

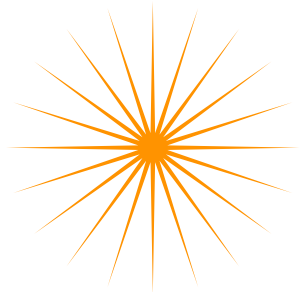
This is what you should know after this lecture + own work:

1. Describe how a gamma camera works (list the main components and their function, describe how events are positioned)
2. Estimate sensitivity and spatial resolution of a gamma camera
3. Describe how the spatial resolution can be measured
4. Describe how different camera designs influence sensitivity and spatial resolution
5. List properties of radioisotopes that are relevant for gamma imaging and discuss how they influence the image
6. Describe the effect of attenuation in Single Photon Emission (SPE) imaging

Emission 2
(single photon emission)

Vad är objekt och bild i emission?

vi börjar enkelt:



källa

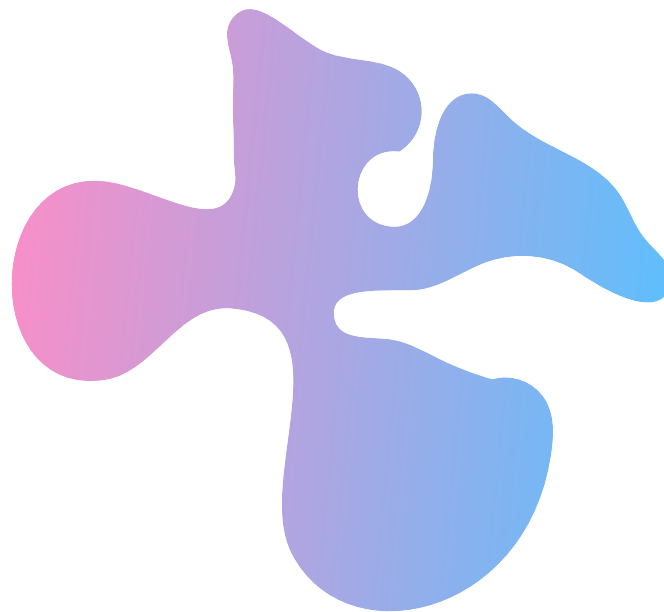


detektor

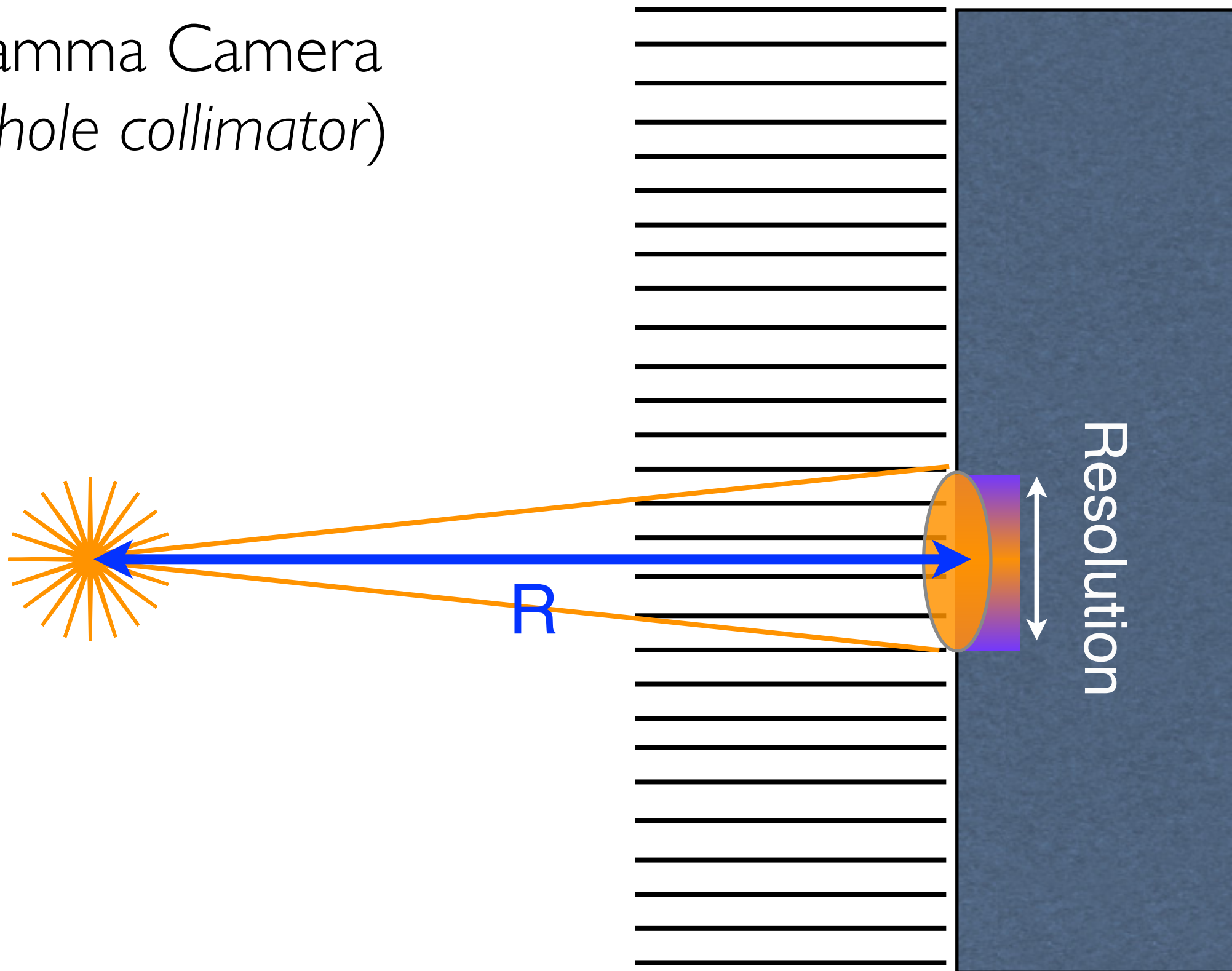
vad betyder att få en bild av källan?

1. Bestämna dess position
2. Bestämna dess aktivitet

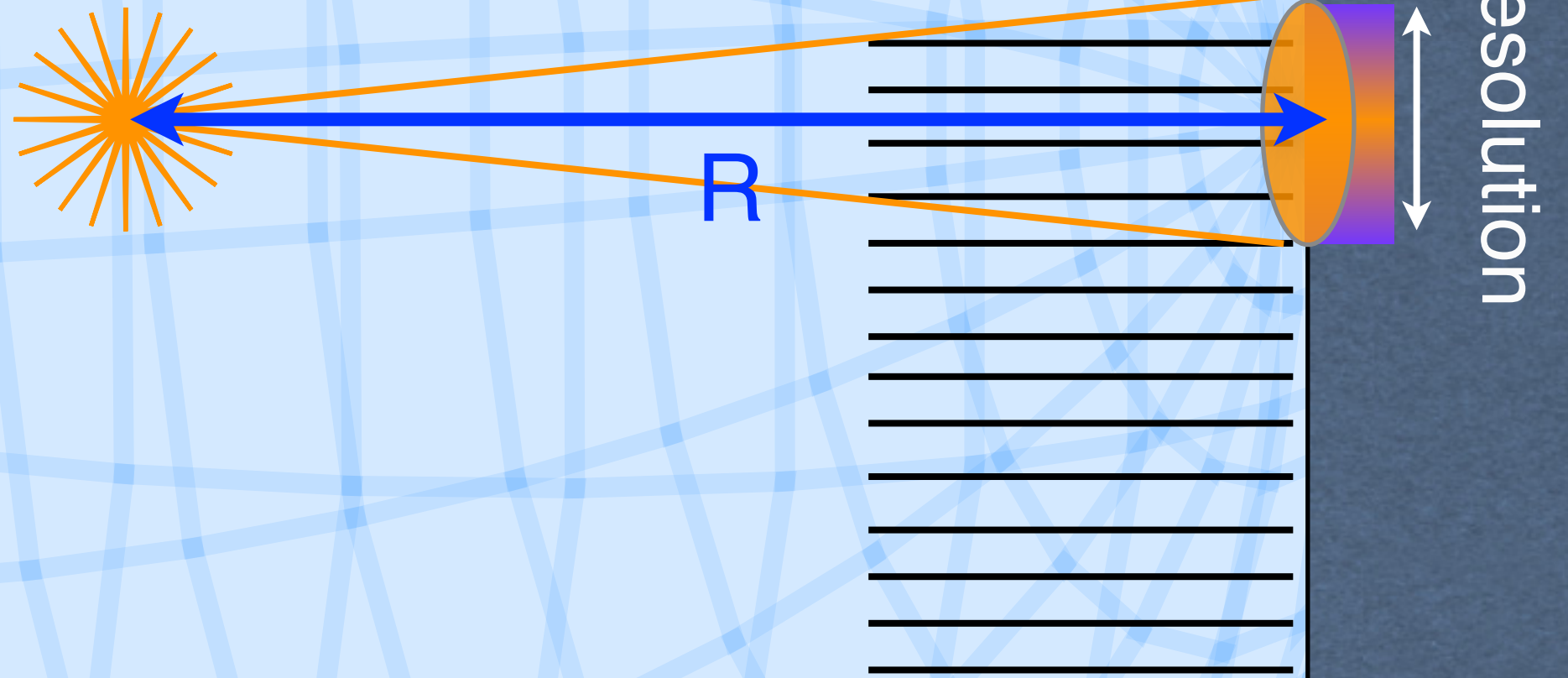
för vilken källa som helst, bestämma aktivitetsfördelning i rummet: $a(x,y,z)$



Sensitivity Gamma Camera (with *parallel-hole* collimator)

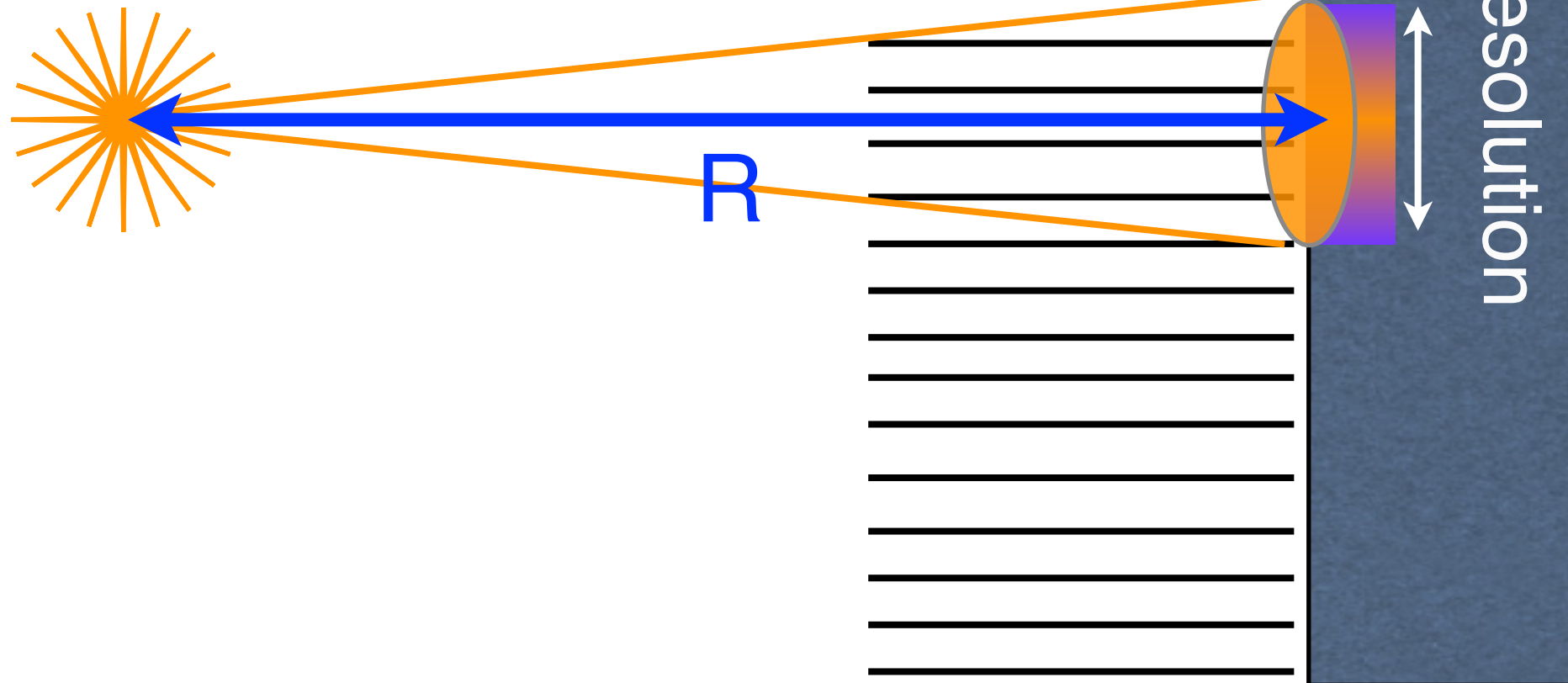


Sensitivity Gamma Camera (with parallel-hole collimator)



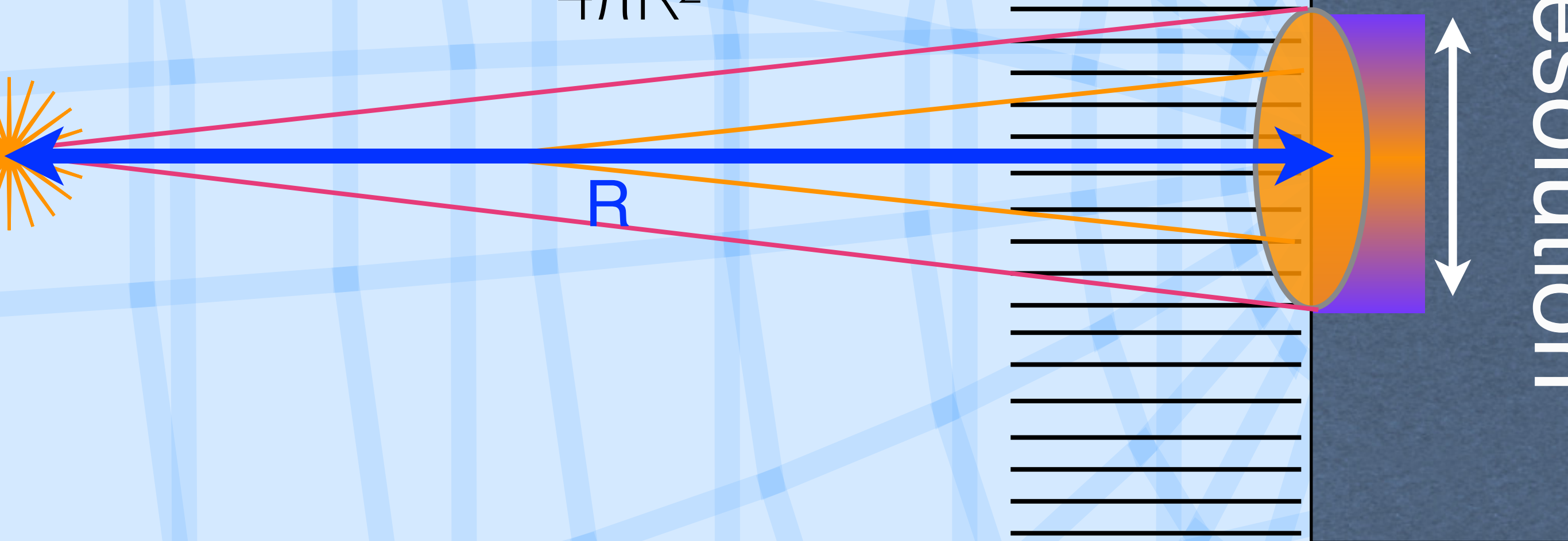
Sensitivity Gamma Camera (with parallel-hole collimator)

$$\text{Sensitivity} \propto \frac{\pi(\text{Resolution}/2)^2}{4\pi R^2}$$



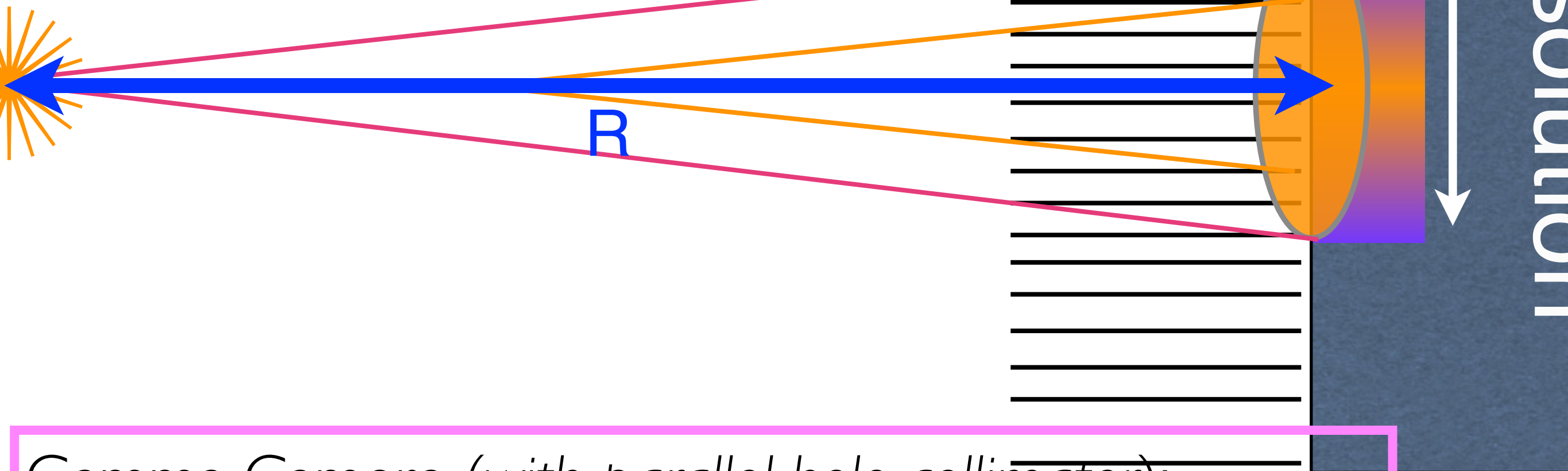
Sensitivity Gamma Camera (with parallel-hole collimator)

$$\text{Sensitivity} \propto \frac{\pi(\text{Resolution}/2)^2}{4\pi R^2}$$



Sensitivity Gamma Camera (with parallel-hole collimator)

$$\text{Sensitivity} \propto \frac{\pi(\text{Resolution}/2)^2}{4\pi R^2}$$

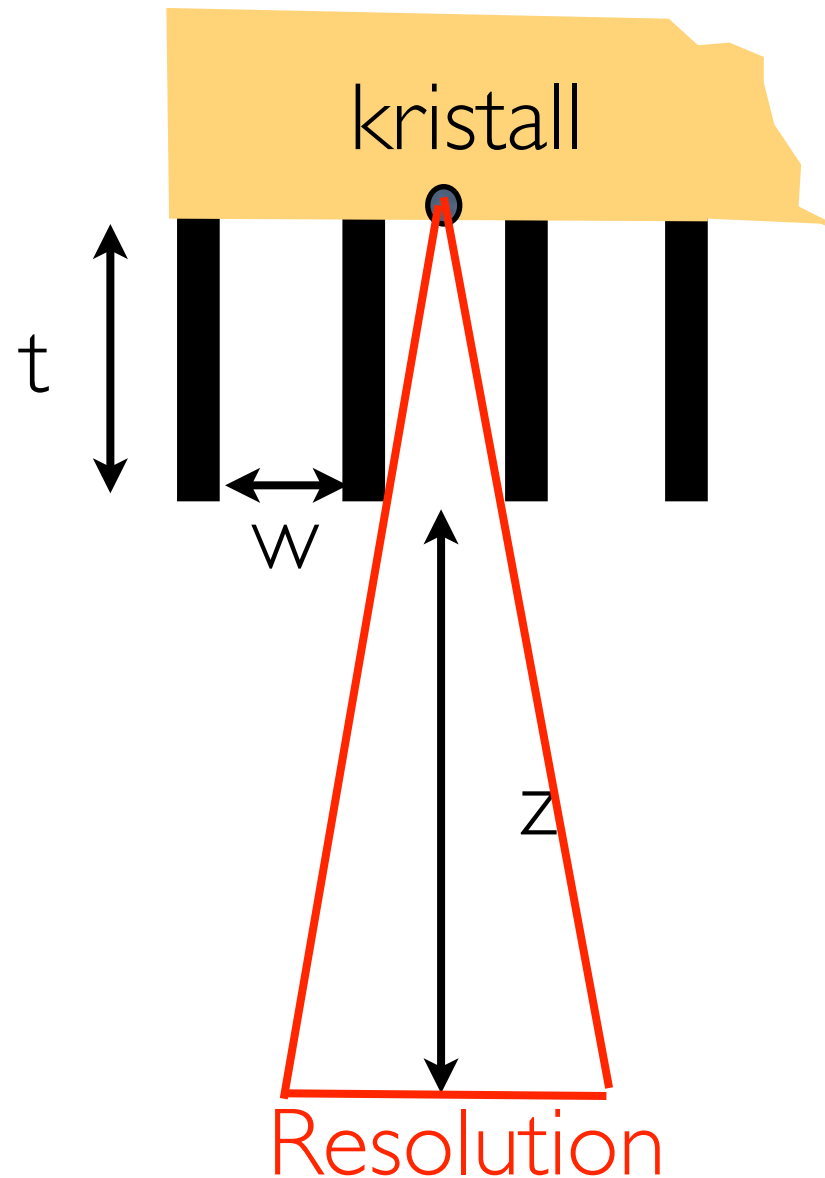


Gamma Camera (with parallel-hole collimator):

1. Resolution strongly dependent on distance
2. Sensitivity ~ almost independent on distance

Do try this at home!

Tips: vänd på problemet, låtsas att du detekterar en träff på detektor och tänk på varifrån strålen kan komma

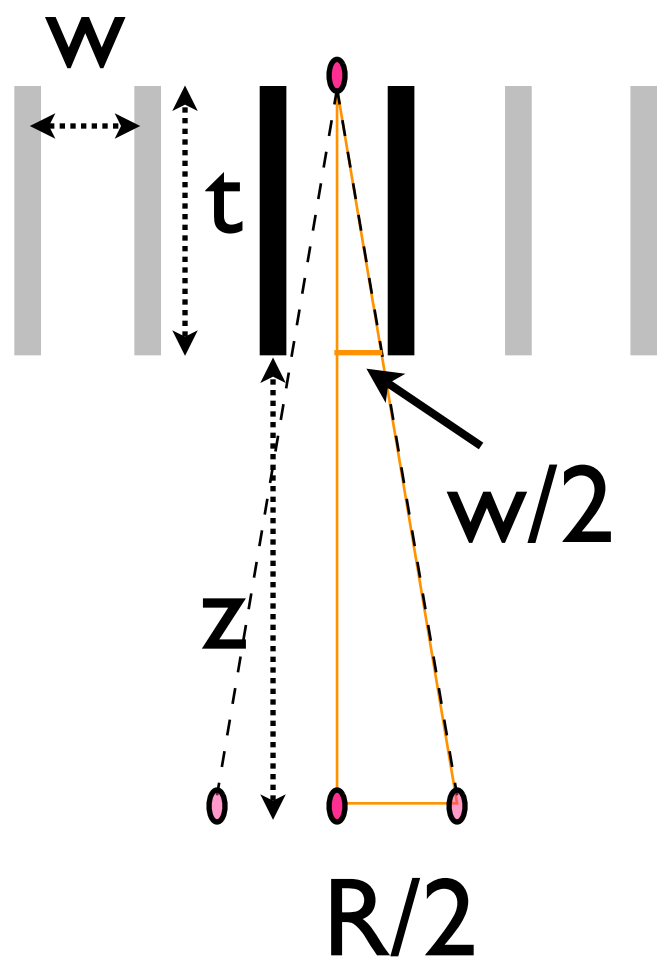


OBS

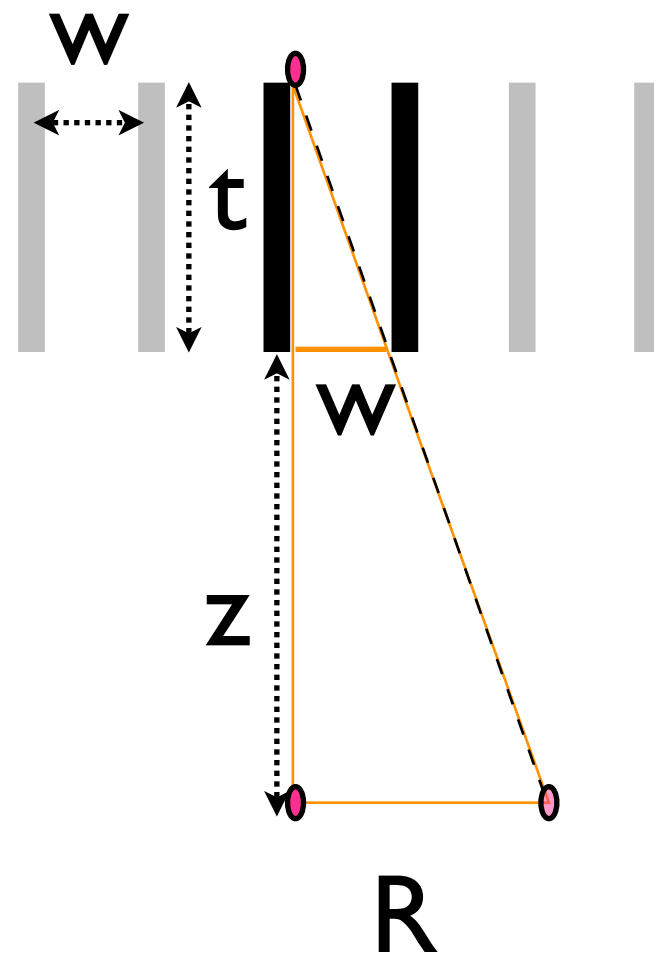
w är ofta inte direkt angiven utan pitch och septarnas tjocklek ges

Uttryck Resolution i t , w och z

(egentligen bör jag säga kollimator resolution)



$$\frac{\frac{R}{2}}{t+z} = \frac{\frac{w}{2}}{t}$$

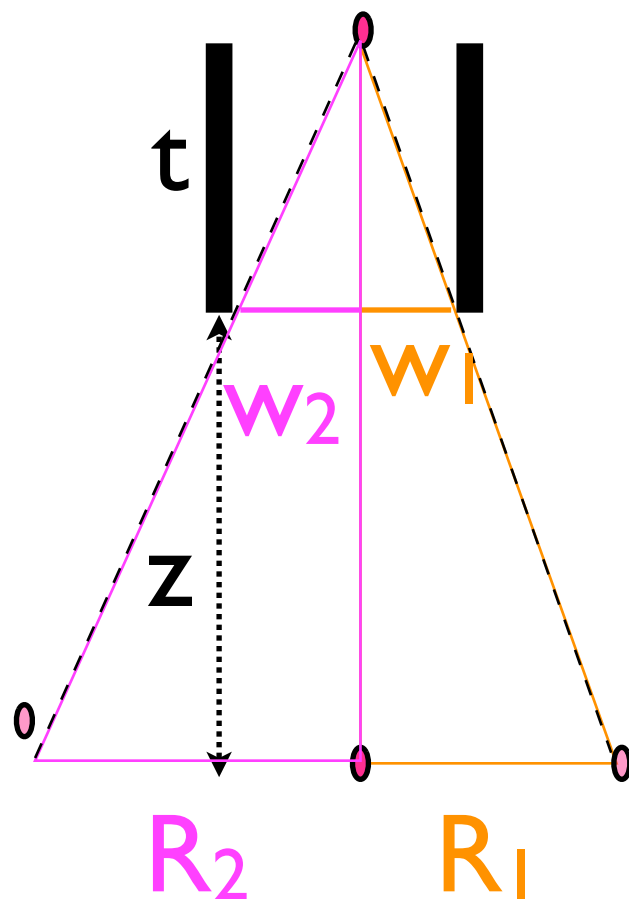


$$\frac{R}{t+z} = \frac{w}{t}$$

$$R_1 + R_2 = R$$

&

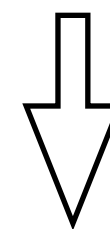
$$w_1 + w_2 = w$$



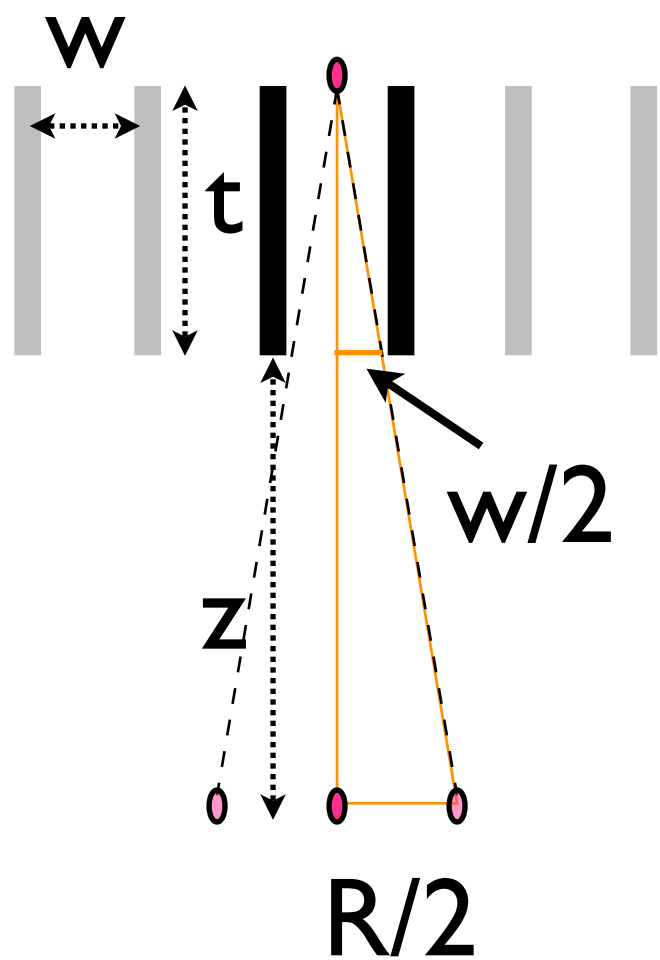
$$\frac{R_1}{t+z} = \frac{w_1}{t}$$

&

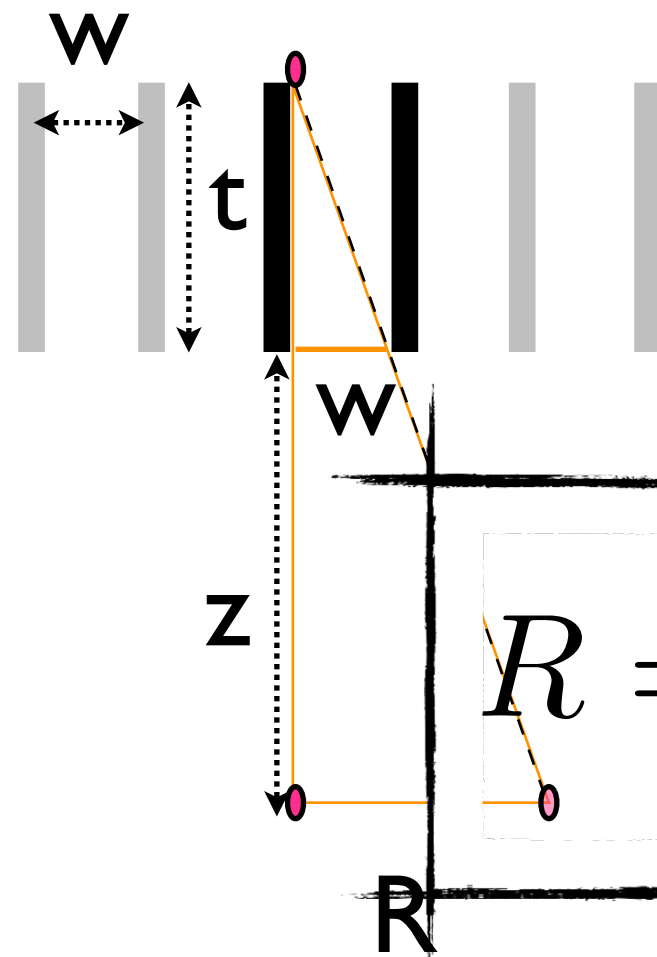
$$\frac{R_2}{t+z} = \frac{w_2}{t}$$



$$\frac{R_1 + R_2}{t+z} = \frac{w_1 + w_2}{t}$$



$$\frac{\frac{R}{2}}{t + z} = \frac{\frac{w}{2}}{t}$$



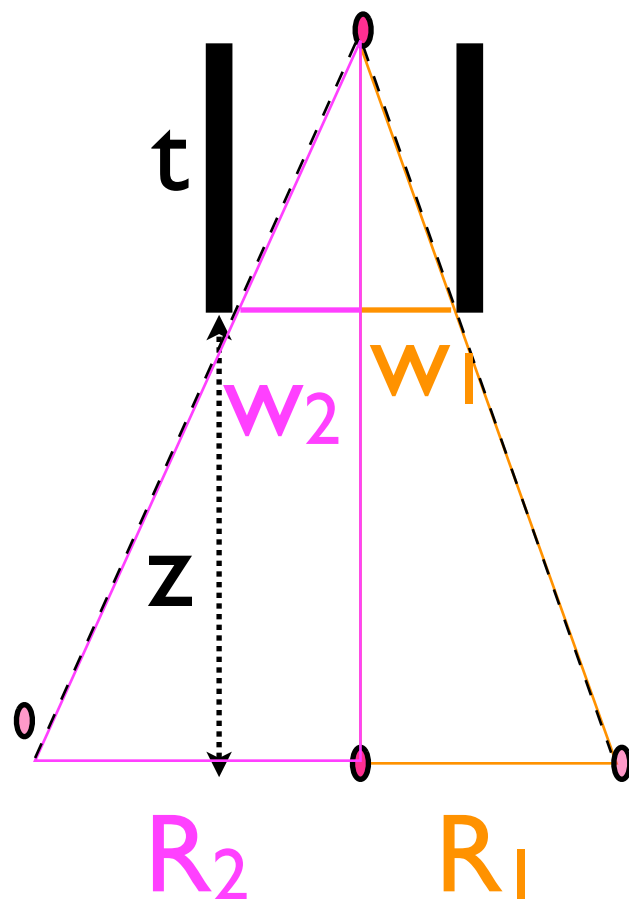
$$\frac{R}{t + z} = \frac{w}{t}$$

$$R = \frac{w}{t} (t + z)$$

$$R_1 + R_2 = R$$

&

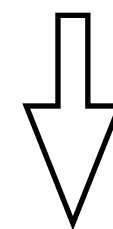
$$w_1 + w_2 = w$$



$$\frac{R_1}{t + z} = \frac{w_1}{t}$$

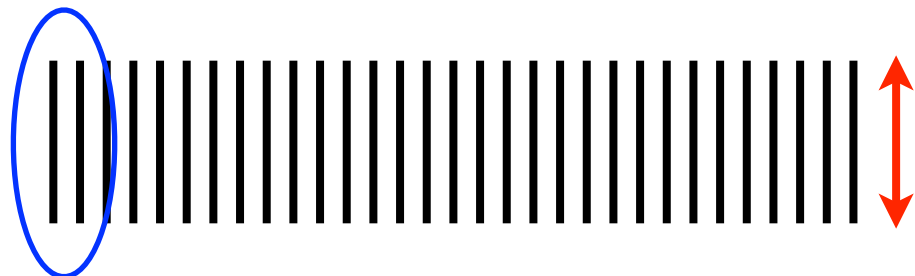
&

$$\frac{R_2}{t + z} = \frac{w_2}{t}$$

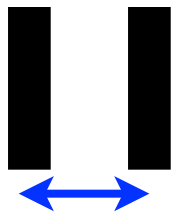


$$\frac{R_1 + R_2}{t + z} = \frac{w_1 + w_2}{t}$$

kollimatorer



depth or length



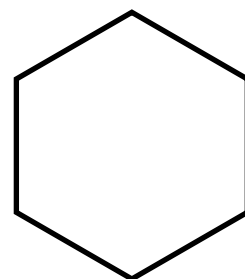
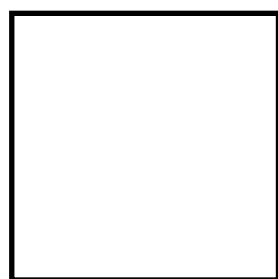
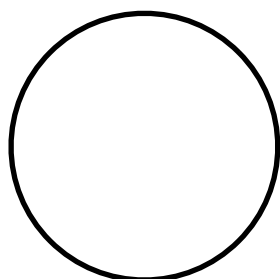
pitch

efficiency:

$$\sim \text{pitch} \sim \frac{1}{\text{depth}}$$

resolution:

$$\sim \text{depth} \sim \frac{1}{\text{pitch}}$$



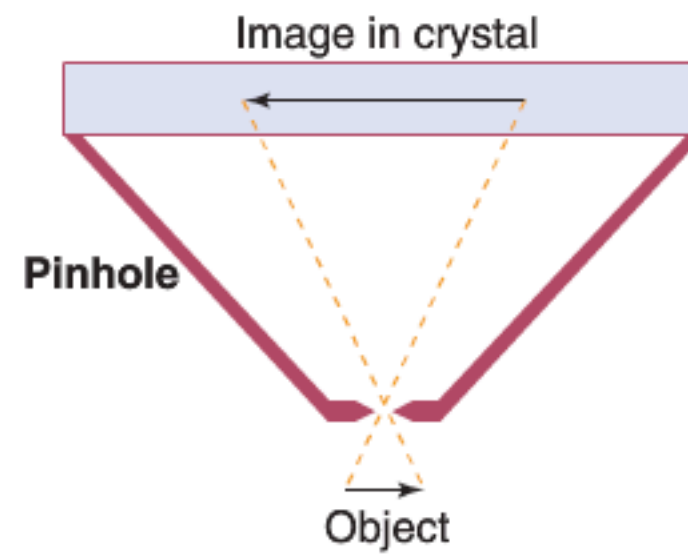
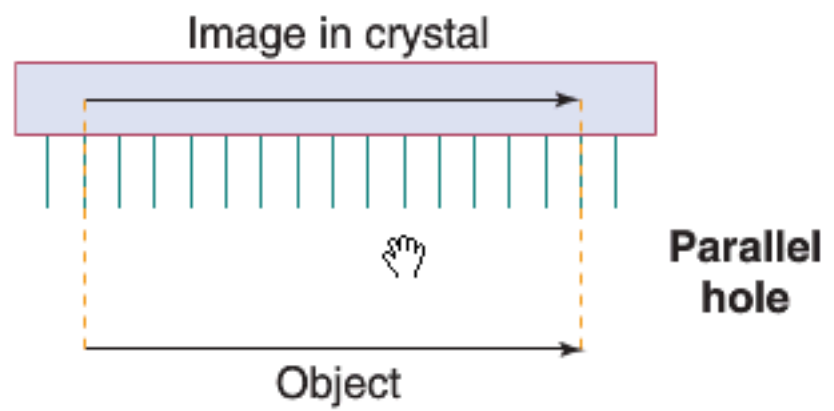
vanligaste hålförm

LEHR
igh
energy
ow
resolution

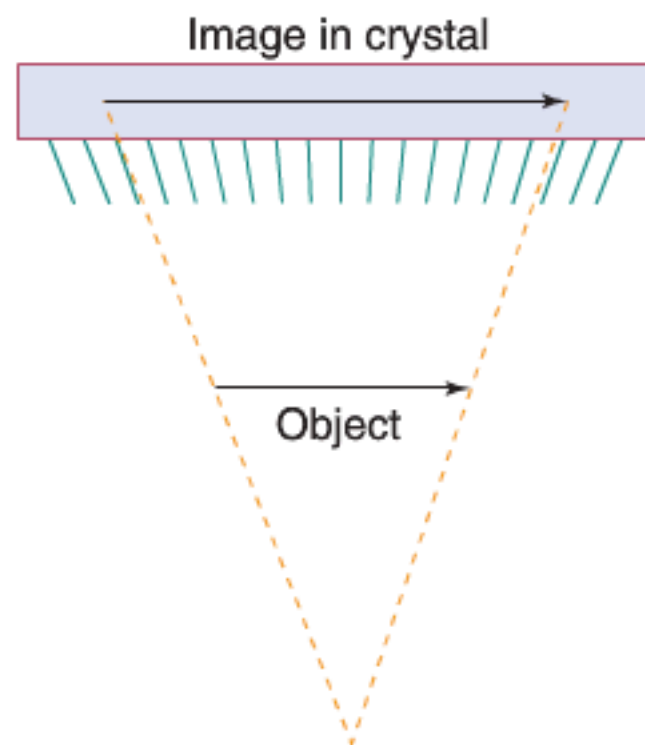
LEHS
igh
energy
ow
sensitivity

LEAP
ow
energy
urposes

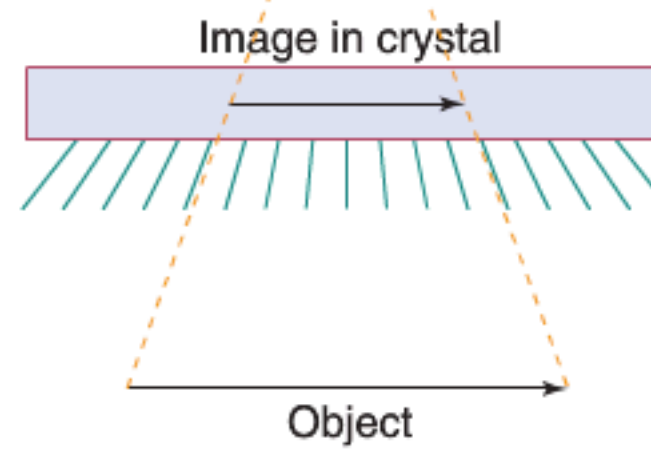
kollimatorer



Converging



Diverging



trade offs

hög effektivitet ---> kortare undersökningstid

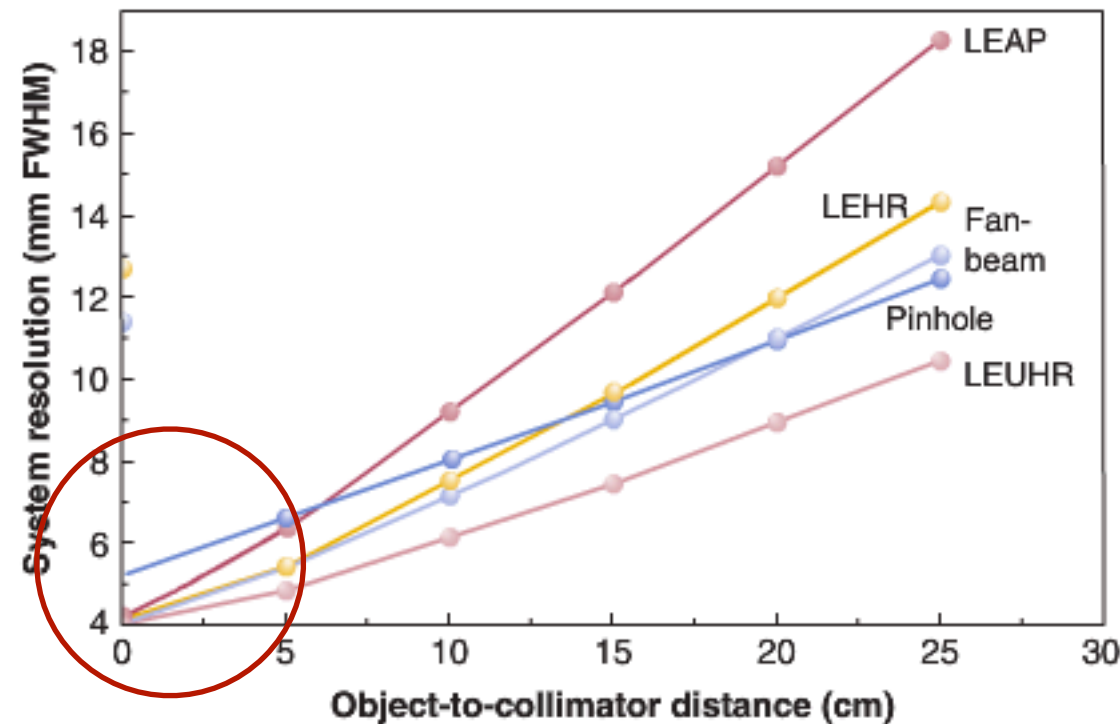
--->
sämre upplösning

mindre rörelse-artefakter
bättre patientcomfort
... eller lägre dos

skitbild

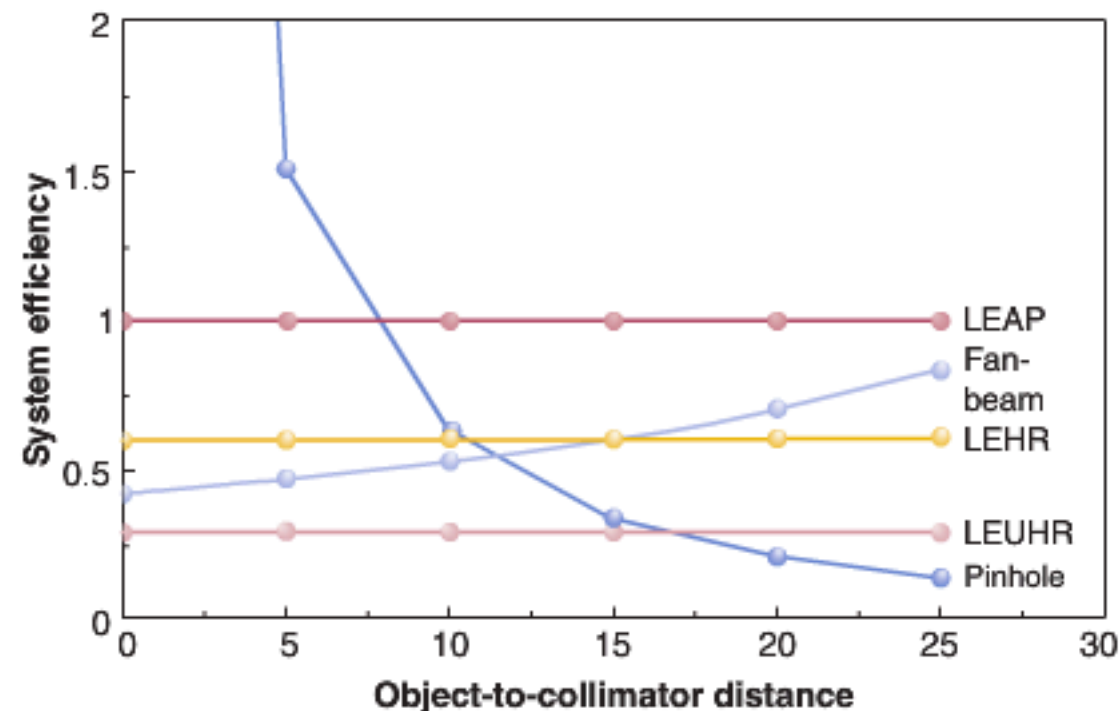
Spatiell upplösning och effektivitet för olika kollimatorer

avvikelsen från
linjärt trend beror på
intrinsic upplösning



kom ihåg uttrycket för
upplösning, R , som funktion av
avståndet, z , för parallel-hole
collimator

$$R = \frac{w}{t} (t + z)$$



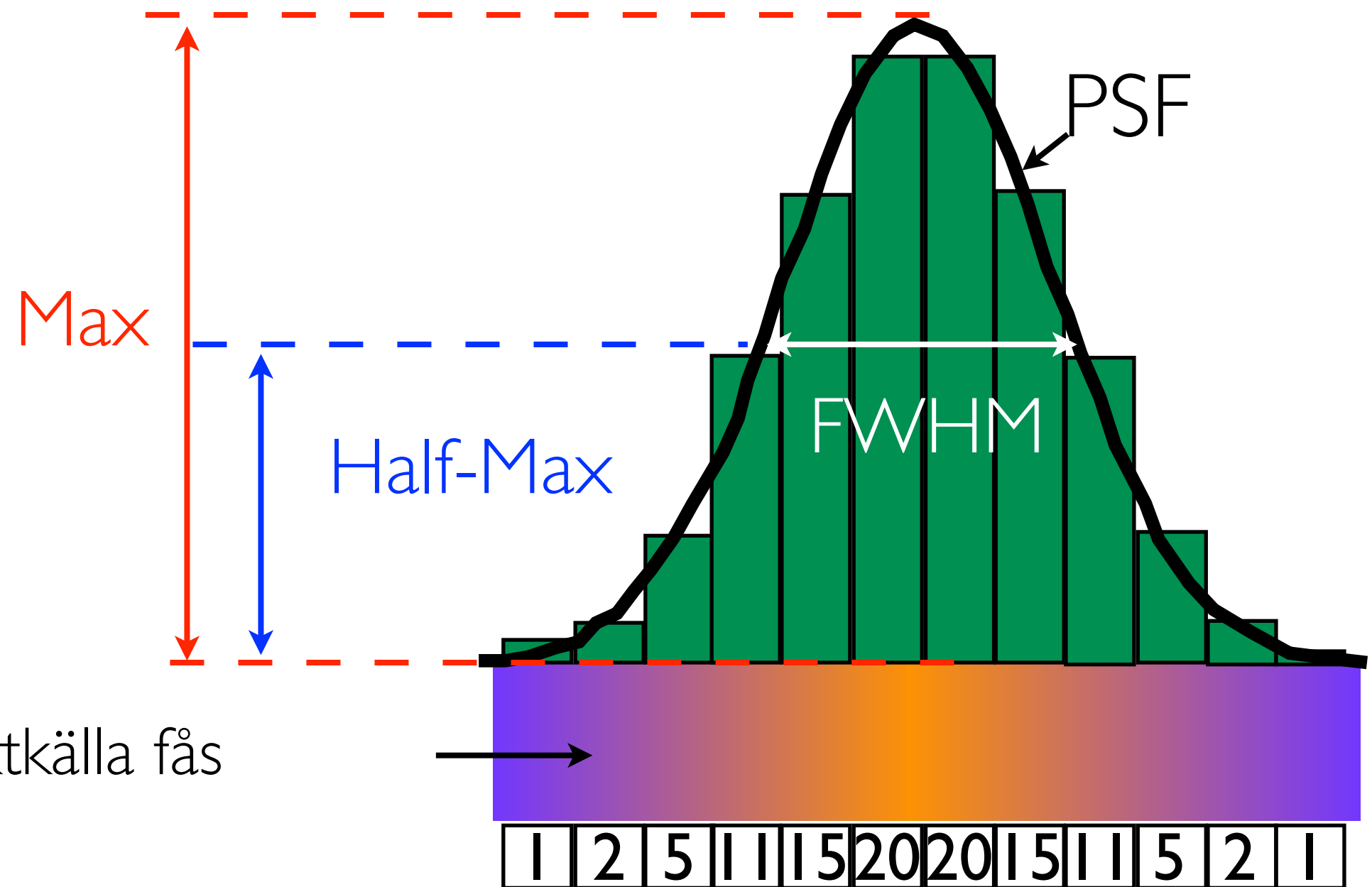
Att mäta spatiell upplösning

Point spread function: ett mått på resolution

från en punktkälla fås



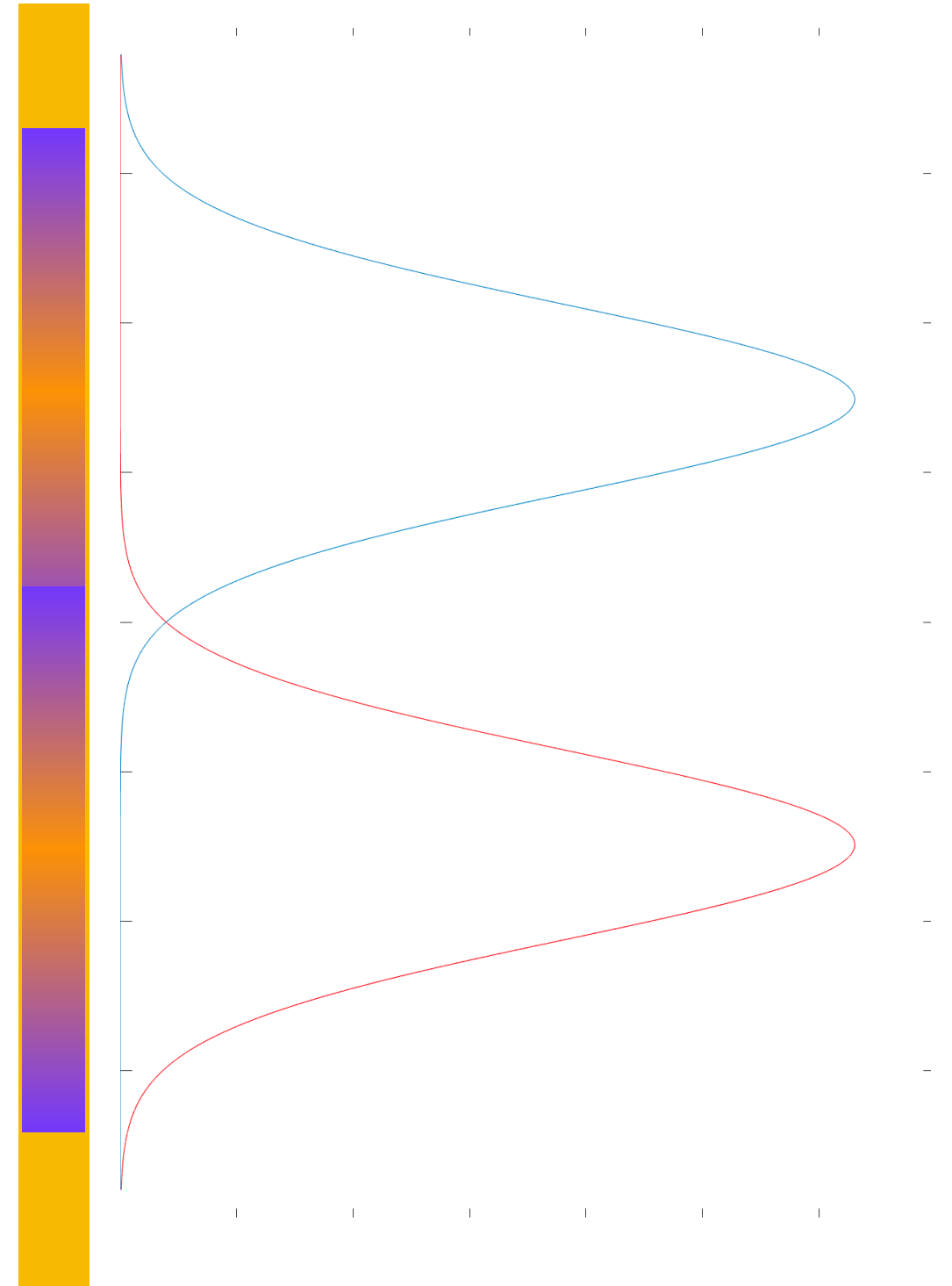
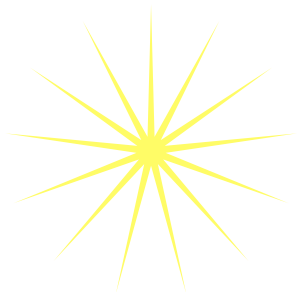
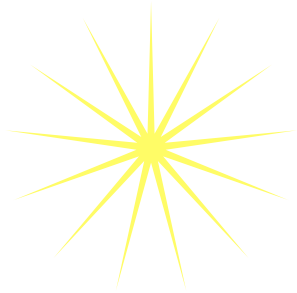
Point spread function: ett mått på resolution



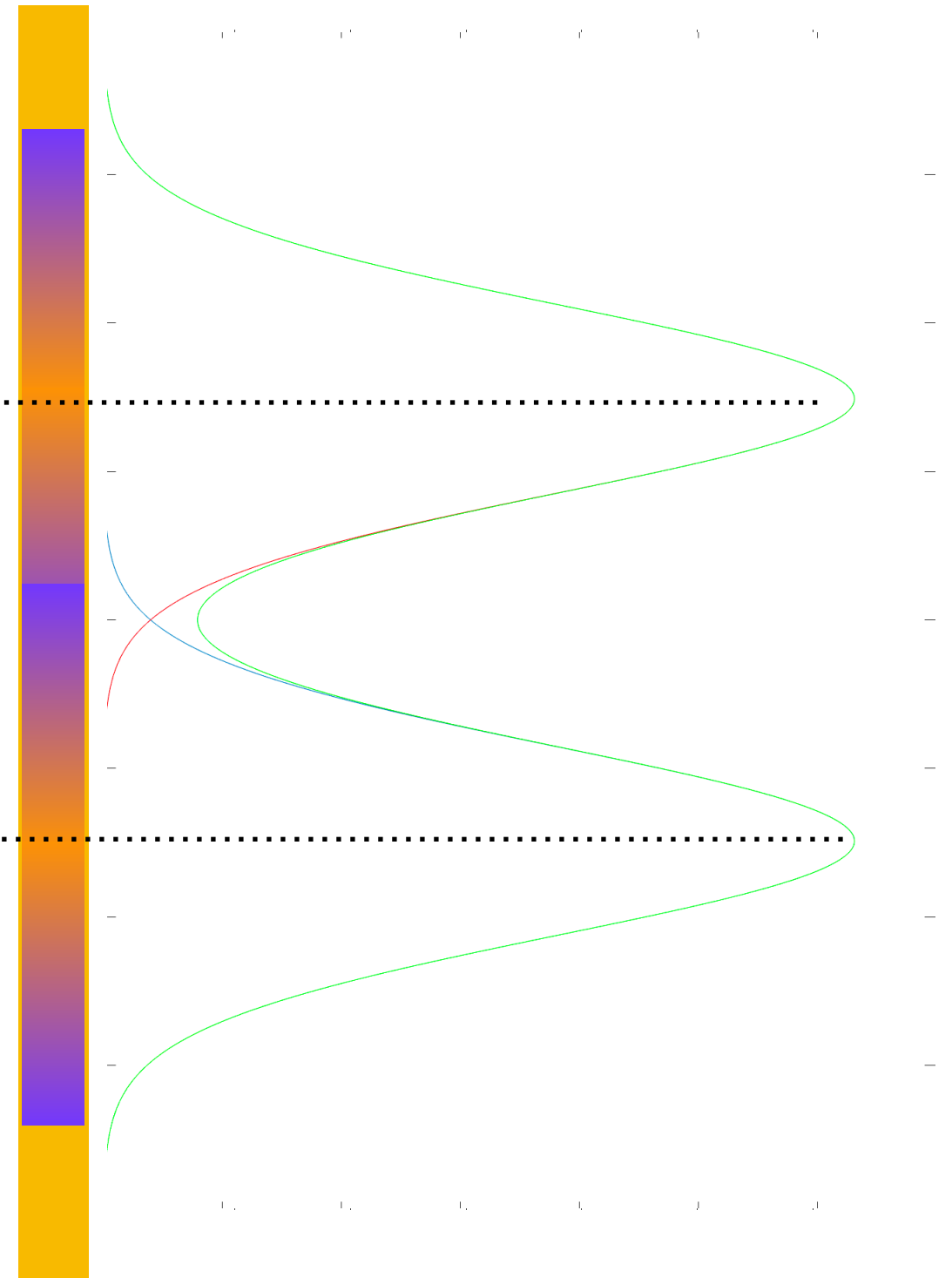
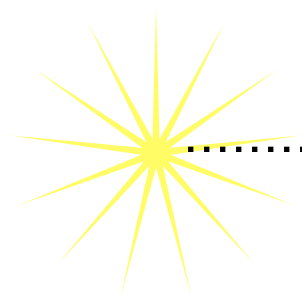
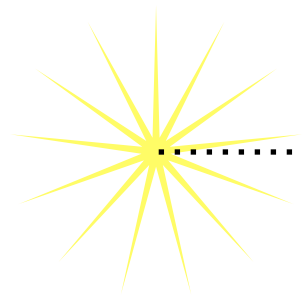
Def
Resolution = FWHM

Resolution i detta fall?

