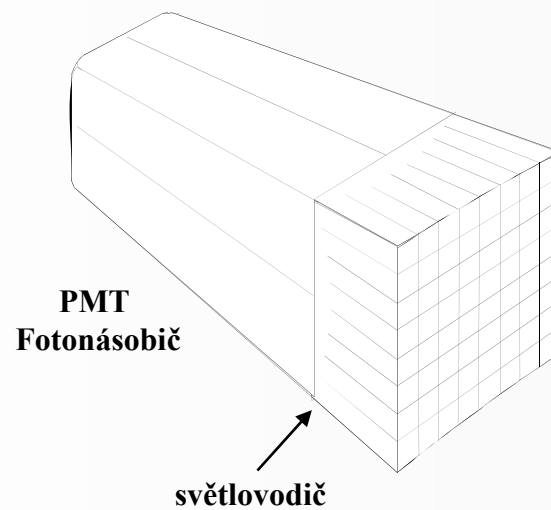
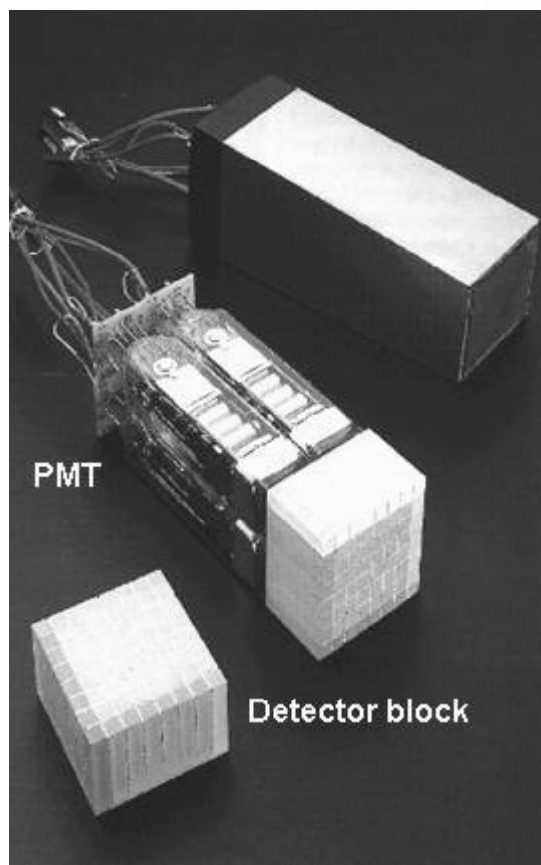