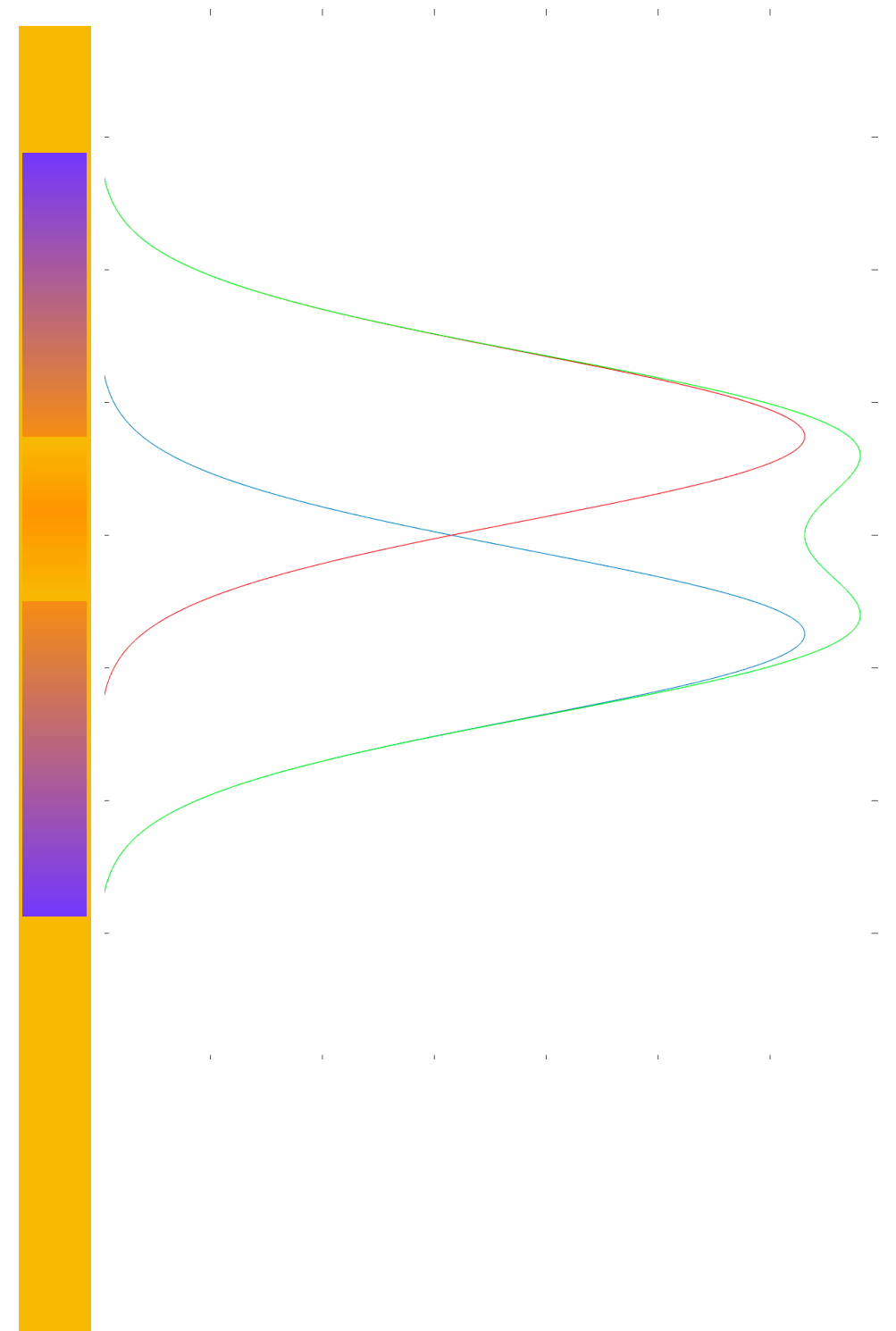
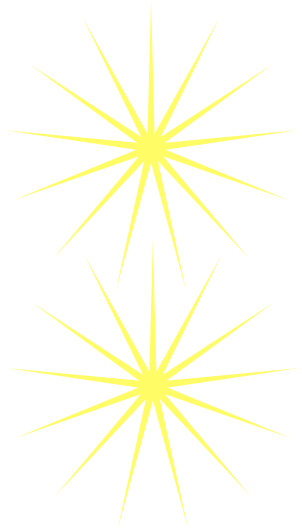
Varför FWHM?



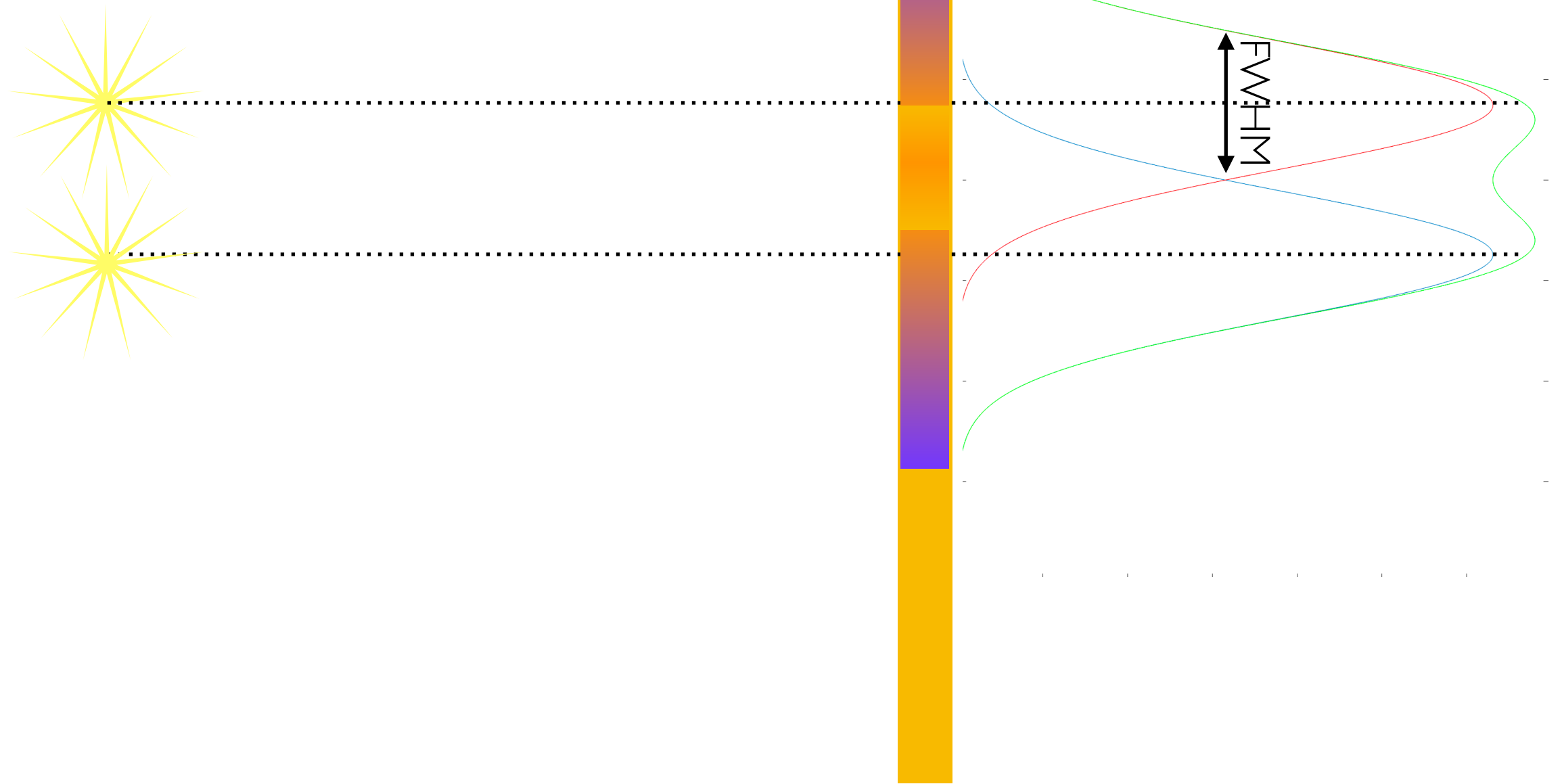
Varför FWHM?



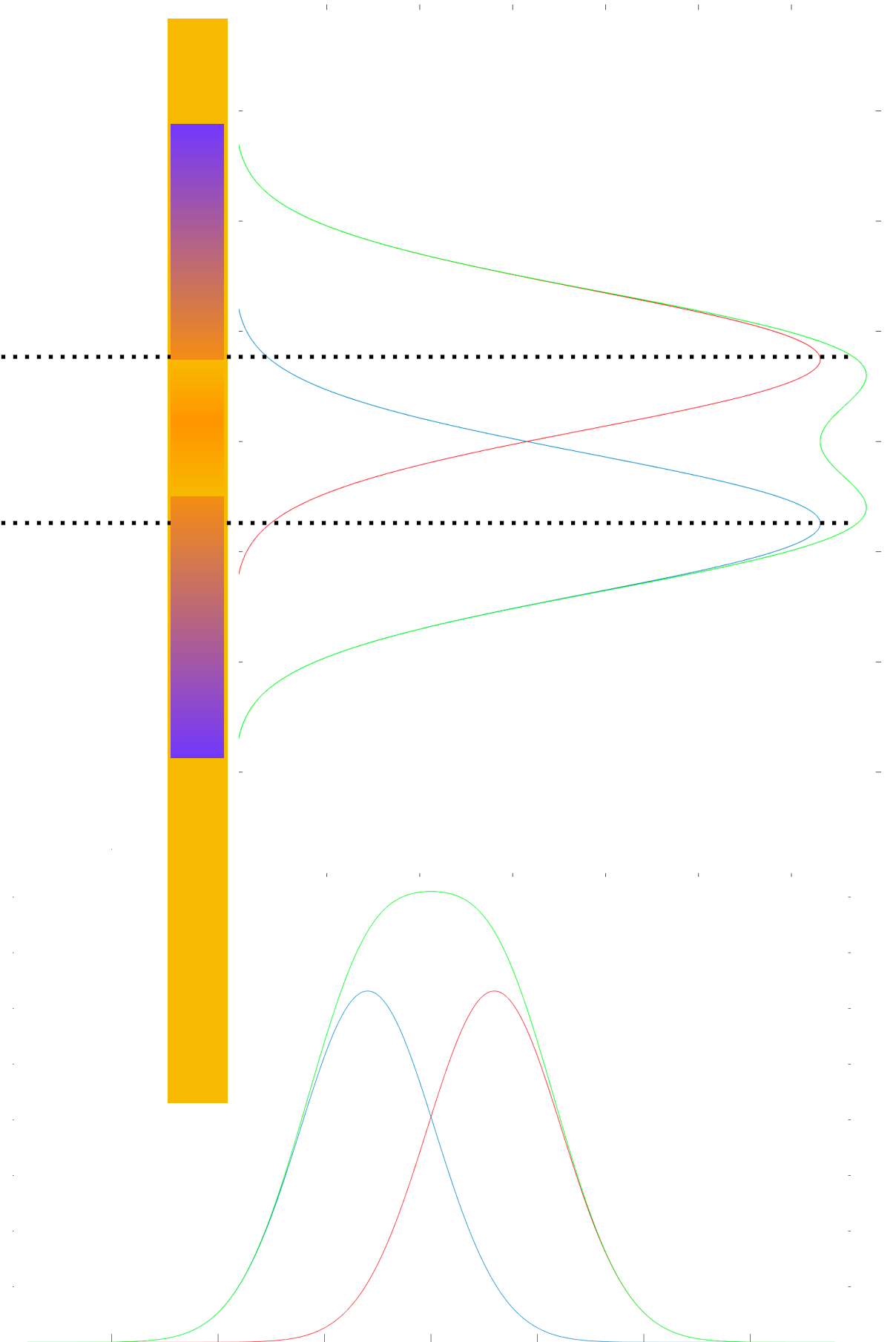
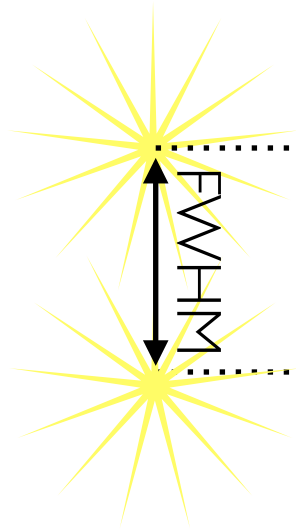
Varför FWHM?



Varför FWHM?



Varför FWHM?

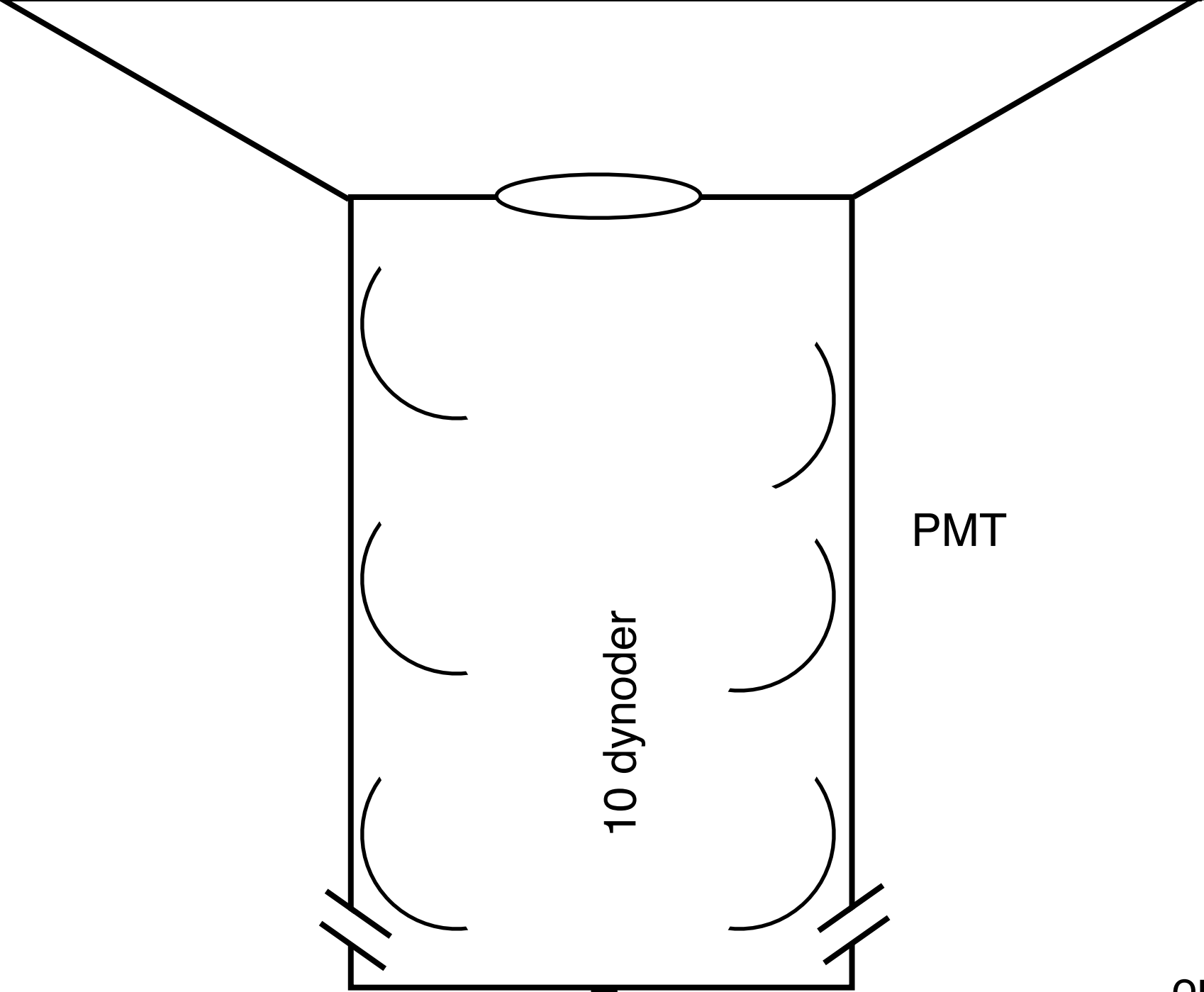


Om källorna flyttas närmare:

Positionsbestämmeelse i
kristallen
(intrinsic resolution)



scintillator



10 dynoder

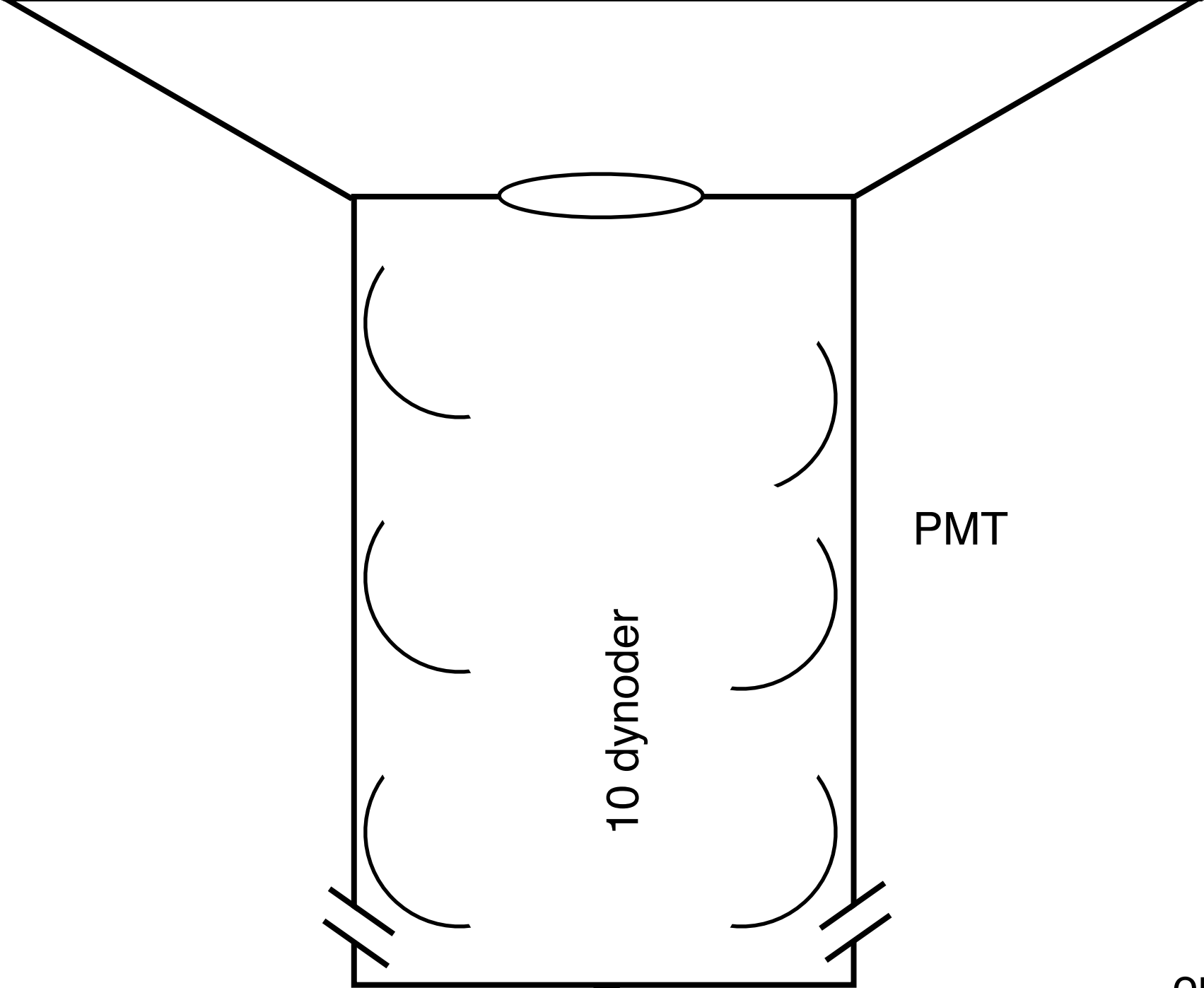
PMT

output

$\gamma, E \sim 1 \text{ MeV}$



scintillator

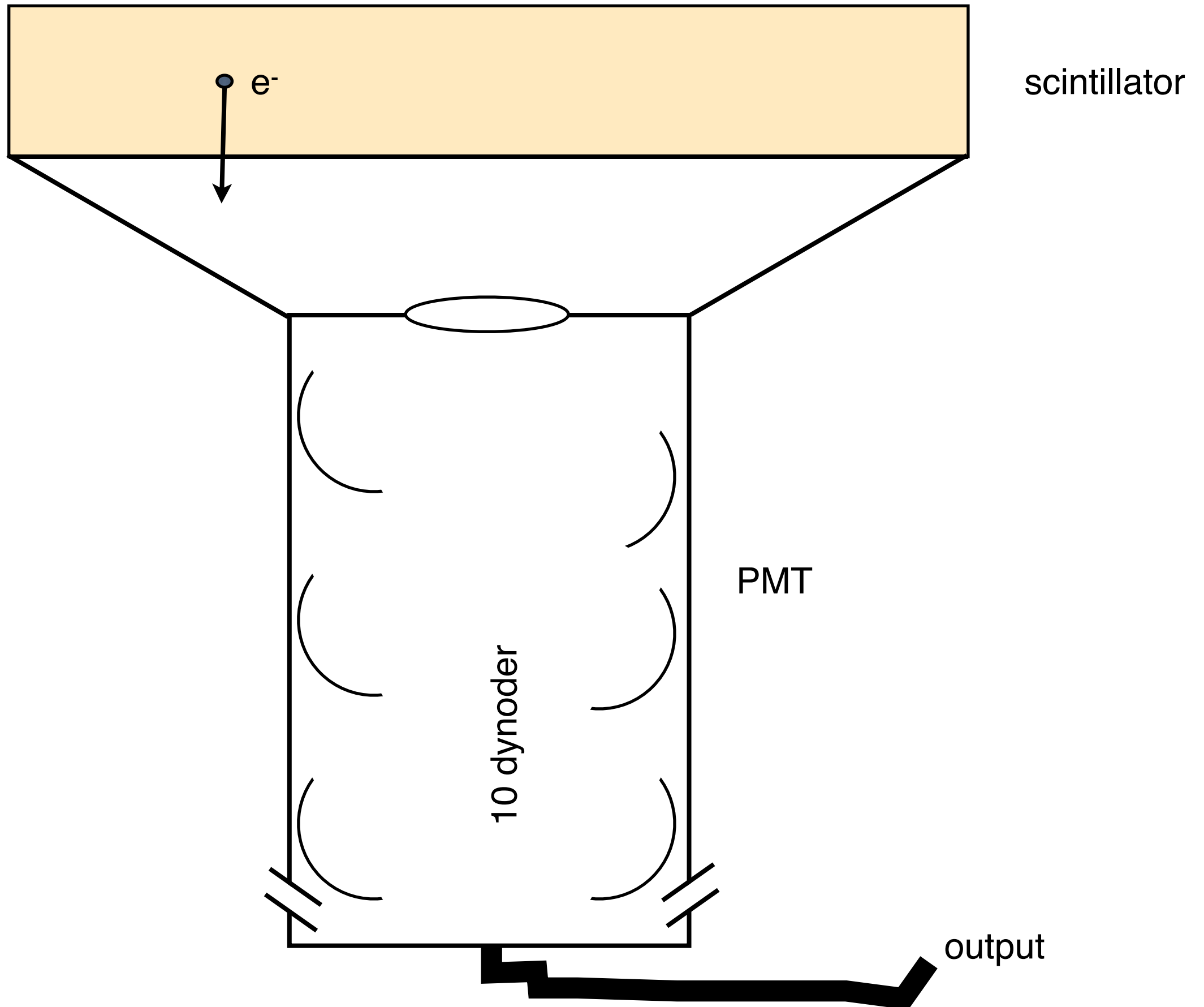


PMT

10 dynoder

output

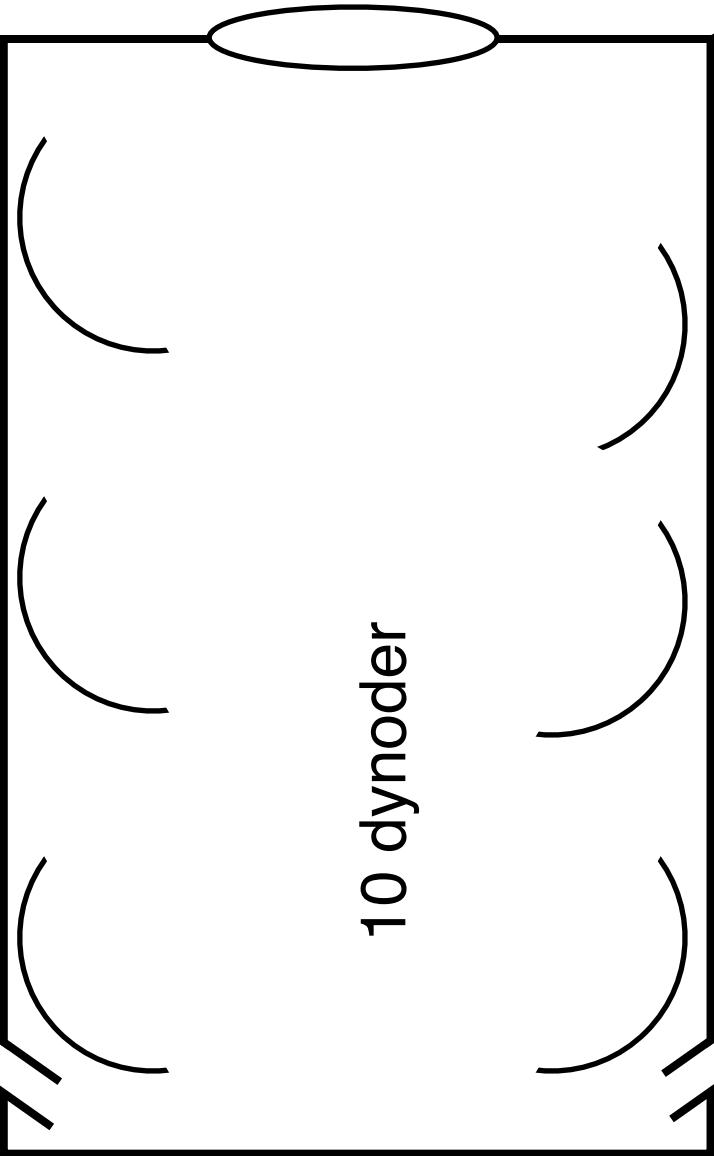
γ , $E \sim 1 \text{ MeV}$



$\gamma, E \sim 1 \text{ MeV}$



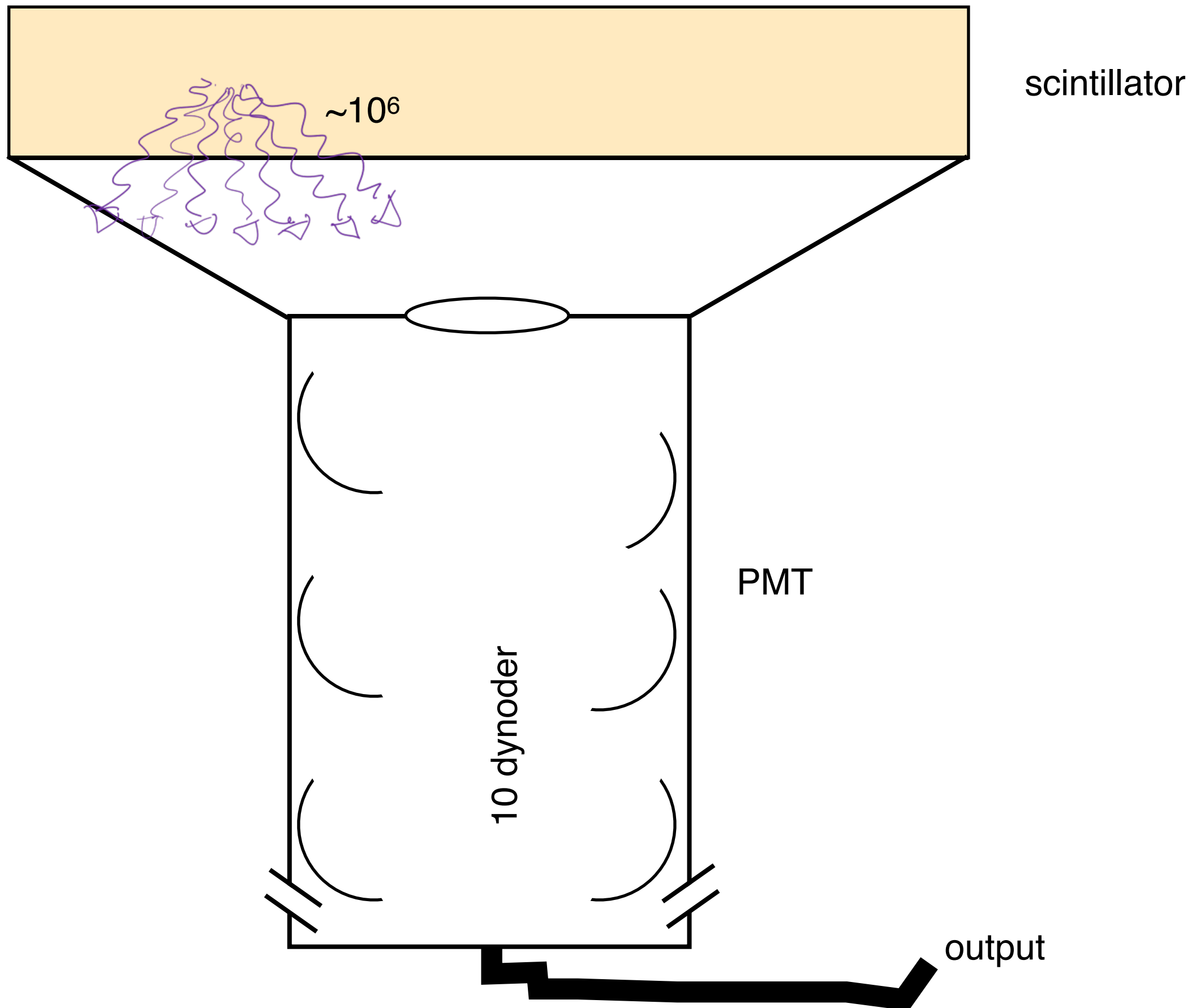
scintillator



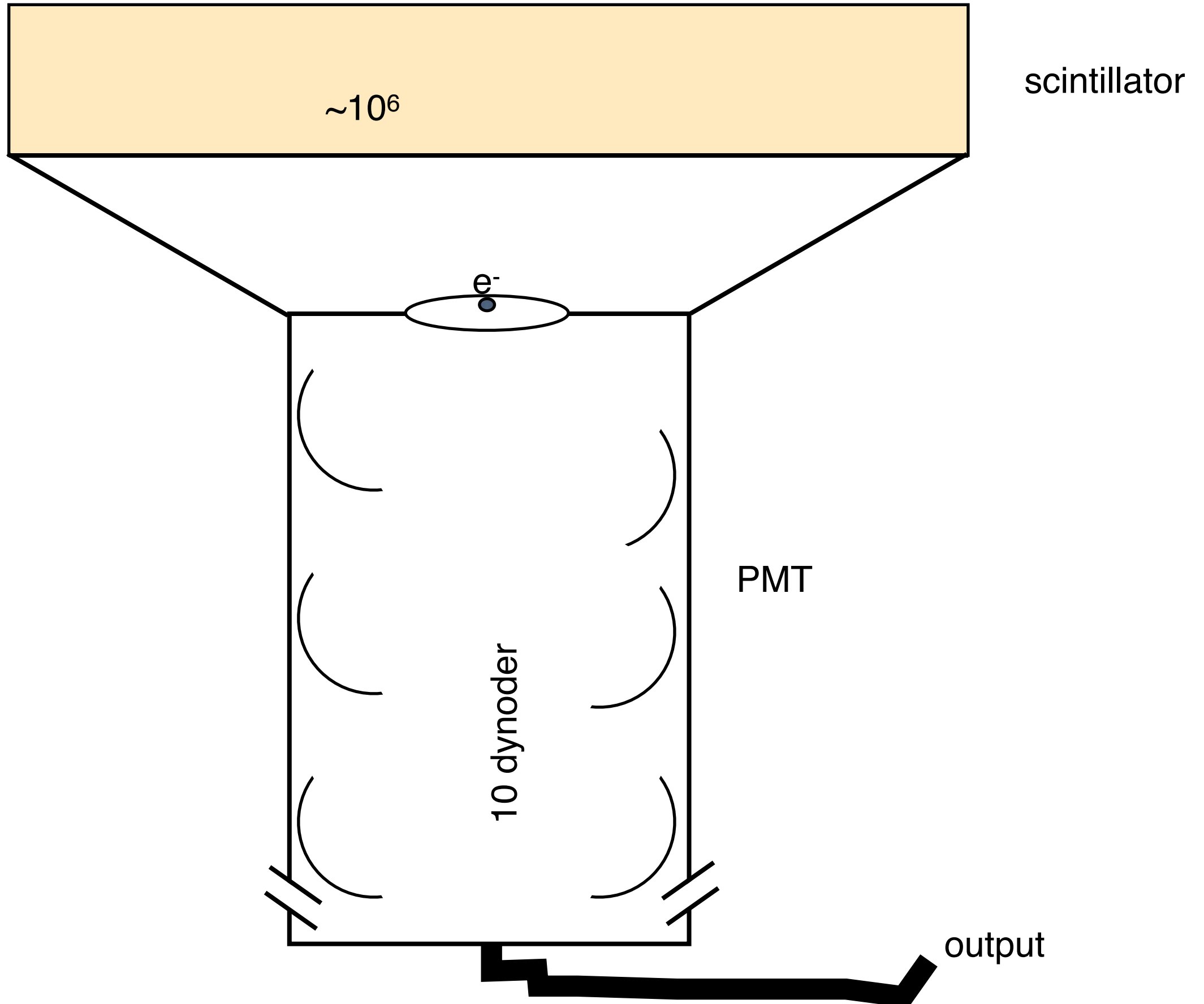
PMT

output

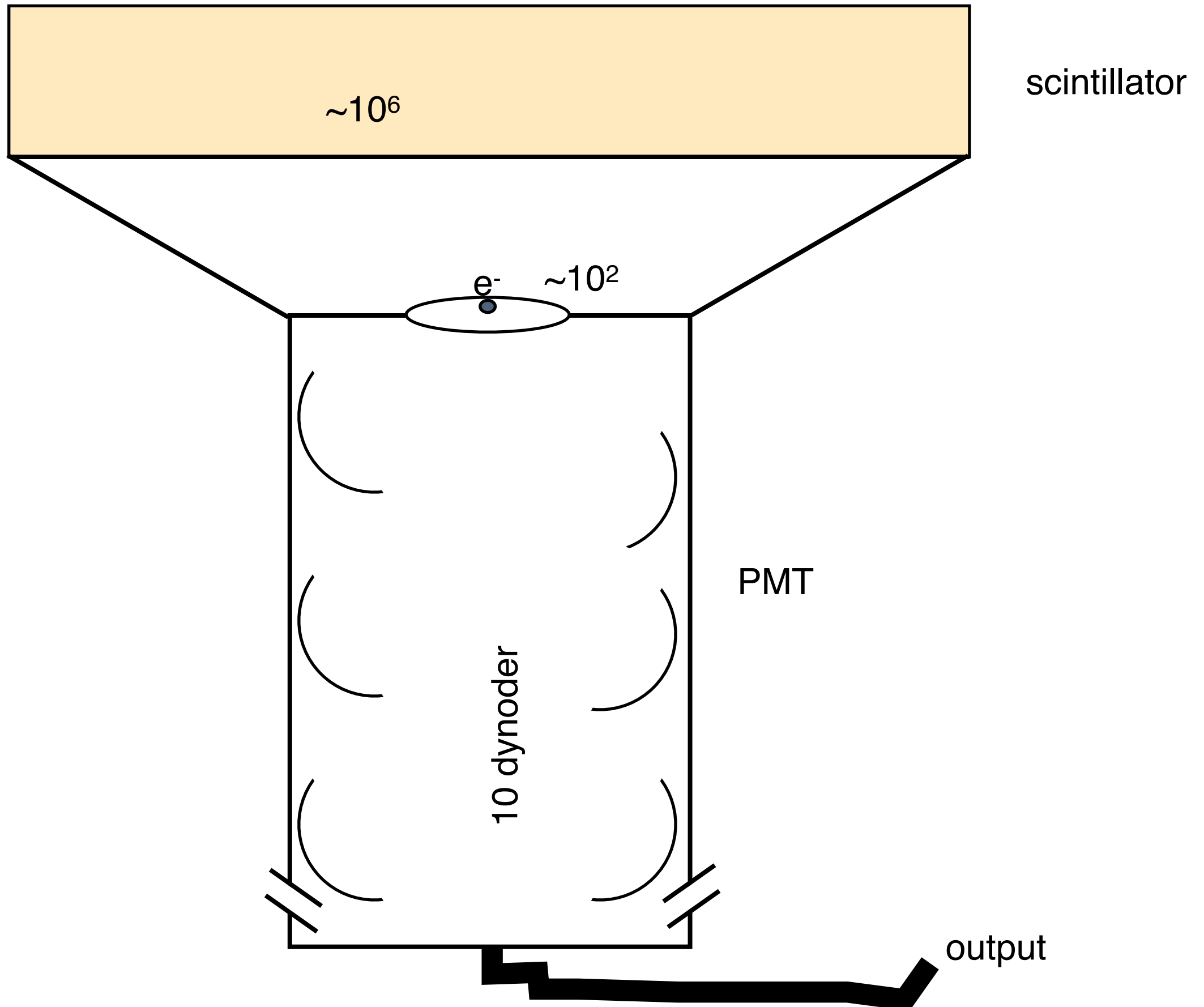
γ , $E \sim 1 \text{ MeV}$



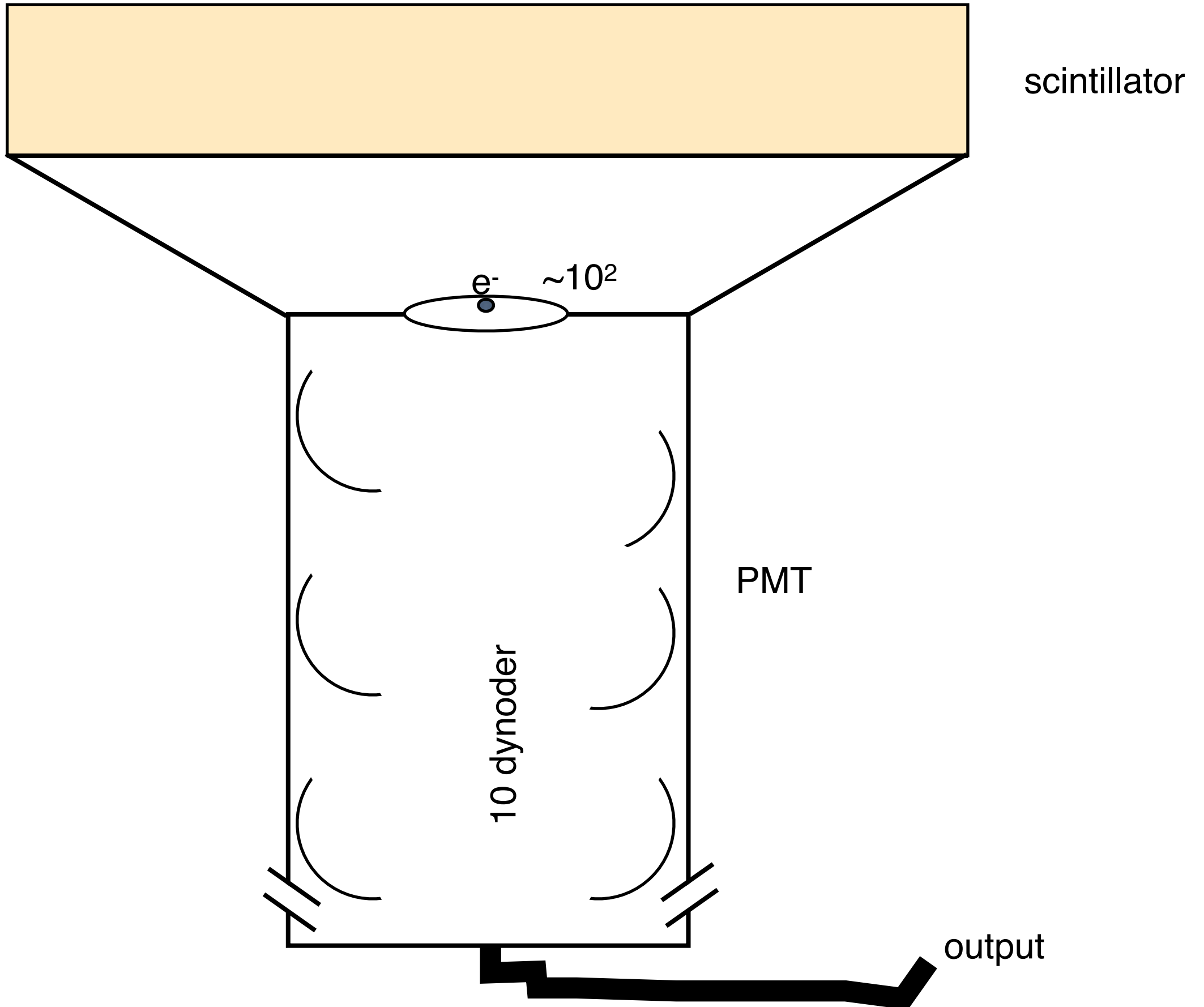
γ , $E \sim 1 \text{ MeV}$



γ , $E \sim 1 \text{ MeV}$



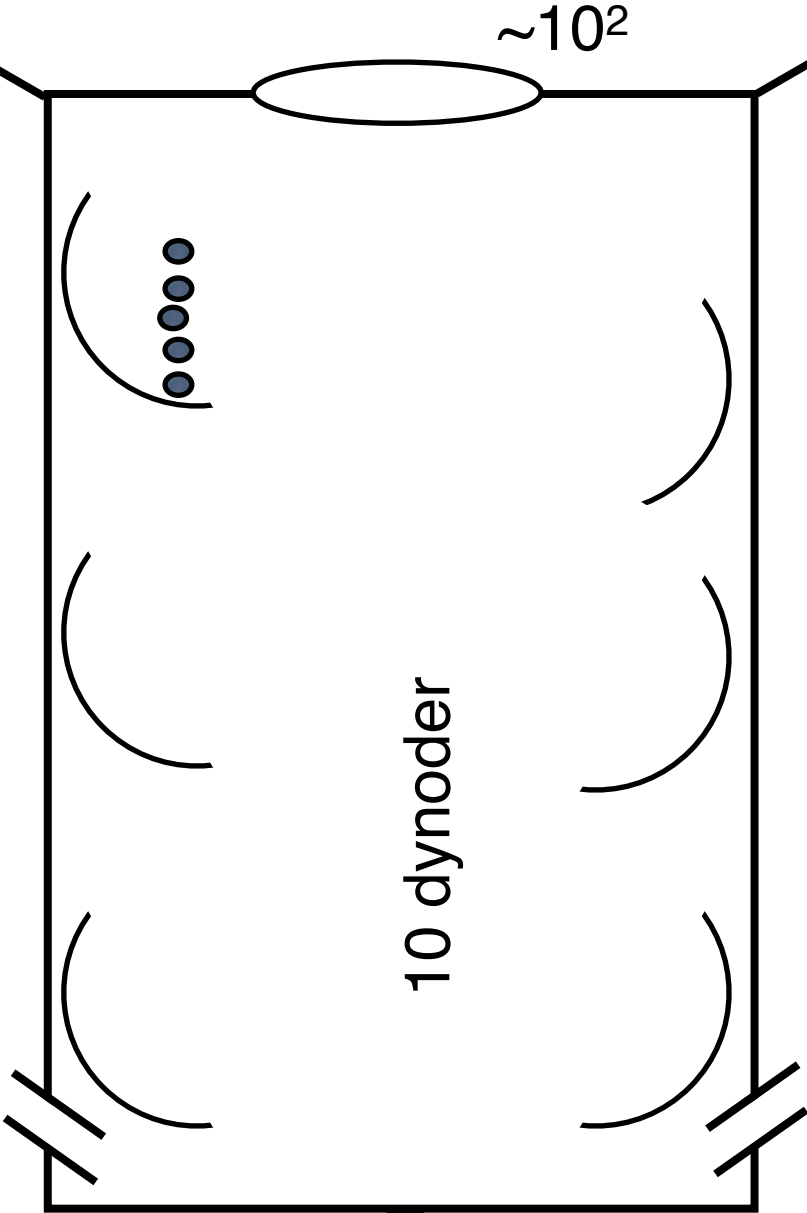
γ , $E \sim 1 \text{ MeV}$



$\gamma, E \sim 1 \text{ MeV}$



scintillator



PMT

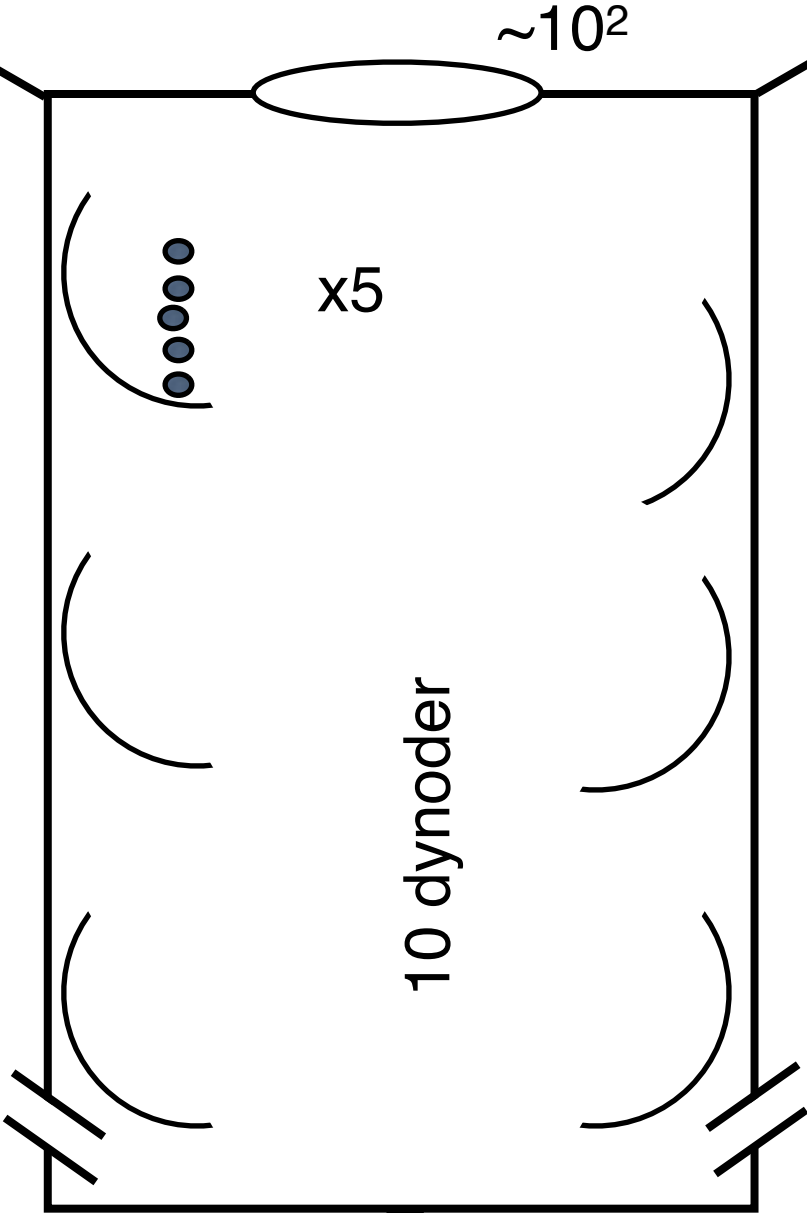


output

$\gamma, E \sim 1 \text{ MeV}$



scintillator



$\sim 10^2$

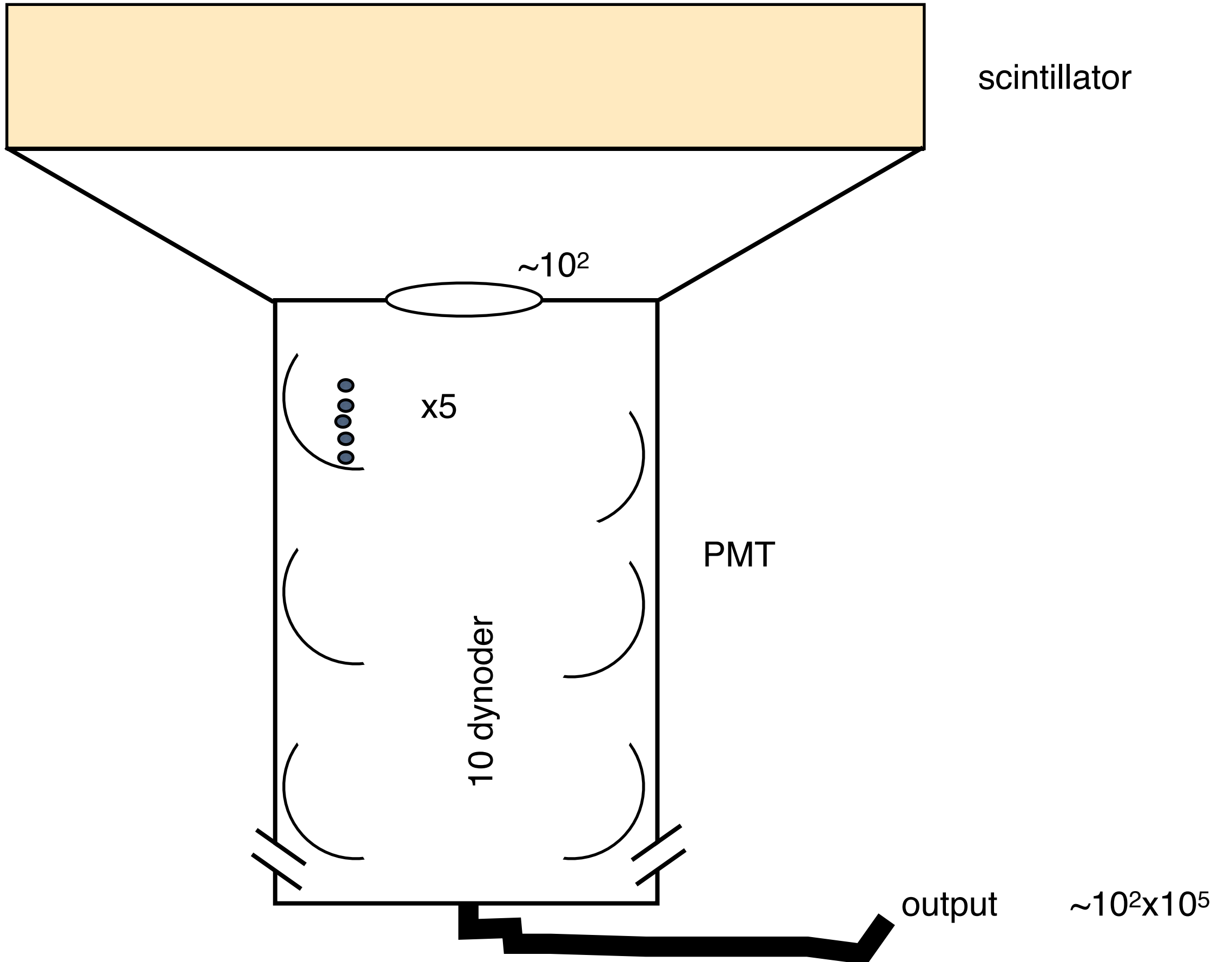
x5

10 dynoder

PMT

output

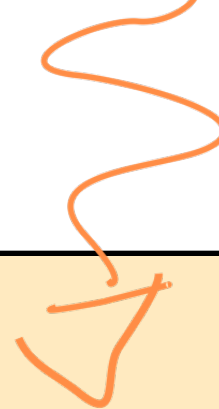
γ , $E \sim 1 \text{ MeV}$



$\gamma, E \sim 1 \text{ MeV}$



scintillator



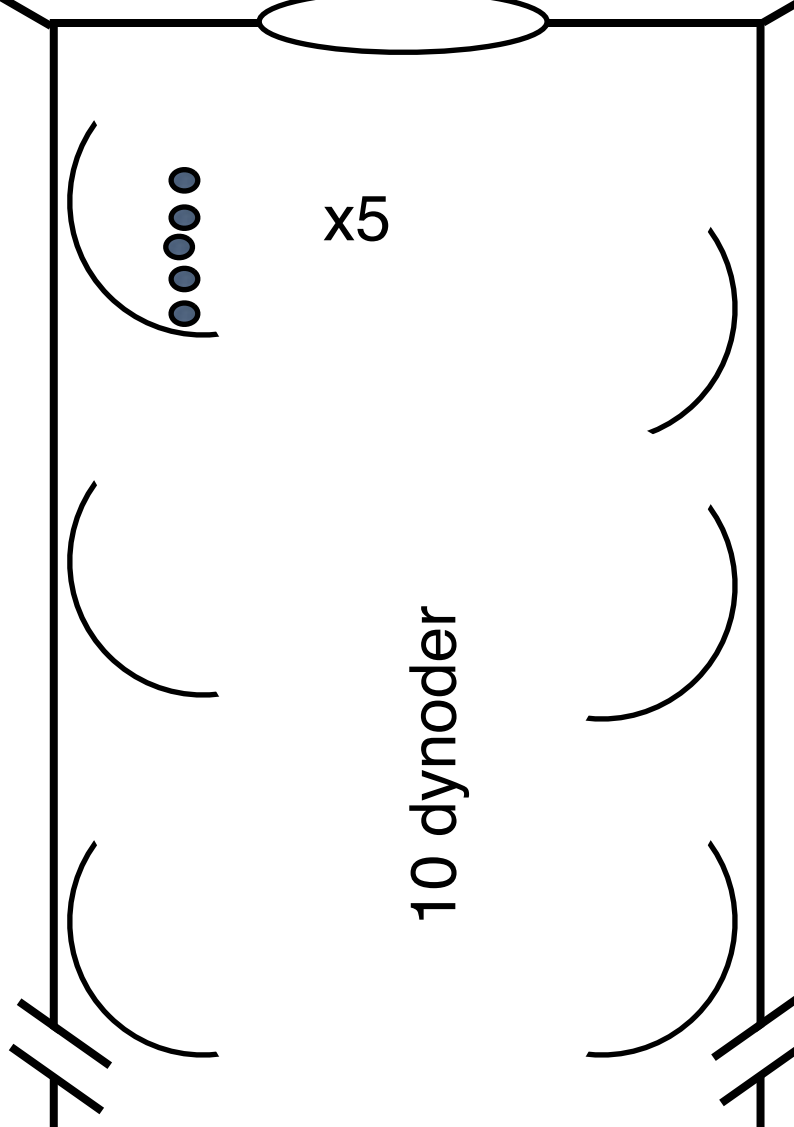
$\sim 10^2$

x5



PMT

10 dynoder



output

$\sim 10^2 \times 10^5$



$\gamma, E \sim 1 \text{ MeV}$



scintillator

$\sim 10^2$

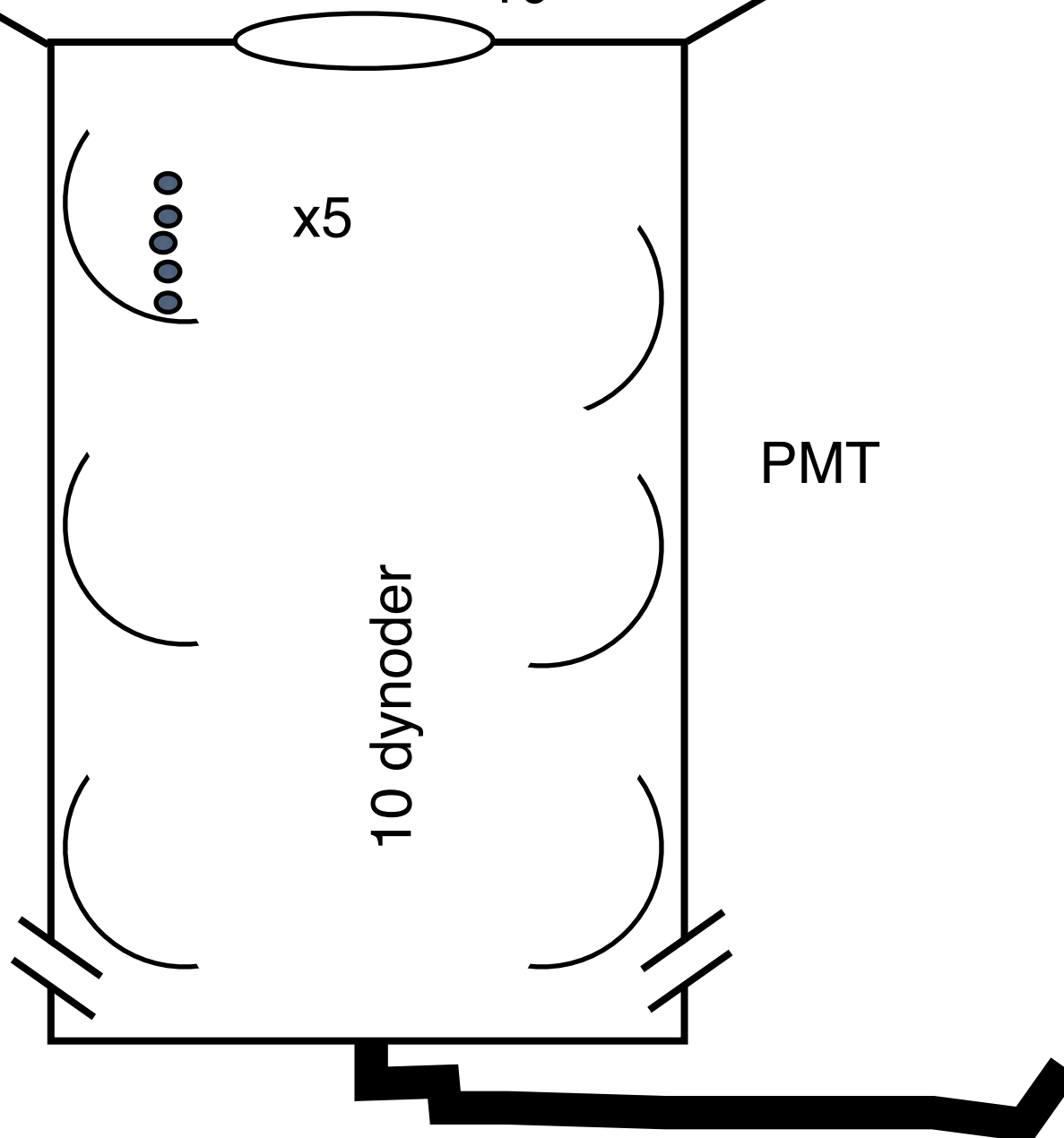
x5

PMT

10 dynoder

output

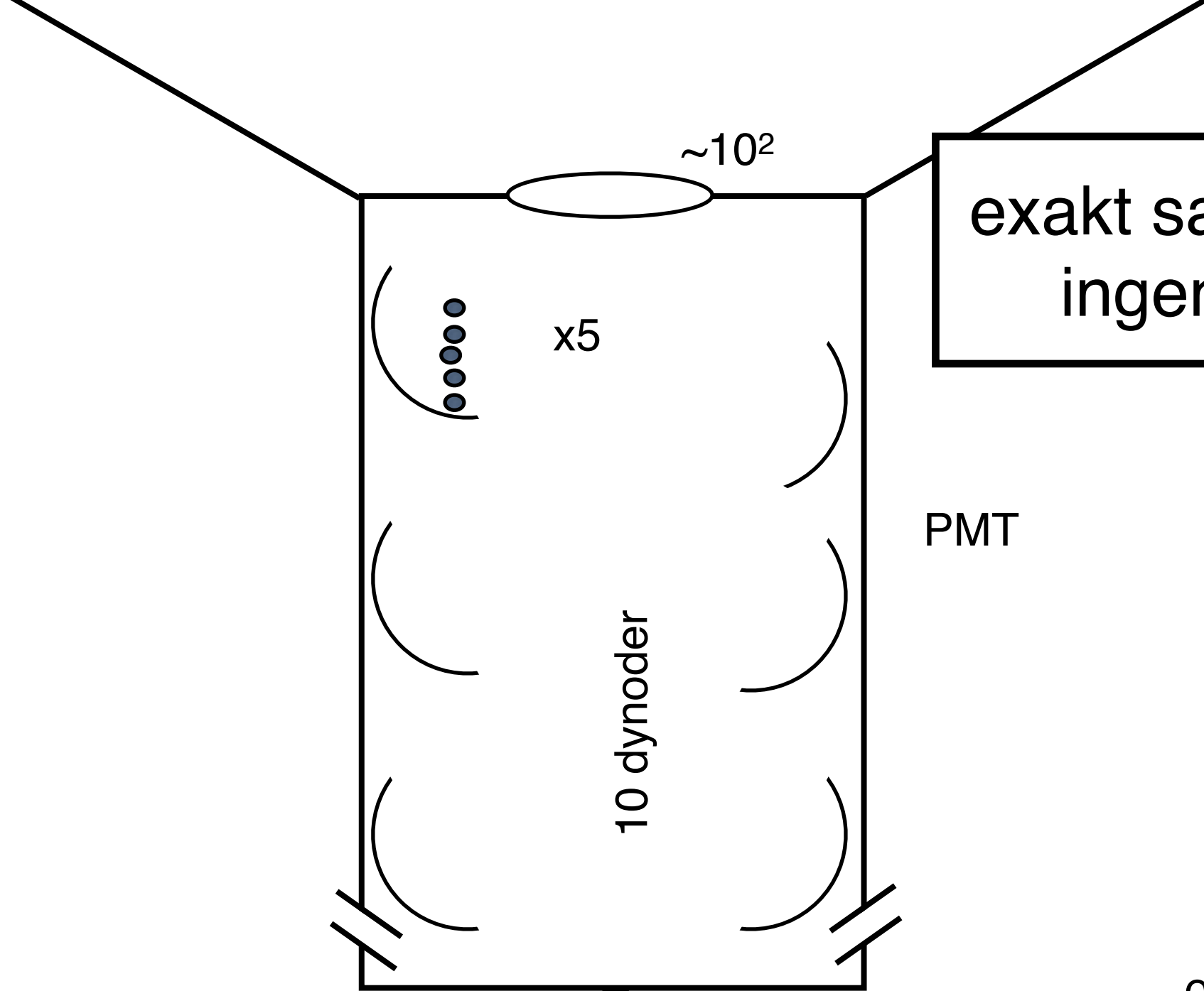
$\sim 10^2 \times 10^5$



γ , $E \sim 1 \text{ MeV}$



scintillator



$\sim 10^2$

x5

10 dynoder

PMT

exakt samma signal!
ingen position!

output

$\sim 10^2 \times 10^5$



Barn kastar pappersflygplan i klassrummet under en viss tid. Jag hittar 3 i min “detektorkorg”.



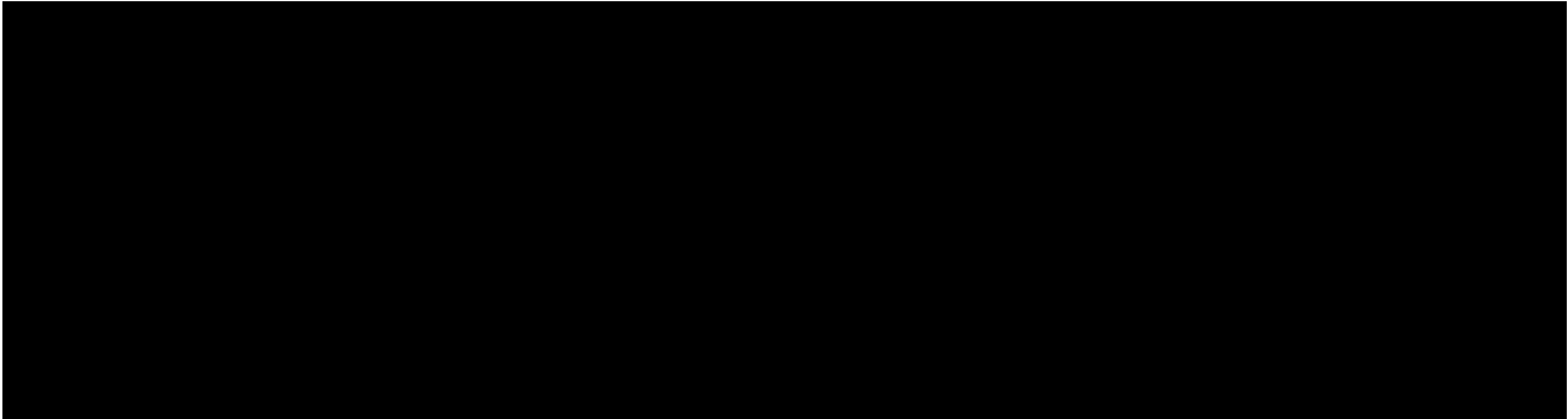
Hur många pappersflygplan har kastats under tiden?

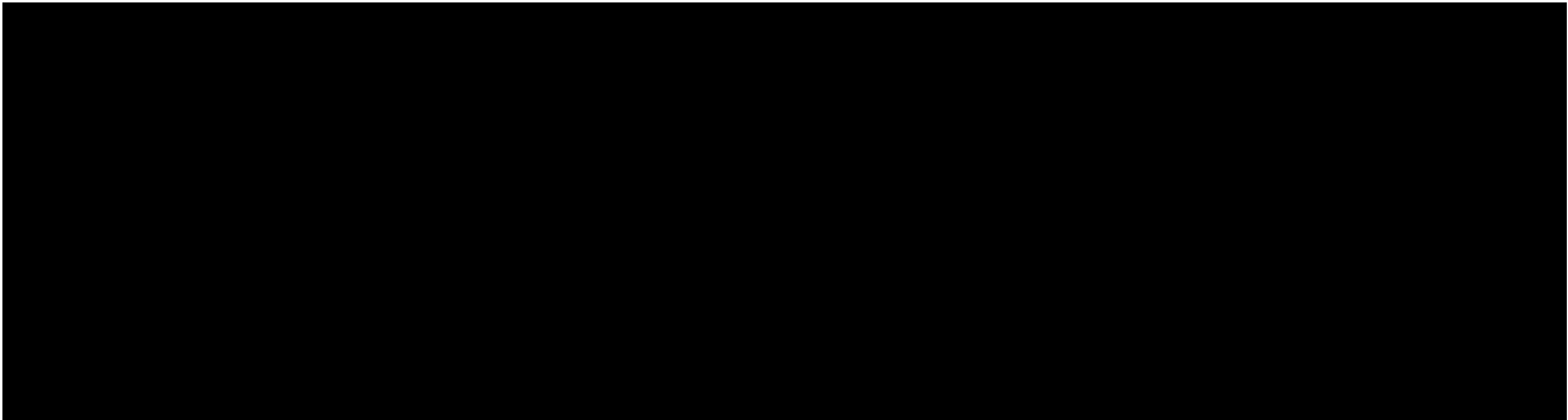
1. ≤ 3

2. 3

3. ≥ 3

Om du i framtiden ville uppskatta antal kastade från de som hamnar i korgen, vad skulle du göra?





0

1

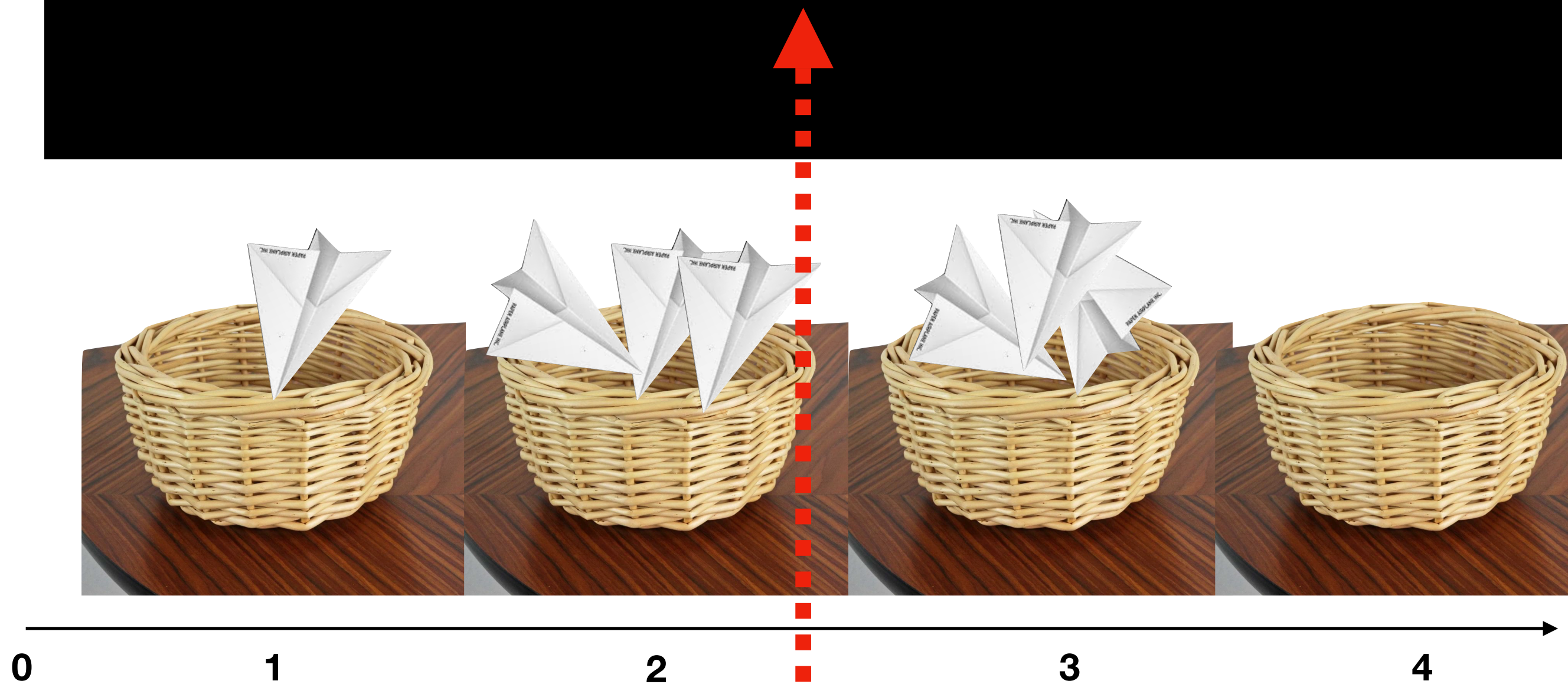
2

3

4

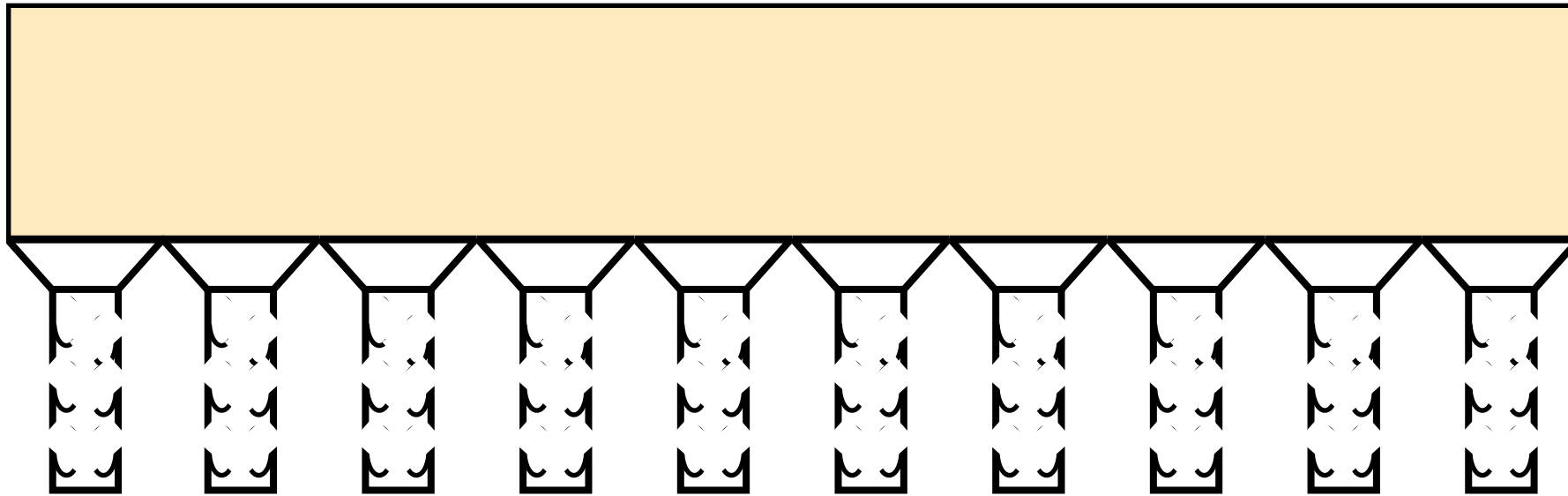
position [m]

$$\frac{1 \cdot 1 + 2 \cdot 3 + 3 \cdot 3 + 0 \cdot 4}{1 + 3 + 3 + 0} \approx 2,3$$

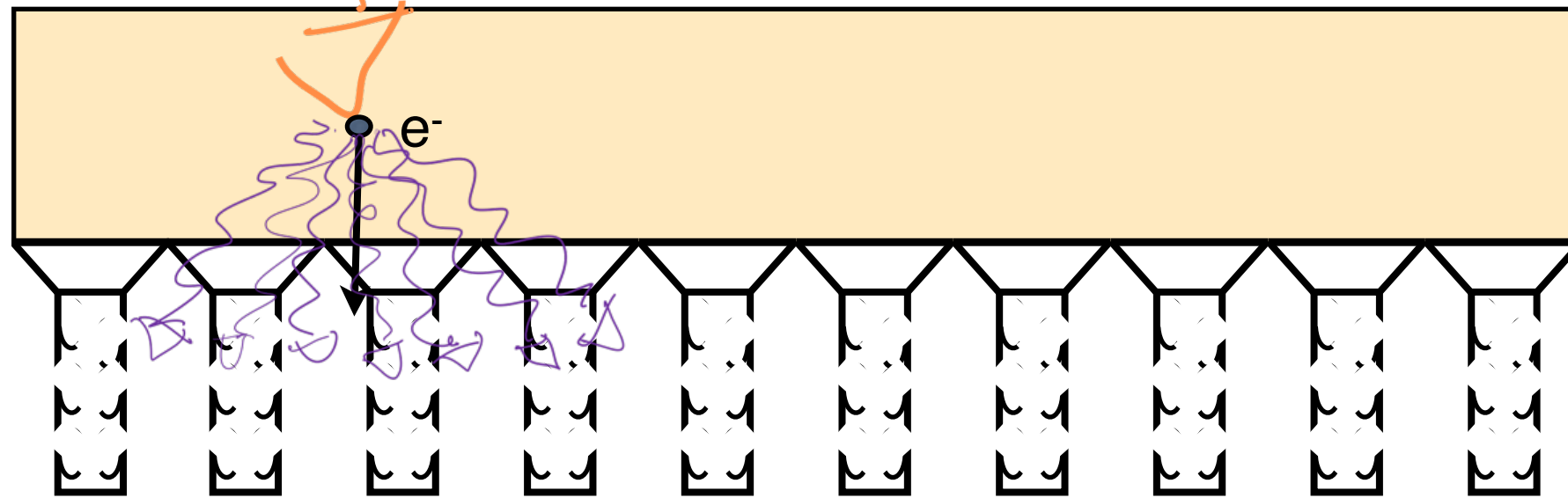


$$\frac{1 \cdot 1 + 2 \cdot 3 + 3 \cdot 3 + 0 \cdot 4}{1 + 3 + 3 + 0} \approx 2,3$$

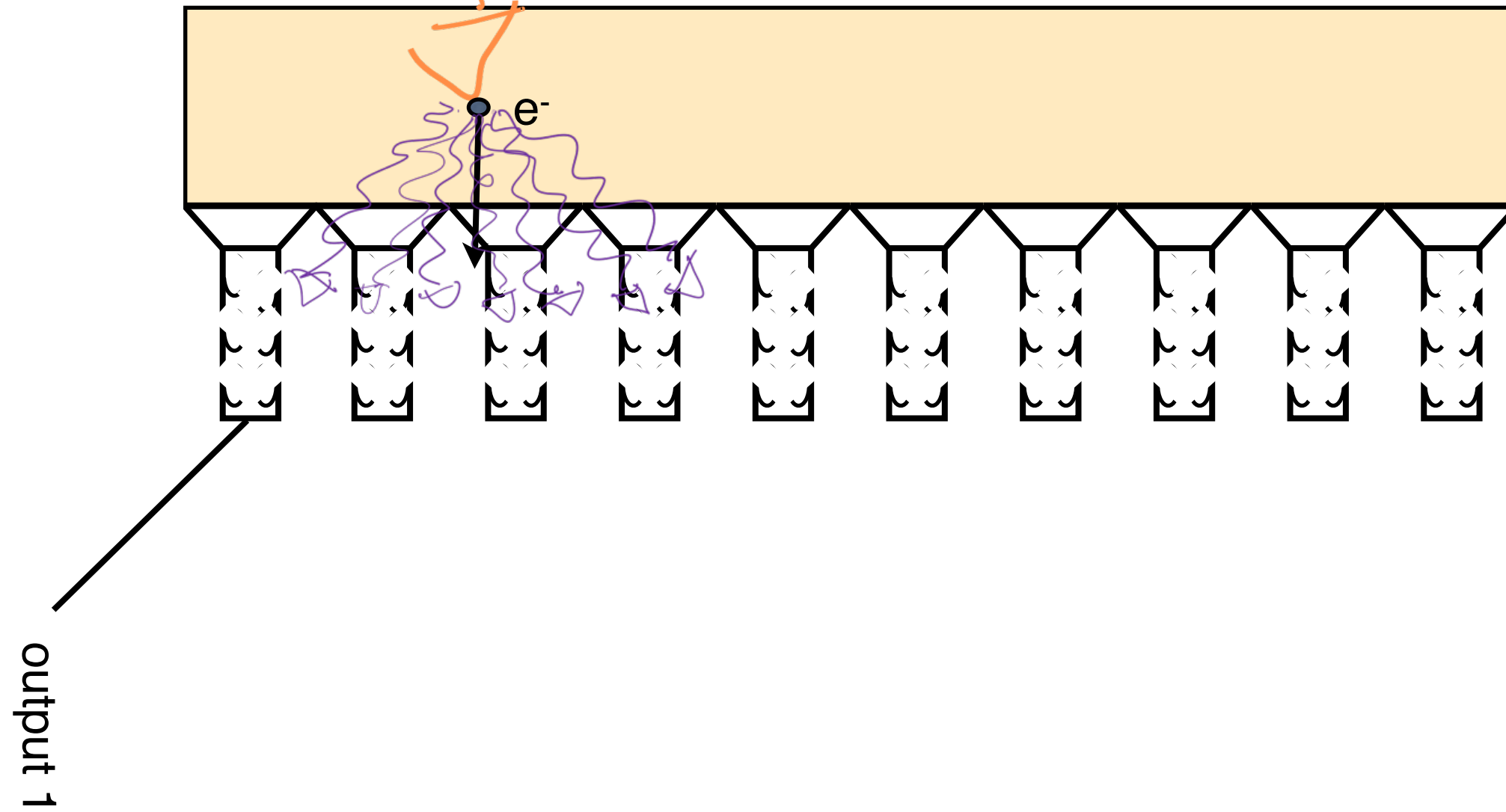
Gammakamera positionering (i princip)



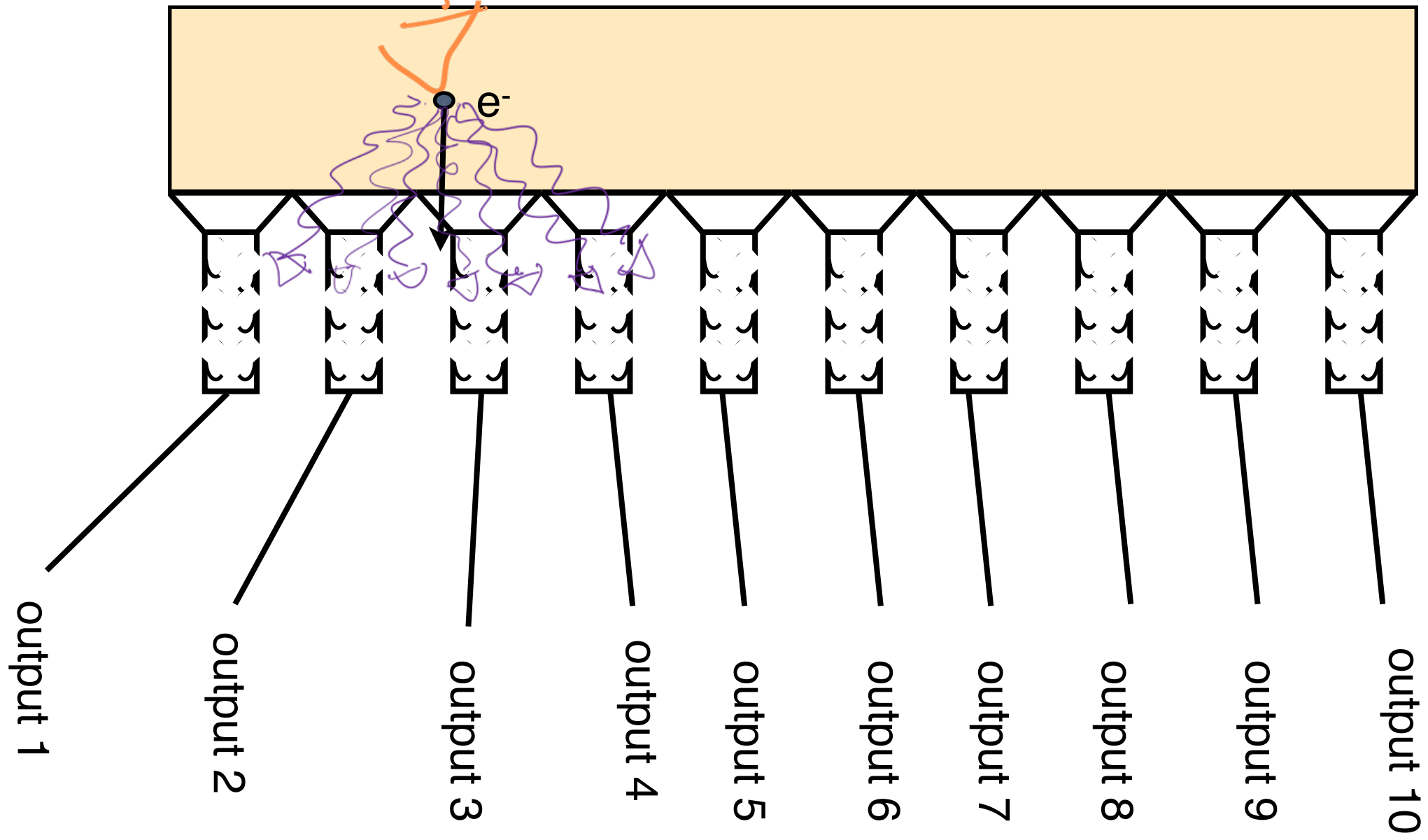
Gammakamera positionering (i princip)



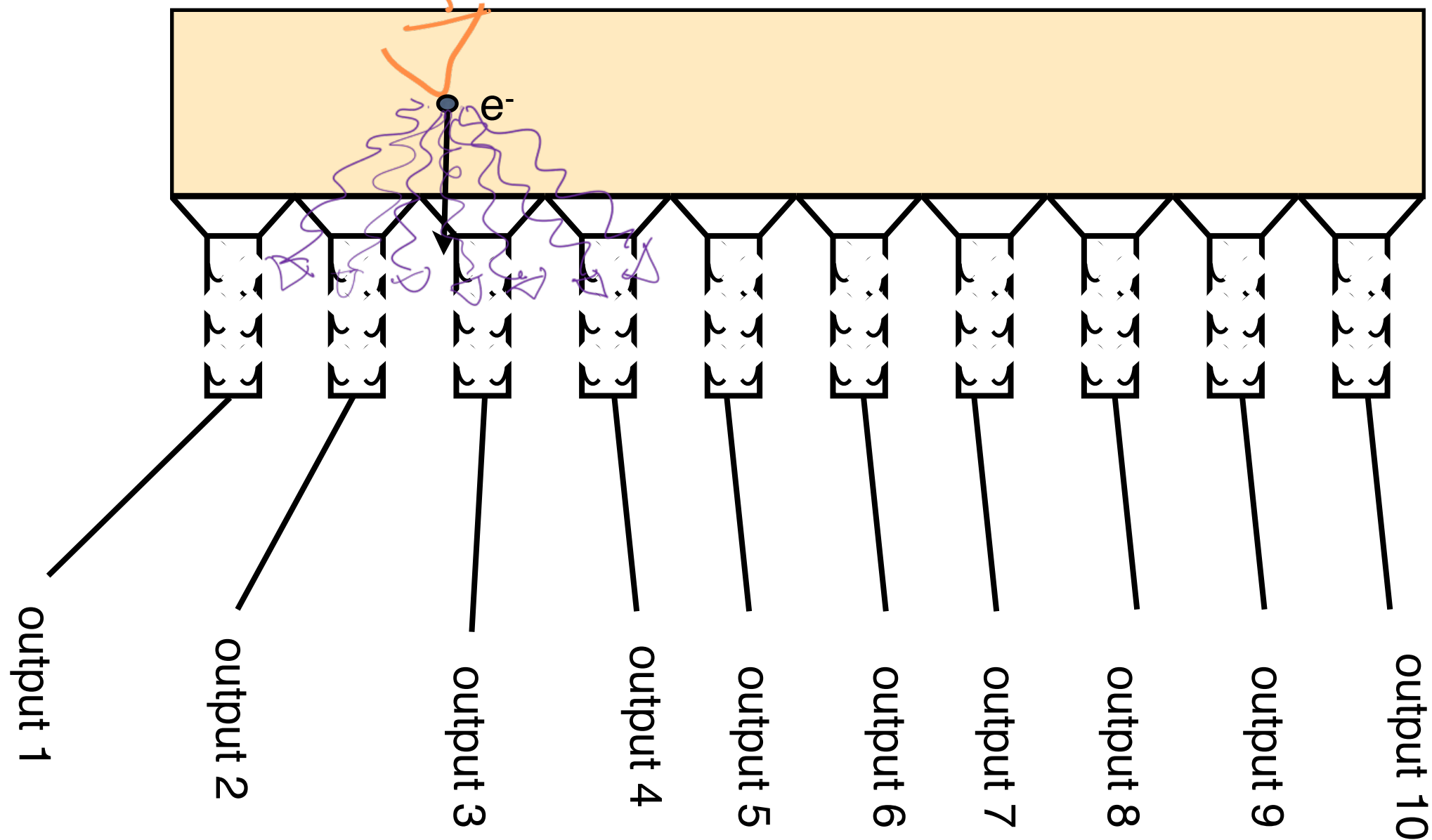
Gammakamera positionering (i princip)



Gammakamera positionering (i princip)

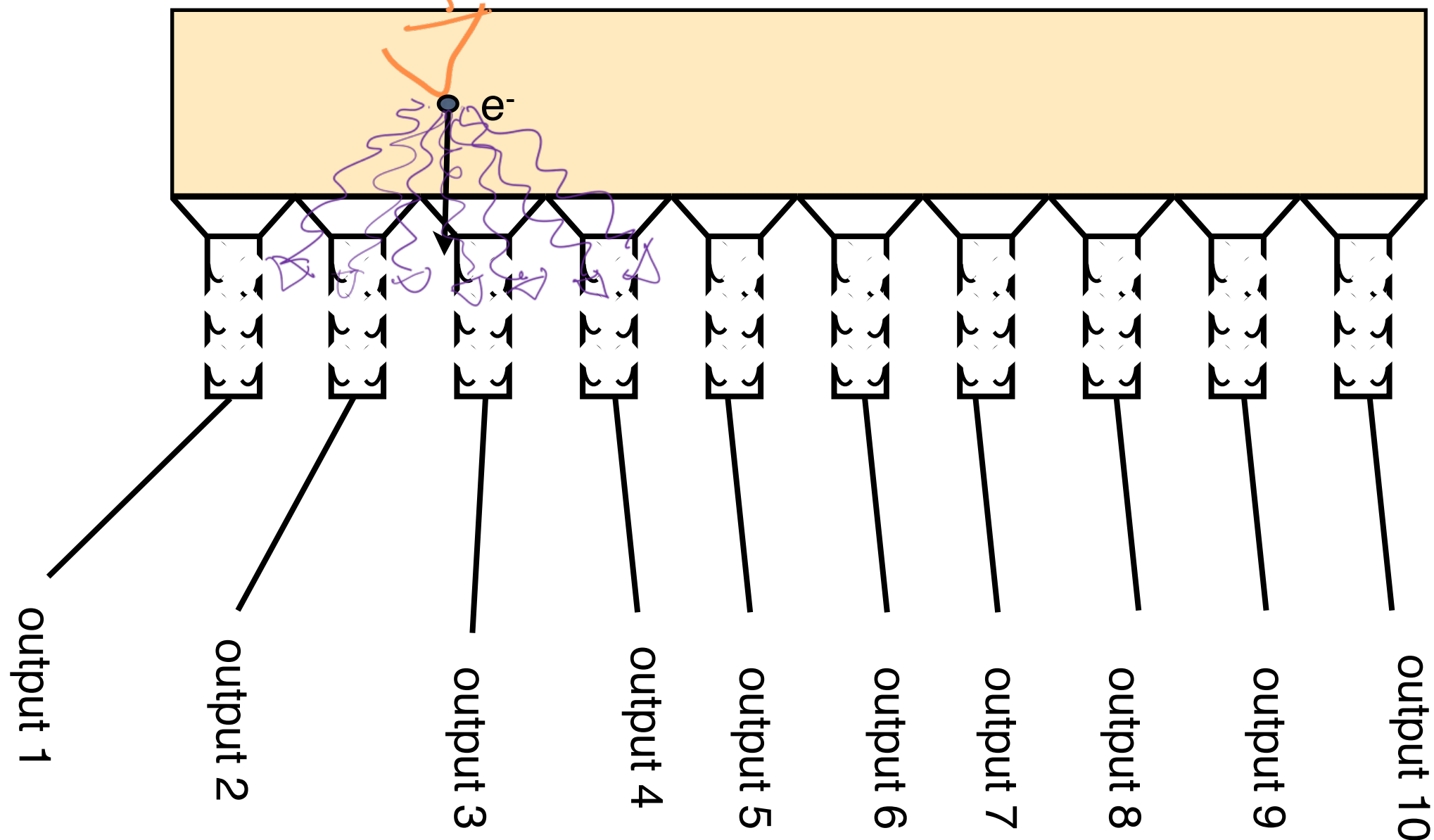


Gammakamera positionering (i princip)



$$\text{Position} = \sum_i (\text{output } i) \times (\text{position PMT } i)$$

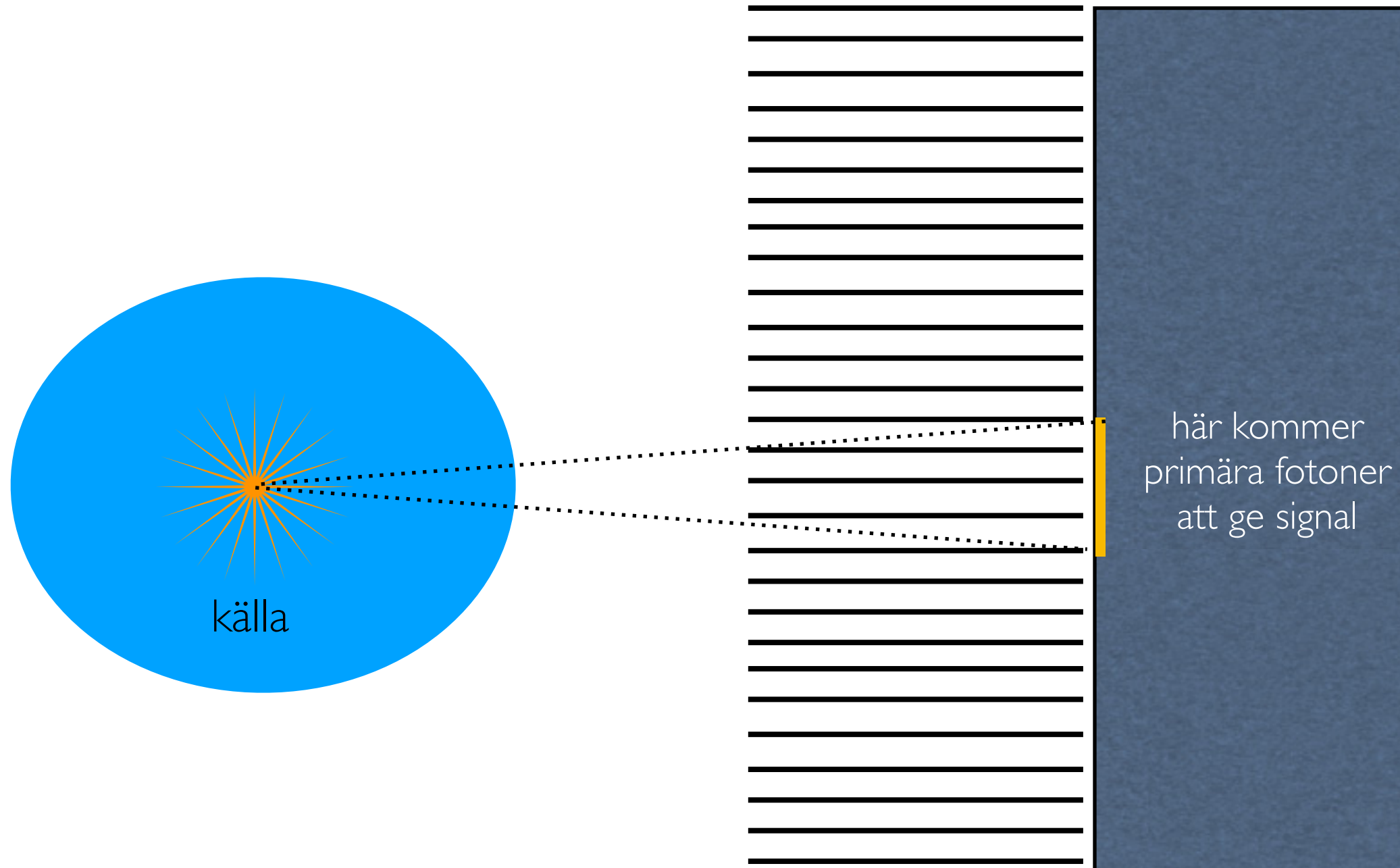
Gammakamera positionering (i princip)



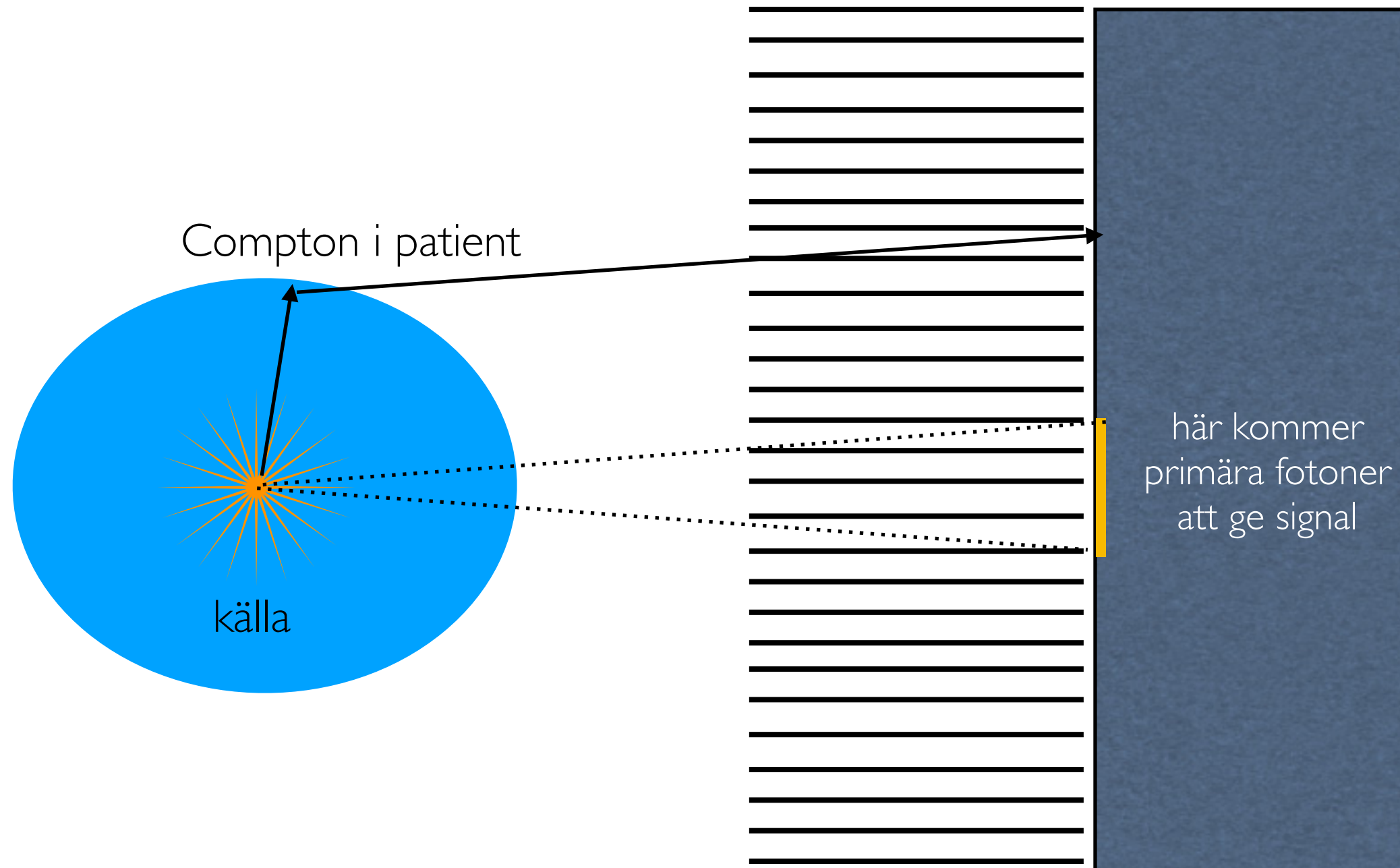
$$\text{Position} = \sum_i (\text{output } i) \times (\text{position PMT } i)$$

Och om jag adderar samtliga output vad får jag? d(2-3 pers)

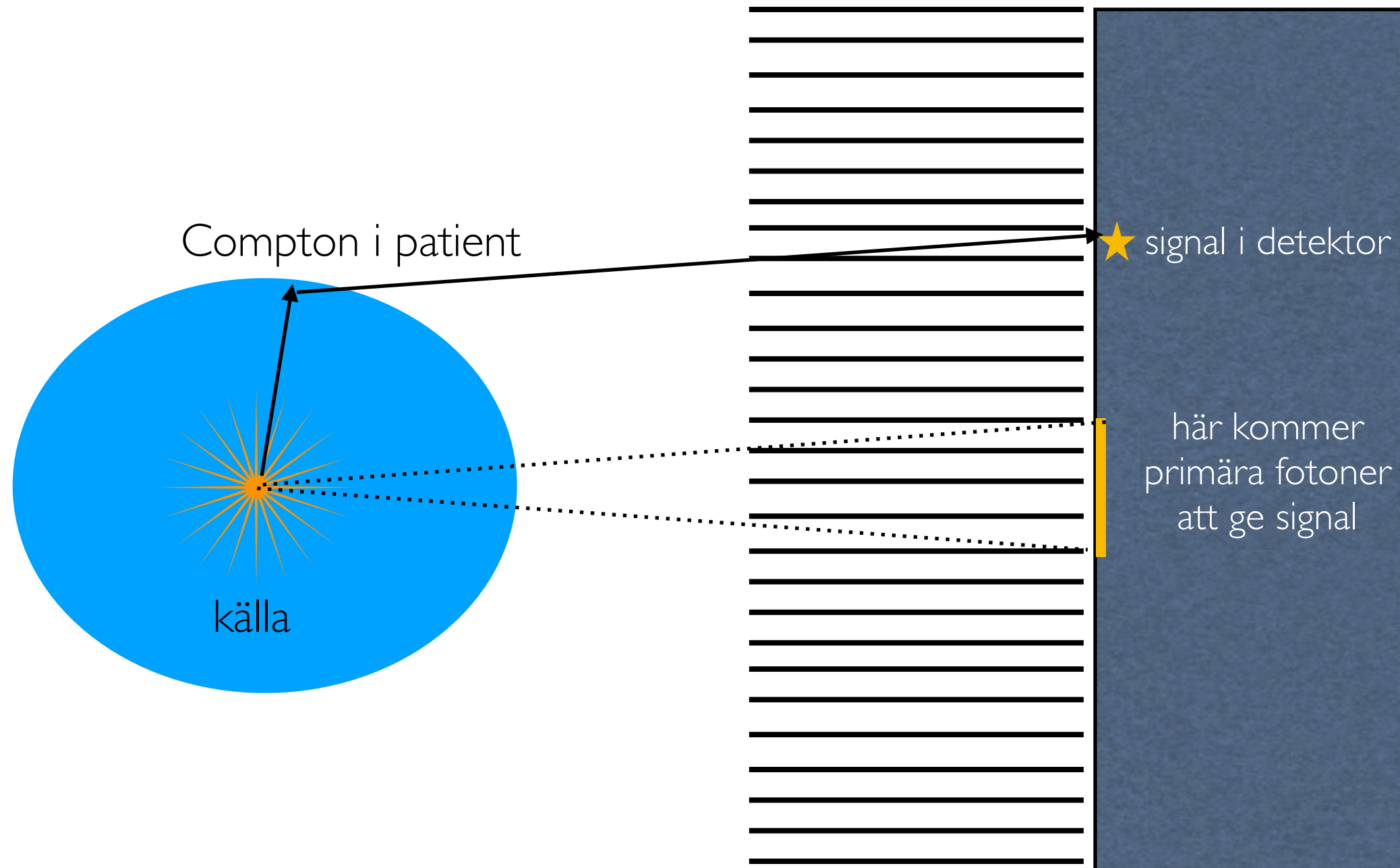
Compton i patient ger felaktig info i bilden



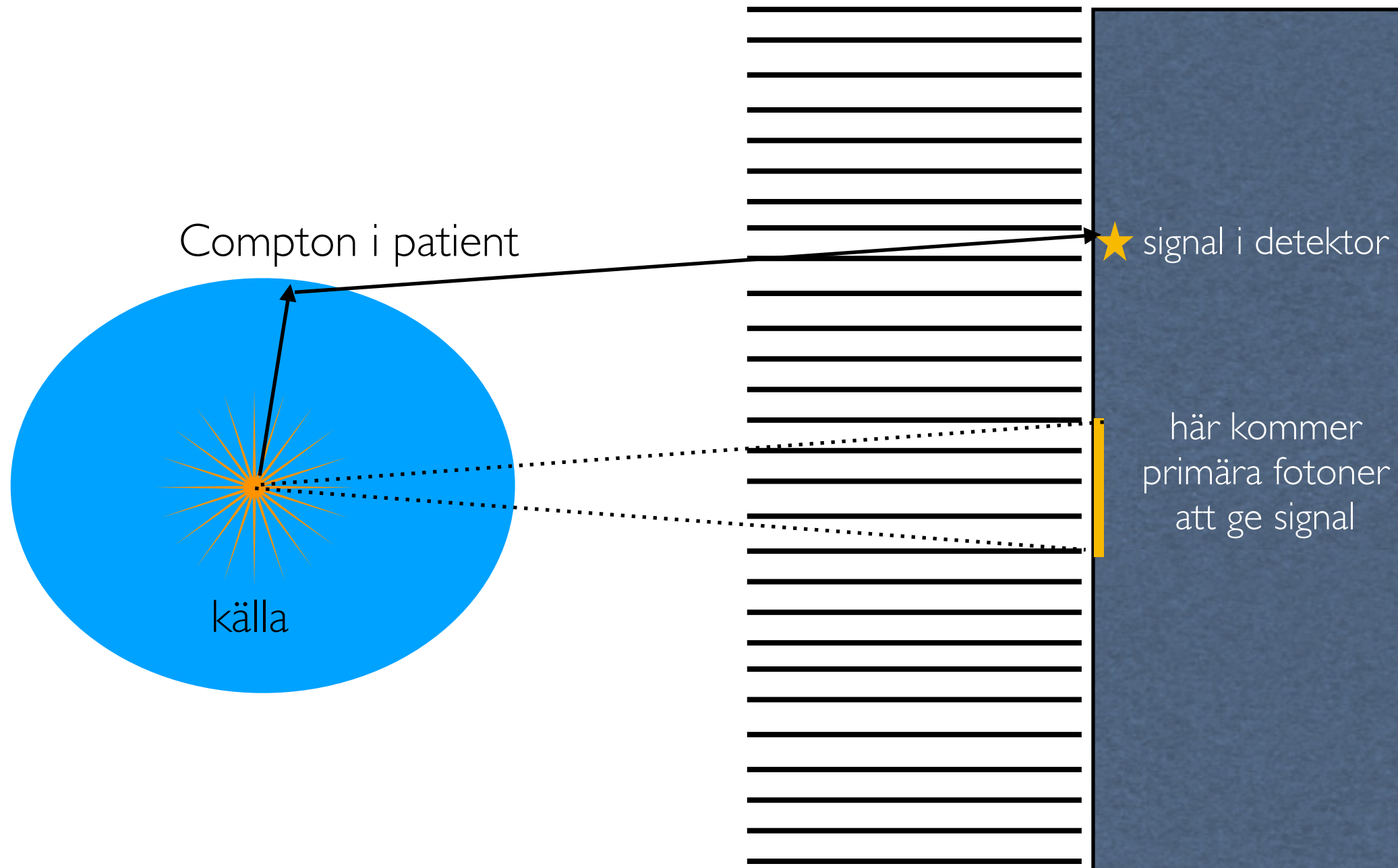
Compton i patient ger felaktig info i bilden