2-deoxy-2-(F-18) fluoro-D-glukóza

# PET – anihlační záření



# PET – scintilační detektory

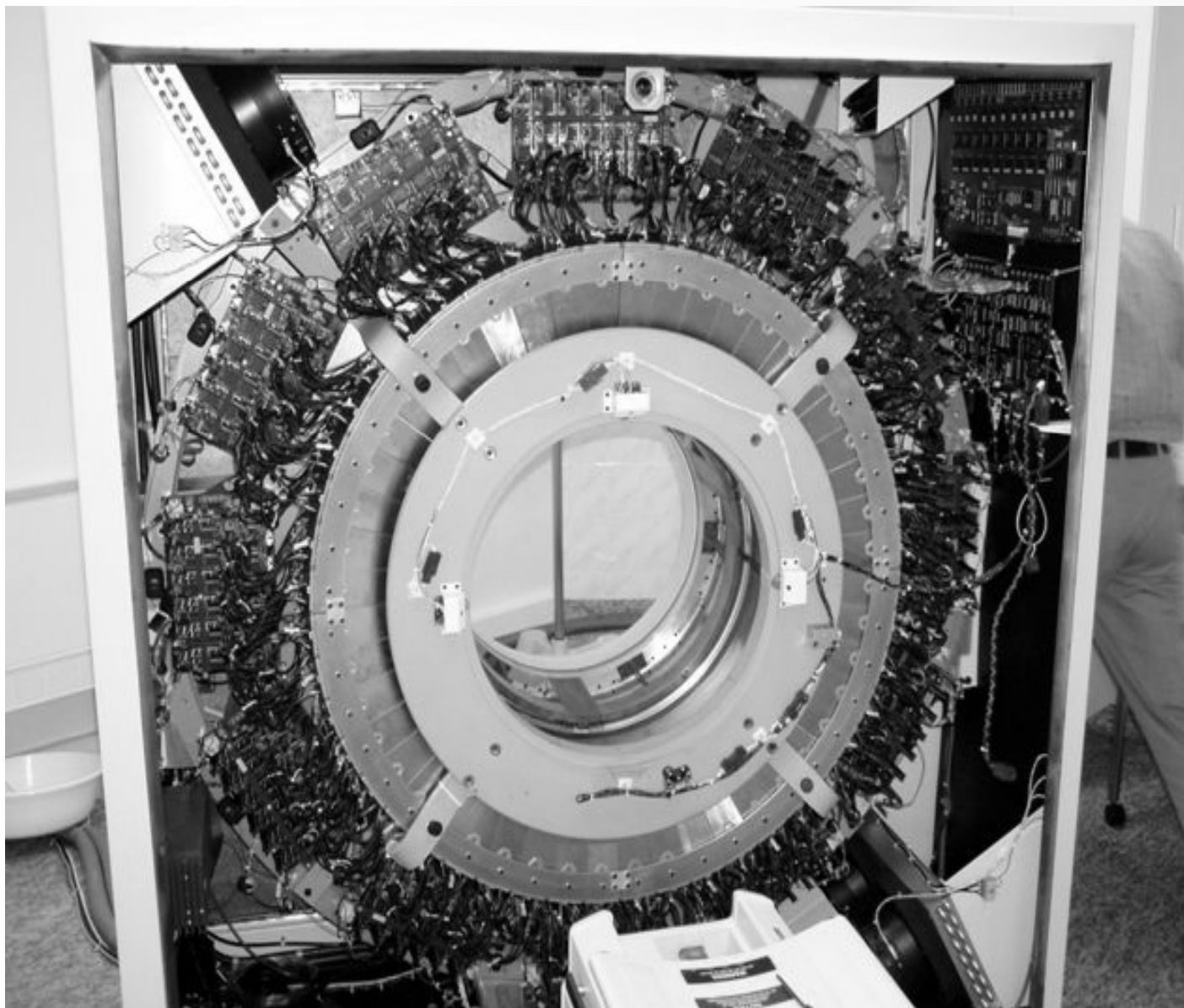


# PET – scintilační detektory

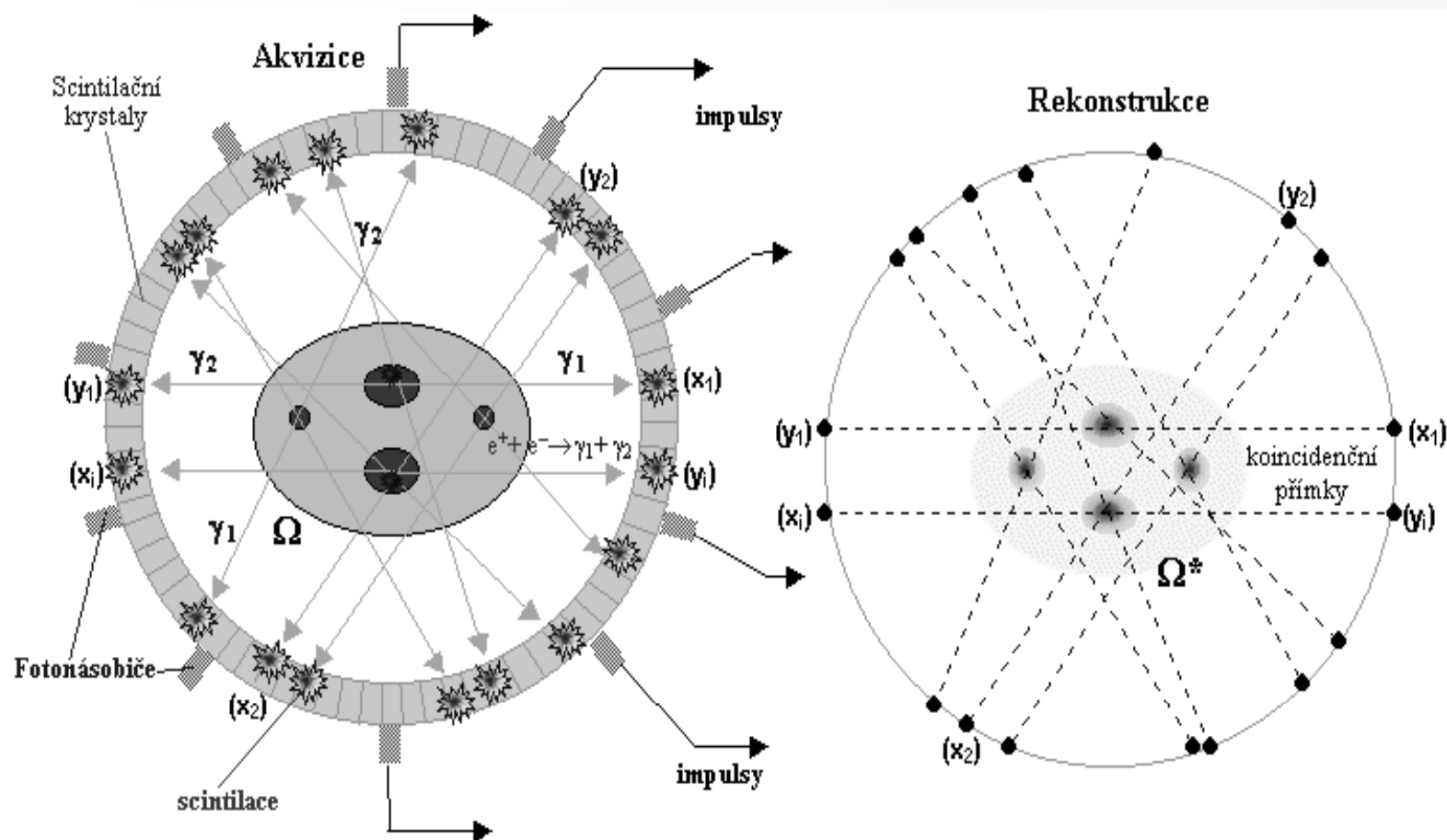
**PET scanner with  
BGO scintillation  