Compton i patient ger felaktig info i bilden

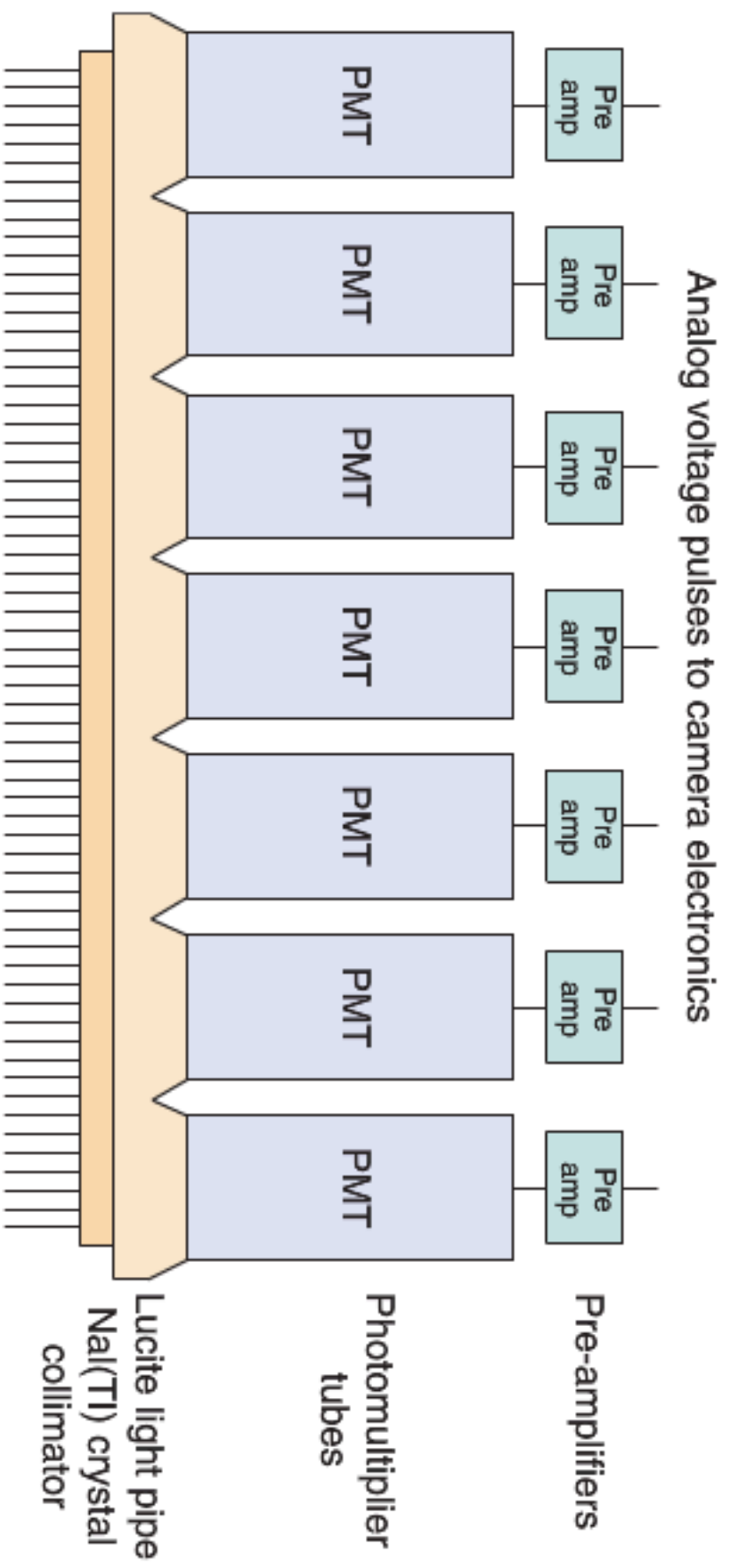


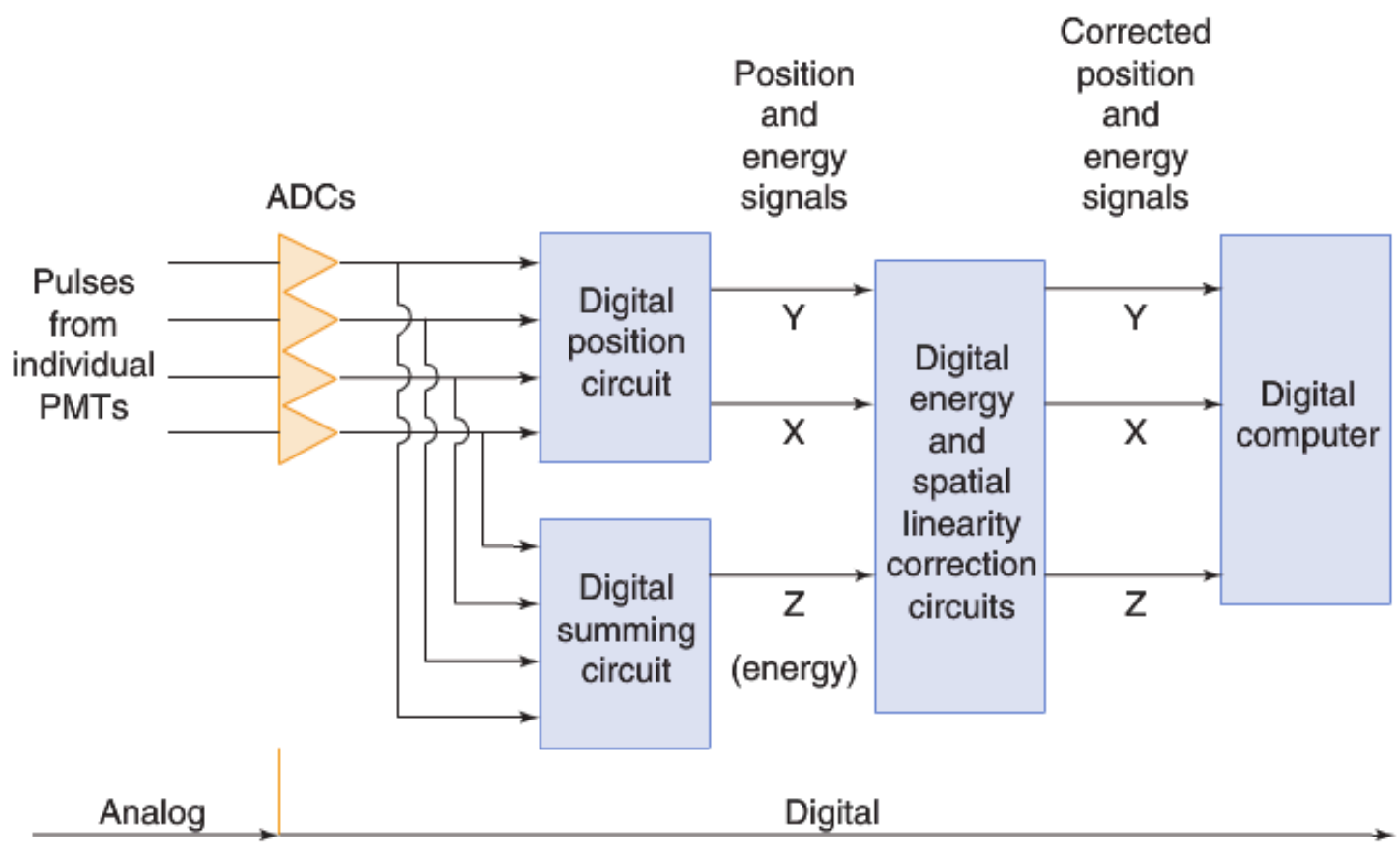
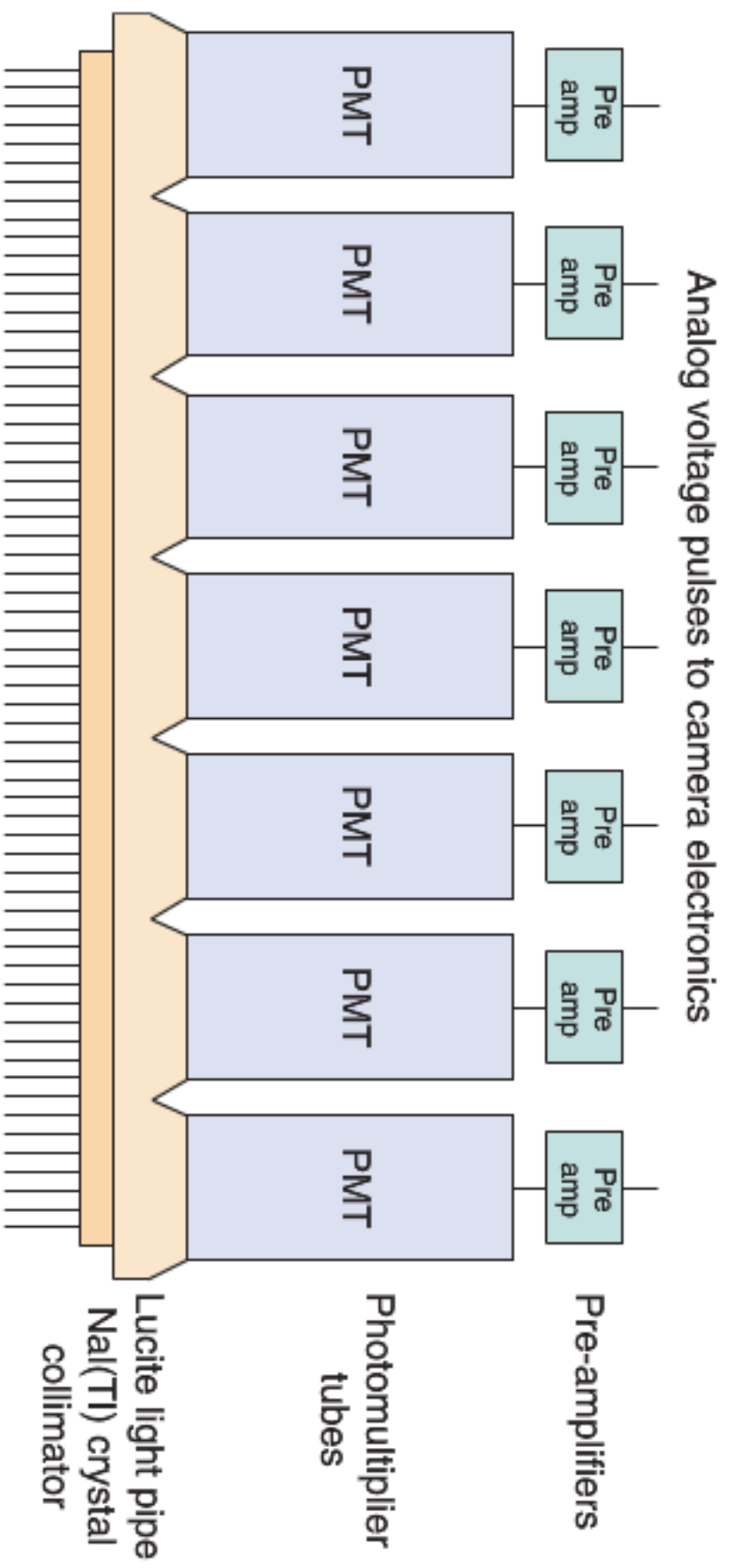
Compton i patient ger felaktig info i bilden

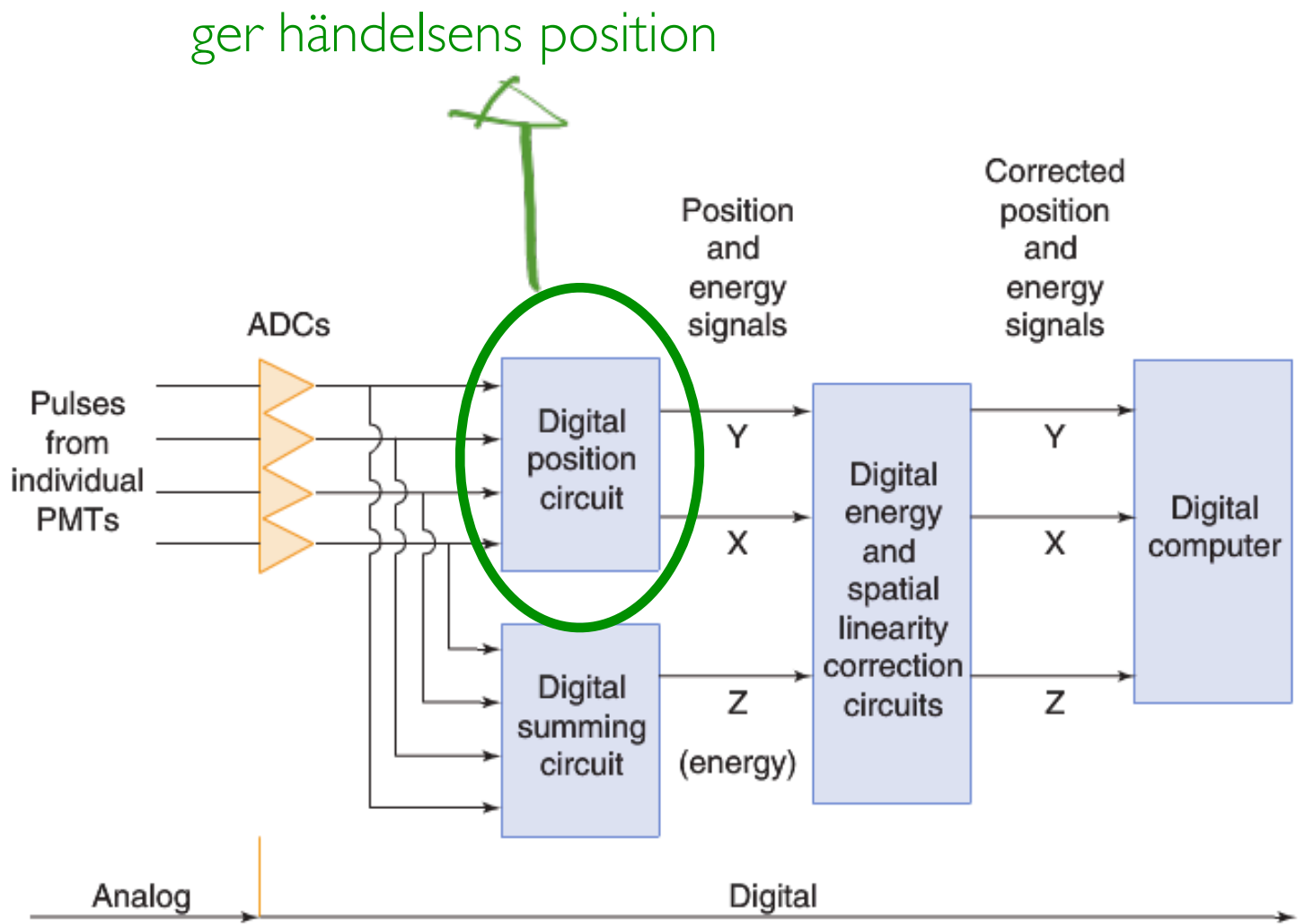
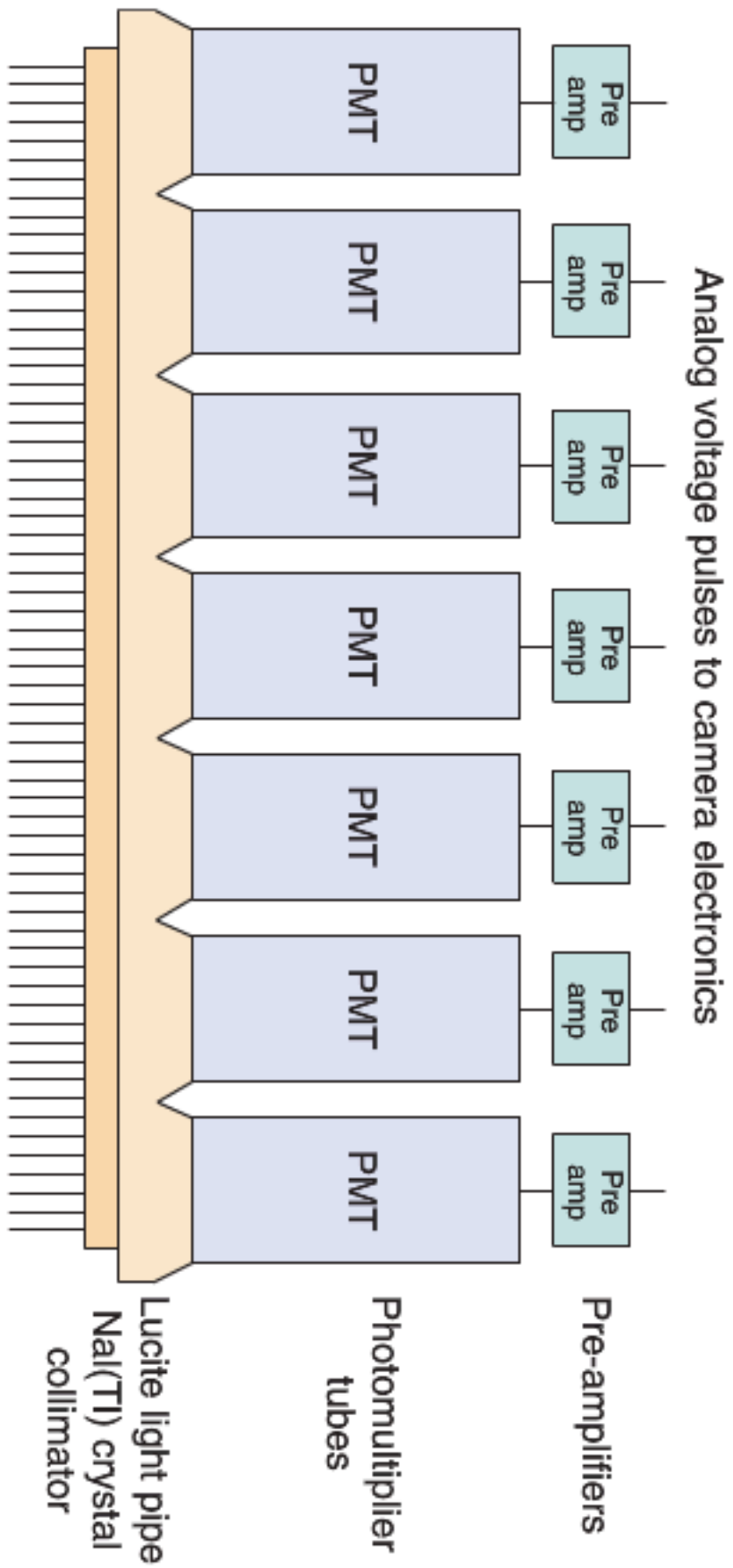


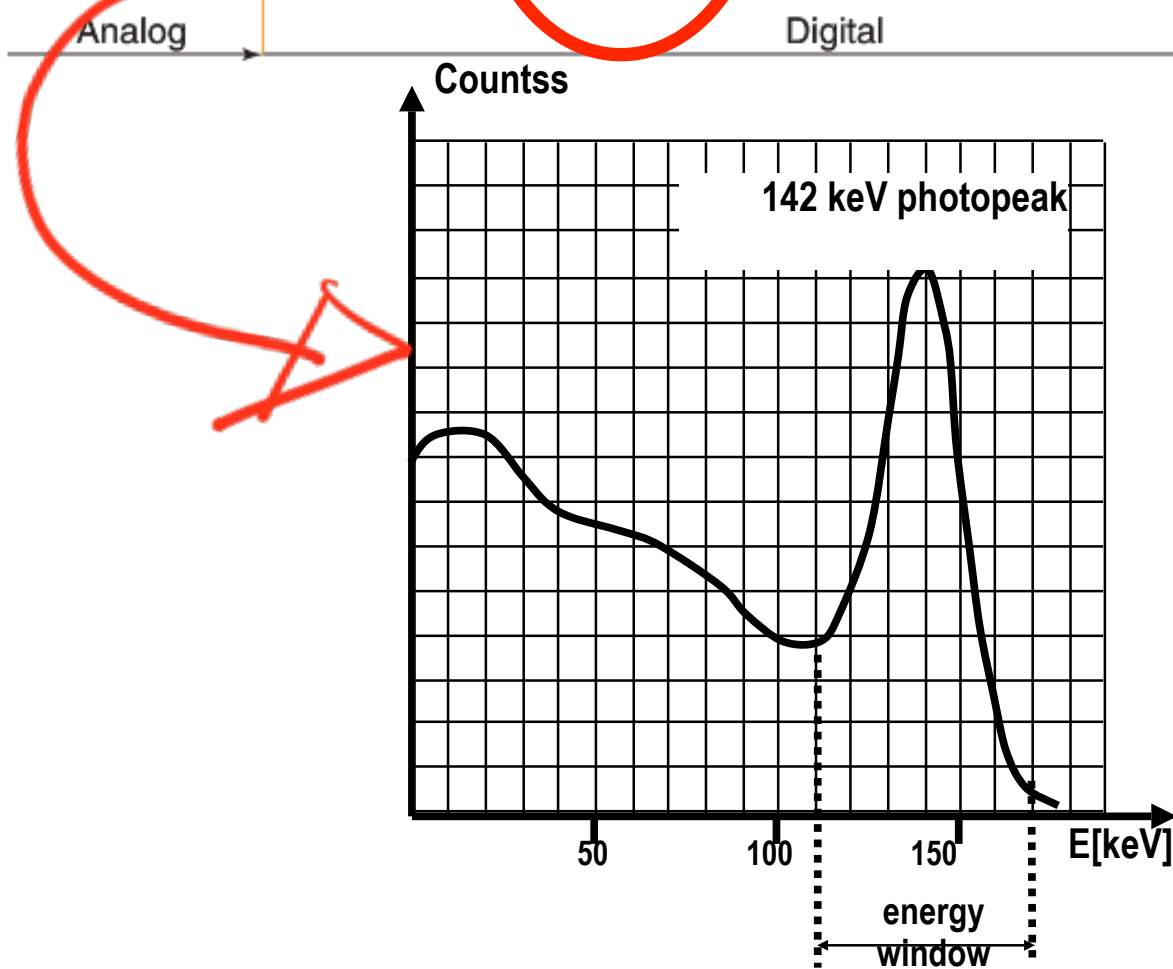
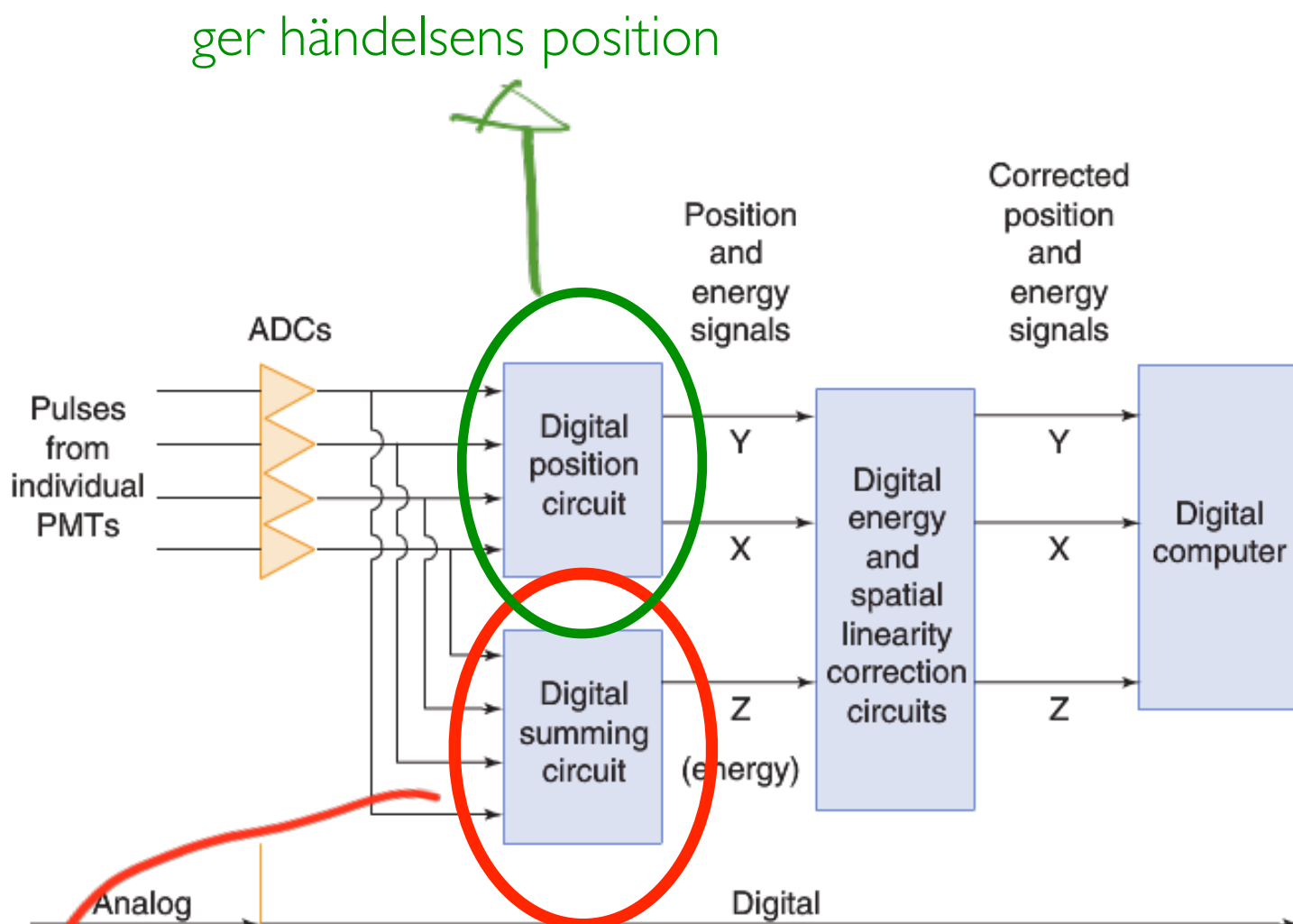
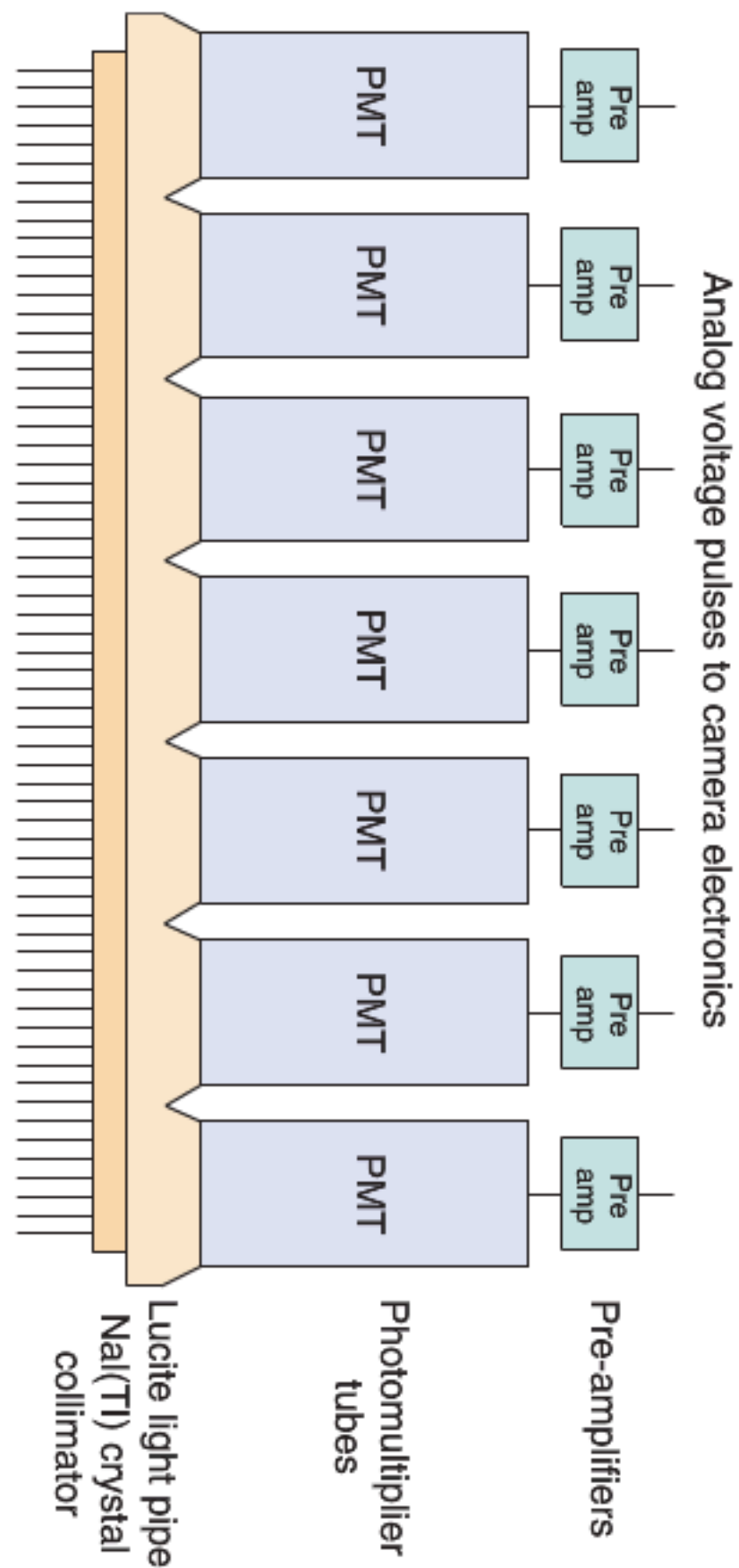
Går det att förkasta Comptonspridda fotoner?

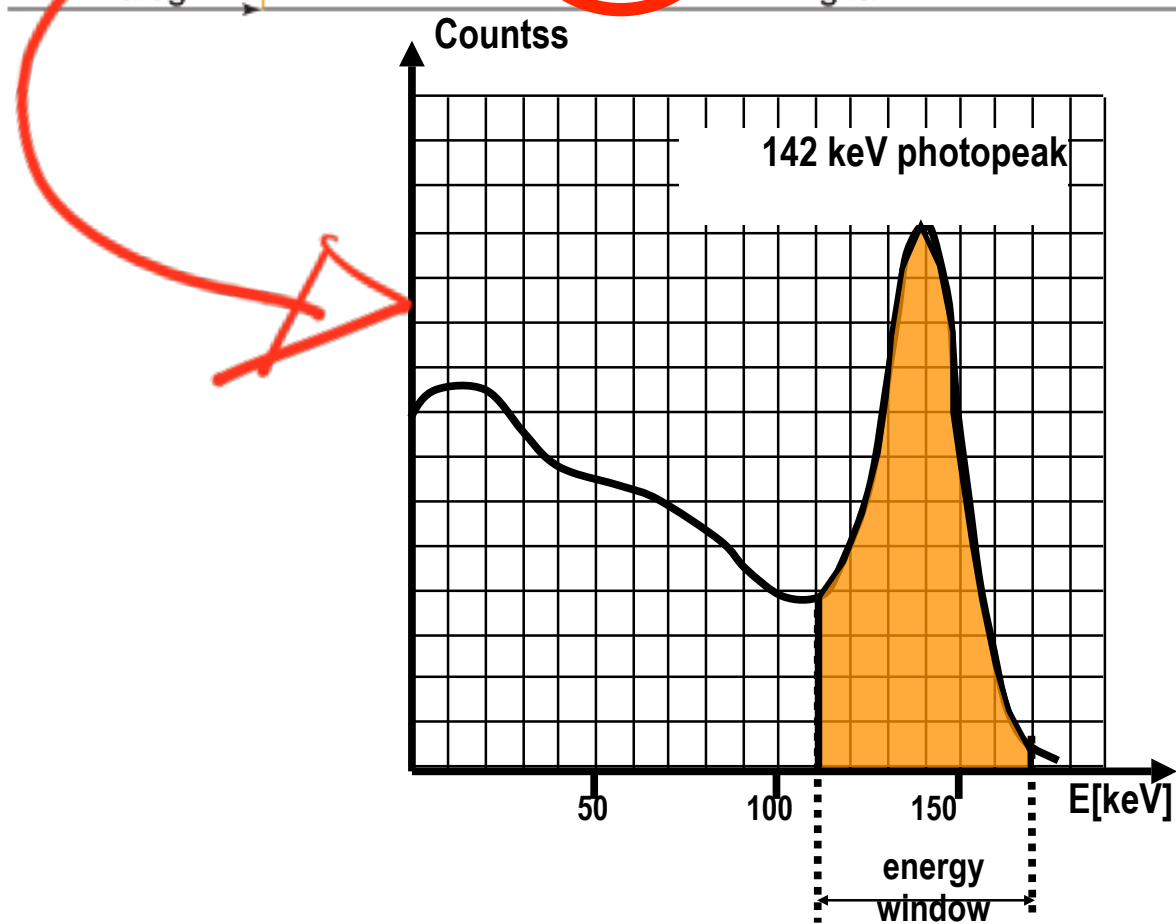
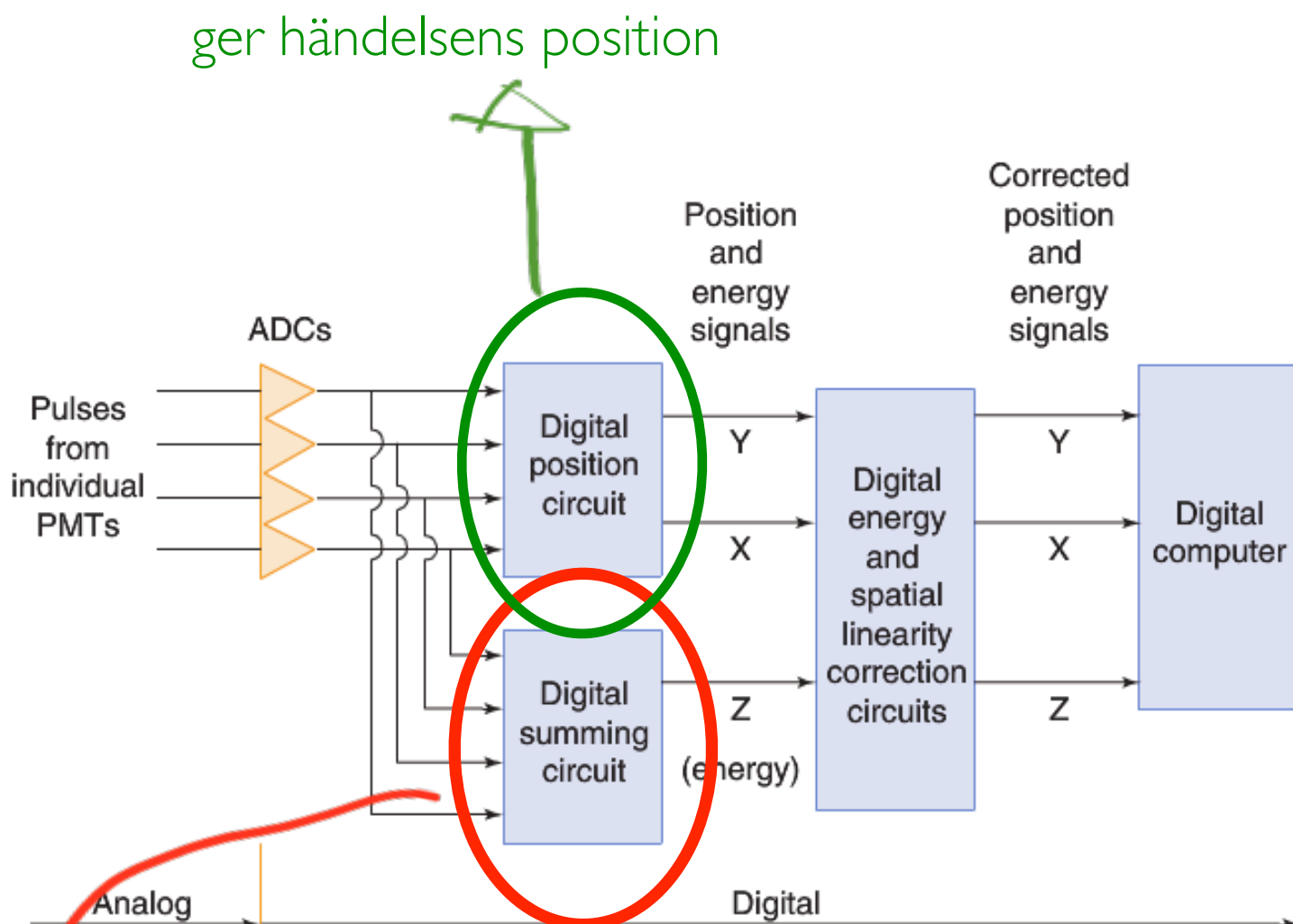
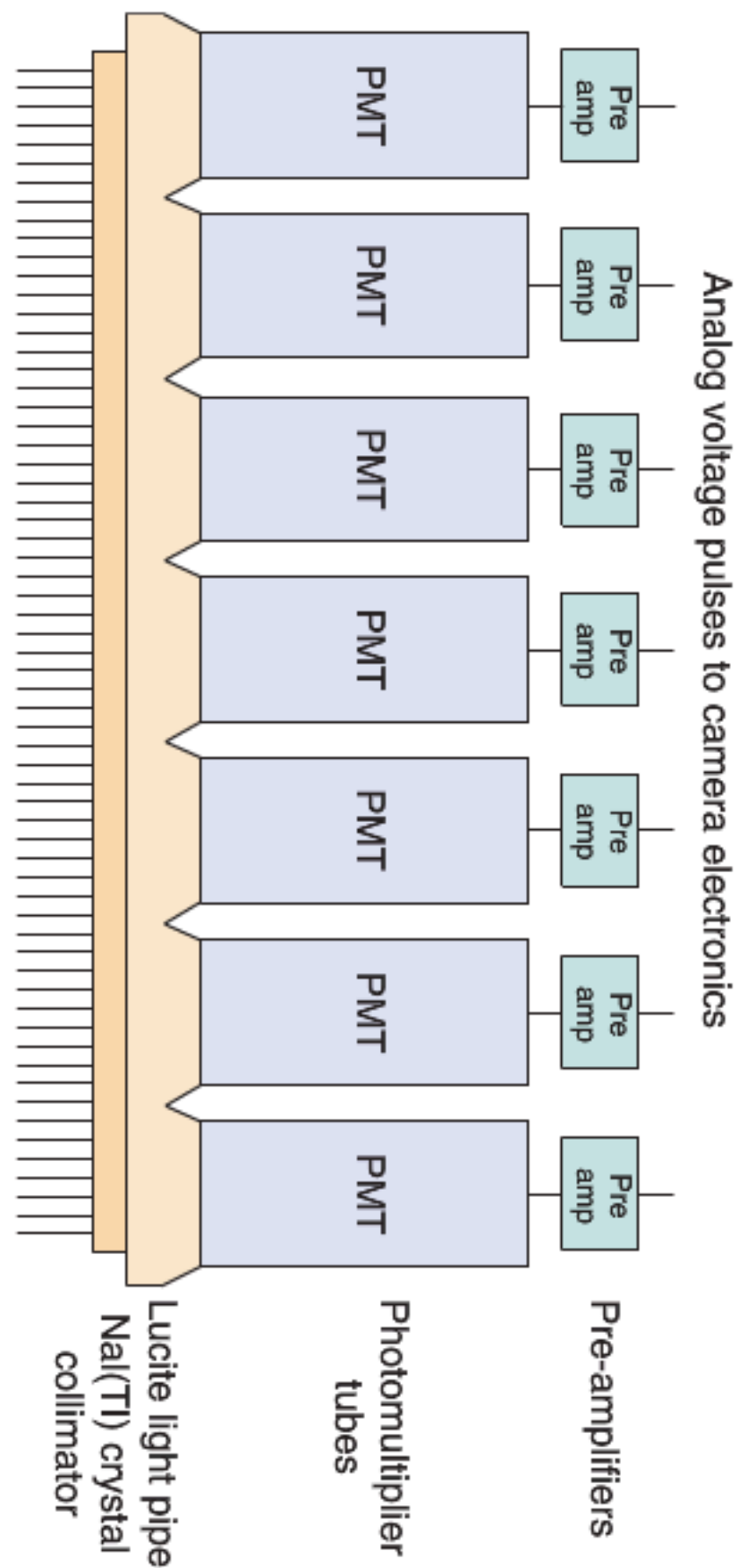
Gammakamera
(all together now)



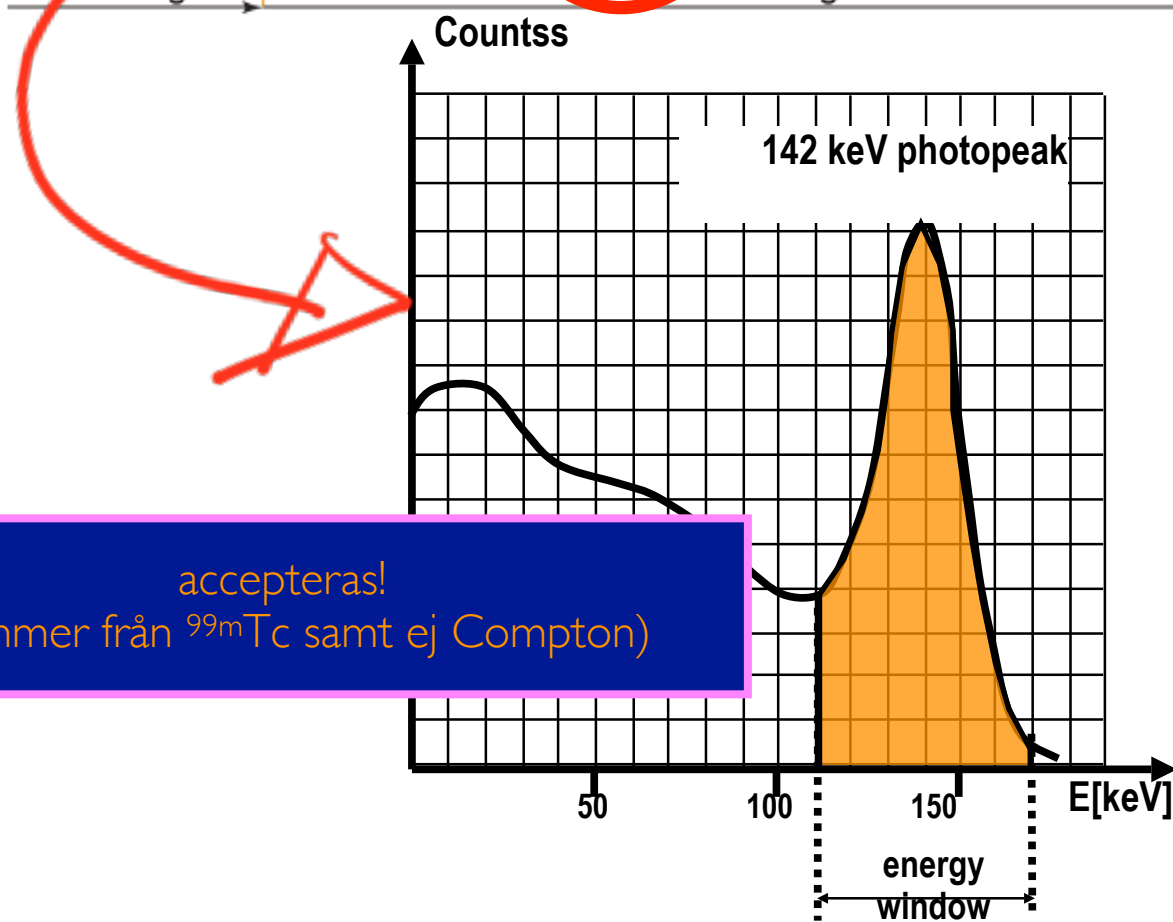
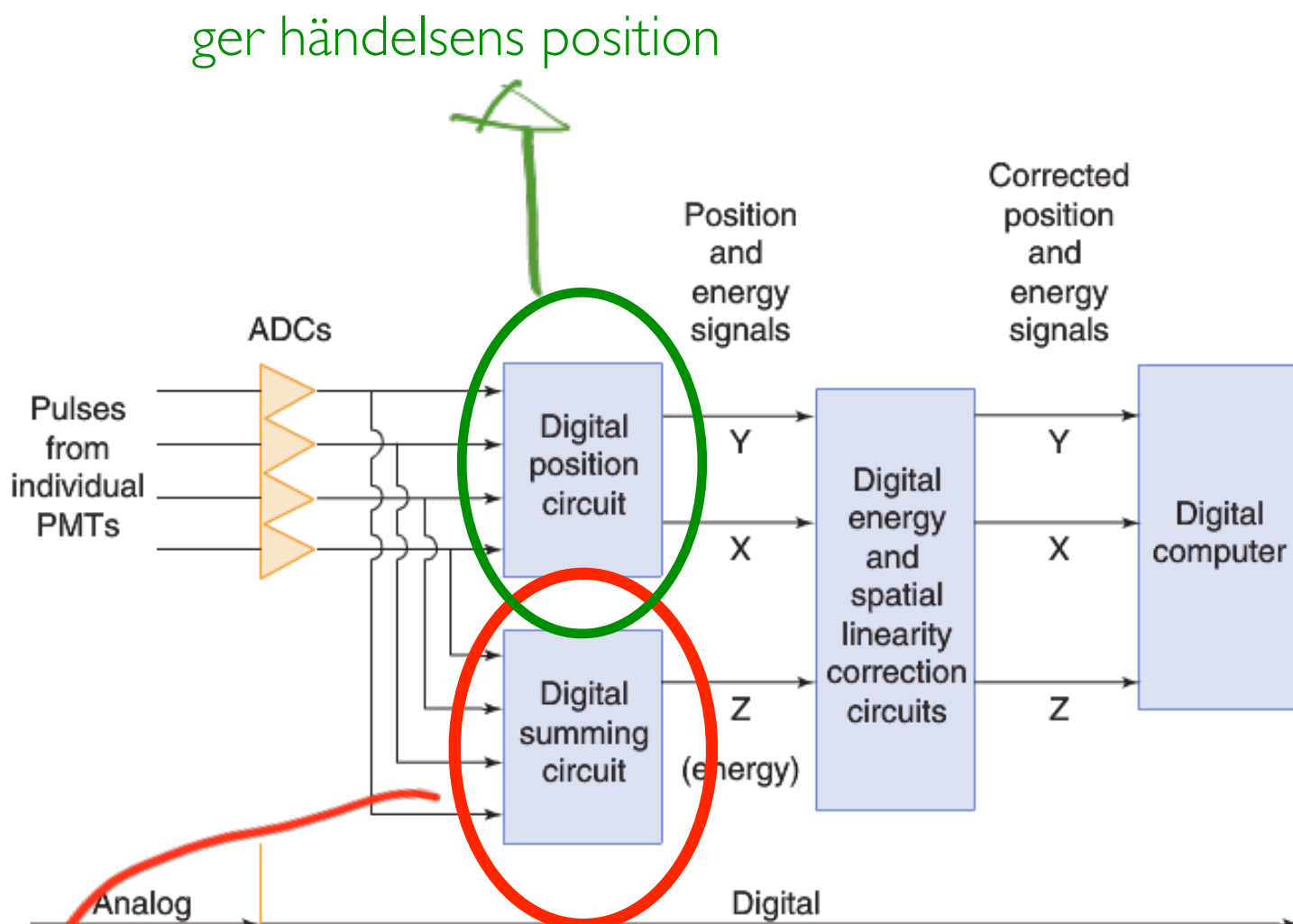
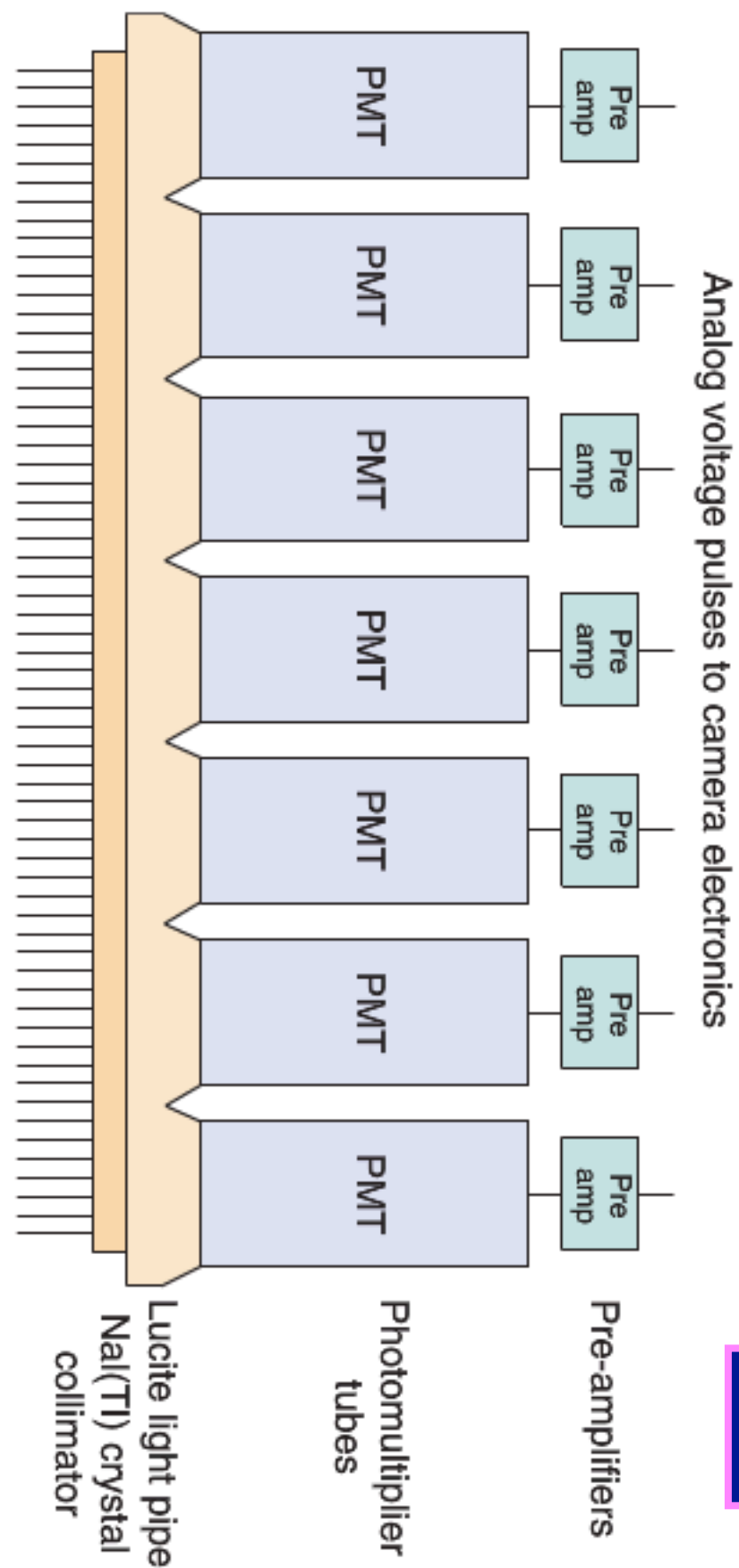






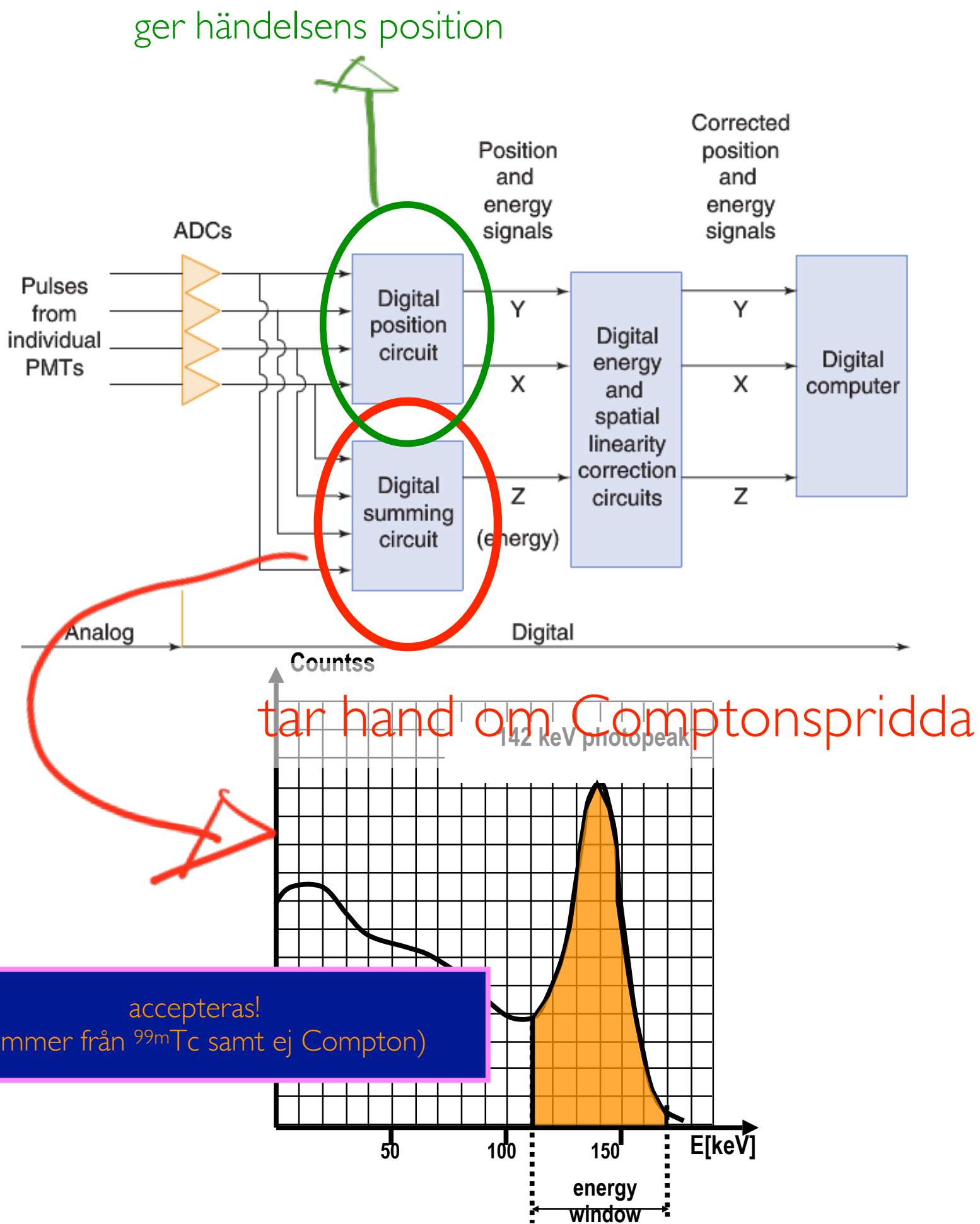
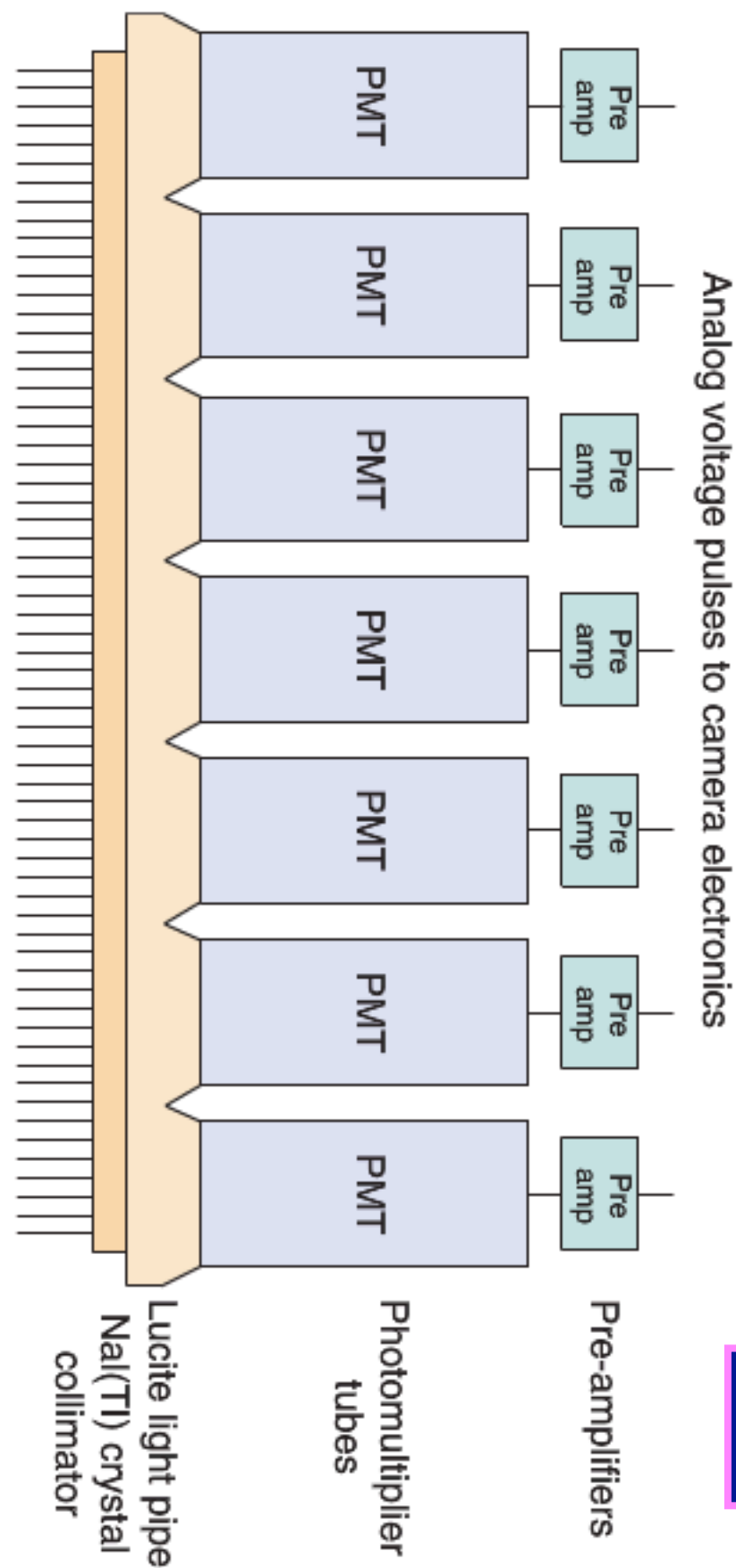


ger händelsens position

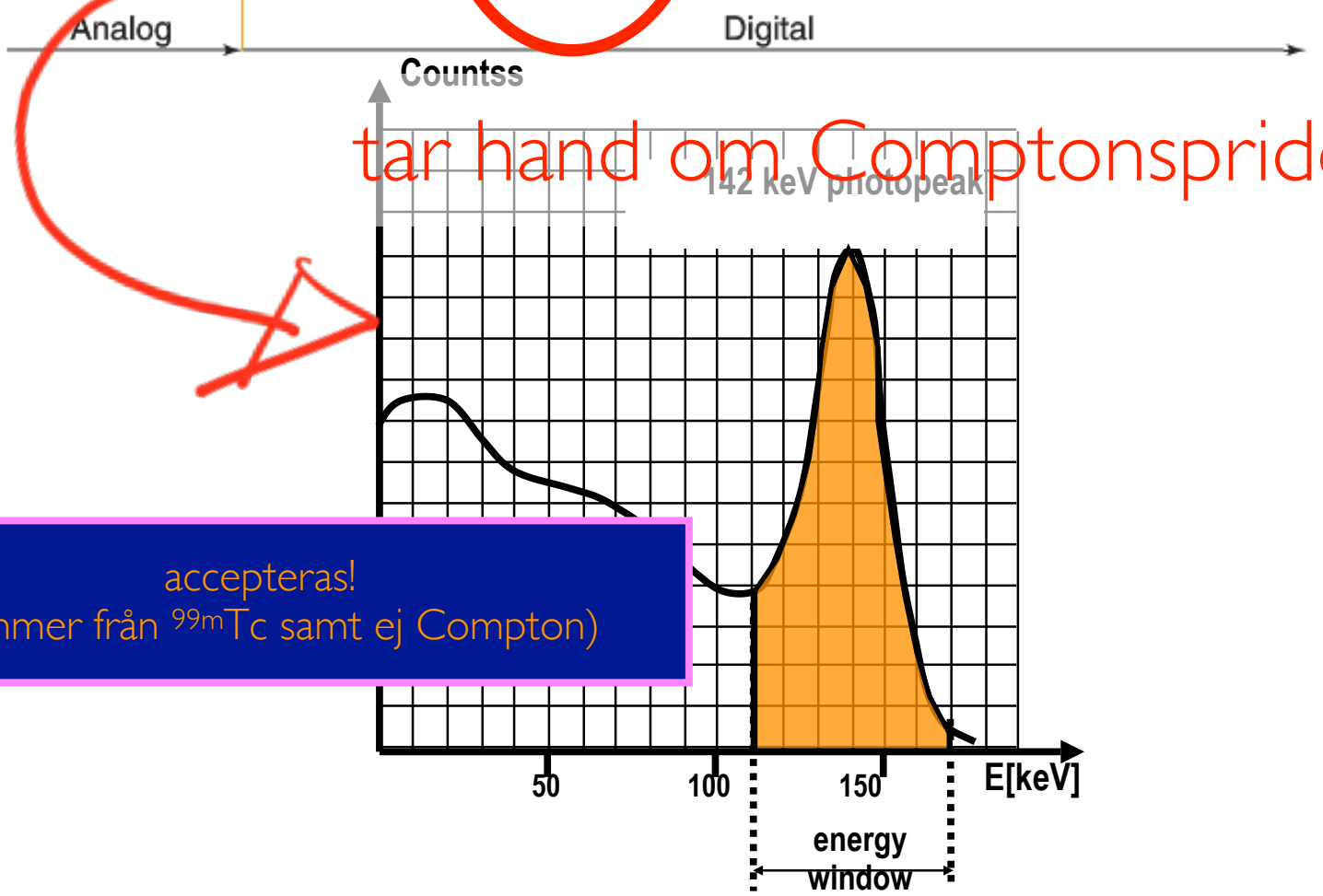
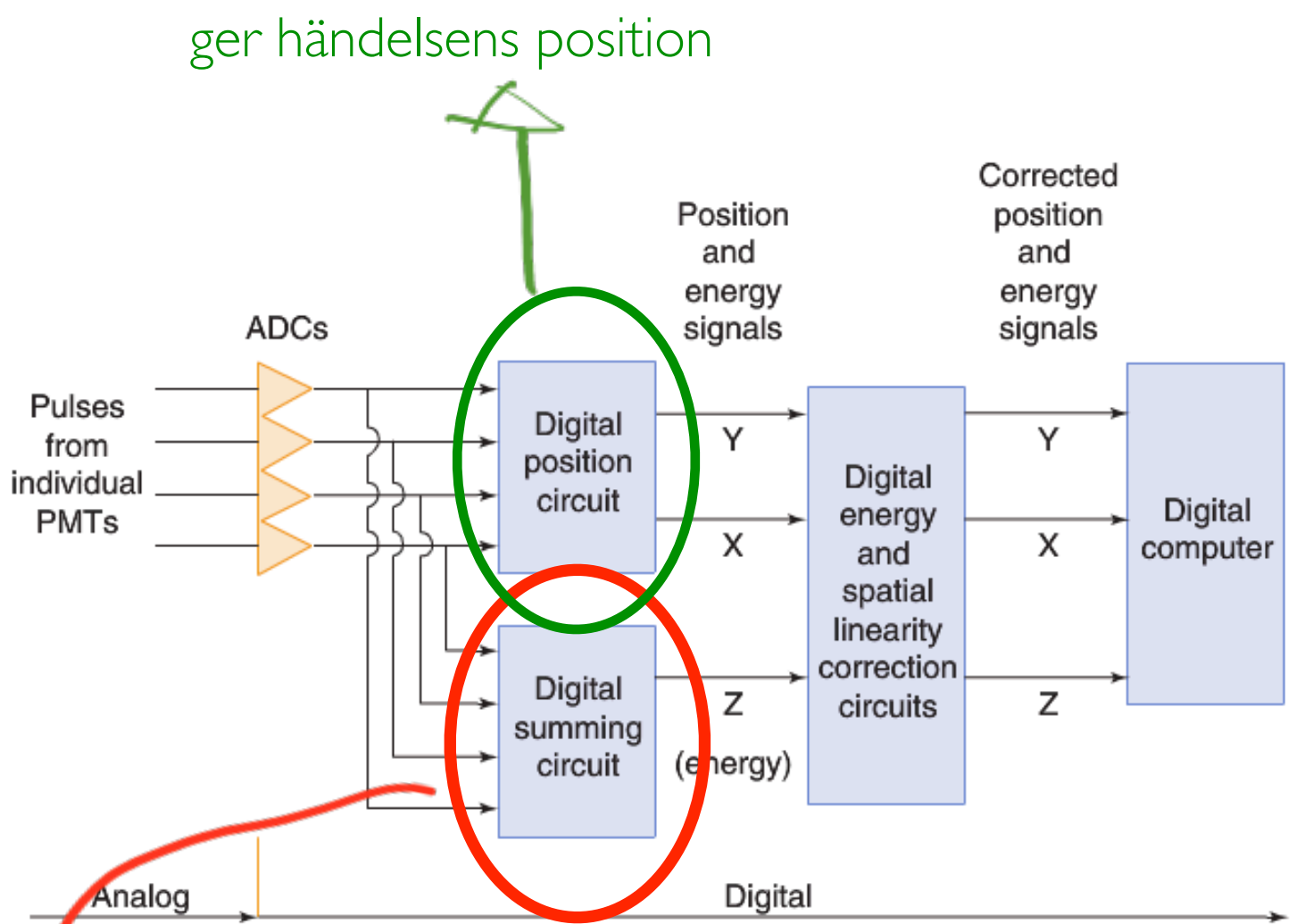
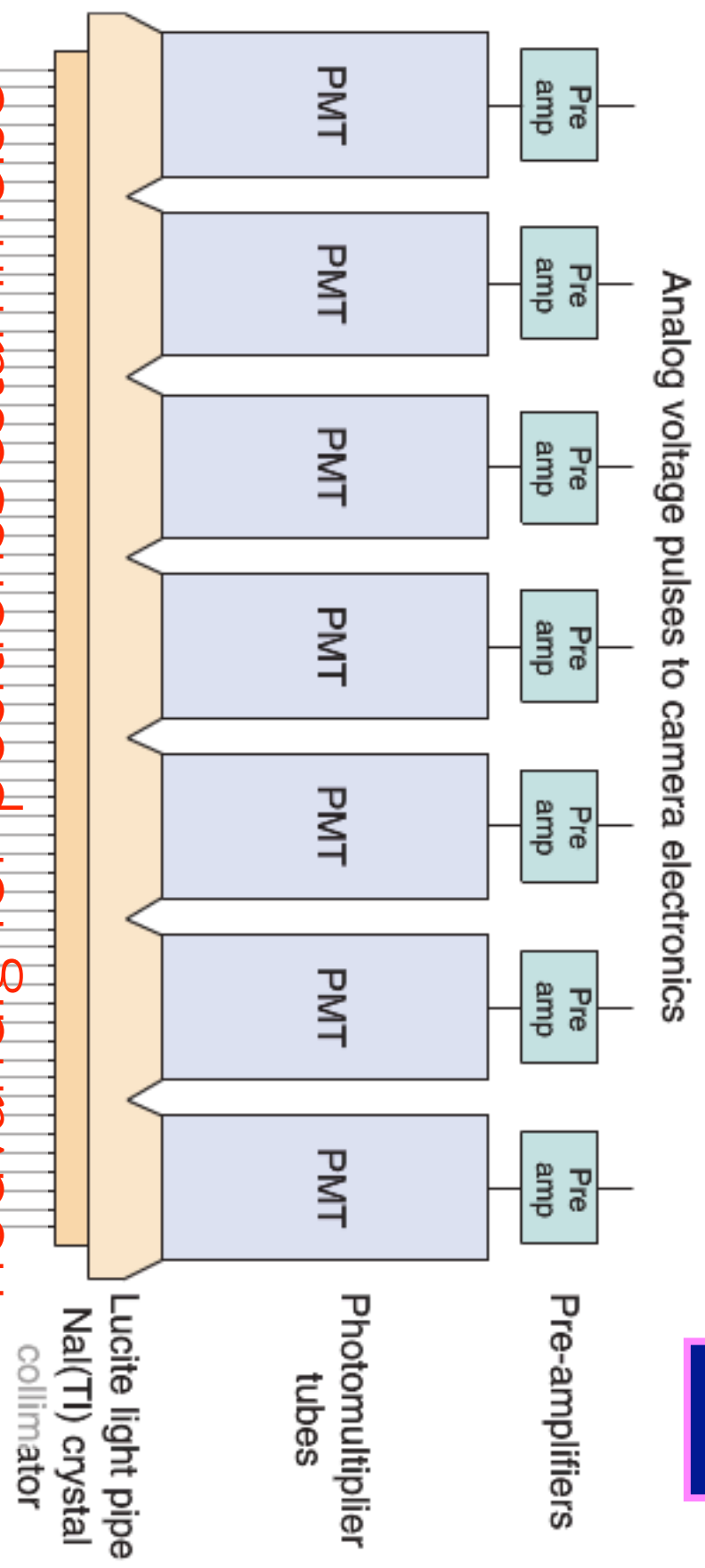


accepteras!
(kommer från ^{99m}Tc samt ej Compton)

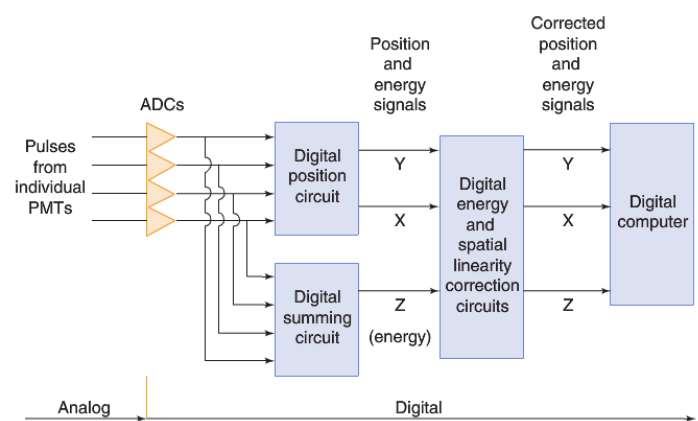
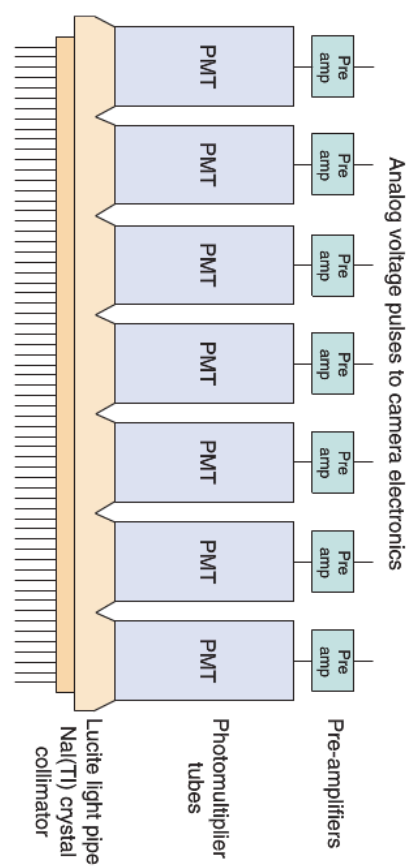
ger händelsens position



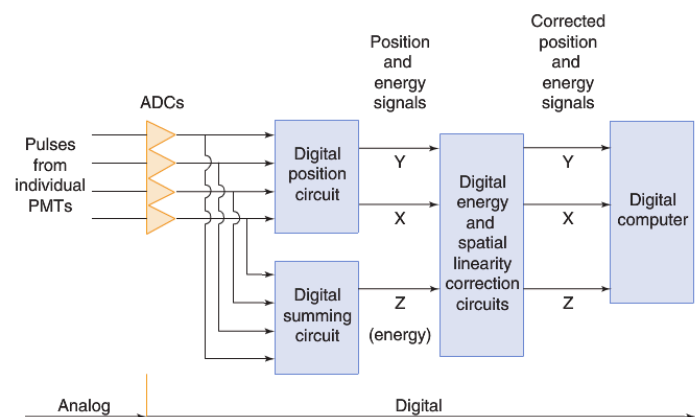
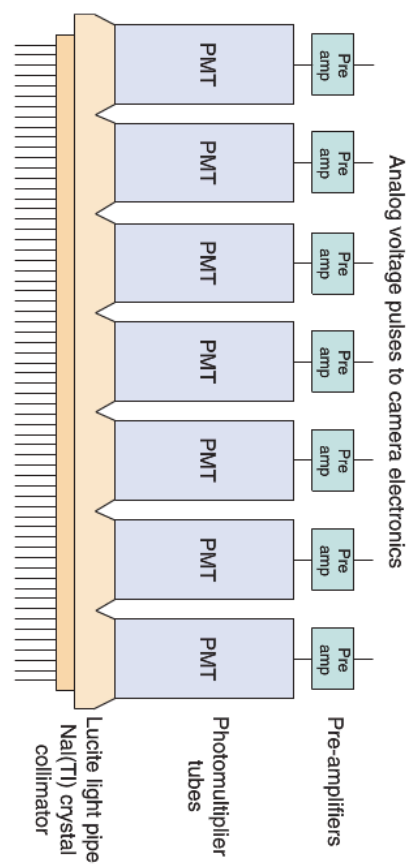
nödvändig för positionsbestämelse



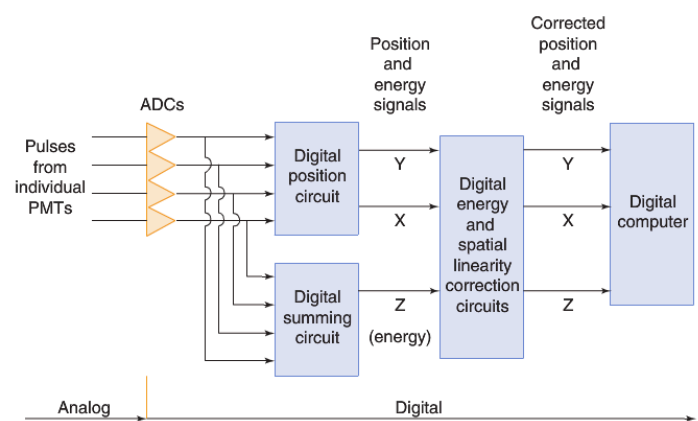
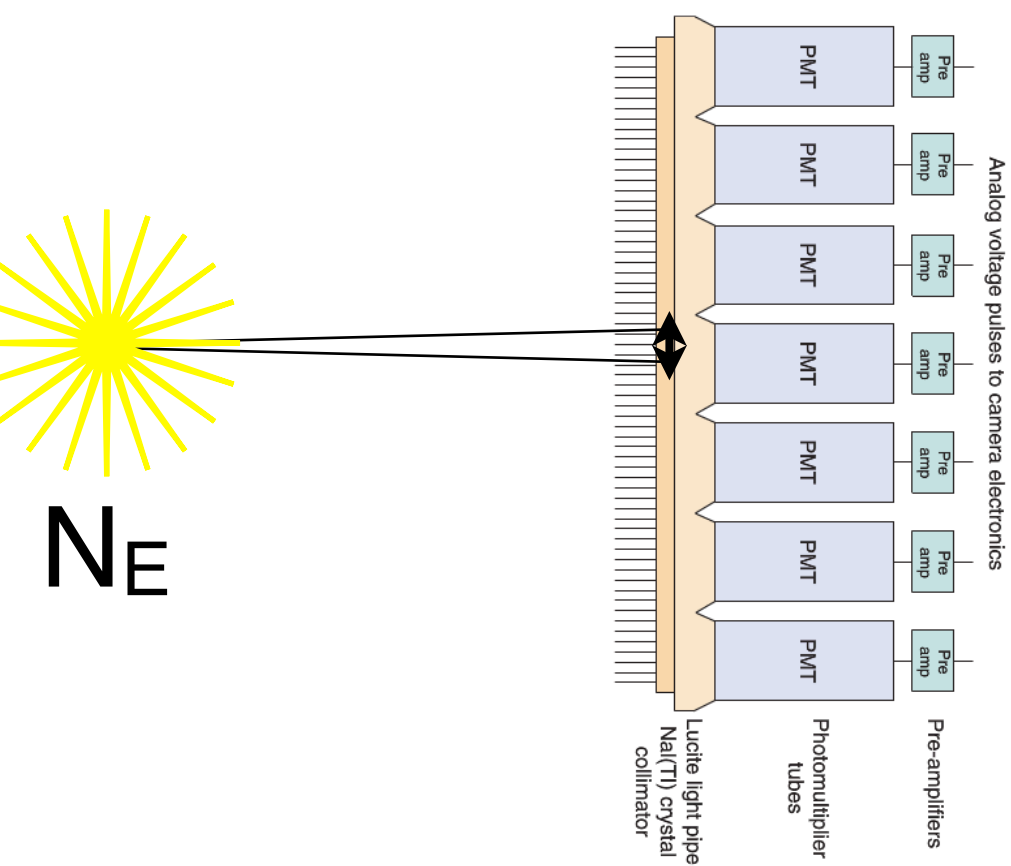
Känslighet gammakamera



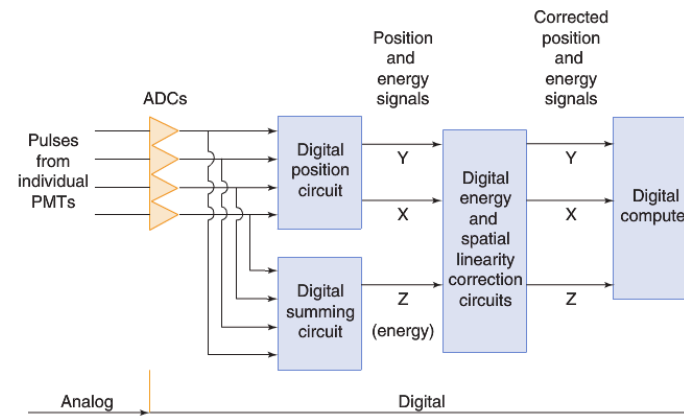
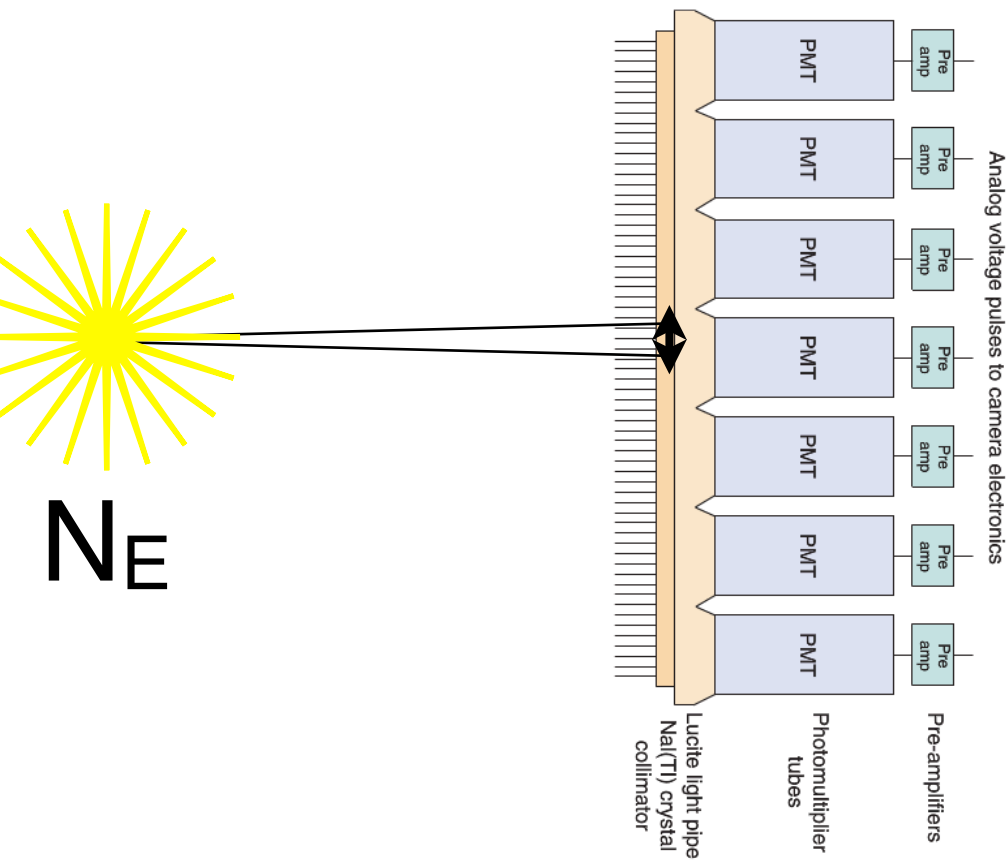
Känslighet gammakamera



Känslighet gammakamera



Känslighet gammakamera

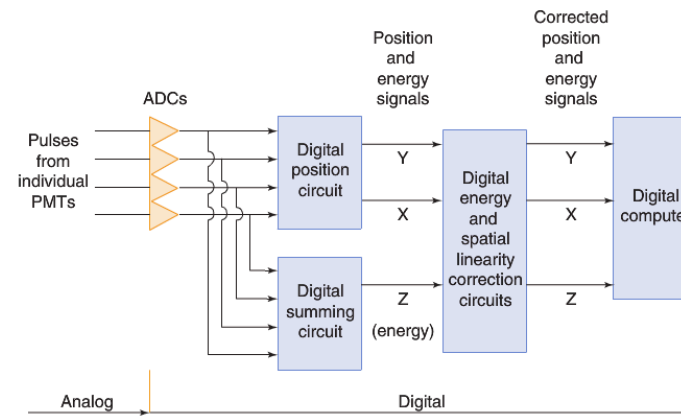
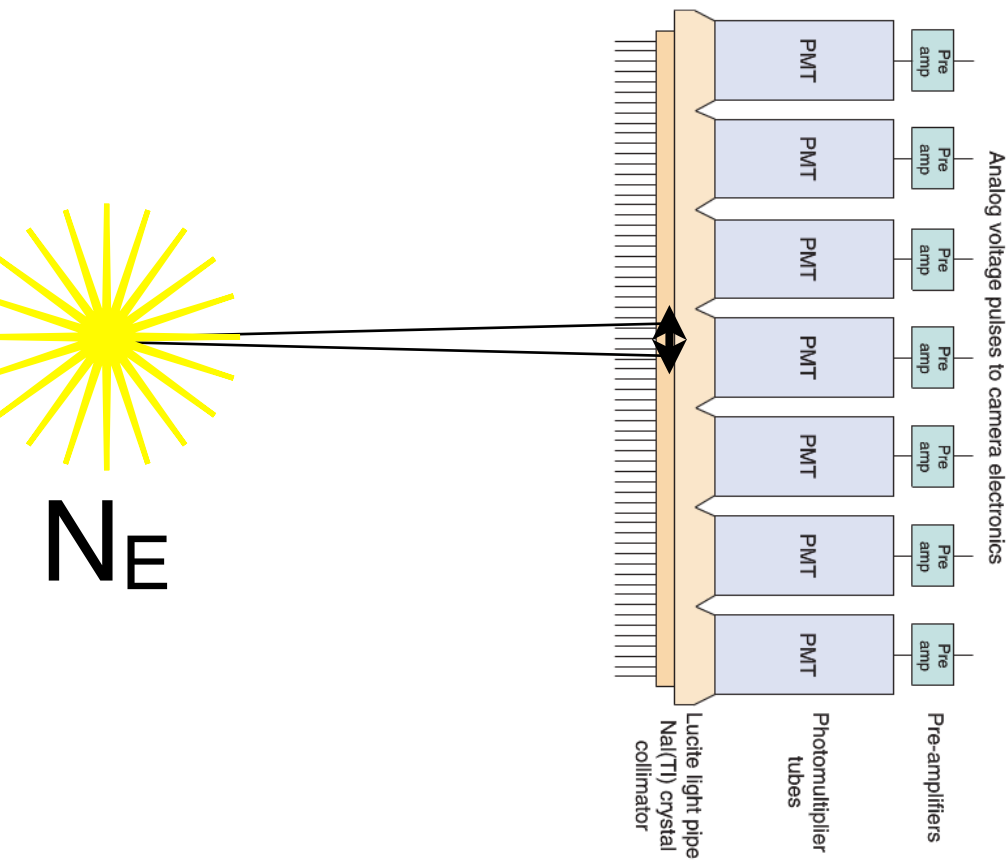


$$\text{når detektor} \sim \frac{(\text{Resol})^2 N_E}{4R^2}$$

Känslighet gammakamera

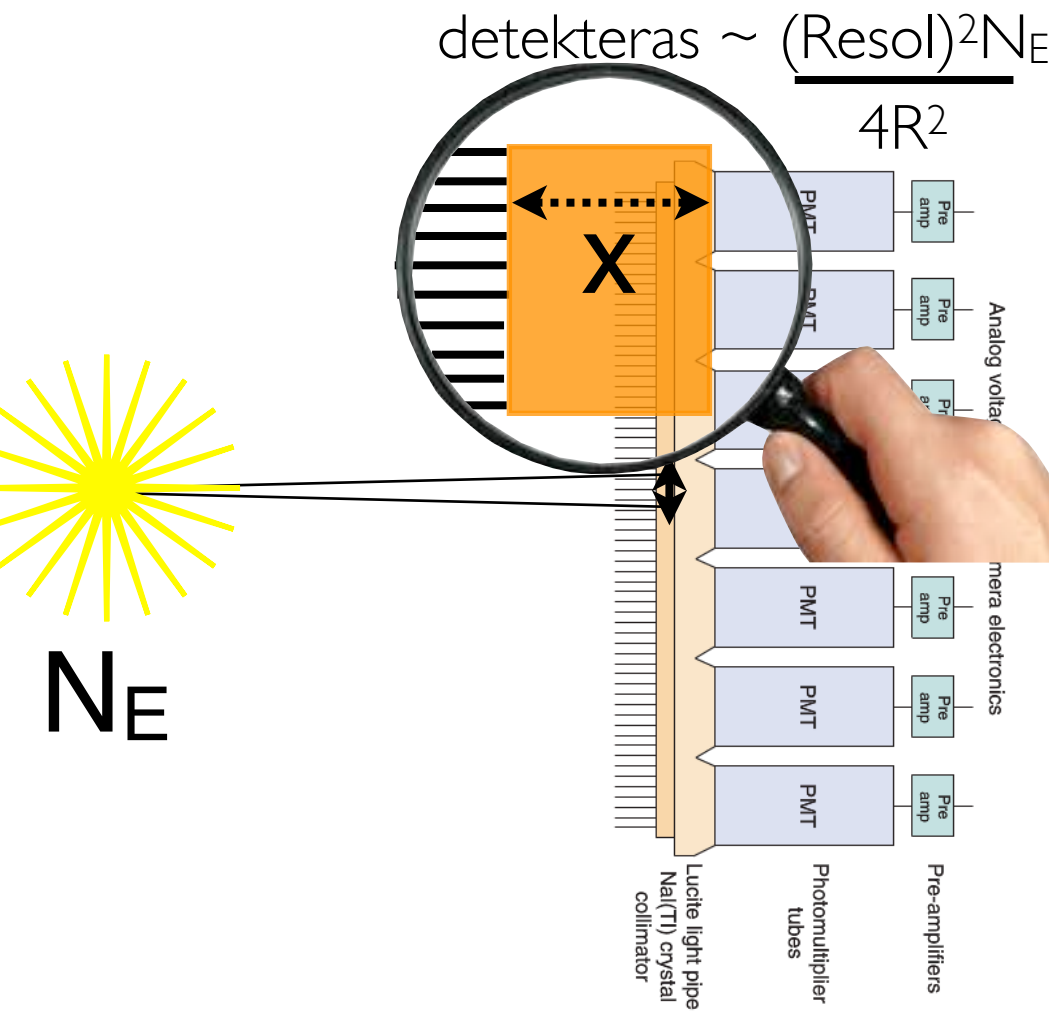
$$\text{detekteras} \sim \frac{(\text{Resol})^2 N_E}{4R^2}$$

$$(1 - e^{-\mu x})$$

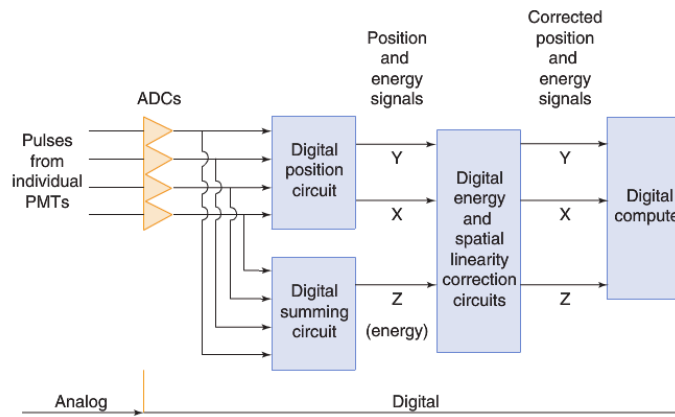


$$\text{når detektor} \sim \frac{(\text{Resol})^2 N_E}{4R^2}$$

Känslighet gammakamera



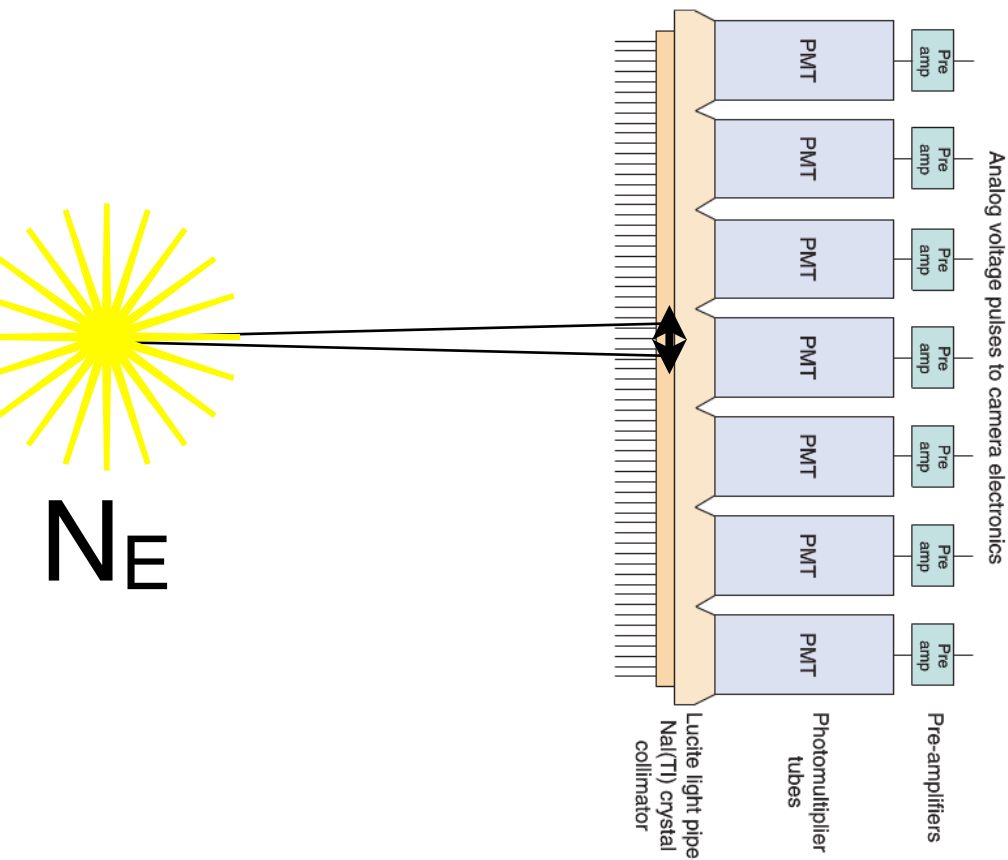
$$(1 - e^{-\mu x})$$



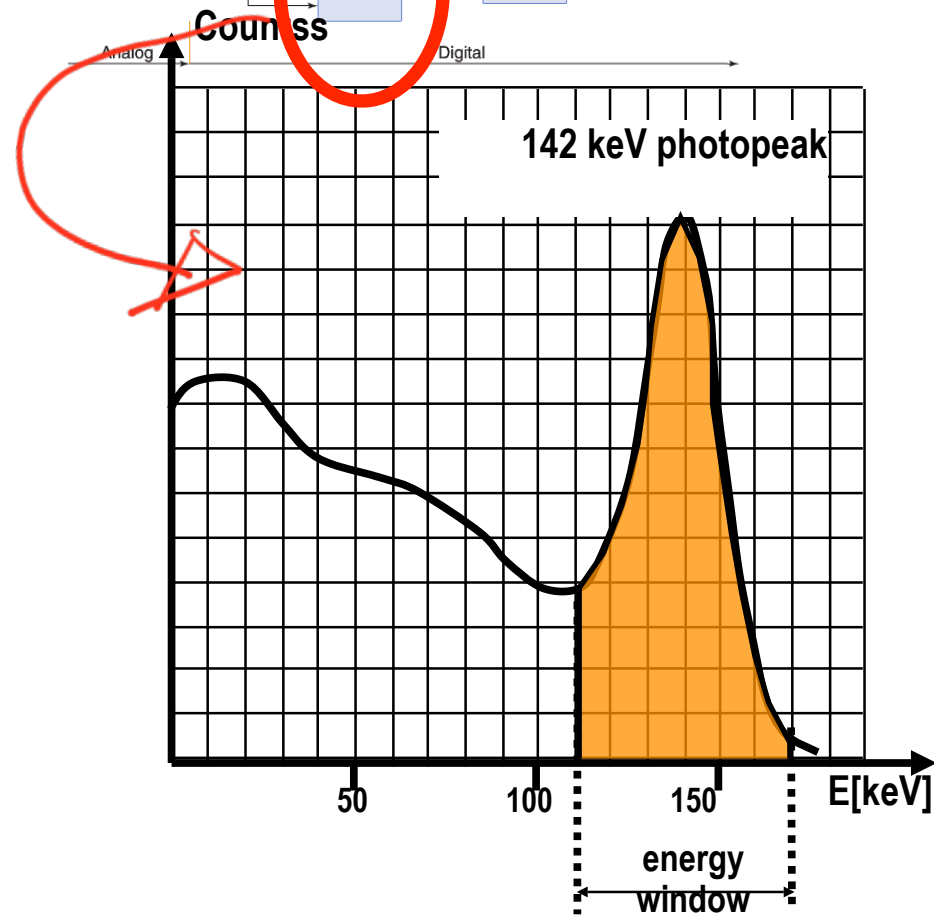
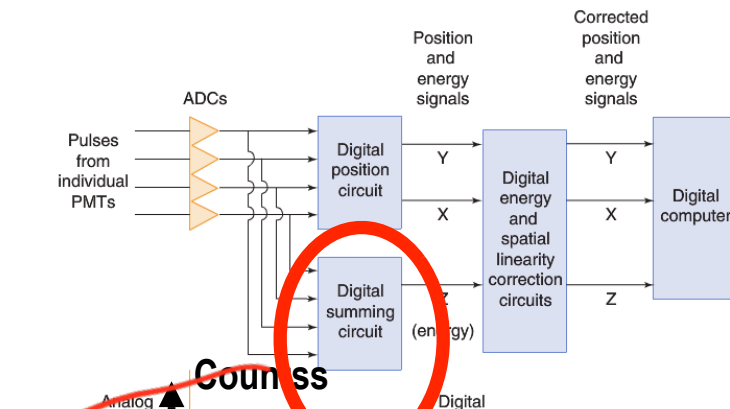
när detektor $\sim \frac{(\text{Resol})^2 N_E}{4R^2}$

Känslighet gammakamera

$$\text{detekteras} \sim \frac{(\text{Resol})^2 N_E}{4R^2} (1 - e^{-\mu x})$$



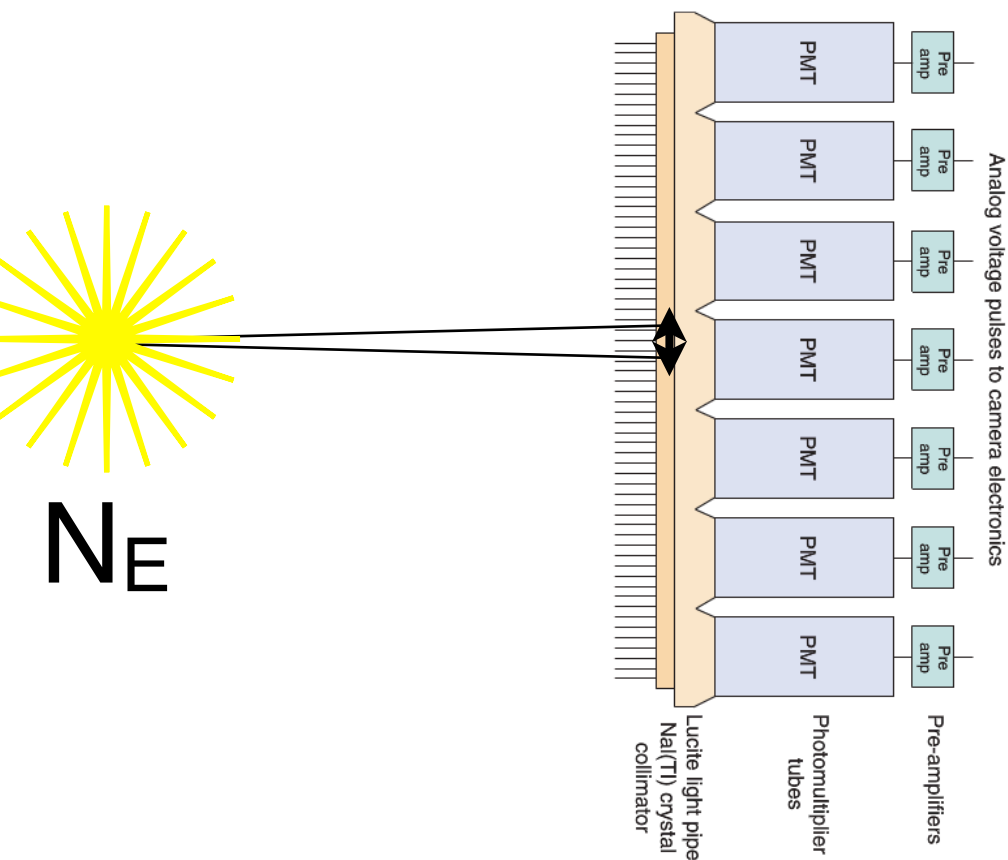
$$\text{når detektor} \sim \frac{(\text{Resol})^2 N_E}{4R^2}$$



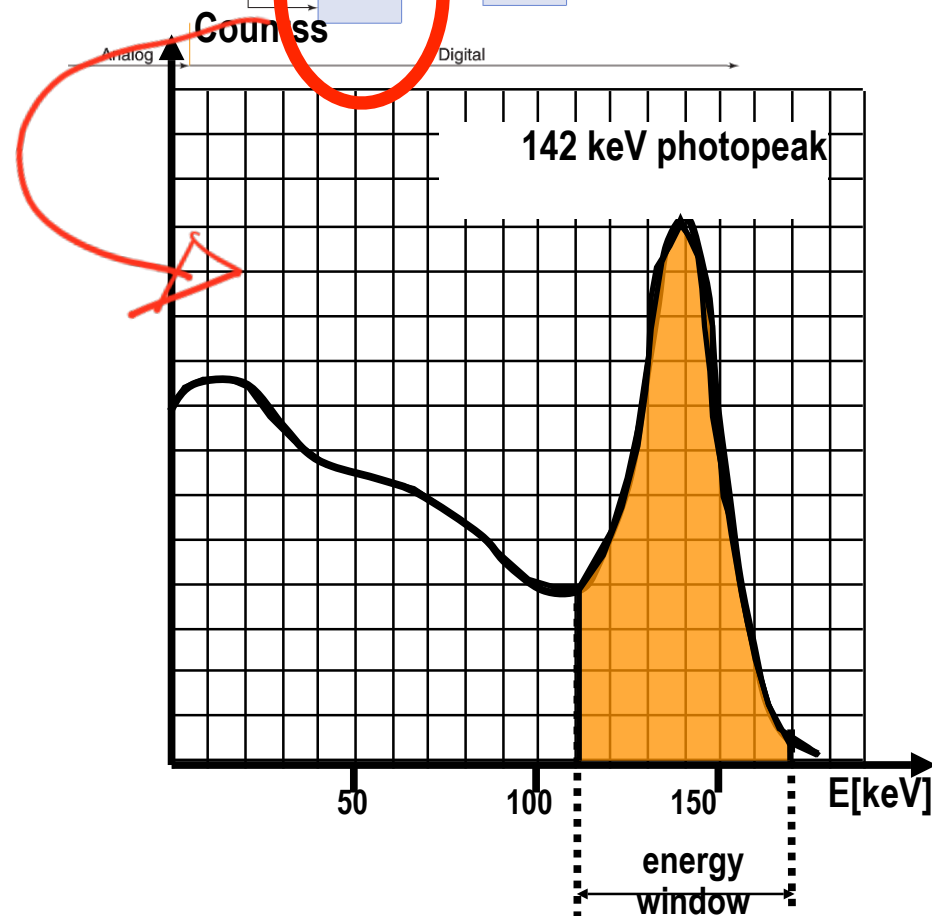
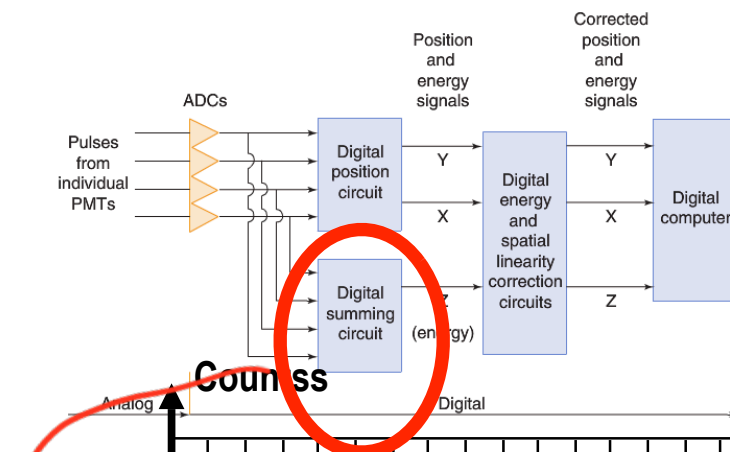
Känslighet gammakamera

$$\text{detekteras} \sim \frac{(\text{Resol})^2 N_E}{4R^2}$$

$$(1 - e^{-\mu x})$$



$$\text{när detektor} \sim \frac{(\text{Resol})^2 N_E}{4R^2}$$

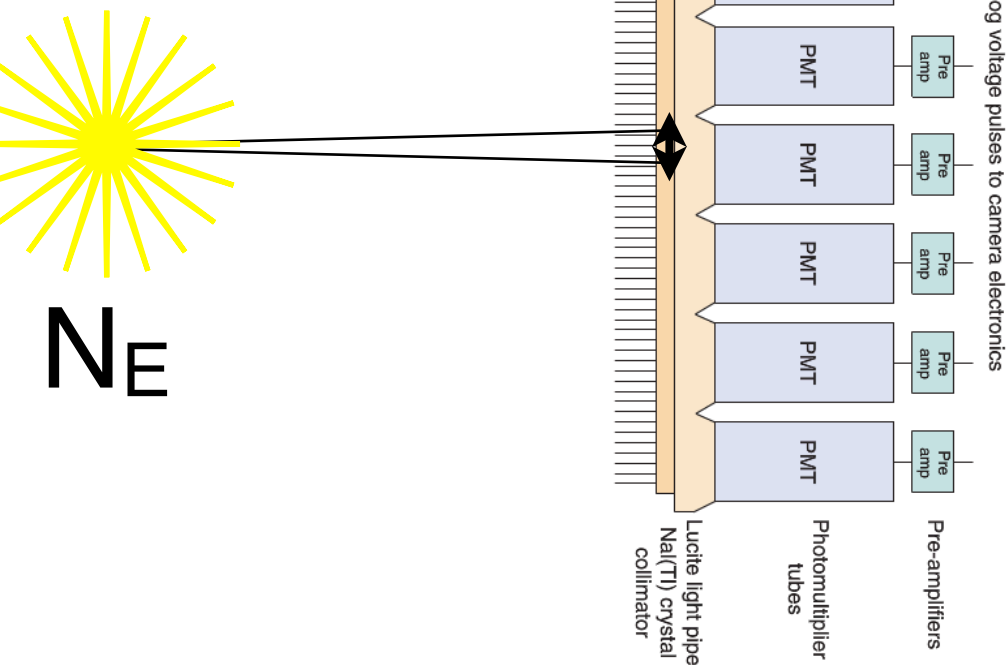


$$\text{accepteras} \sim \frac{(\text{Resol})^2 N_E}{4R^2} (1 - e^{-\mu x})$$

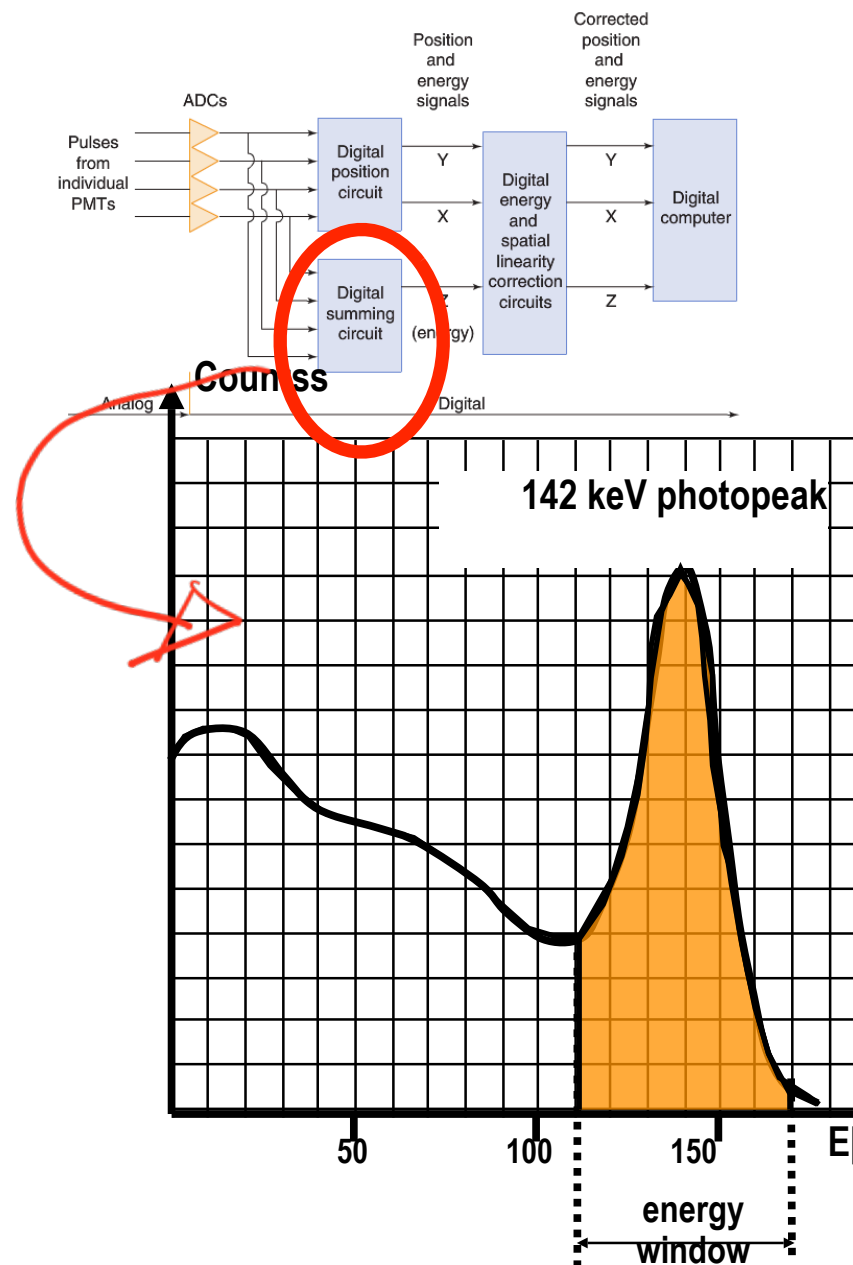
Känslighet gammakamera

$$\text{detekteras} \sim \frac{(\text{Resol})^2 N_E}{4R^2}$$

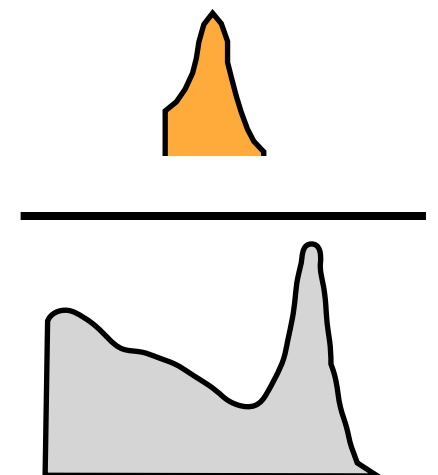
$$(1 - e^{-\mu x})$$



$$\text{när detektor} \sim \frac{(\text{Resol})^2 N_E}{4R^2}$$



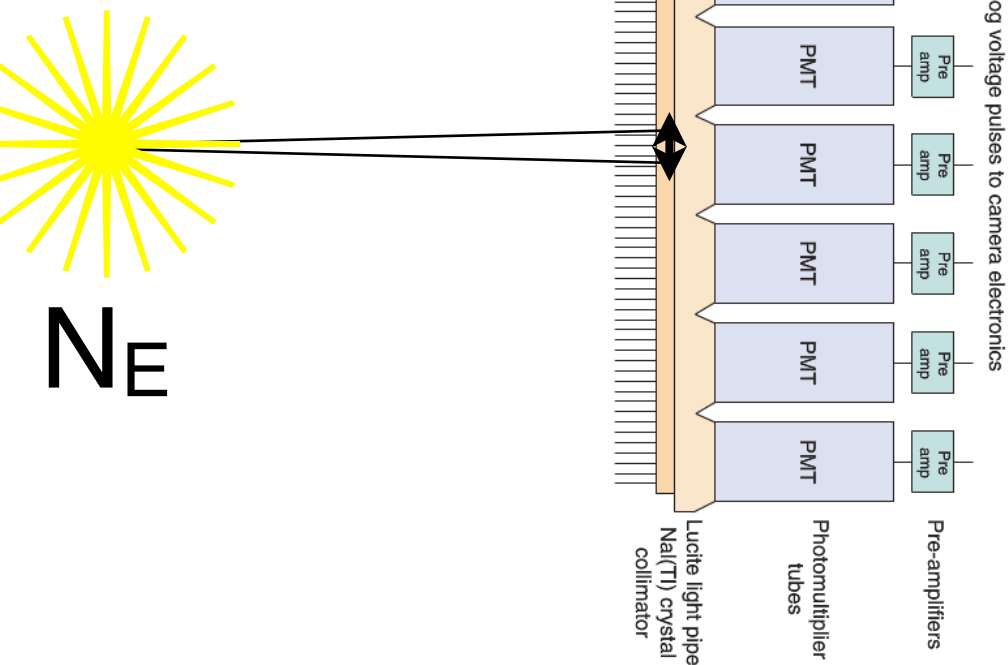
$$\text{accepteras} \sim \frac{(\text{Resol})^2 N_E}{4R^2} (1 - e^{-\mu x})$$