detector modules**



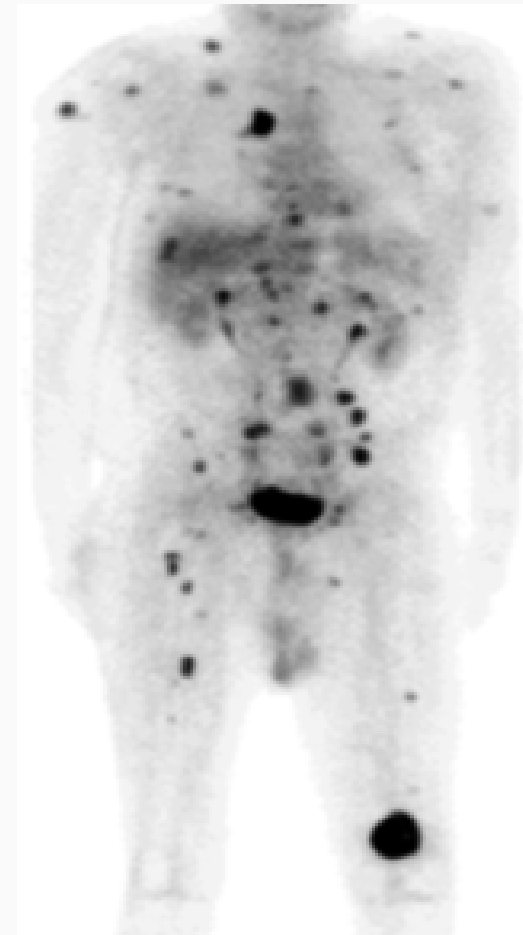
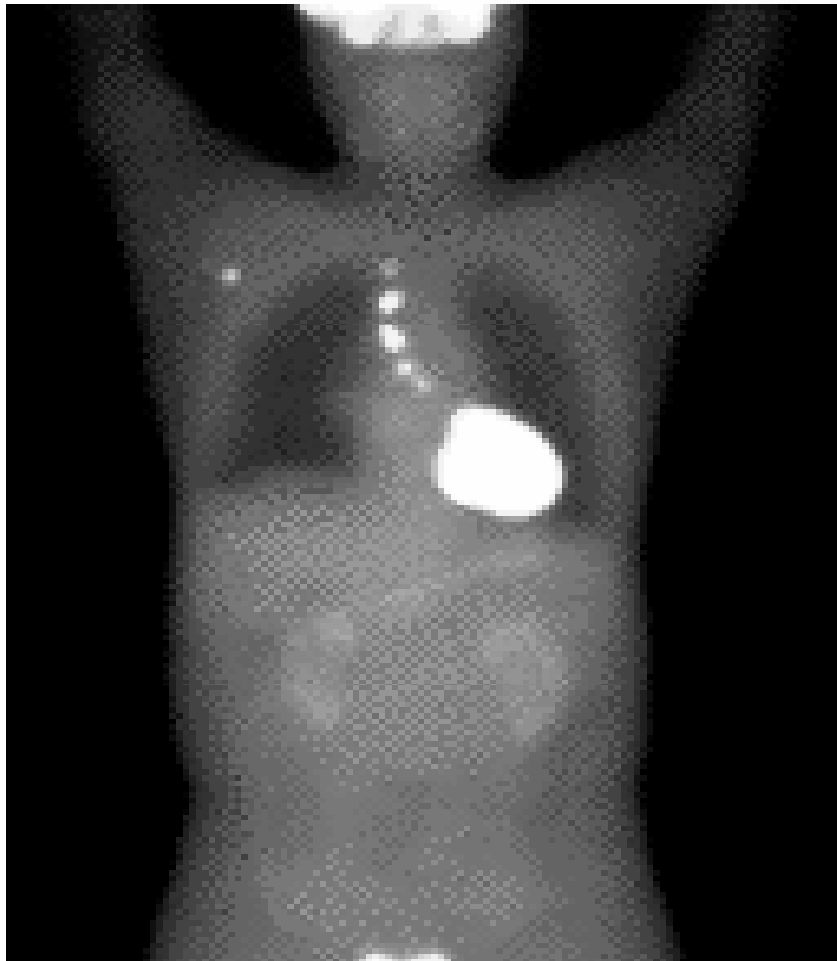
# PET – scintilační detektory



# PET – akvizice a rekonstrukce

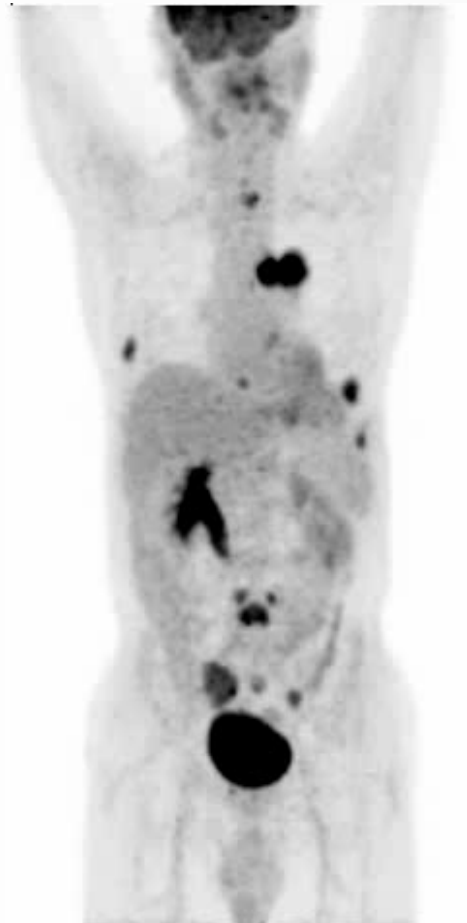


# PET - celotělové zobrazování



*Whole body PET scan of patient  
with metastatic disease*

# PET 3D zobrazování

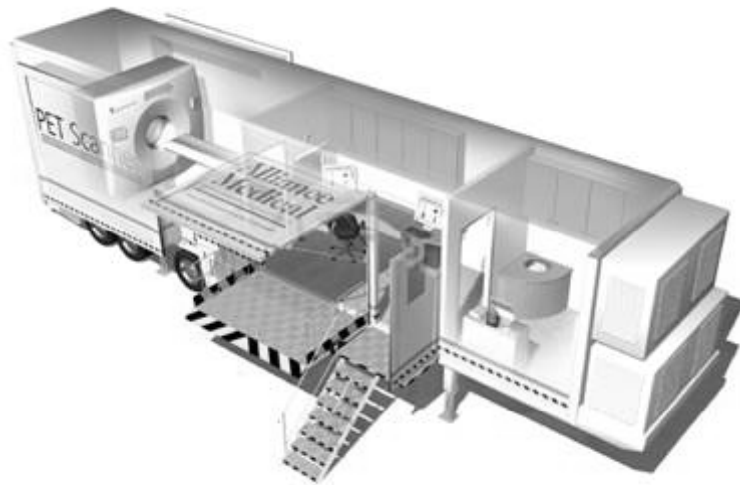




# 3D kombinace PET/CT



# Mobile PET



# Prostorová rozlišovací schopnost lékařských zobrazovacích prostředků

Prostředek	D (mm)	Komentář
Plochý rentgenový film	0,08	dána velikostí ohniska a rozlišením detektoru
Digitální radiografie	0,17	dána velikostí detekčních prvků
Fluoroskopie	0,125	dána velikostí detektoru a plochy ohniska
Plochý mamografický film	<b>0,03</b>	má nejvyšší rozlišení v radiologii
Digitální mamografie	0,05 – 0,1	dána velikostí detekčních prvků
Výpočetní tomografie (CT)	<b>0,4</b>	pro asi 1/2 mm pixely
Planární scintigrafie	7	se vzdáleností od detektoru rychle klesá
SPECT	7	zhoršuje se směrem k centru příčného řezu
PET	<b>5</b>	nejlepší rozlišení ze zobraz. prostředků NM
MR	<b>1</b>	rozlišení se zlepšuje s vyšším magnet. polem
Ultrazvuk	0,3	omezení dáno vlnovou délkou zvuku

# Další informace

Česká společnost nukleární medicíny ČLS JEP

<http://www.csnm.cz>

Česká společnost nukleární medicíny - Windows Internet Explorer

http://www.csnm.cz/

Norton Karty a přihlašovací údaje

Obľíbené položky TuneUp America - Downl... HTC Touch Pro2 - Mobild... HTC Touch Pro 2 Cz SUN... Navrhované weby Galerie oblastí Web Slice

Česká společnost nukleární medicíny

Stránka Zabezpečení Nástroje

Privátní část pro členy ČSNM



ČESKÁ SPOLEČNOST  
NUKLEÁRNÍ MEDICÍNY ČJEP

ČESKÁ SPOLEČNOST NUKLEÁRNÍ MEDICÍNY  
ČLEN ČESKÉ LÉKAŘSKÉ SPOLEČNOSTI JANA EVANGELISTY PURKYNE

O nukleární medicíně  
Koncepce nukleární medicíny  
Seznam pracovišť NM  
Členové  
Sekce  
Odkazy  
Napište nám  
Archív  
Molecular Imaging

Vítáme Vás  
na internetových stránkách **České společnosti nukleární medicíny**, člena  
České lékařské společnosti JEP.

Najdete zde především informace určené pro členy společnosti, jako jsou  
články, recenze přístrojů, kontakty na členy výboru ČSNM a na oddělení  
nukleární medicíny v České republice. Důležitým zdrojem informací pro Vás  
určitě budou stránky věnované PET nebo schválená koncepce nukleární  
medicíny a doporučené standardy. Nezapomínáme ani na nové trendy, jako je  
například telemedicína, PACS a další.

Nelze také zapomenout na aktuální informace, kalendář akcí, konferencí a  
seminářů, případně komerčních prezentací.

Samozřejmě je doplňovaný seznam odkazů na ostatní web servery.

Nejbližší akce  
Podzimní konference ČAS a  
ČSNM  
22. - 23. 10. 2009, Brno  
16. ledna 2010 - Bad Hofgastein  
Radioactive Isotopes in Clinical  
Medicine and Research  
14. Mezinárodní symposium  
Radionuclides in Nephrourology v  
Mikulově  
květen 2010  
[Zobrazit všechny >](#)

Aktuality  
Výroční zprávy - dle sekcí  
[Zobrazit všechny >](#)

MOLECULAR IMAGING  
Vzhledem k  
velkému nárůstu  
těchto vyšetření ve  
světě, zejména v