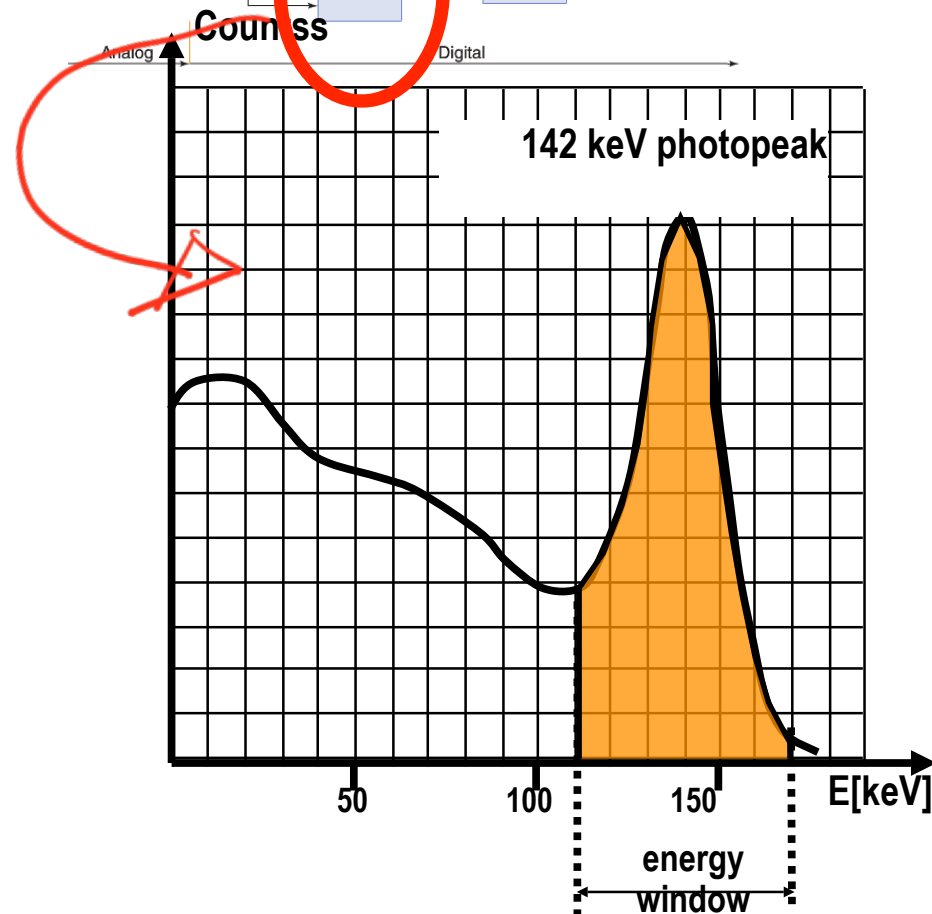
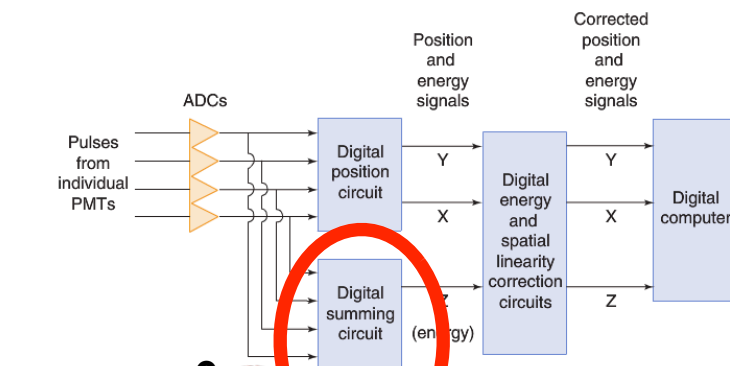
Känslighet gammakamera

$$\text{detekteras} \sim \frac{(\text{Resol})^2 N_E}{4R^2}$$

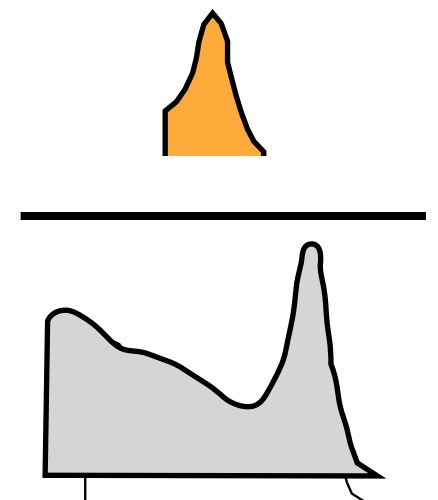
$$(1 - e^{-\mu x})$$



$$\text{när detektor} \sim \frac{(\text{Resol})^2 N_E}{4R^2}$$

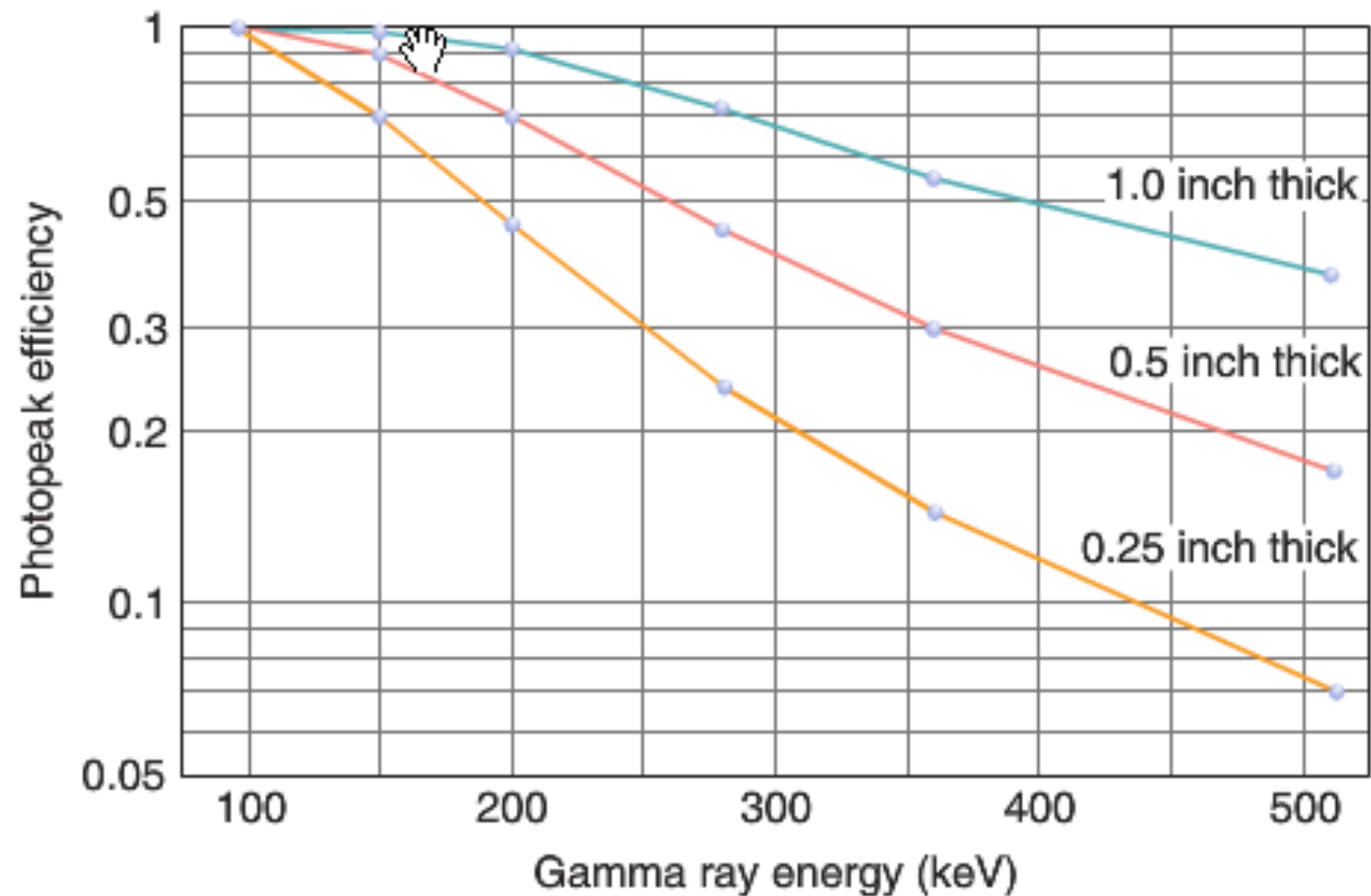


$$\text{accepteras} \sim \frac{(\text{Resol})^2 N_E}{4R^2} (1 - e^{-\mu x})$$



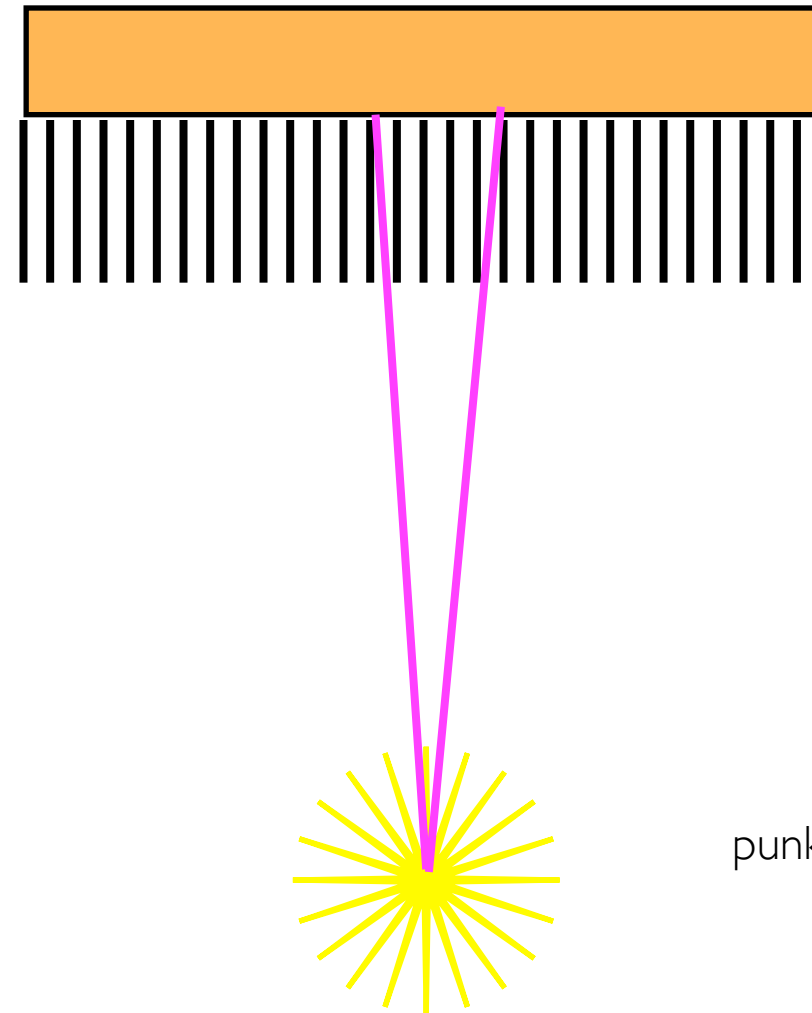
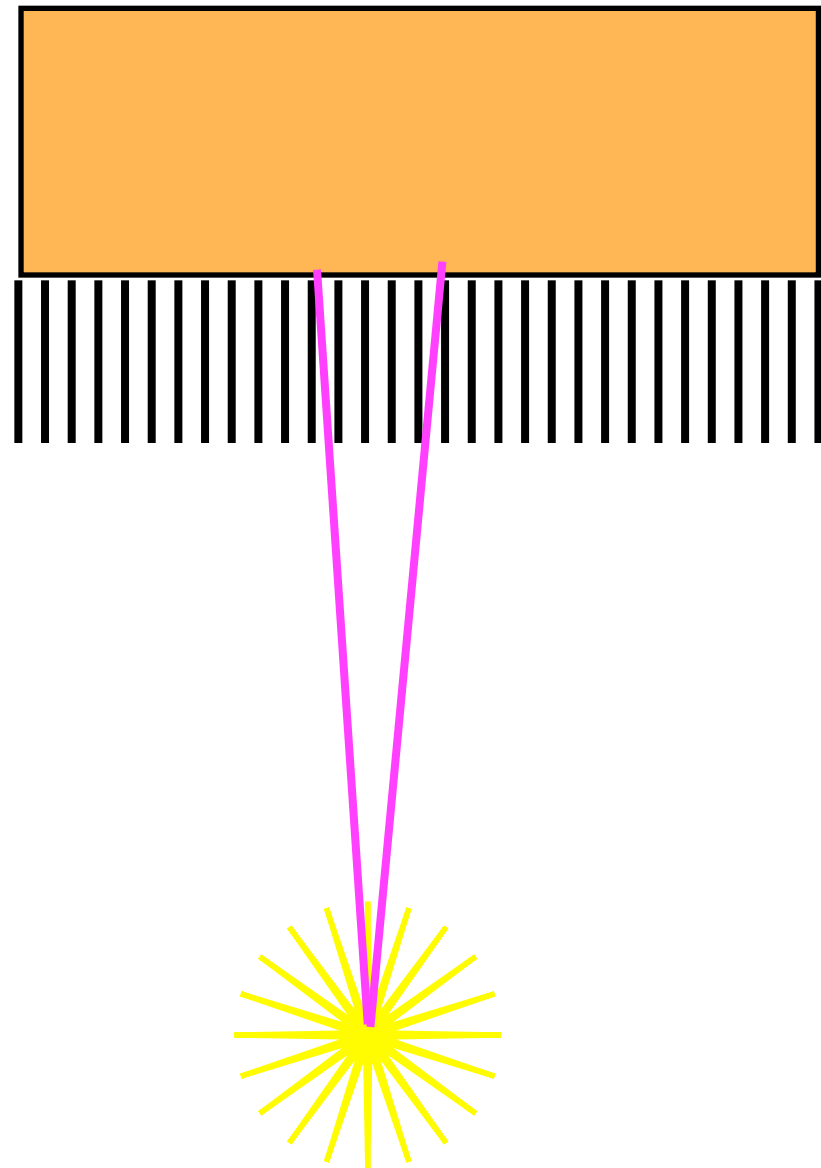
Crystal geometry effects

Photopeak känslighet vs E och kristalltjocklek



Detekterat spektrum beror på kristallens geometri. Förstår du varför?

Resolution vs scintillators tjocklek



samma kollimator
olika kristalltjocklek

punktkälla samma avstånd

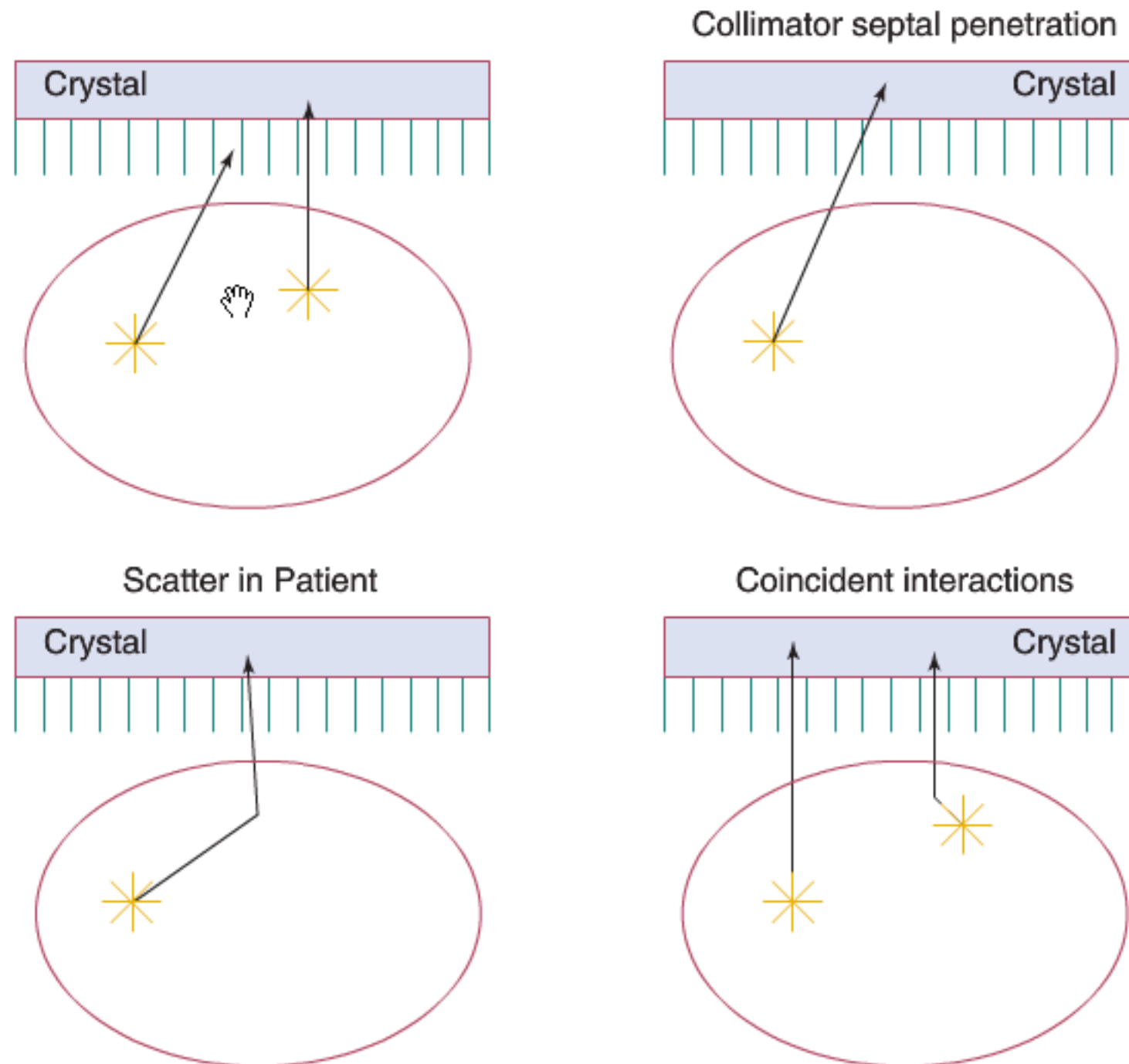
A. Resolution är samma

B. Resolution är sämre för den tjockare kristallen

C. Resolution är sämre för den tunnare kristallen

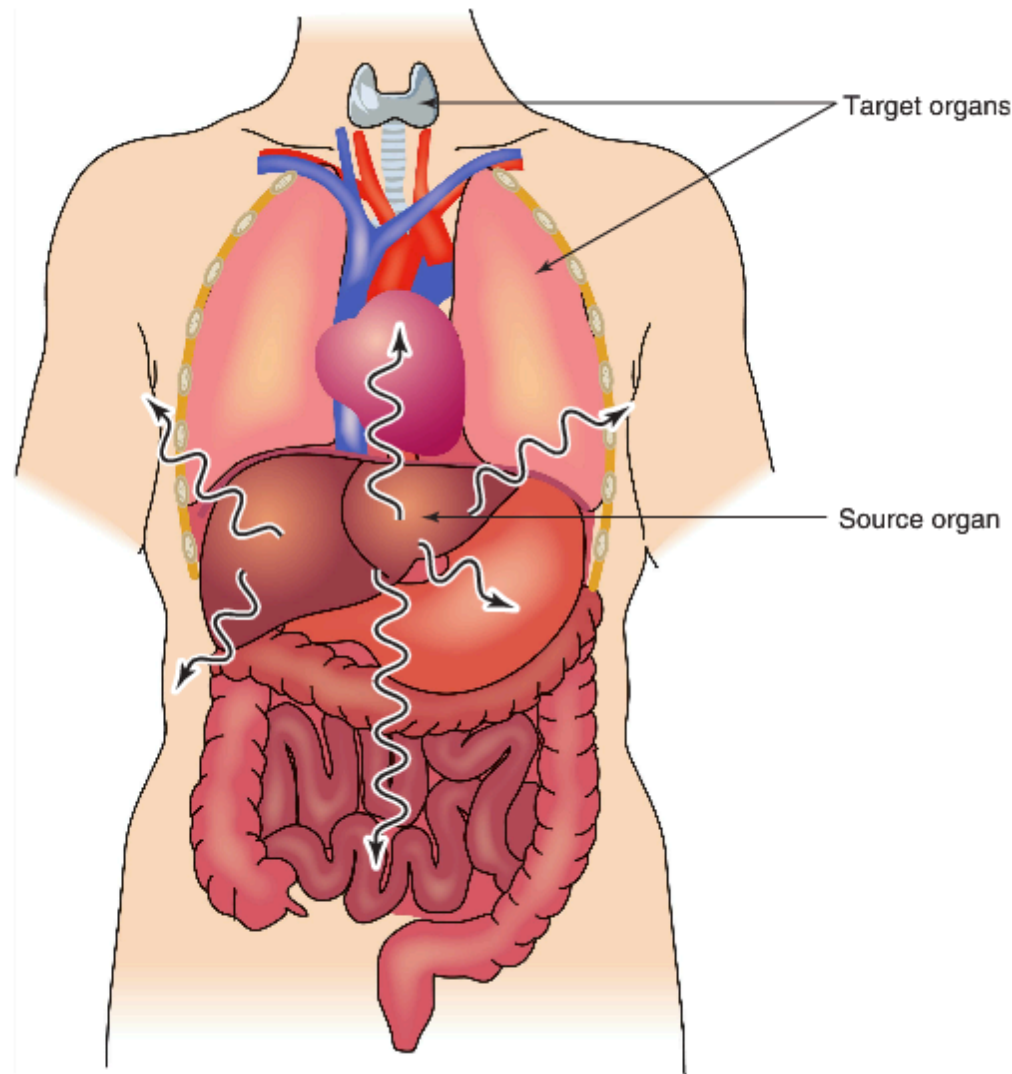
Vilken/vilka är bra resp. dåligt?

Vilken/vilka kan förkastas och hur?



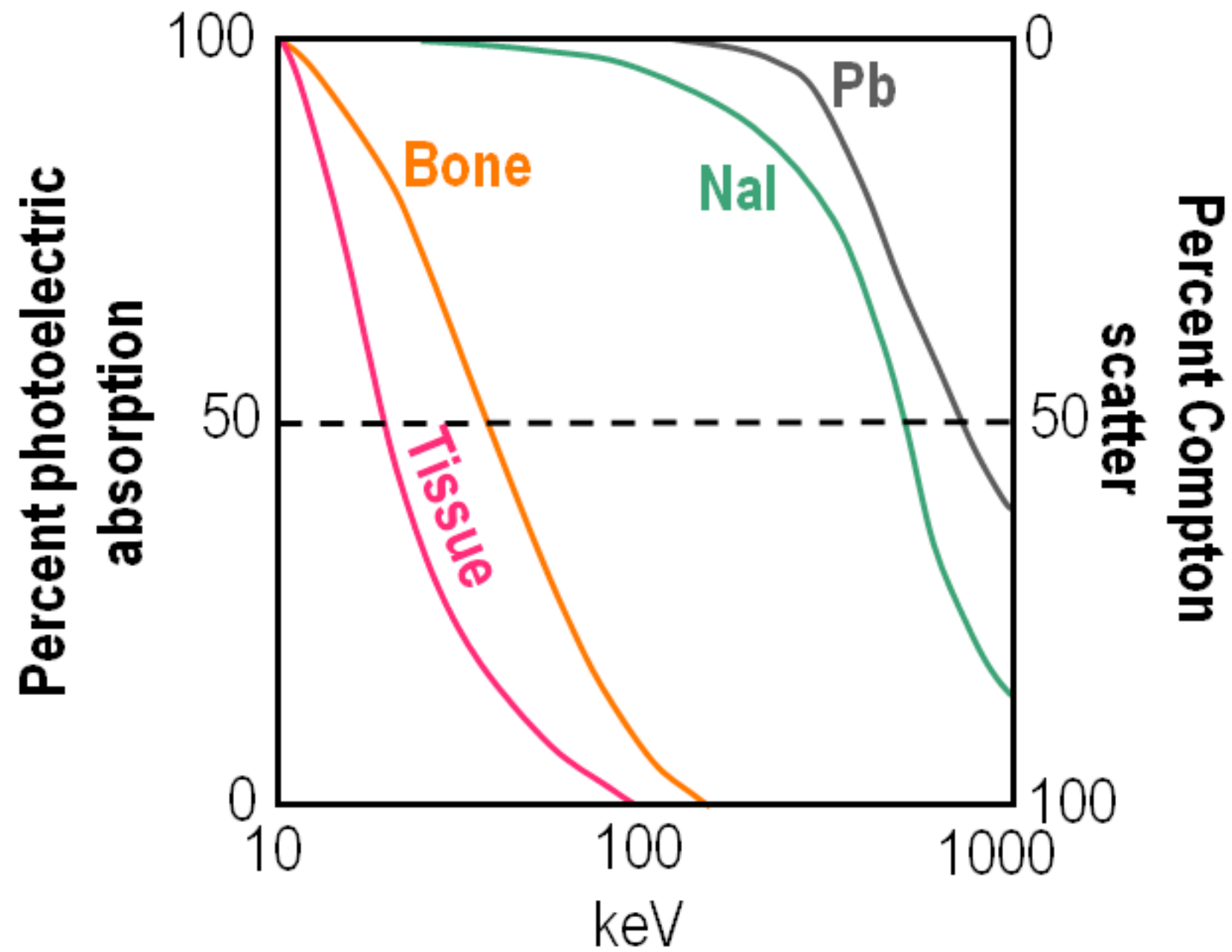
Photon energy effects

D

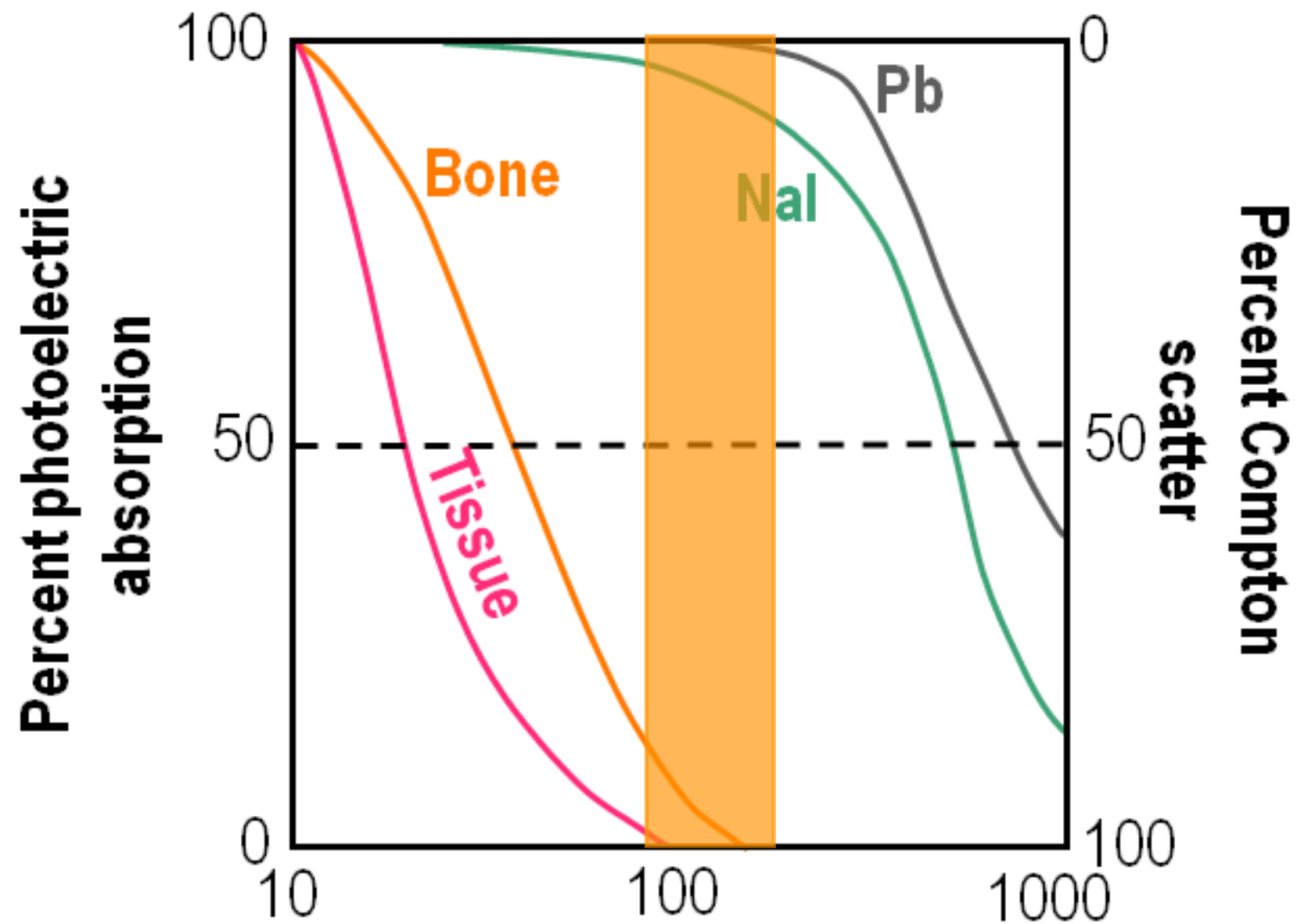


De emitterade fotonerna:

1. ska helst alla lämna patienten
2. några ska lämna patienten, några ska absorberas
3. ska helst alla absorberas hela bunten!



Optimal energin?



lägre dos & effektivitet



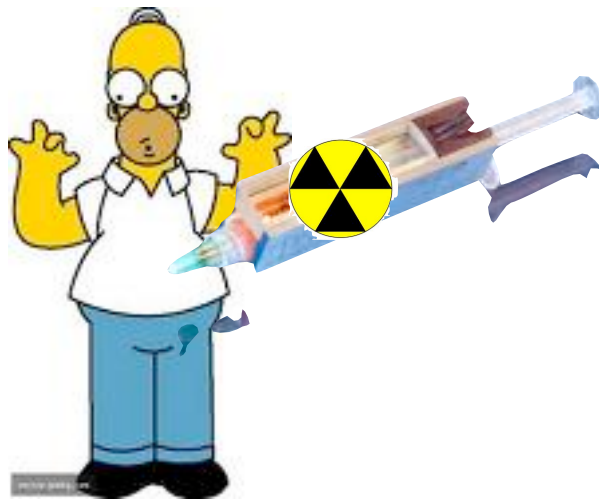
högre dos & effektivitet



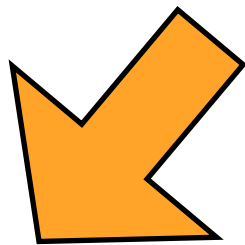
Optimal energin?

Radioisotopes properties

Undersökningsdag



en månad senare

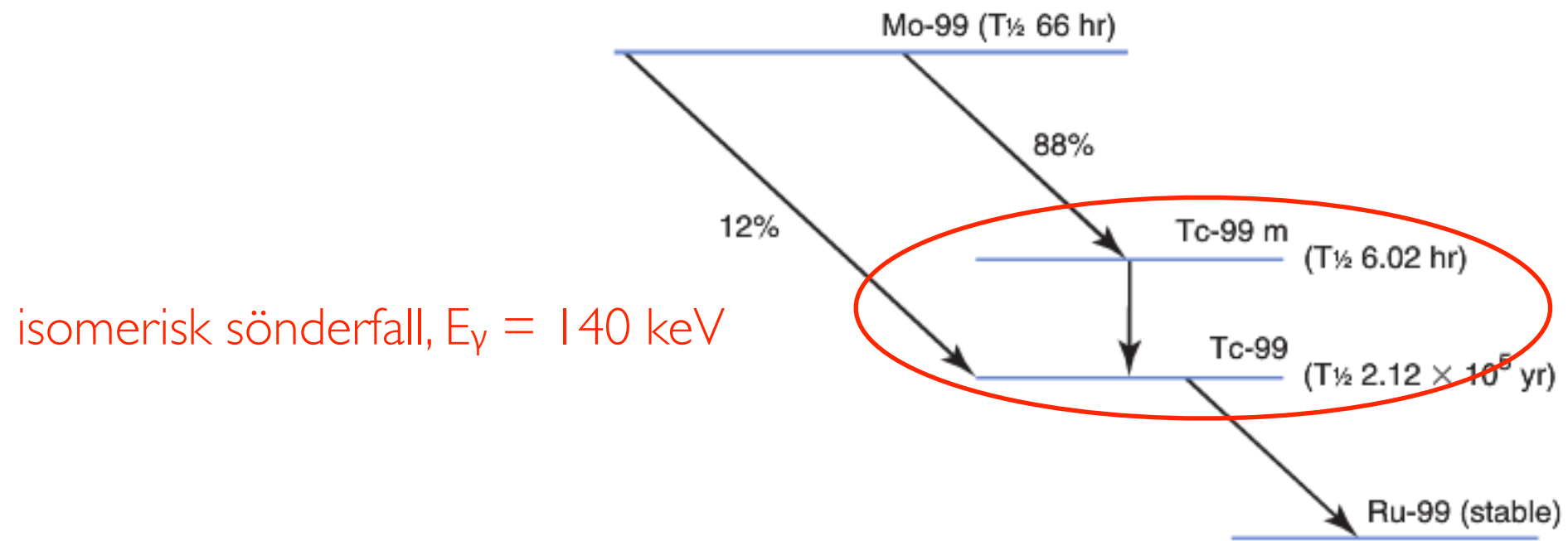


helst kortlivade
isotoper



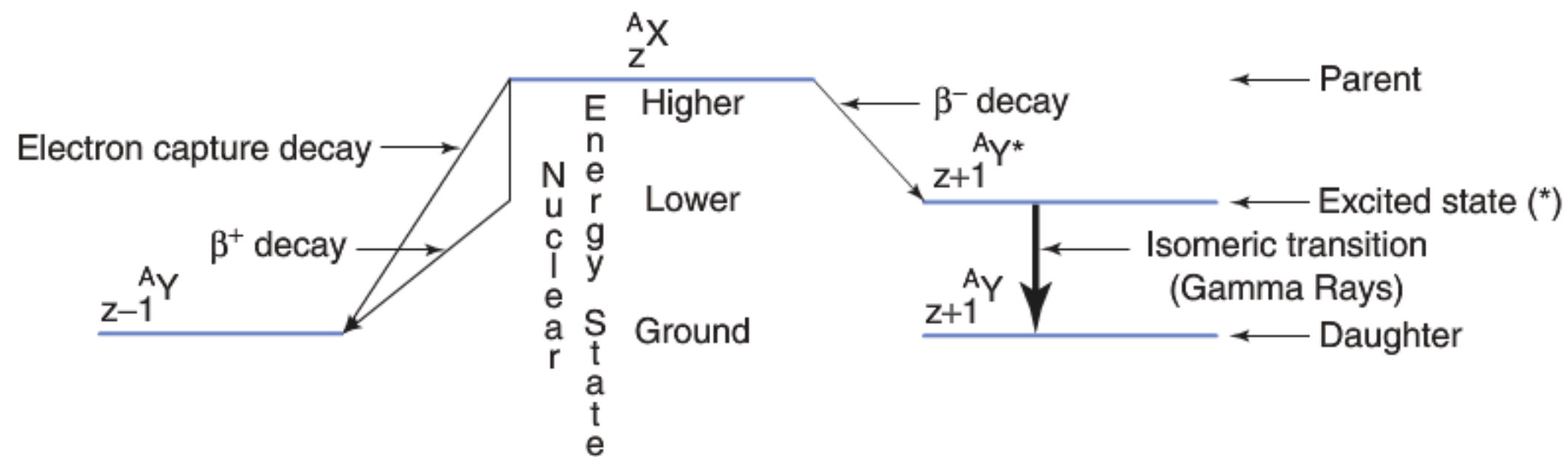
Sammanfattande diskussion (2-3 pers)
ideala egenskaper hos radiotracer:

Isotoper Gammakamera och SPECT



Why is Tc-99m ideal?

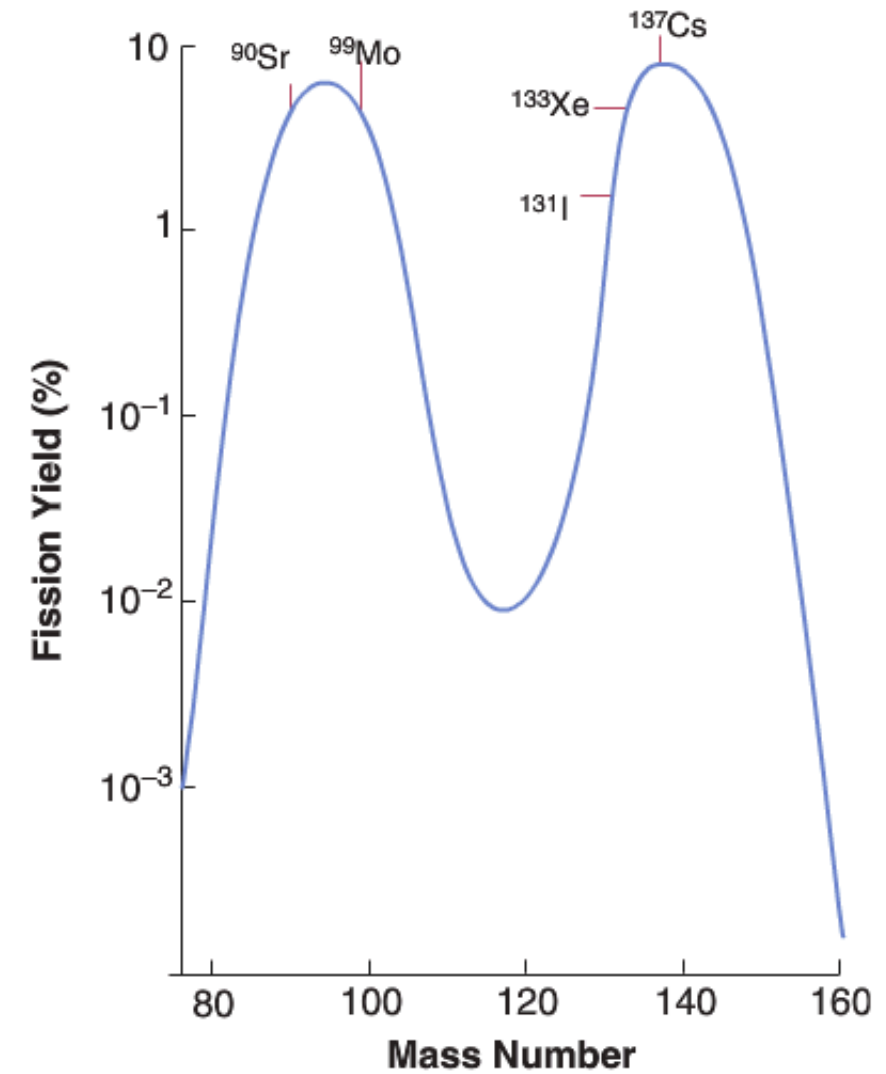
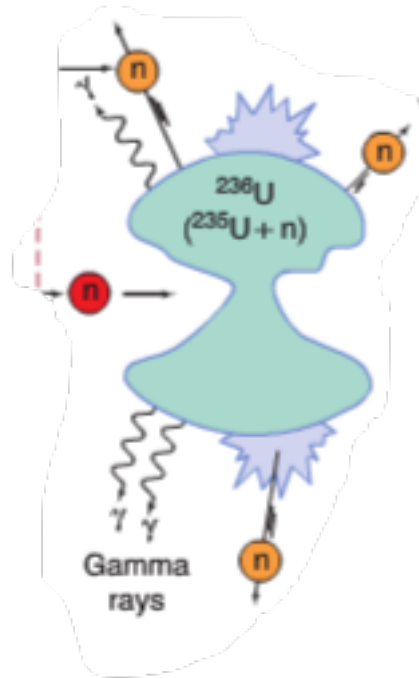
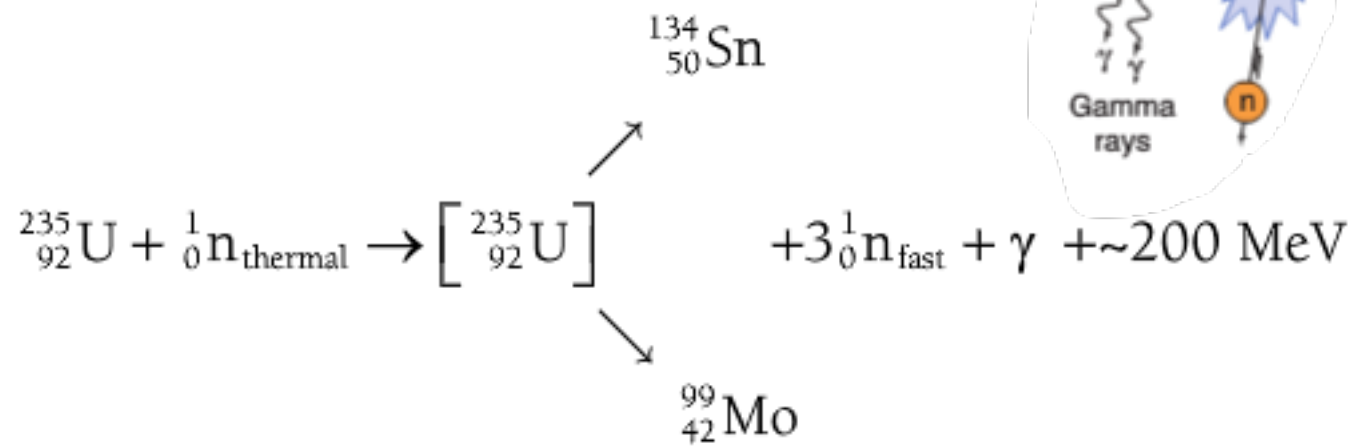
decay schemes:



■ **FIGURE 15-9** Elements of the generalized decay scheme.

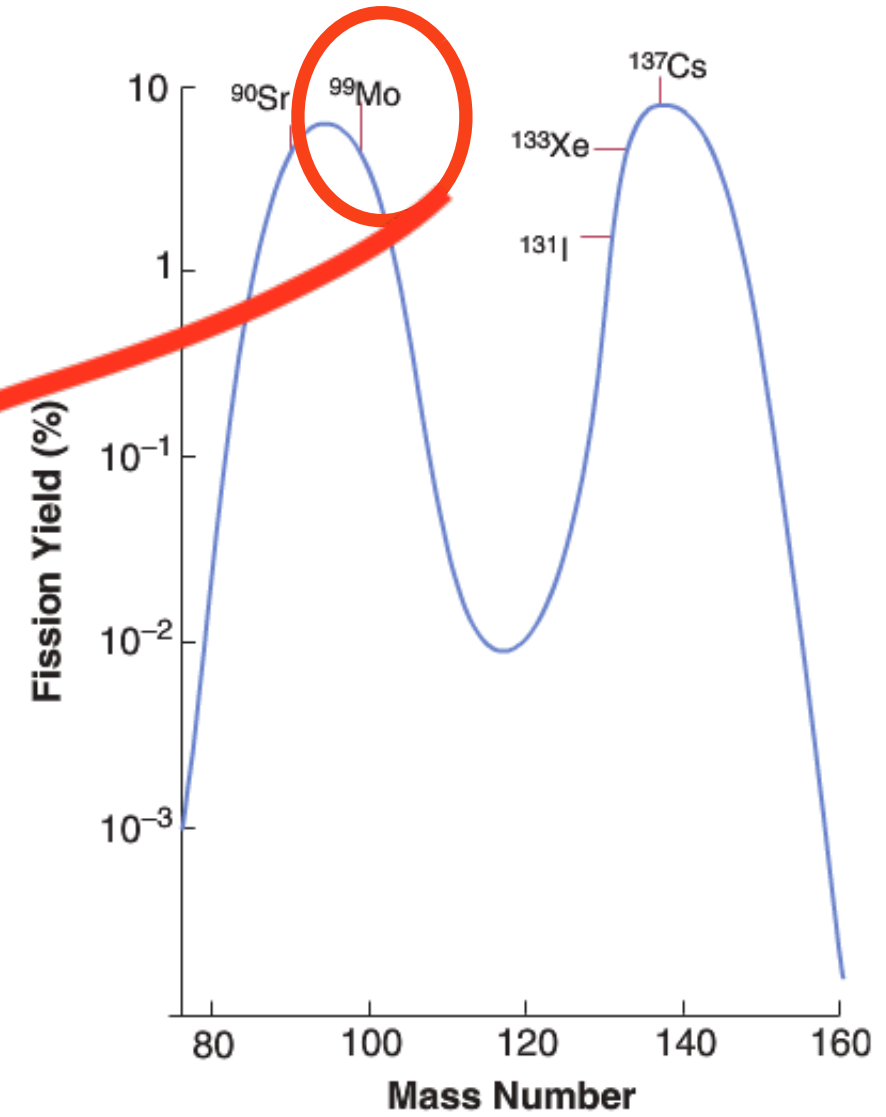
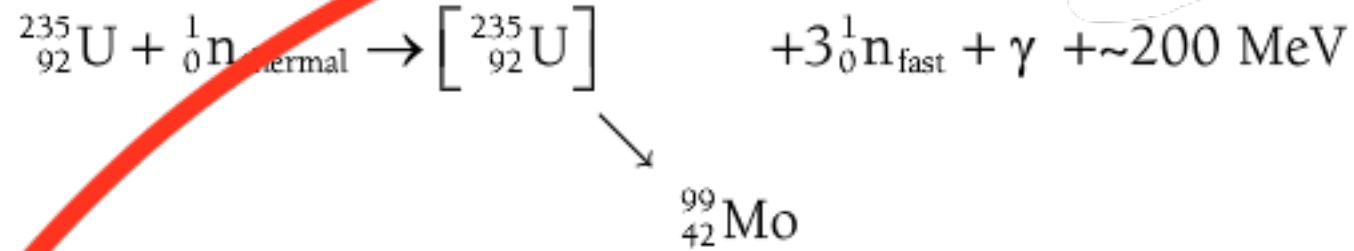
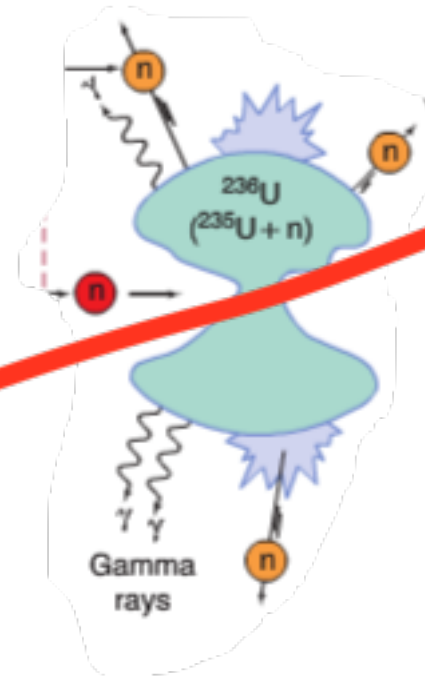
Hur produceras Tc-99m? (2 steg)

Mo-99 i en kärnreaktor



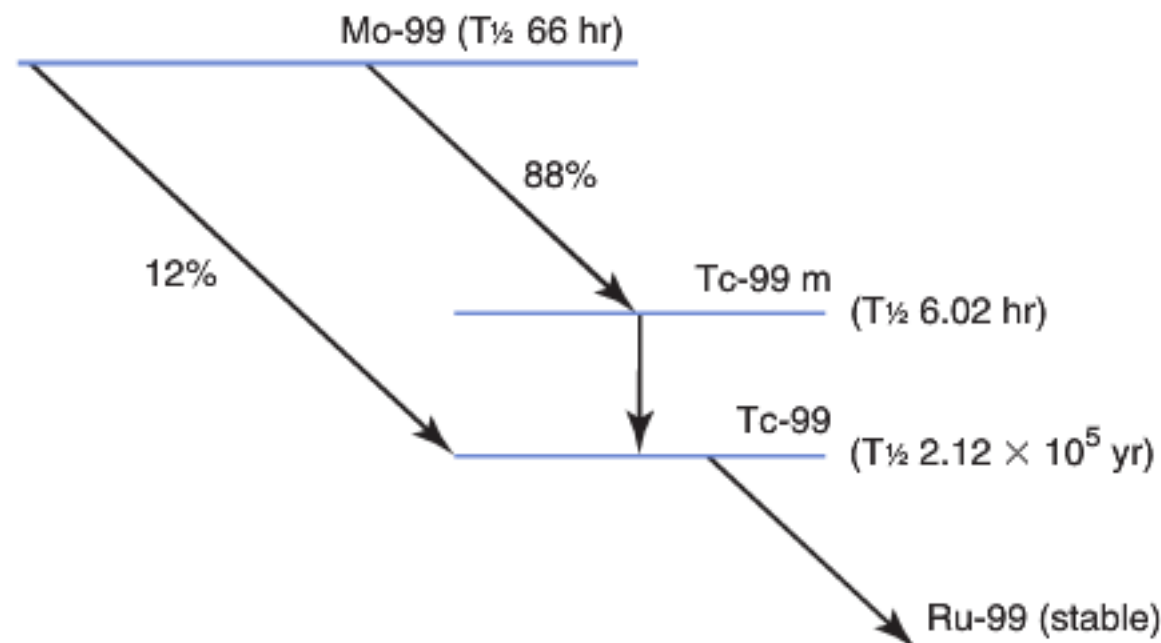
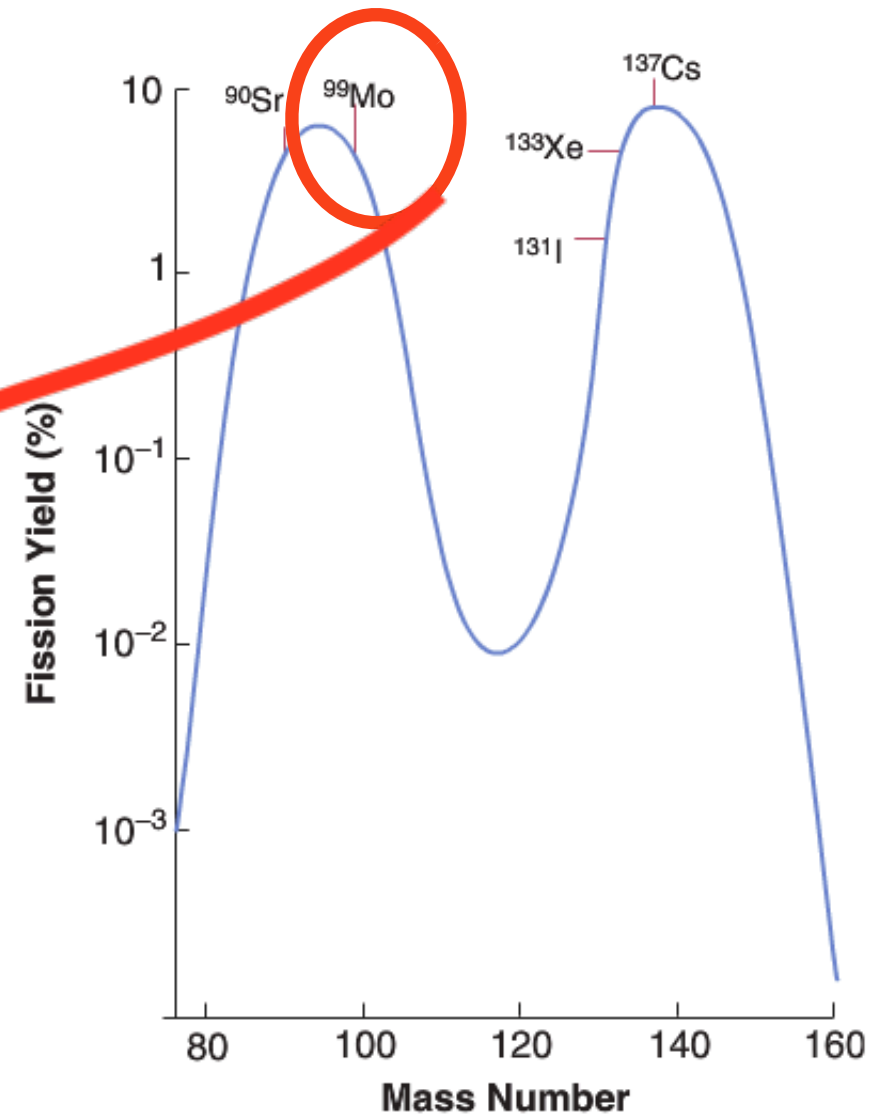
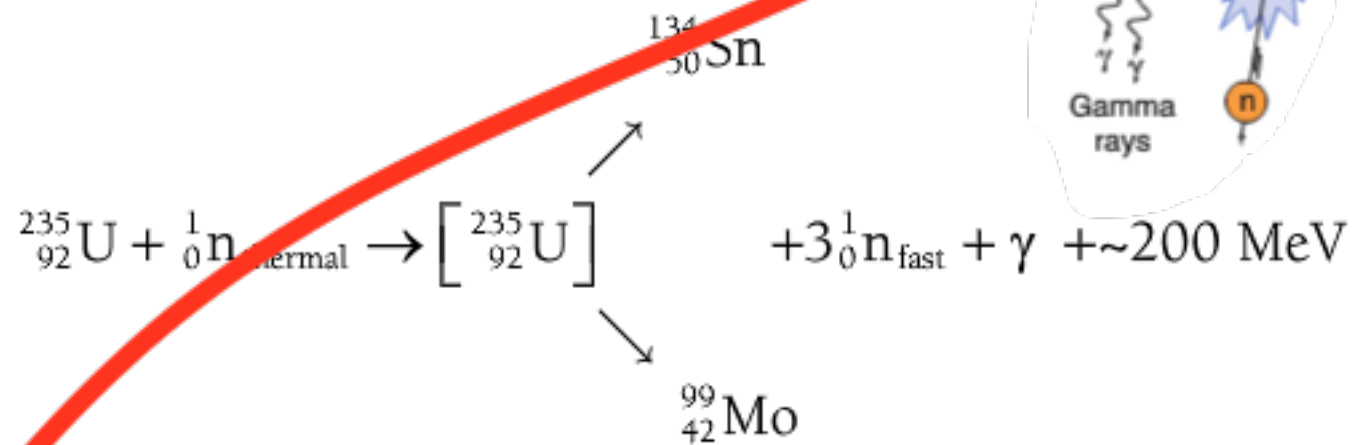
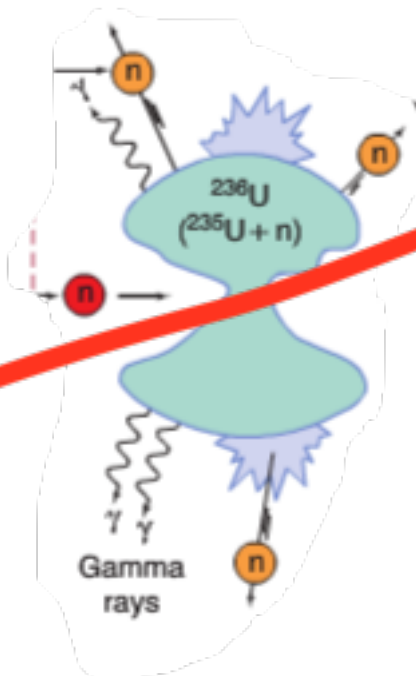
Hur produceras Tc-99m? (2 steg)

Mo-99 i en kärnreaktor



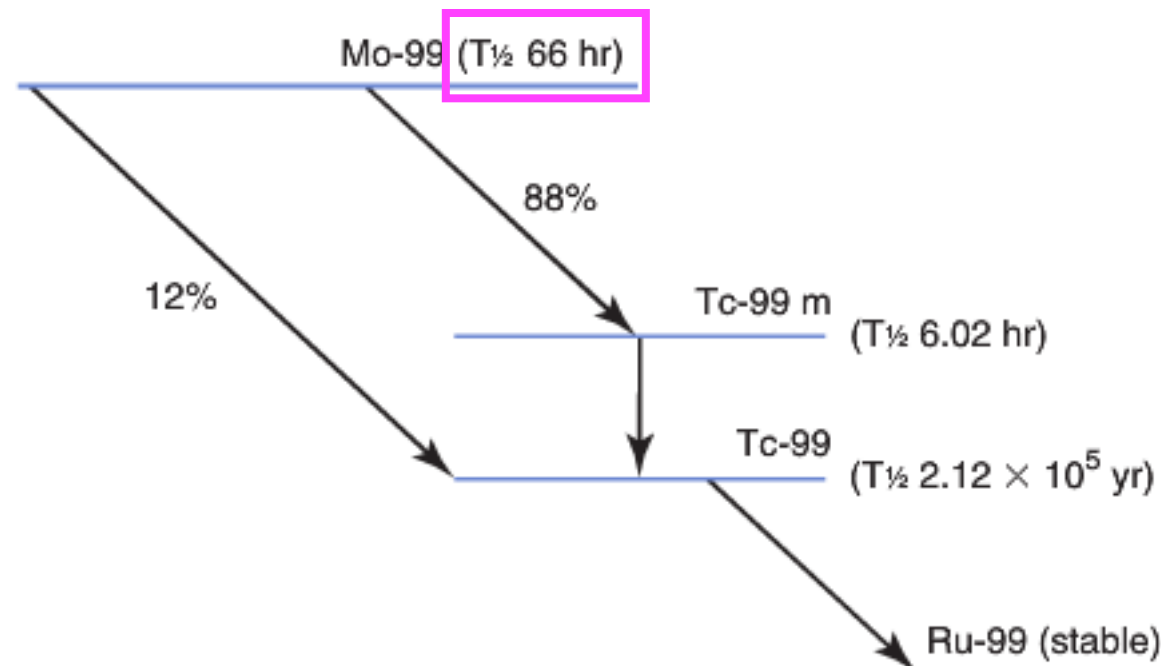
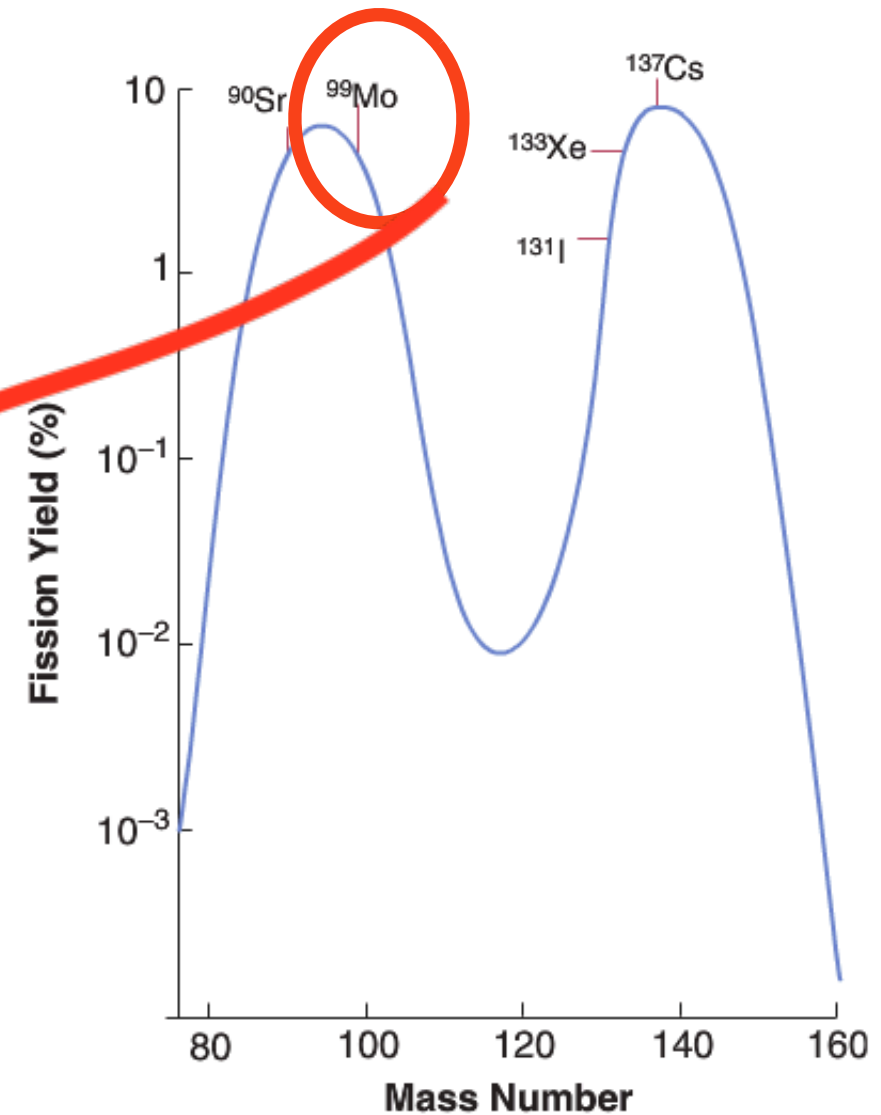
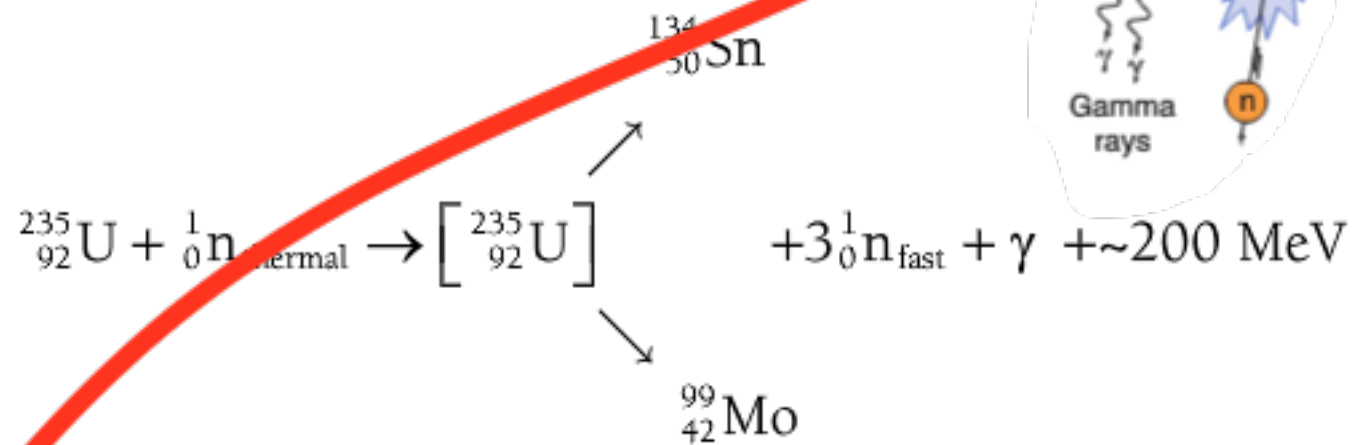
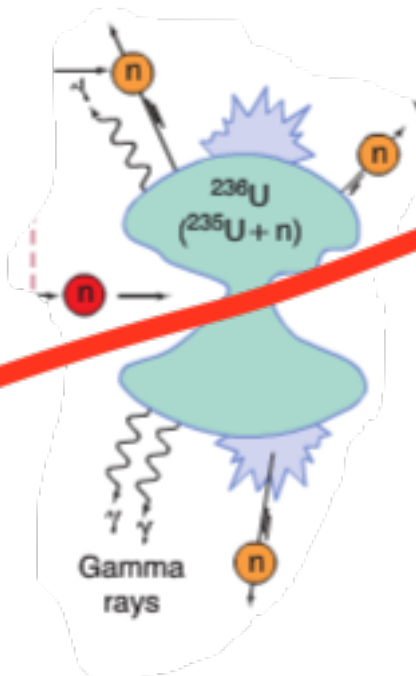
Hur produceras Tc-99m? (2 steg)

Mo-99 i en kärnreaktor



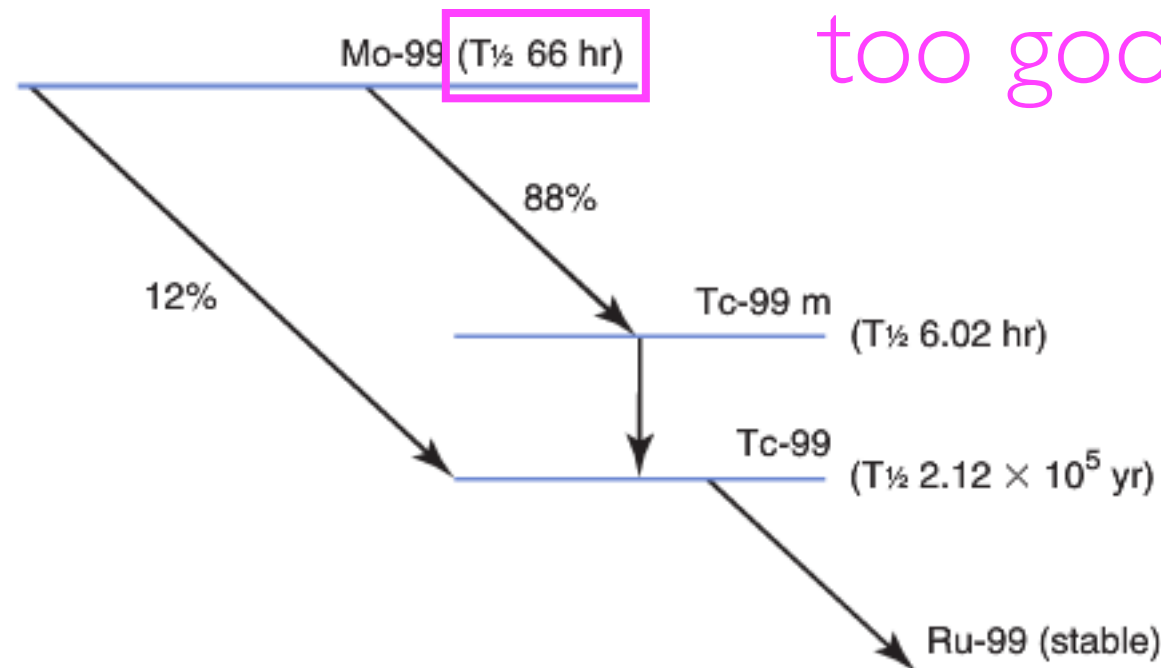
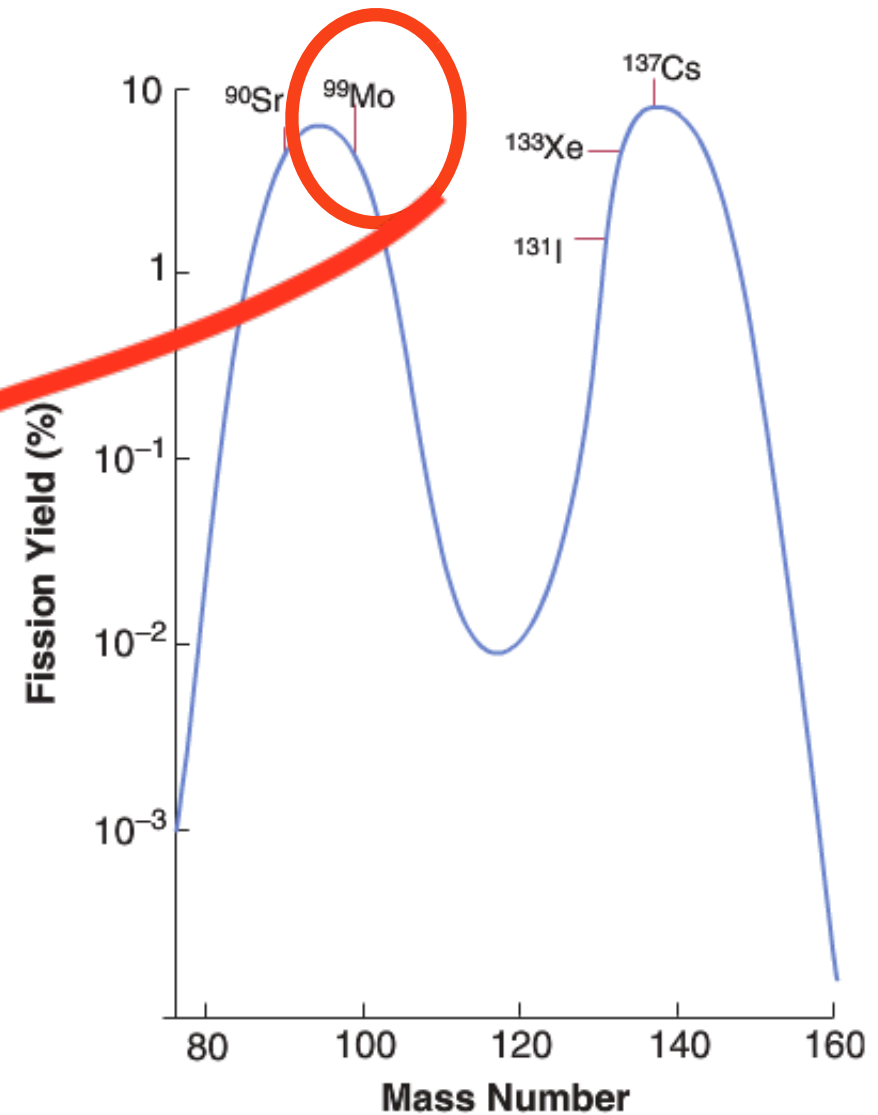
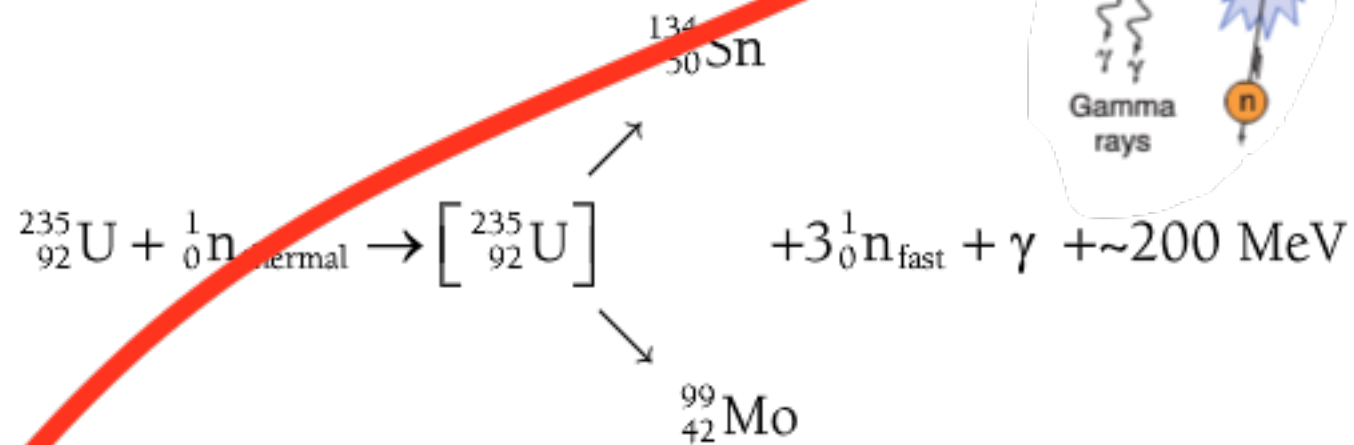
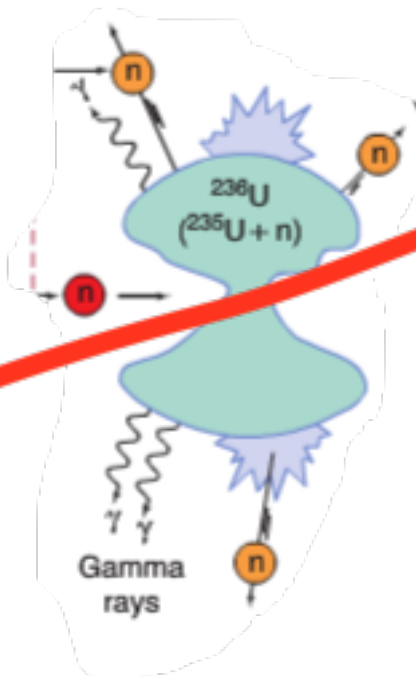
Hur produceras Tc-99m? (2 steg)

Mo-99 i en kärnreaktor



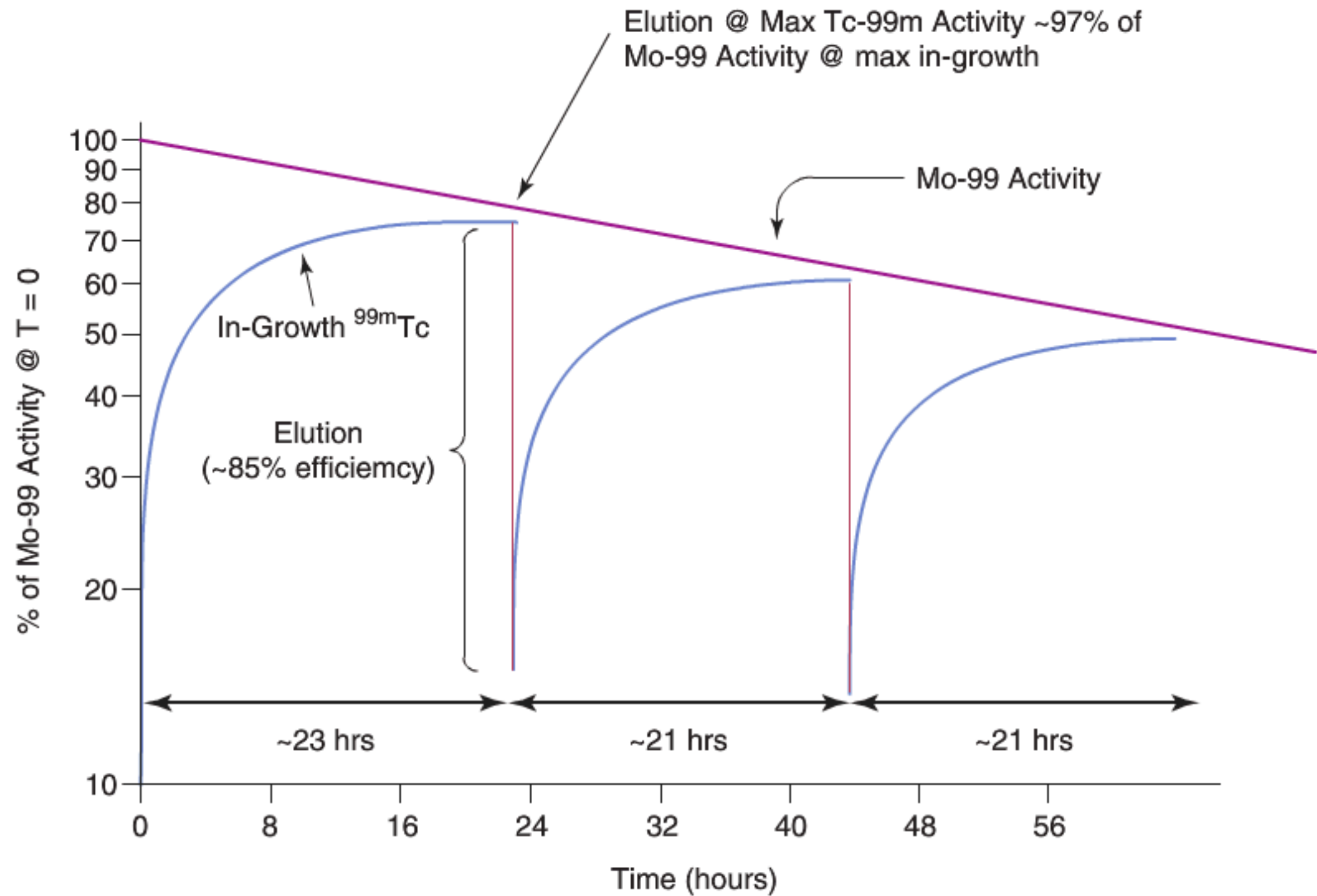
Hur produceras Tc-99m? (2 steg)

Mo-99 i en kärnreaktor

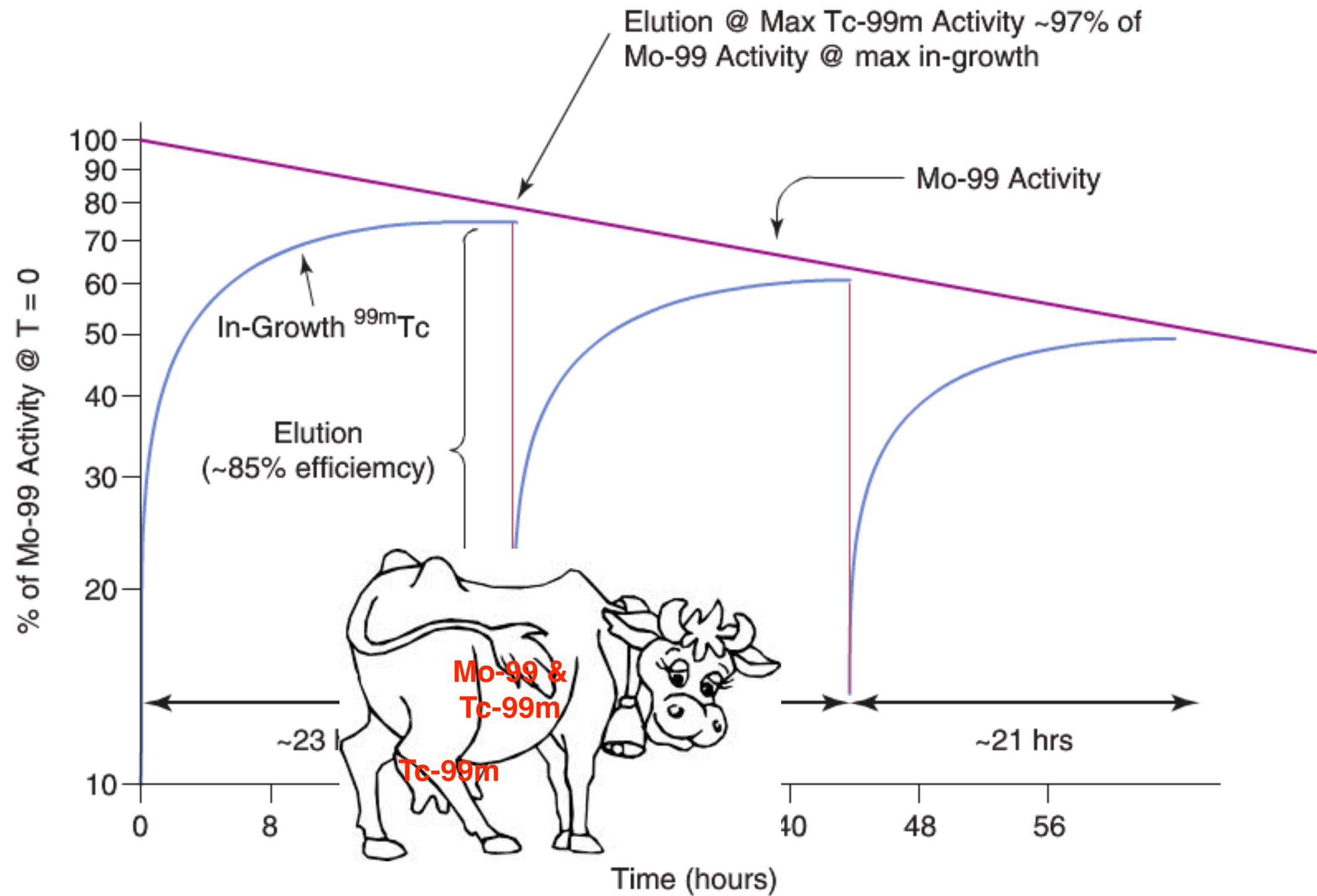


too good to be true!

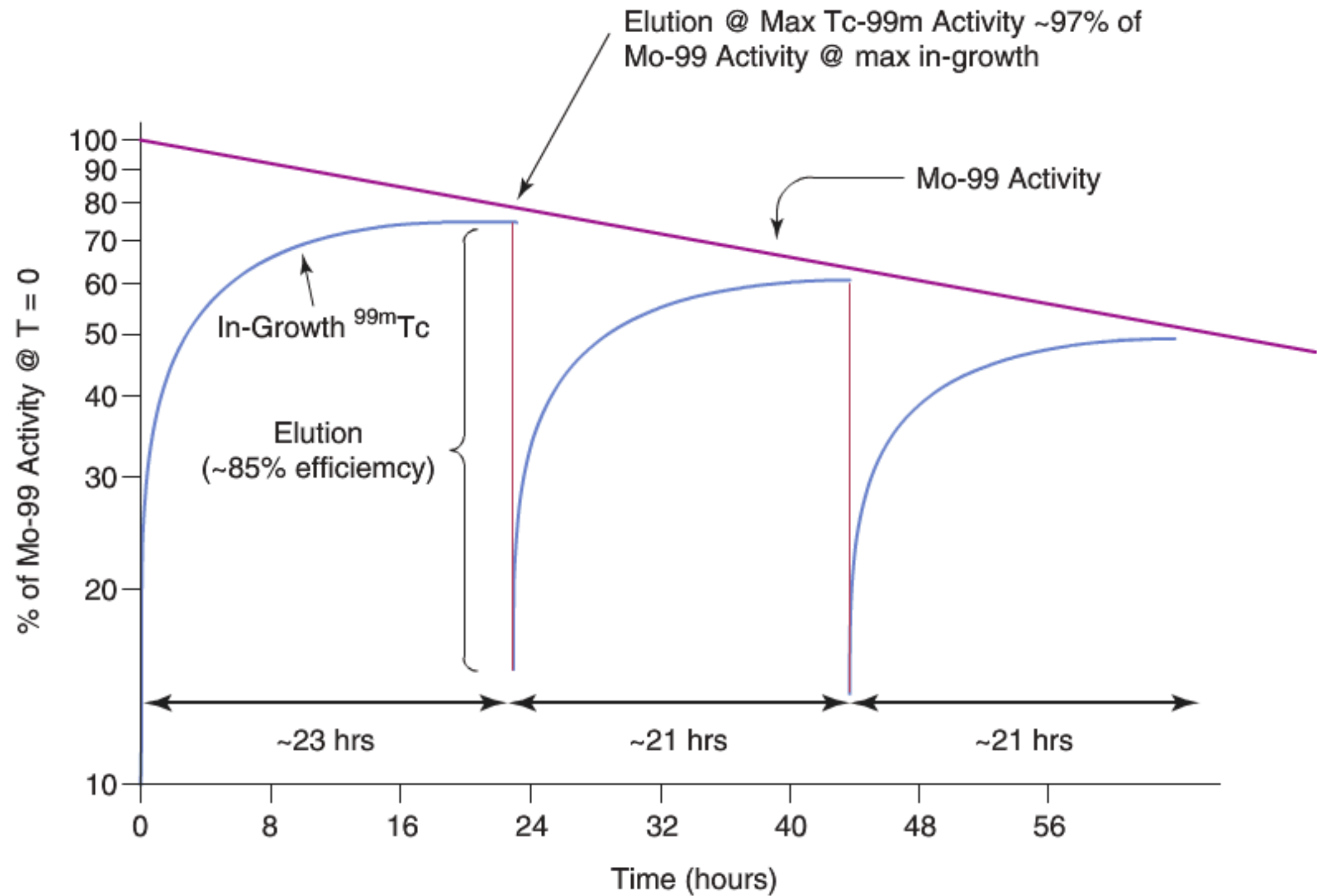
Från Mo-99 till Tc-99m



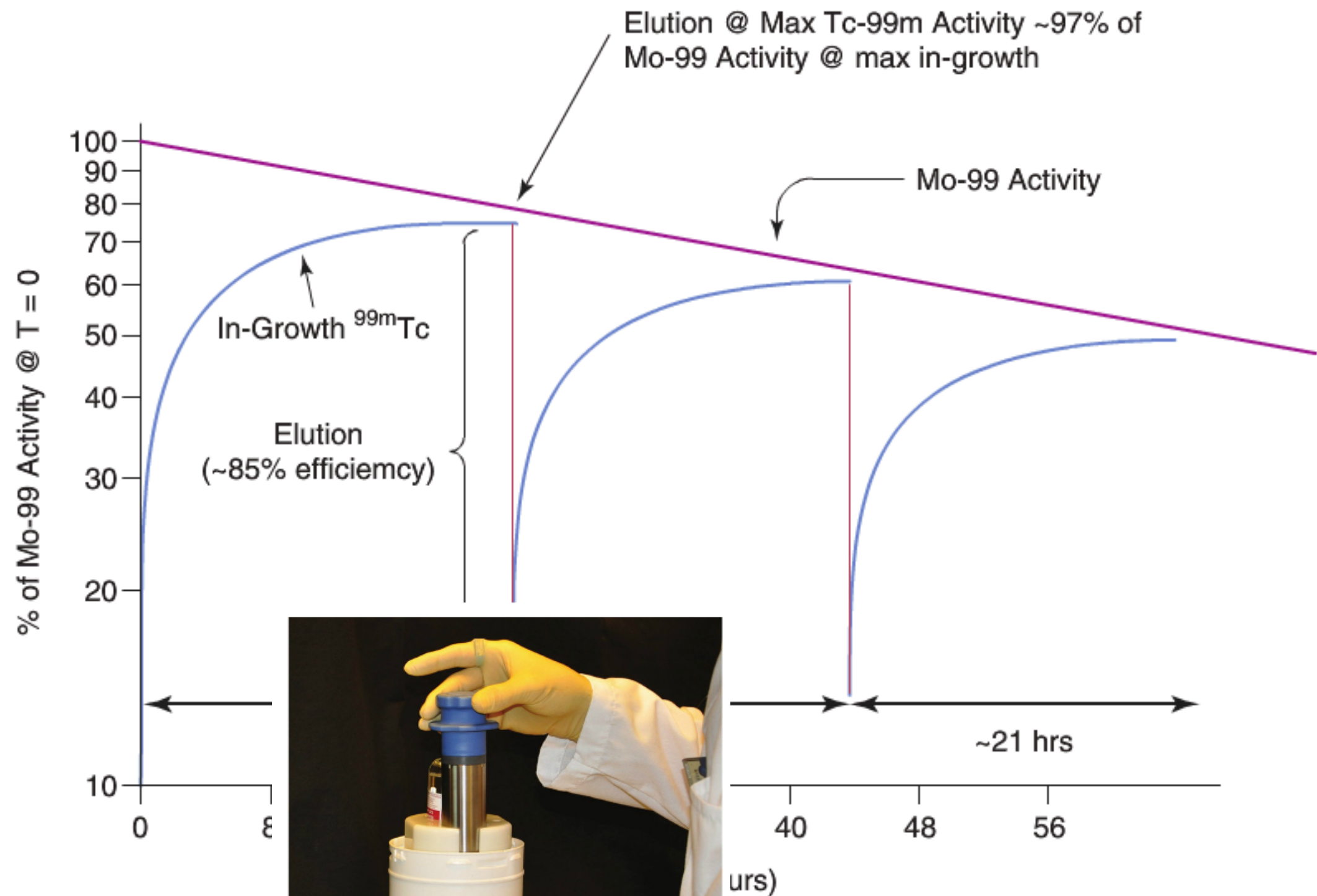
Från Mo-99 till Tc-99m



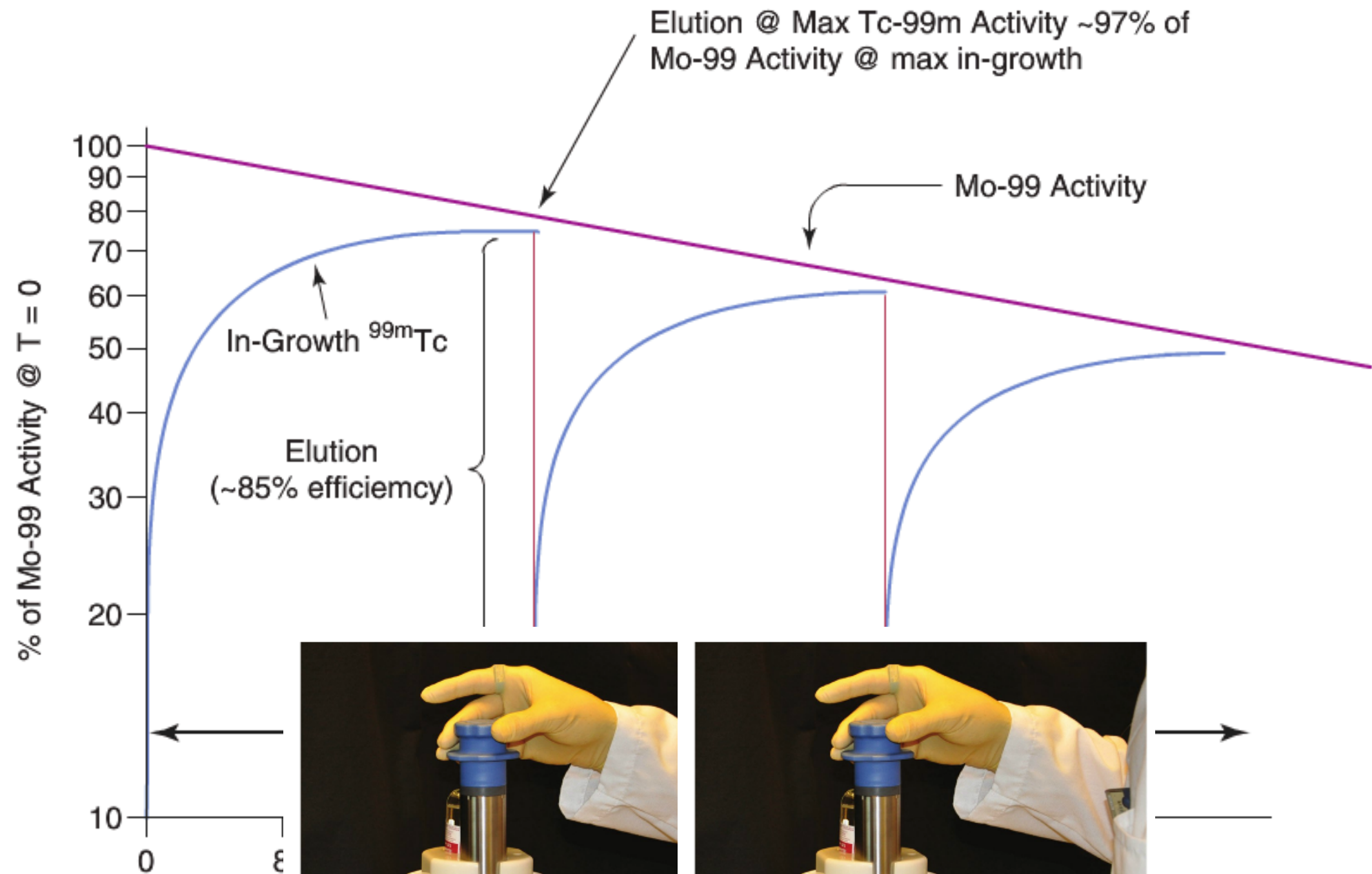
Från Mo-99 till Tc-99m



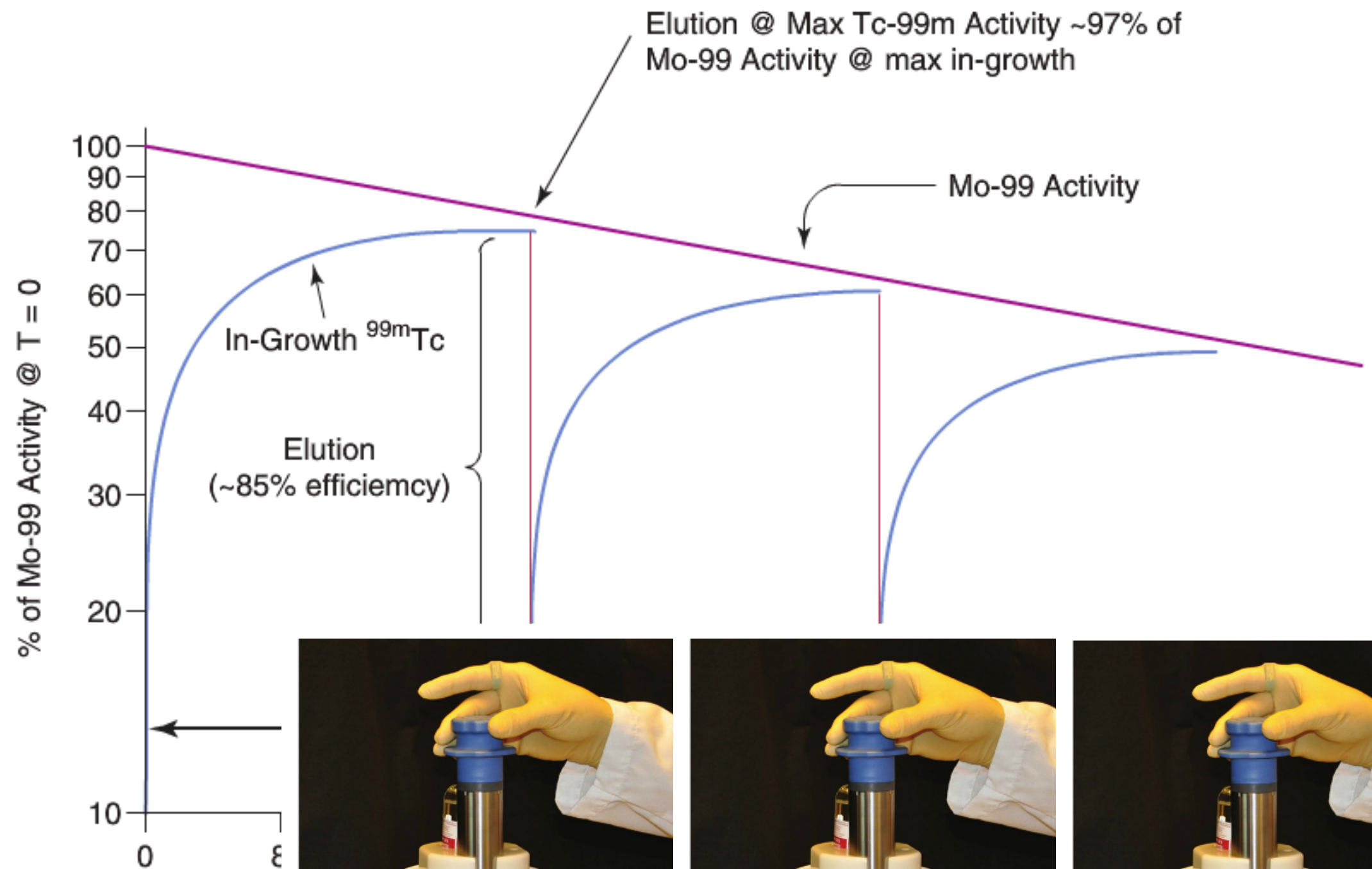
Från Mo-99 till Tc-99m



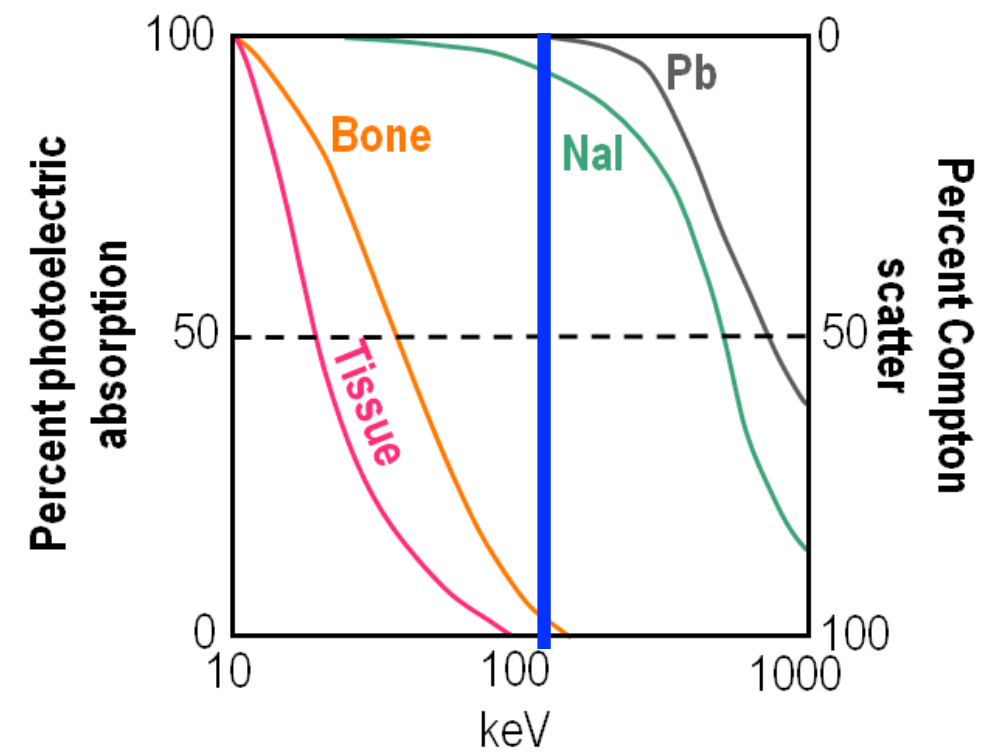
Från Mo-99 till Tc-99m



Från Mo-99 till Tc-99m



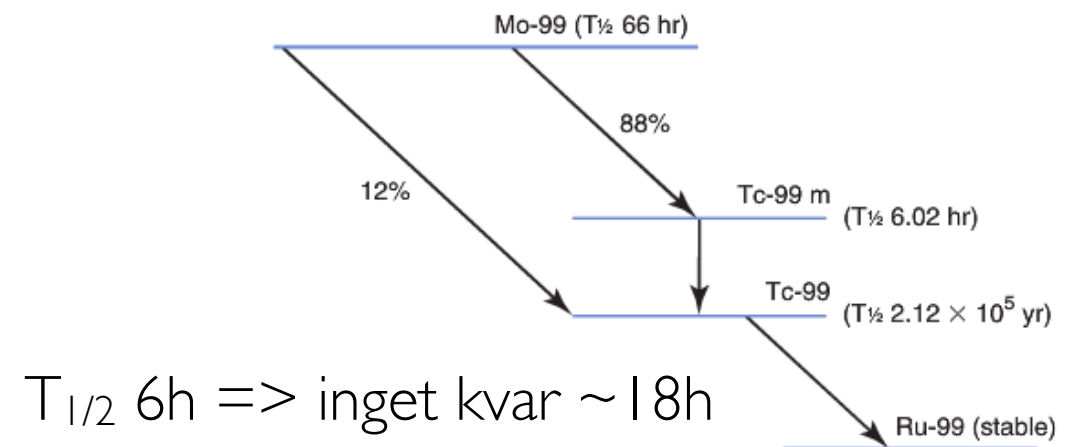
^{99m}Tc mon amour!



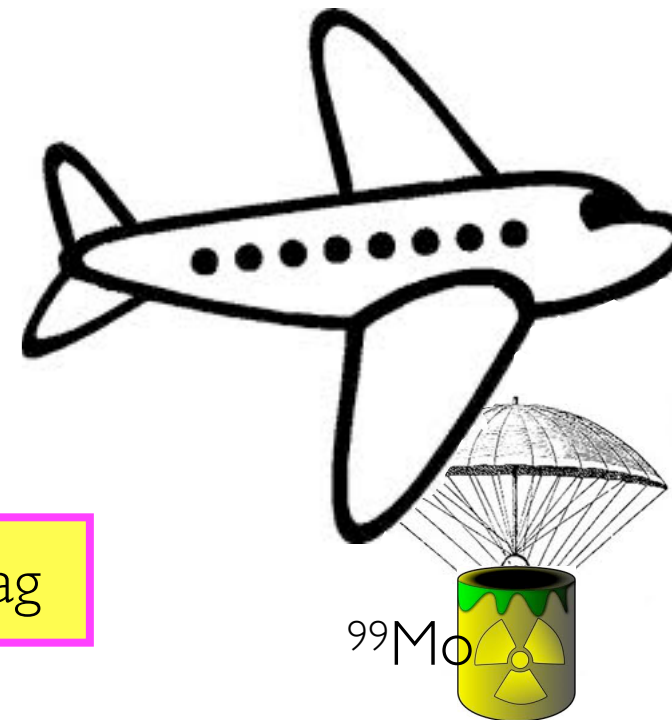
gammas $E = 140 \text{ keV}$:

- ~ allt lämnar patienten
- ~ allt detekteras i NaI

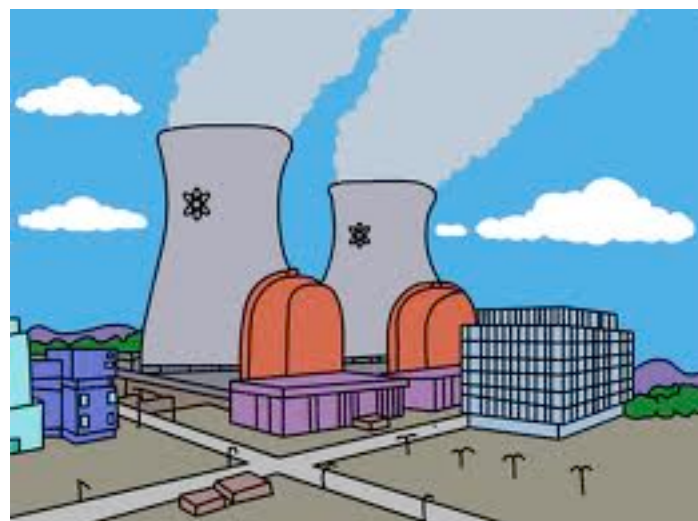
ren gamma emission vid sönderfall
 $\Rightarrow$ ingen onödig dos



$T_{1/2} 6 \text{ h} \Rightarrow$ inget kvar $\sim 18 \text{ h}$



måndag



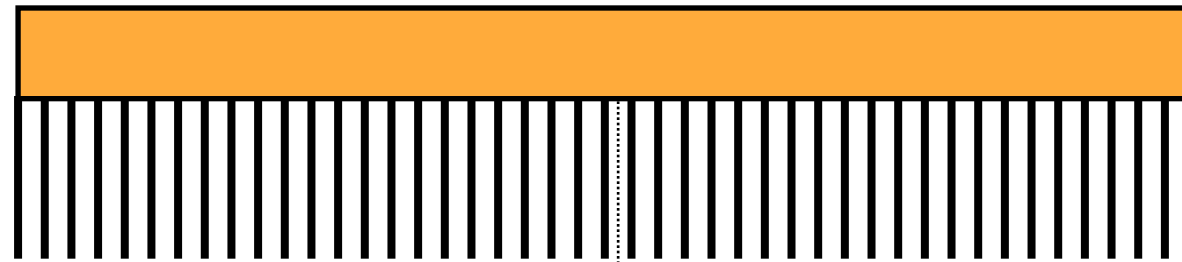
^{99m}Tc
 hela vecka!