Hledat na csnm.cz

Najít >

Internet | Chráněný režim: Zapnuto

100%

# Další doporučené informace

RNDr. Vojtěch Ullmann

<http://sweb.cz/AstroNuklFyzika/Fyzika-NuklMed.htm>

AstroNuklFyzika - Microsoft Internet Explorer

Soubor Úpravy Zobrazit Oblíbené Nástroje nápověda

Zpět Hledat Oblíbené

Adresa <http://www.sweb.cz/AstroNuklFyzika/> Přejít Odkazy Průvodce webovými servery

Autor :

**Vojtěch Ullmann**

fyzik




**Jaderná fyzika**  
Nukleární medicína  
Scintigrafie  
Matematická analýza  
Software - OSTNUCLINE



$$R_{ik} - \frac{1}{2}g_{ik}R = \frac{8\pi G}{c^4}T_{ik}$$

**Astrofyzika – kosmologie**  
Teorie relativity, prostoročas  
Gravitace, černé díry  
Antropický princip  
Vesmír a Bůh

\*\*\*\*\*

Cílem těchto www-stránek je podělit se s případnými zájemci o poznatky a postřehy ve čtyřech základních oblastech uvedených v rámech vlevo.

**Struktura www-stránek:**  
Kliknutím na některý ze čtyř tématických rámců se otevře příslušná stránka, na níž je v užším levém rámečku uveden **obsah** (seznam materiálů) konkrétního okruhu. Jednotlivé materiály spouštíme klikáním na příslušná hesla v levém pásu - vybrané téma se otevře a zobrazí se v širokém hlavním rámečku.

Chceme-li přejít na jinou základní oblast, klikneme na "**→ Titulní strana**", což je tato strana, na níž volbou opět jednoho z tématických rámců vybereme novou základní oblast.

Pozn: Při přechodu z úvodní stránky se spolu se seznamem vlevo nejprve

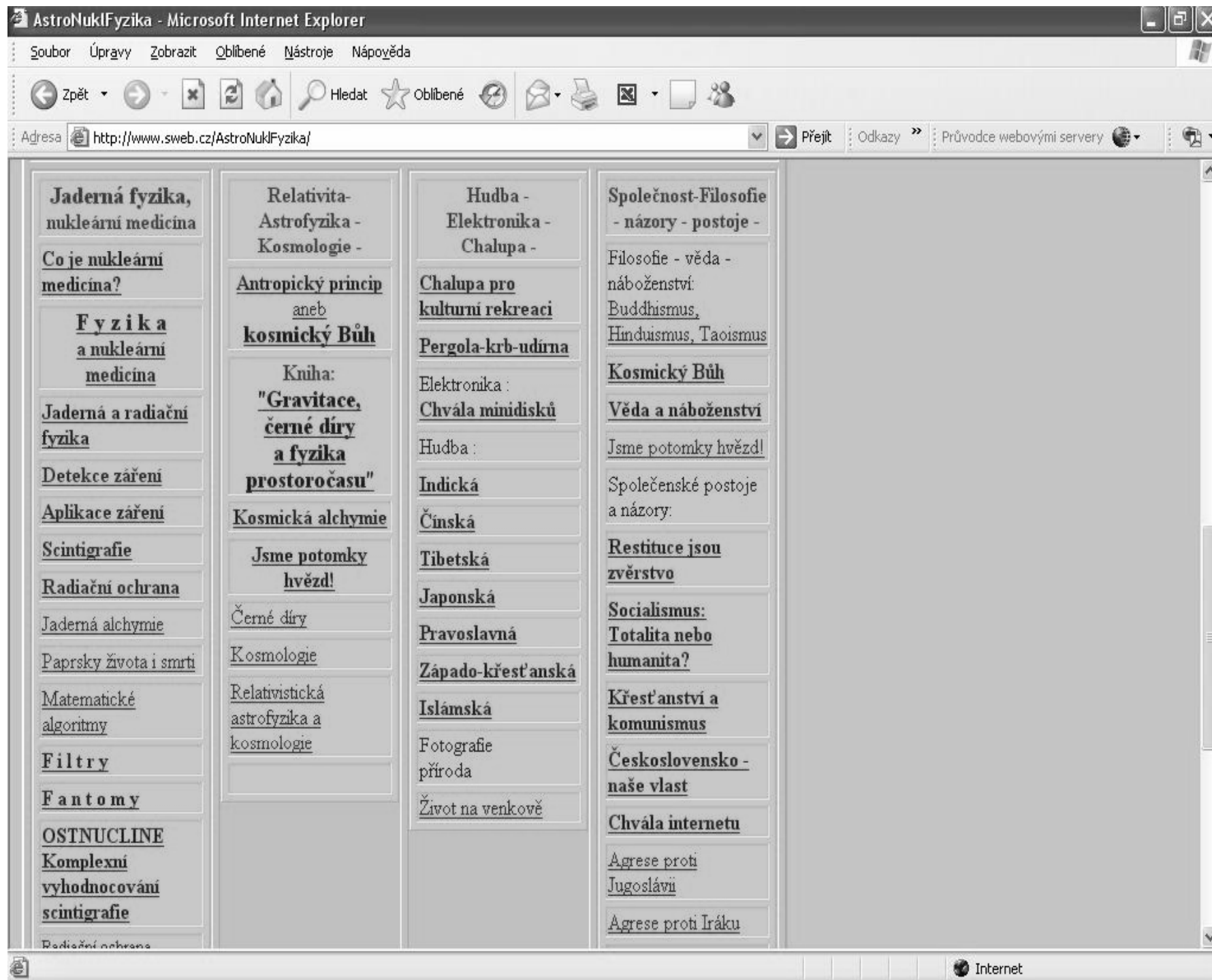
# Odborné texty jsou níže







Internet





## 4. Radioisotopová scintigrafie

### 4.1. Podstata a metody scintigrafie. Pohybový scintigraf.

#### 4.2. Scintilační kamery

#### 4.3. Tomografická scintigrafie

#### 4.4. Hradlovaná scintigrafie

#### 4.5. Fyzikální parametry, kontrola kvality a fantomová scintigrafická měření

#### 4.6. Vztah scintigrafie a ostatních zobrazovacích metod

#### 4.7. Matematická analýza a počítačové vyhodnocování v nukleární medicíně

#### 4.8. Radionuklidy a radiofarmaka pro scintigrafii

## 4.1. Podstata a metody scintigrafie

### Úloha a definice scintigrafie ; nukleární medicína

Ústřední metodou nukleární medicíny je **radioisotopová diagnostika in vivo**: aplikujeme vhodnou chemickou látku s navázaným radionuklidem - tzv. **radioindikátor** či **radiofarmakum** - do organismu, tato látka vstoupí do metabolismu a **distribuuje** se v organismu podle farmakokinetiky daného radioindikátoru. Nejznámějším příkladem je aplikace radioaktivního jodidu sodného  $\text{NaJ}^{131}$ , který se jako každý jód vychytává (akumuluje) ve štítné žláze. Byla vyvinuta řada druhů radiofarmak s afinitou k ledvinám, játrům, kostem, myokardu, některým nádorovým či zánětlivým tkáním, pro jejichž funkci je daná látka indikátorem. Míra lokální akumulace radiofarmaka záleží na intenzitě místních metabolických a funkčních dějů v orgánech a tkáních. Případné poruchy funkce lze pomocí scintigrafického zobrazení lokalizovat a kvantifikovat. Nebo se radionuklid vstříkne do krevního oběhu a sleduje se **dynamika** jeho **průchodu** srdcem, plicemi a velkými cévami (v tomto případě bez metabolické vazby na konkrétní orgán či tkáň).

Distribuce radioindikátoru tedy odráží konkrétní fyziologický či patologický stav nebo funkci příslušných orgánů a tkání. V nejjednodušších případech stačí prosté změření intenzity vycházejícího záření  $\gamma$  z určitého místa (např. ze štítné žlázy - pro stanovení její akumulace) kolimovanou sondou. Pro komplexnější diagnostiku však potřebujeme změřit - zmapovat - zobrazit - celou distribuci radioindikátoru, včetně lokálních detailů a anomálií. K tomu slouží metoda zvaná **scintigrafie** či **gamagrafie** \*).

Scintigrafie :

Scintigrafie či gamagrafie je fyzikálně-elektronická metoda zobrazení distribuce radioindikátoru v organismu na základě zevní detekce vycházejícího záření gama

Konec  
úvodu do  
fyzikálně – technických základů nukleární medicíny