Reality check

i bästa möjliga fall:

scintillator

kollimator



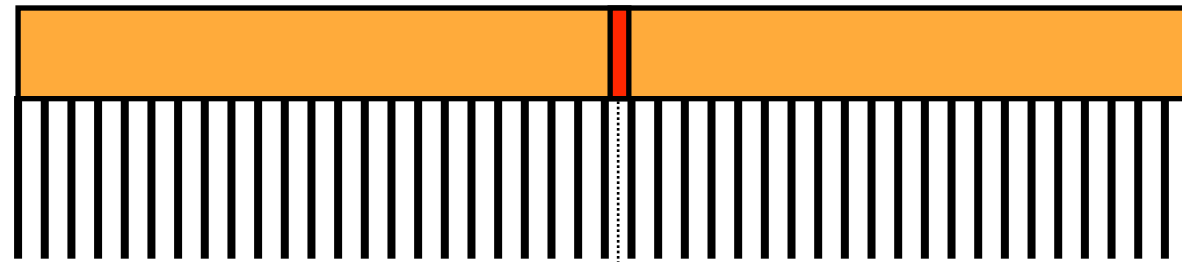
objekt (mask)



i bästa möjliga fall:

scintillator

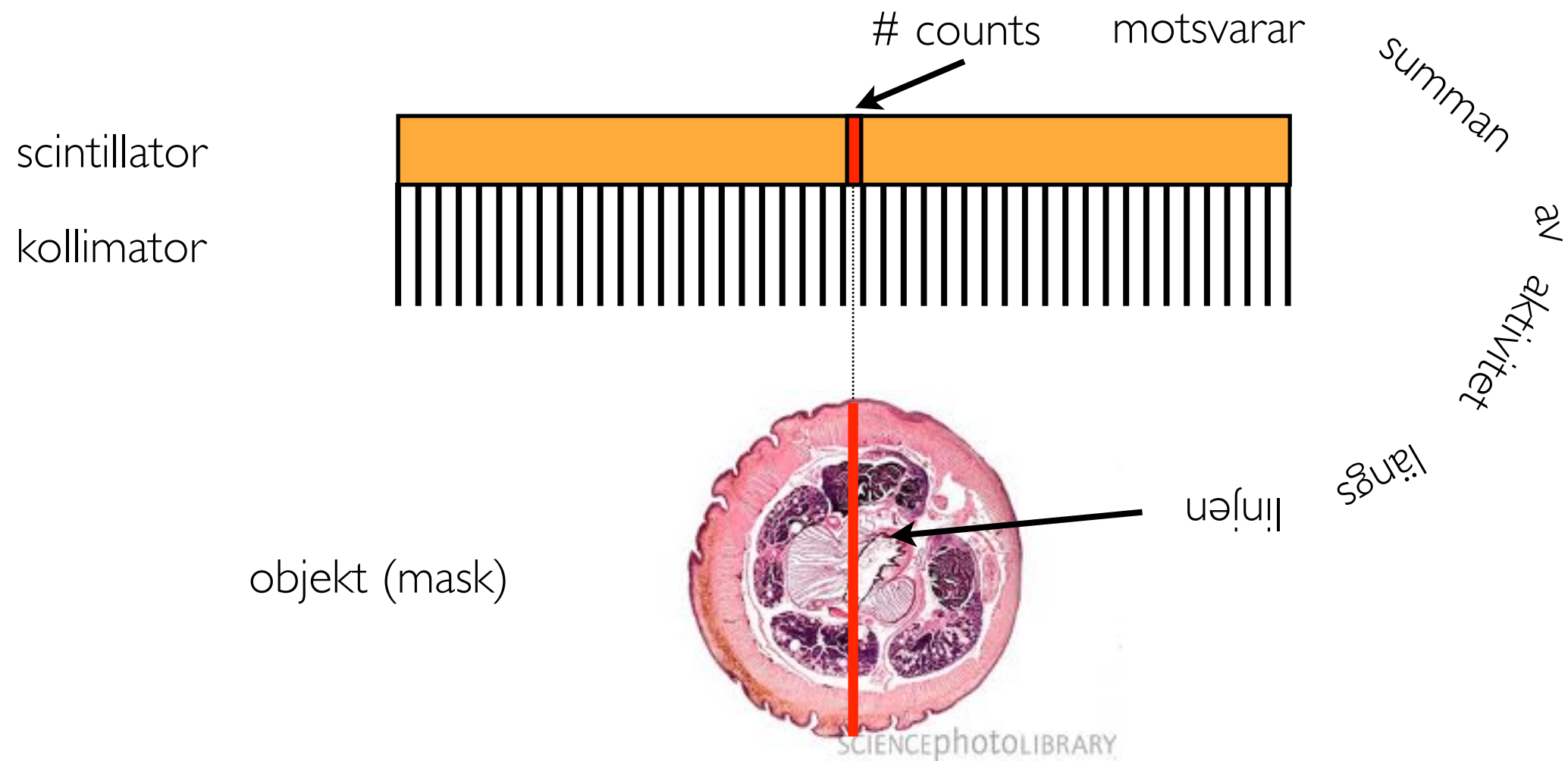
kollimator



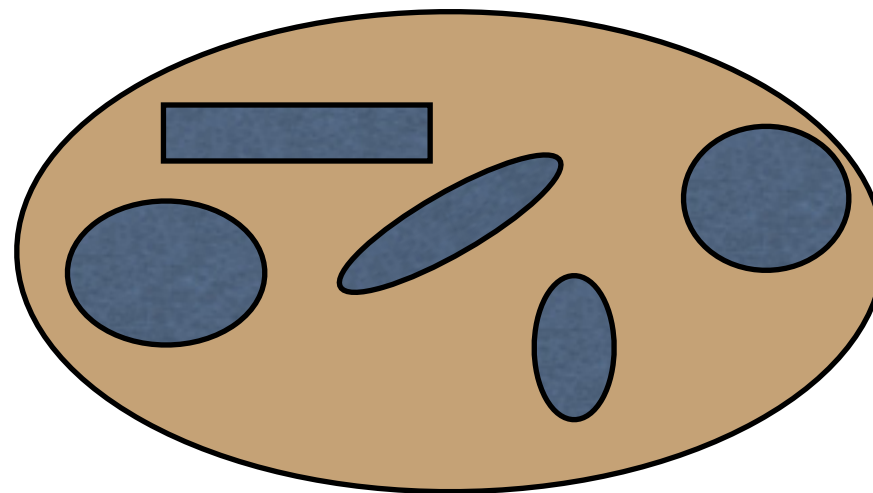
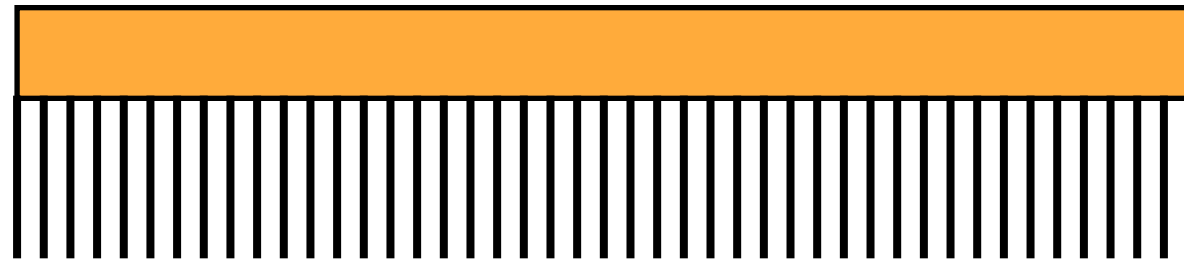
objekt (mask)



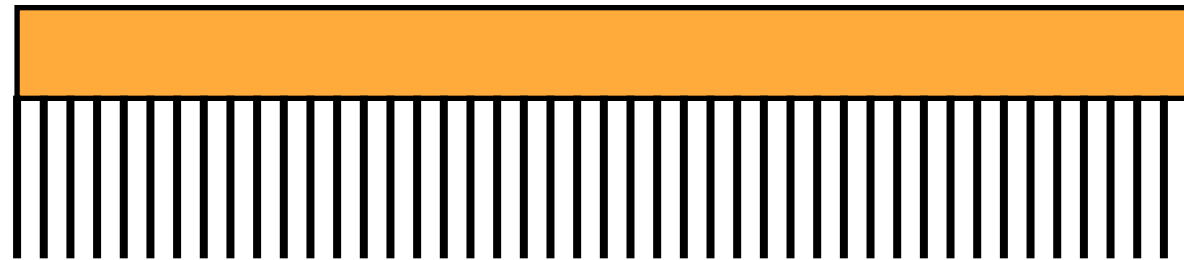
i bästa möjliga fall:



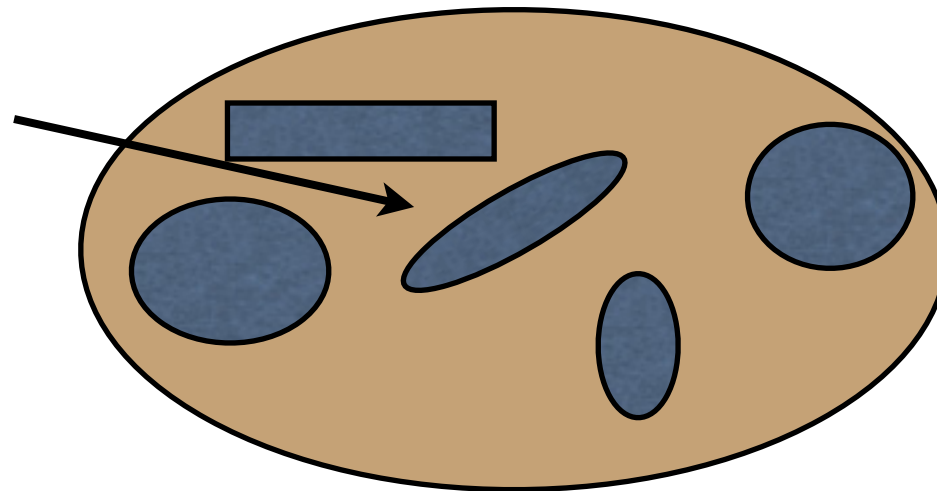
Några problem



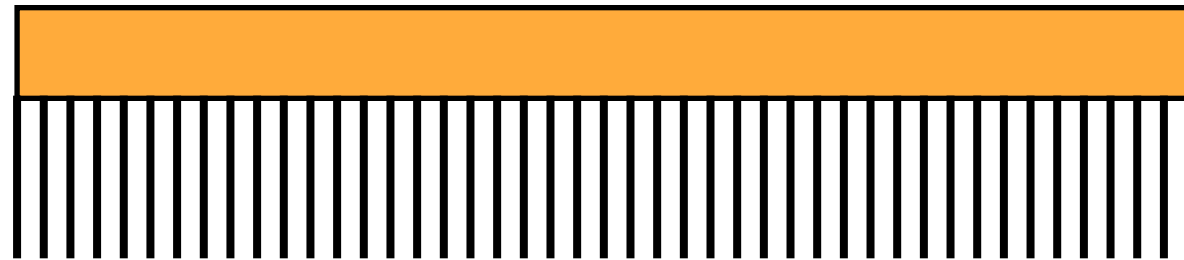
Några problem



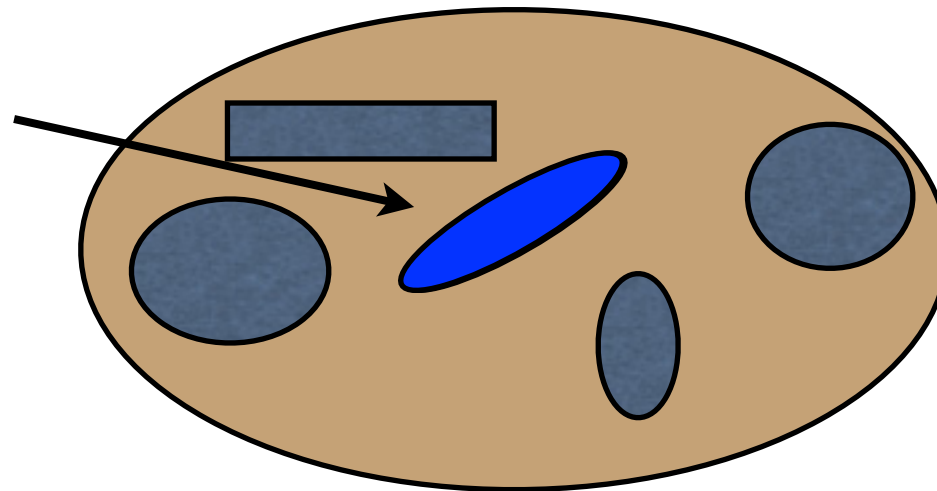
objekt jag vill avbilda



Några problem

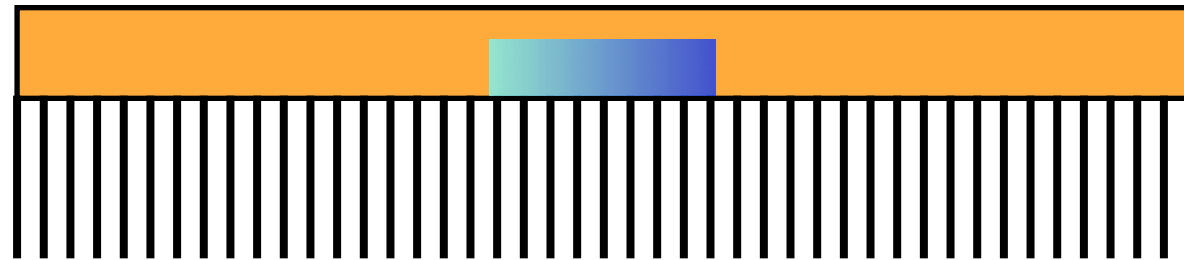


objekt jag vill avbilda
in med radiotracer

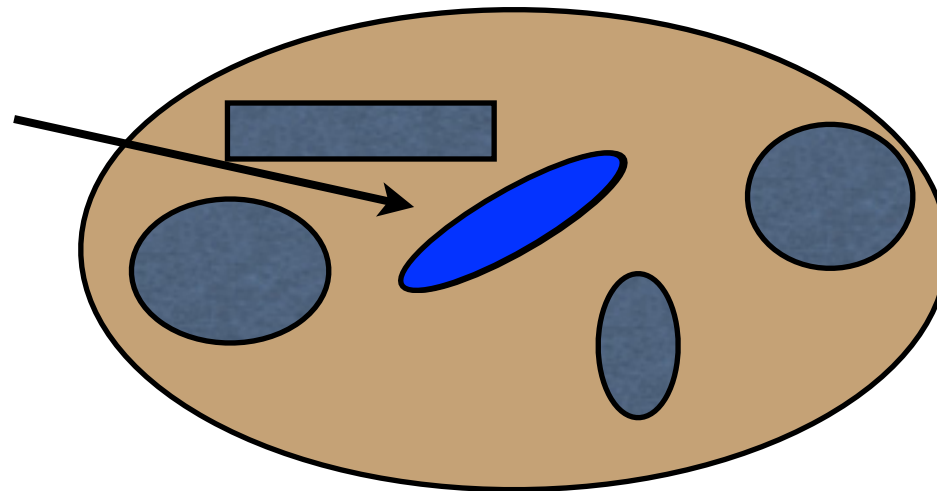


Några problem

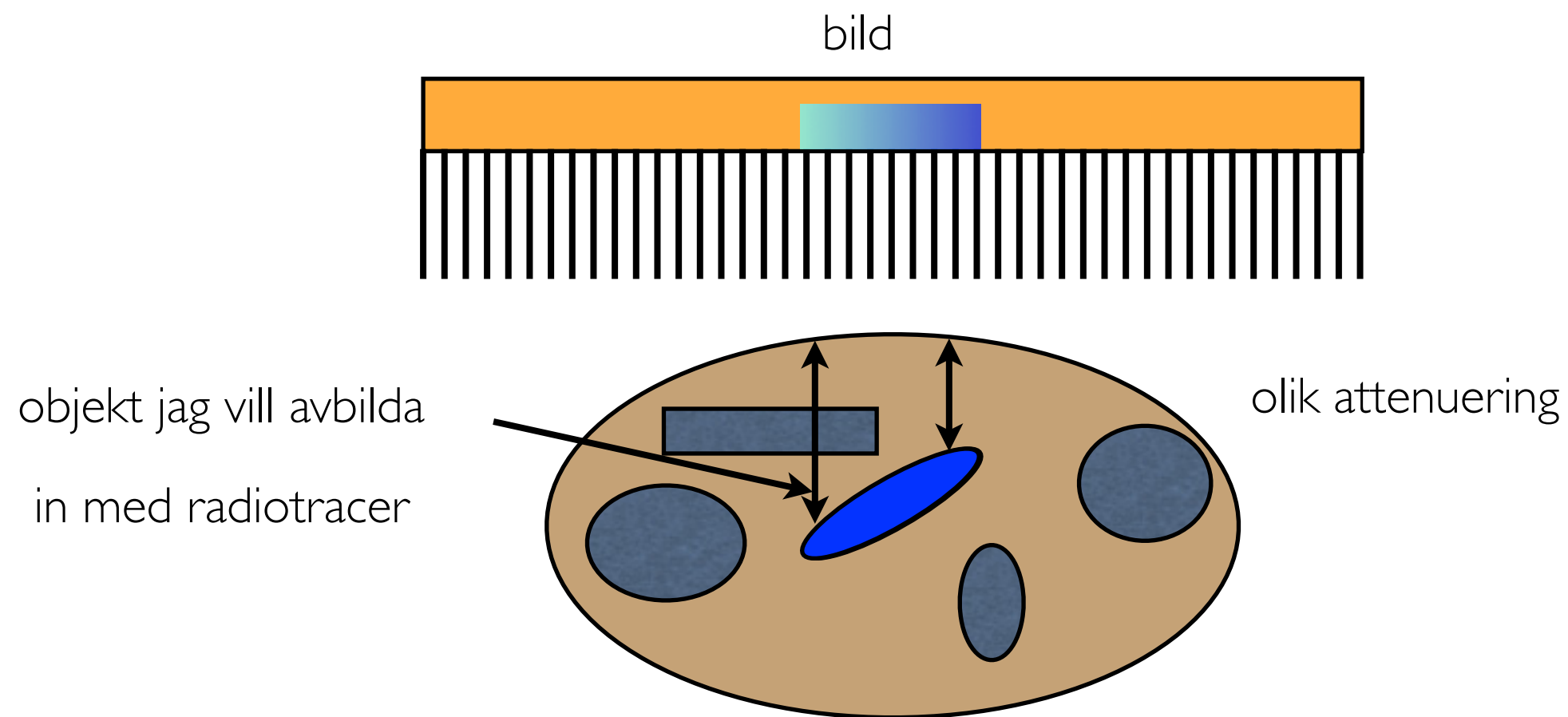
bild



objekt jag vill avbilda
in med radiotracer

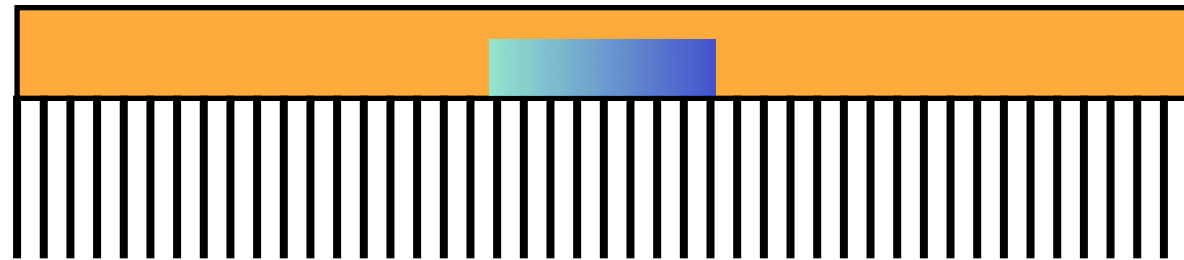


Några problem



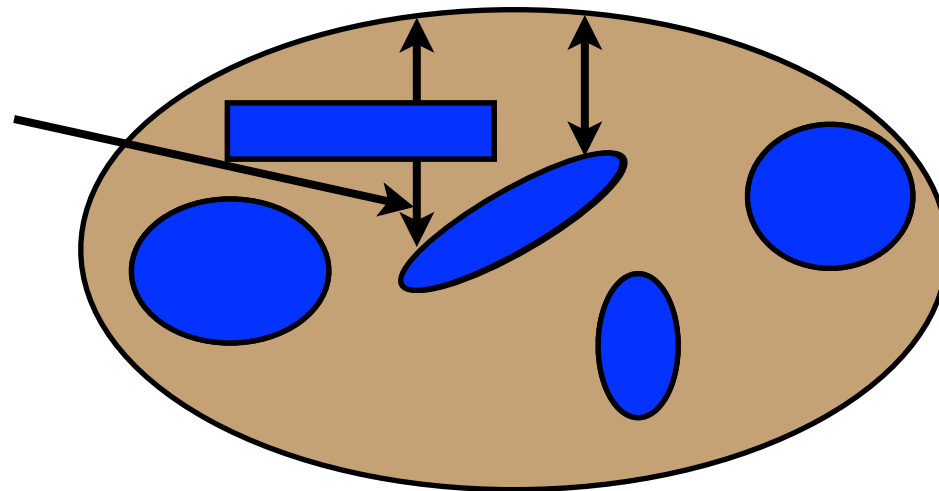
Några problem

bild



objekt jag vill avbilda
in med radiotracer

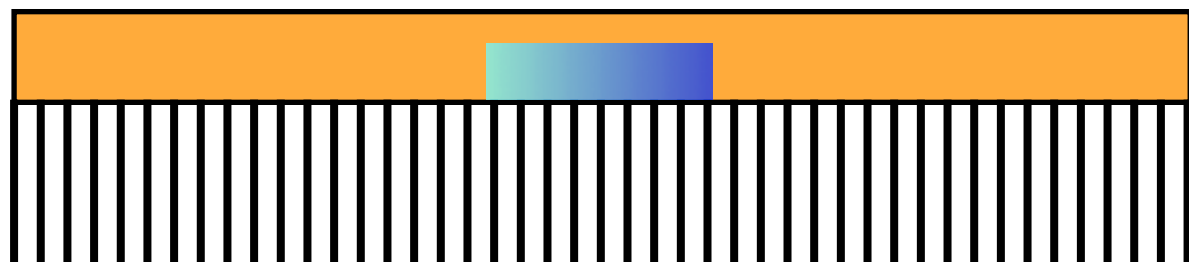
... och radiotracer går inte
BARA vart jag vill!



olik attenuering

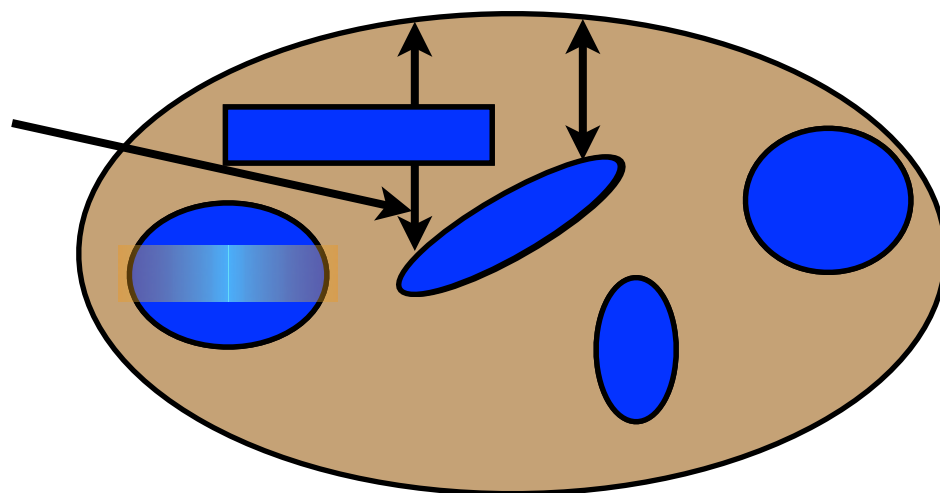
Några problem

bild



objekt jag vill avbilda
in med radiotracer

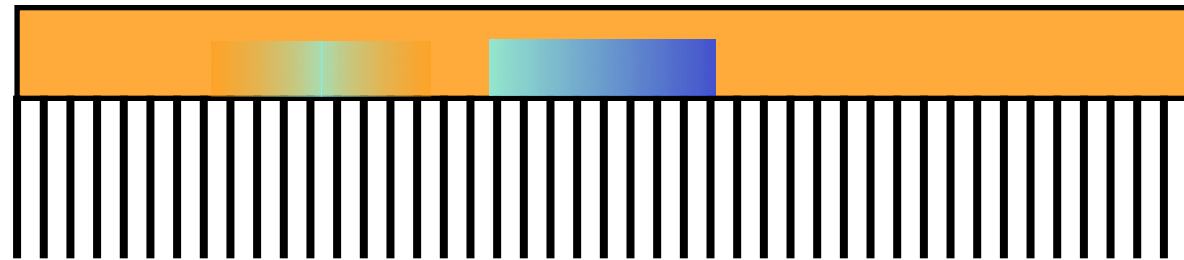
... och radiotracer går inte
BARA vart jag vill!



olik attenuering

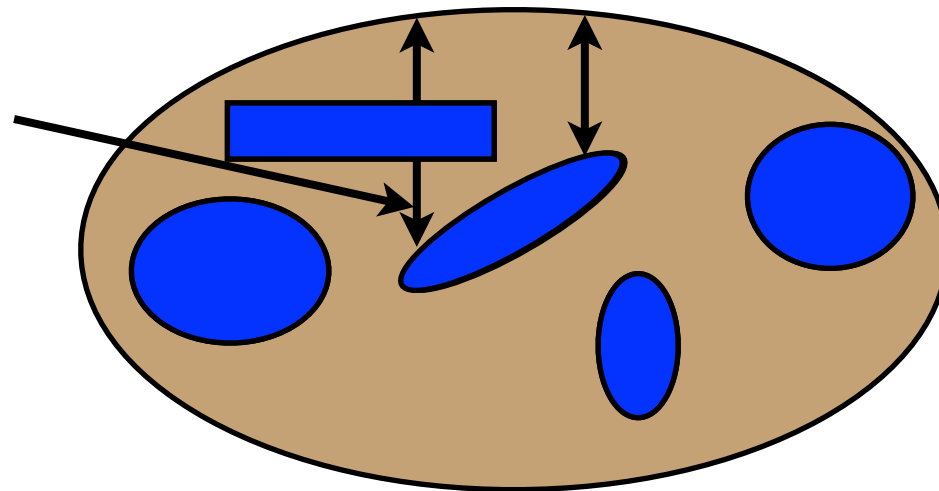
Några problem

bild



objekt jag vill avbilda
in med radiotracer

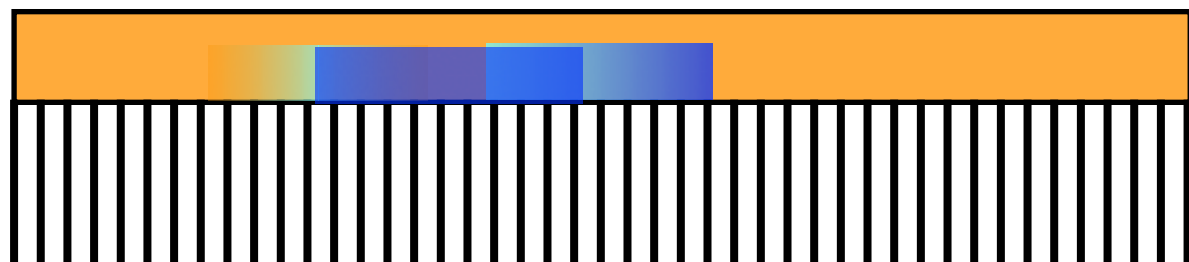
... och radiotracer går inte
BARA vart jag vill!



olik attenuering

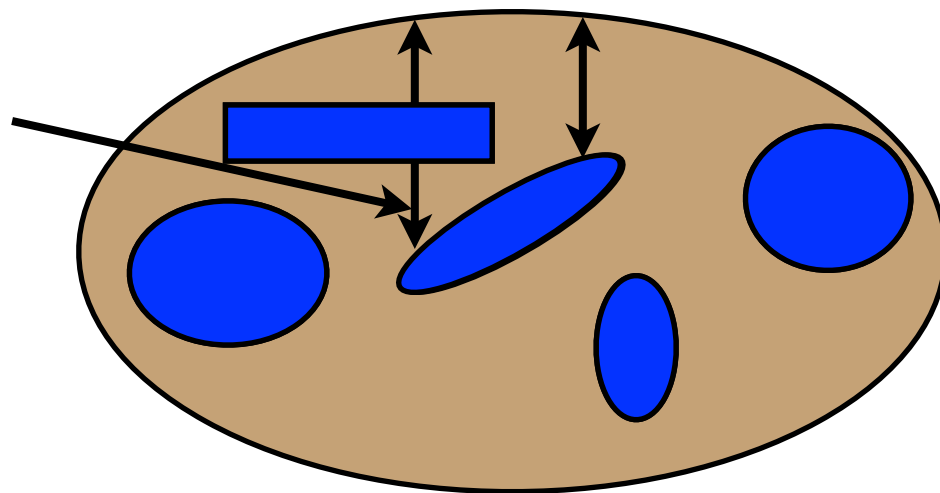
Några problem

bild



objekt jag vill avbilda
in med radiotracer

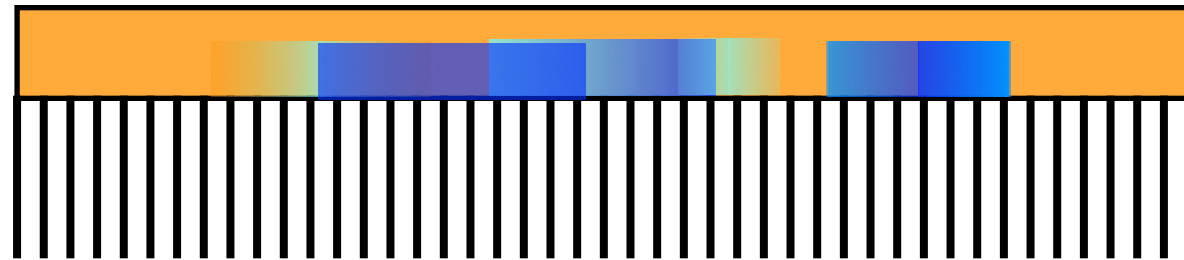
... och radiotracer går inte
BARA vart jag vill!



olik attenuering

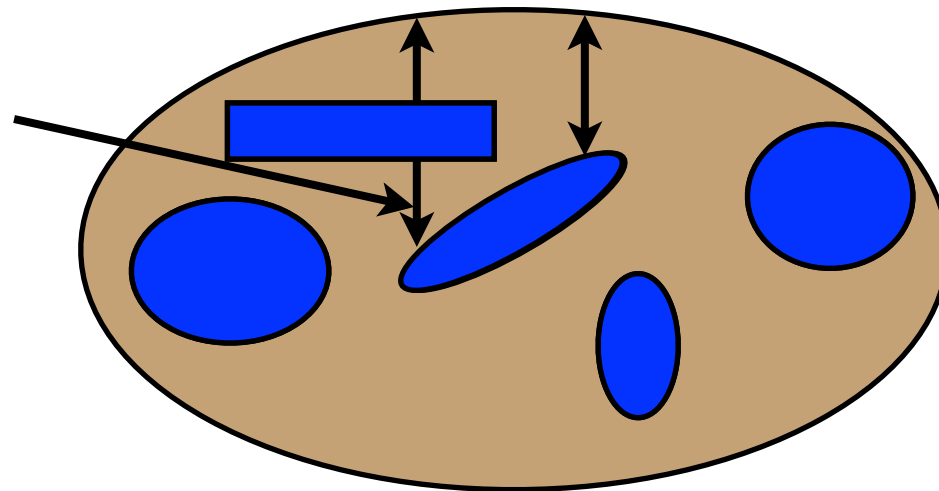
Några problem

bild



objekt jag vill avbilda
in med radiotracer

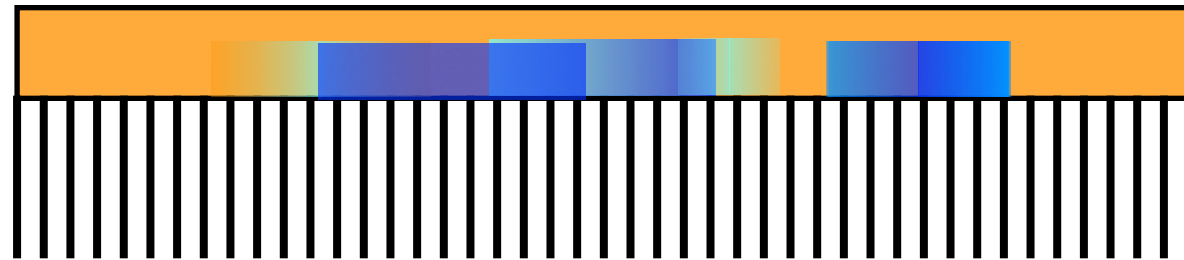
... och radiotracer går inte
BARA vart jag vill!



olik attenuering

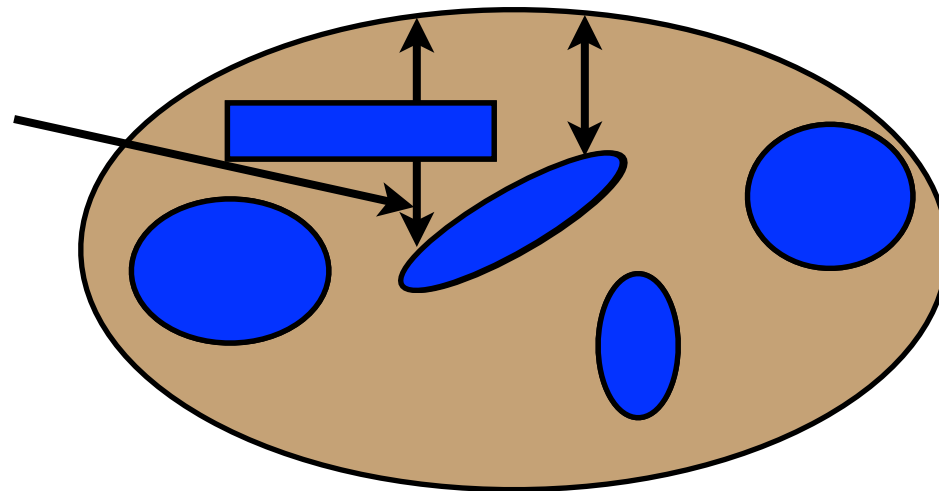
Några problem

bild



objekt jag vill avbilda
in med radiotracer

... och radiotracer går inte
BARA vart jag vill!

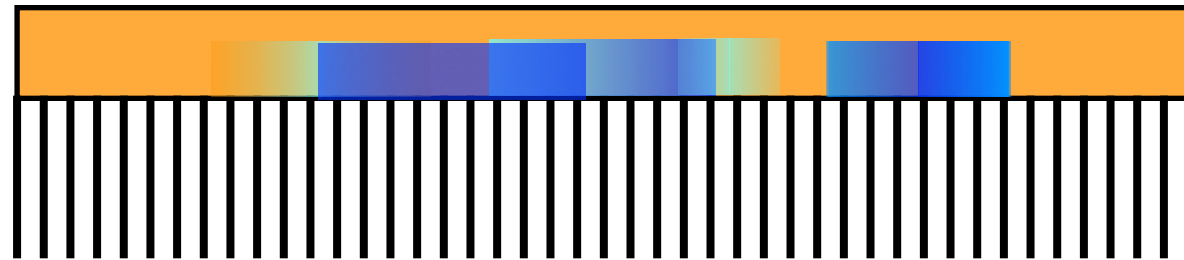


olik attenuering

Viktigt med radiotracers som är organspecifika!

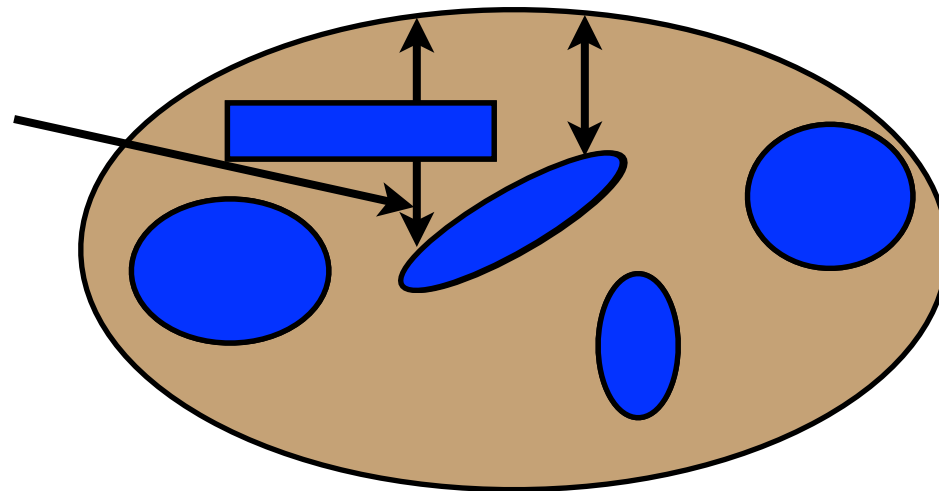
Några problem

bild



objekt jag vill avbilda
in med radiotracer

... och radiotracer går inte
BARA vart jag vill!

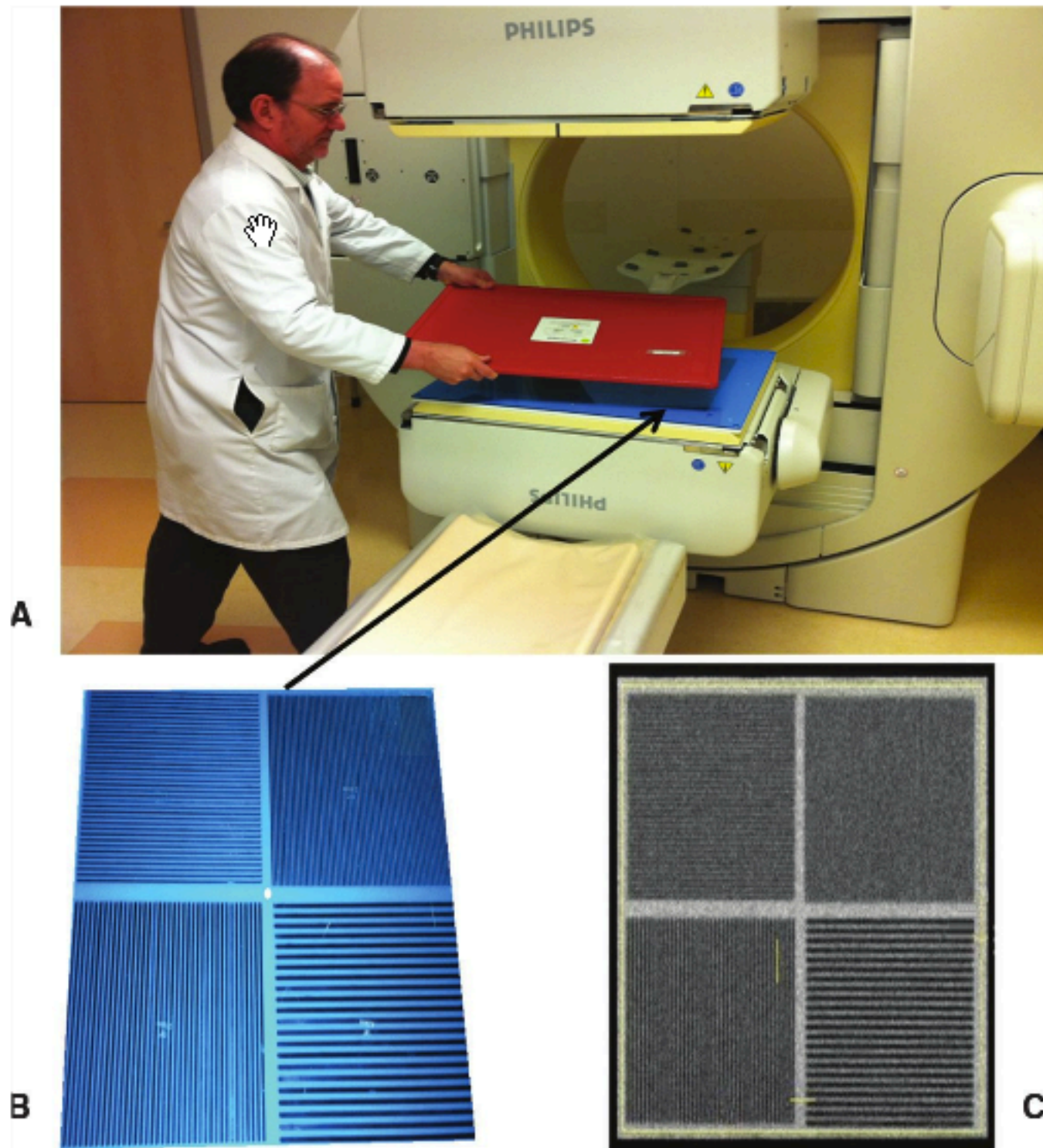


olik attenuering

Viktigt med radiotracers som är organspecifika!

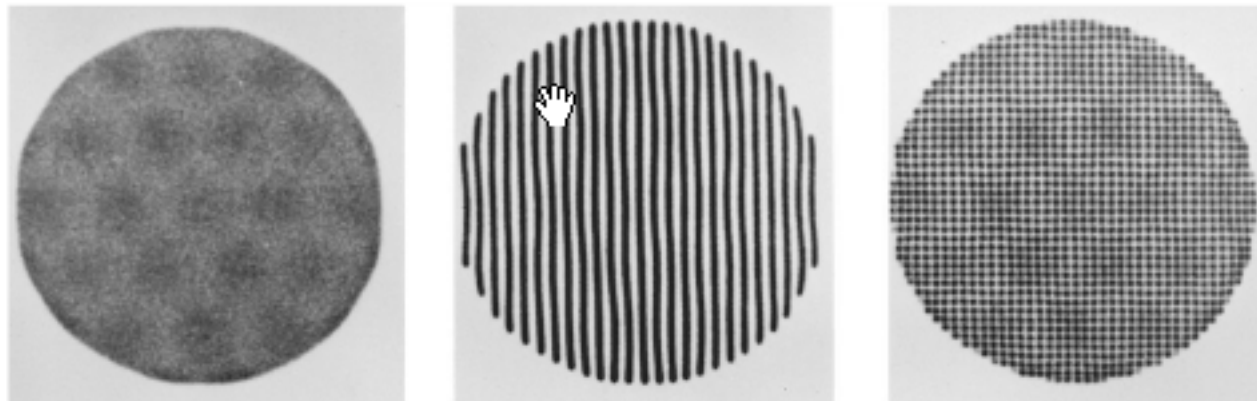
Viktigt med attenueringskorrektion (CT)

Detector response: mätning

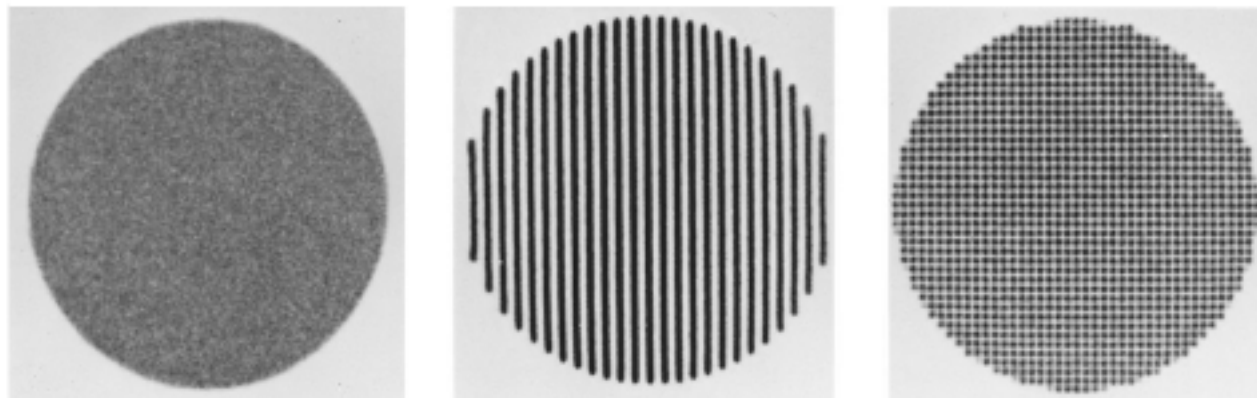


Korrektioner av “raw” bild

raw

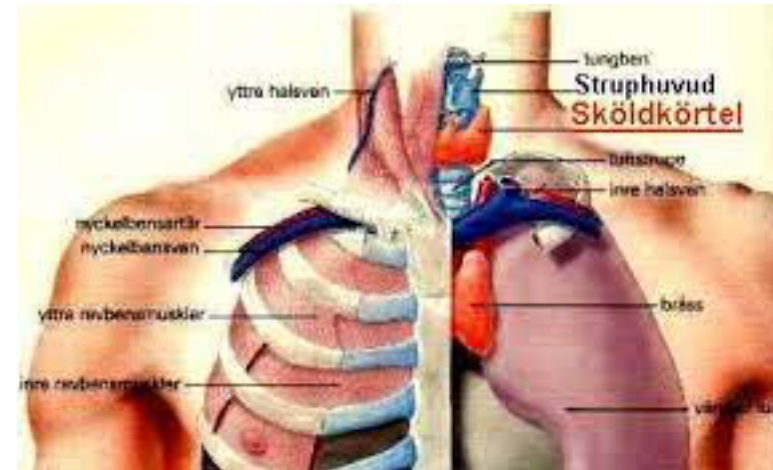
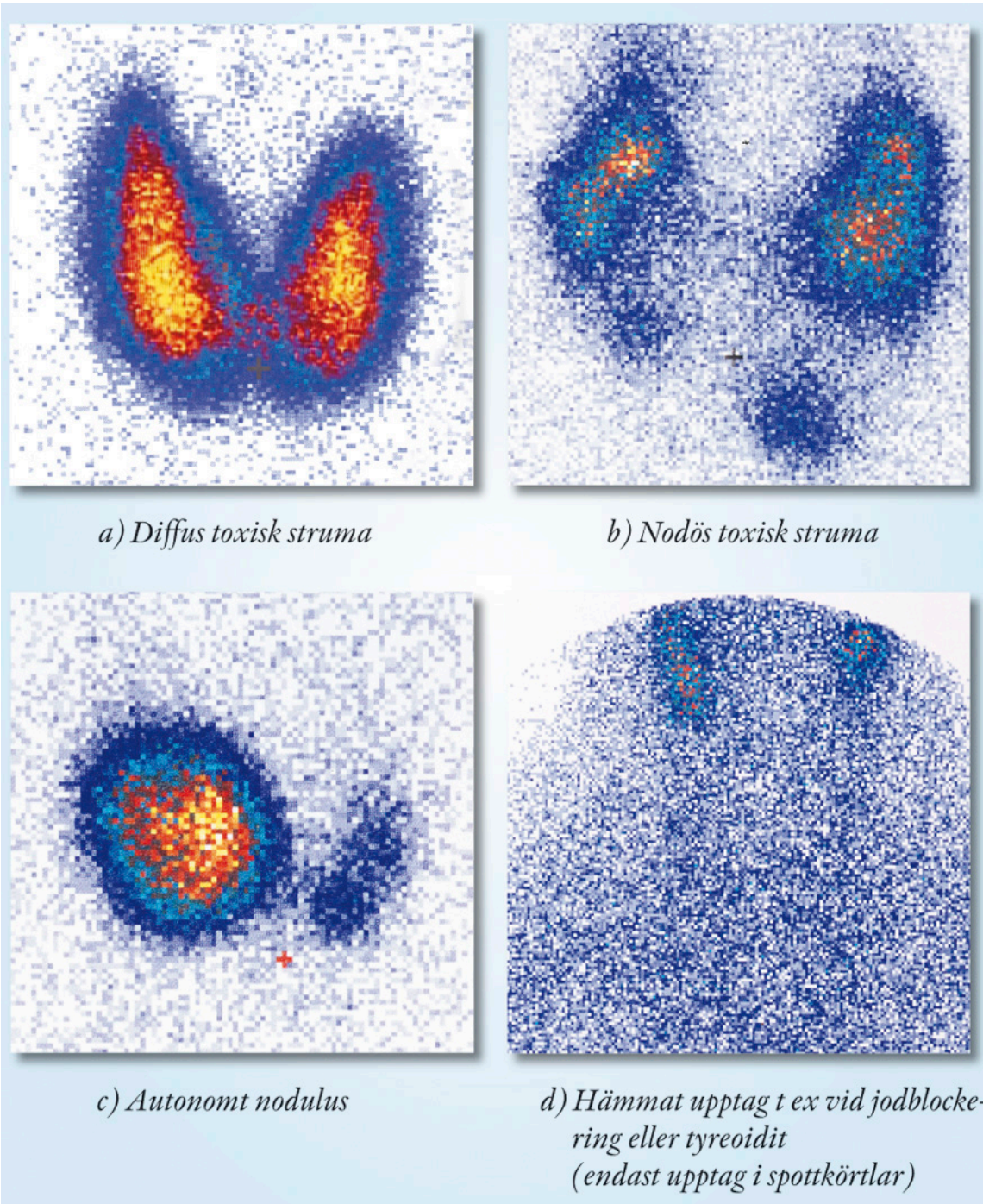


med korrektioner



Exempel på kliniska tillämpningar

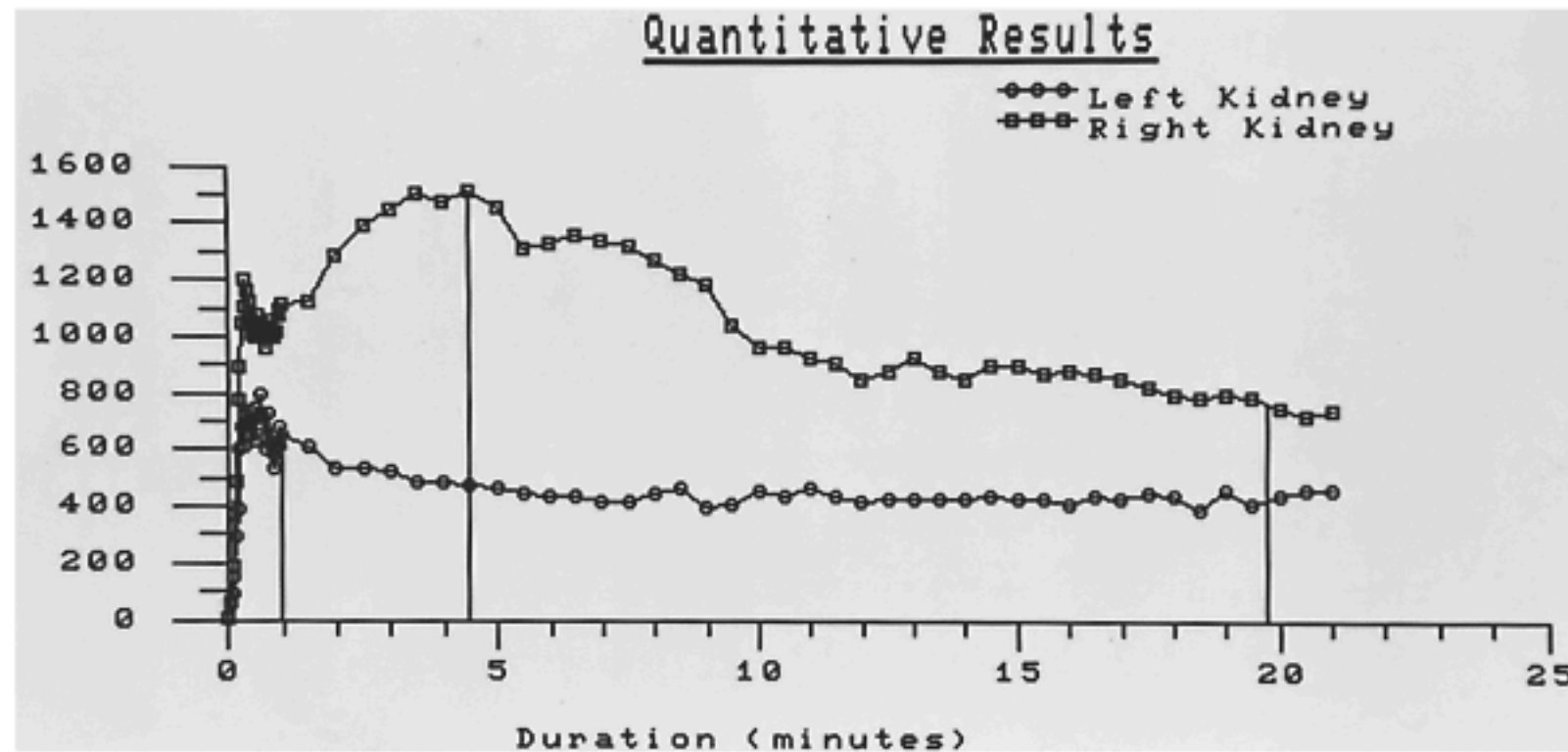
Scintigrafi sköldkörtel



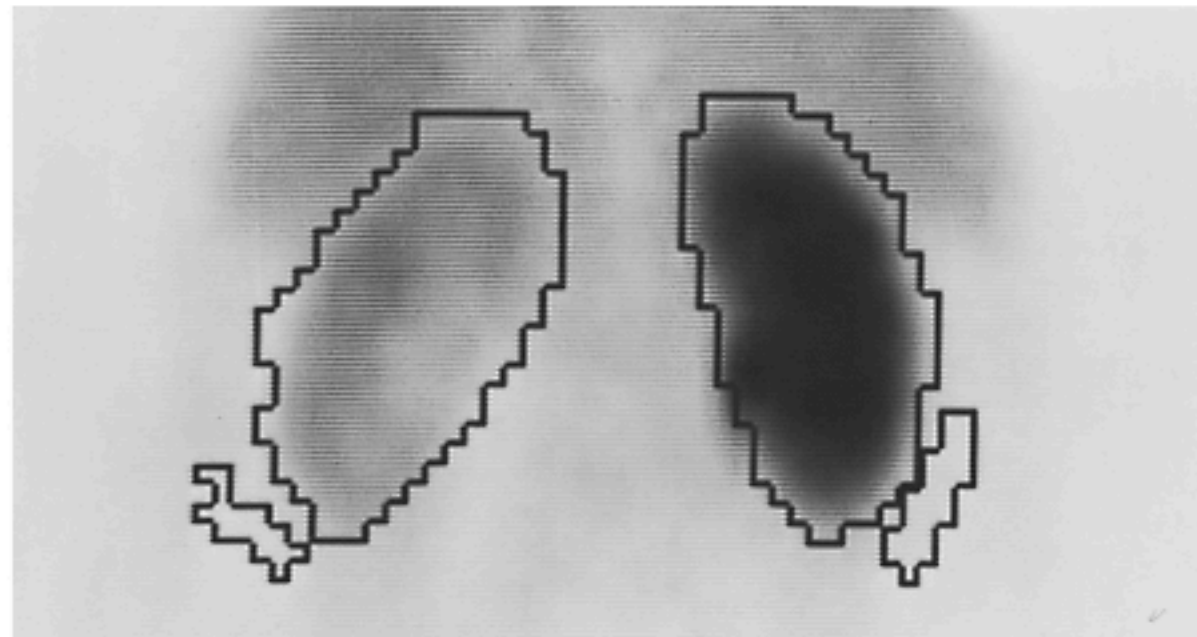
Här används Jod i stället för Tc.
Ta reda på varför!

ROI & T-AC

time-activity curve



region(s) of interest



Övningar om single photon emissionsavbildning

1. Bestäm effektivitet och spatiell upplösning av en gammakamera vid ett godtyckligt valt objekt-kollimator avstånd. (Arbeta gärna först med symboliska uttryck, välj sedan passande numeriska parametrar och utför beräkning, beskriv vilka faktorer du väljer att inte ta i beaktande och varför.)
2. Vilka faktorer påverkar spatiell upplösning och effektivitet av en gammakamera? (Beskriv faktorer i en logisk ordning, till exempel från den viktigaste till den minst relevant, använd gärna matematiska uttryck och figurer/gräfer)
3. Notera hur uppgift 1 och 2 är, i stort sett, samma uppgift
4. Beskriv en gammakamera, dess delar och deras funktion. Håll texten kort och rigoröst formulerat, använd dig gärna av matematiska uttryck, figurer och grafer.
5. Notera beröringspunkter i uppgift 1, 2 och 4.
6. Beskriv vilka egenskaper hos en isotop och en radiotracer är viktiga för single photon emission avbildning.
7. Beskriv single photon emission avbildning (i 2D, dvs med en gammakamera). Håll texten kort och rigoröst formulerat, använd dig gärna av matematiska uttryck, figurer och grafer.

8. Antag att du har två ^{99m}Tc punktkällor med aktivitet 10 MBq resp. 20 MBq. Källorna är 5 cm från varandra och befinner sig på samma avstånd från en gammakamera. Gammakameran har en parallel-hole kollimator med håldjup 20 mm och hålbredd 2 mm. Kristallen är NaI, 0,8 cm tjock. När inga källor finns i närheten av kameran så är kamerans räknehastighet, i snitt, 0,5 cps i varje pixel. 1 pixel är 1 mm². Detektorn är 30 cm x 30 cm stor.

- a. Bestäm räknehastighet hos gammakameran när källorna är i FOV
- b. Bestäm storlek av bilden för respektive källa om objekt-kollimatoravstånd är 1 cm, 2 cm eller 5 cm
- c. Bestäm räknehastighet i en pixel i bilden för respektive källan om objekt-kollimatoravstånd är 1 cm, 2 cm eller 5 cm.
- d. Bestäm kontrast mot bakgrunden för respektive källa om objekt-kollimatoravstånd är 1 cm, 2 cm eller 5 cm.
- e. Bestäm det största objekt-kollimatoravstånd för vilket:
 - a. Källorna är synliga mot bakgrunden (anta då att bara en av källorna avbildas åt gången)
 - b. Källorna kan skiljas åt från varandra (anta att räknehastighet från bakgrunden är 0)
 - c. Källorna kan skiljas åt och syns mot bakgrundenI alla ovanstående uppgifter använd en $\text{SDNR} \geq 5$ som kriterium för synlighet.