

udsendes en  
gi på 0,20 MeV.  
nergi i skjold-

$1,602 \cdot 10^{19} \text{ C} \cdot \text{V}$

berede dosis:

$= 2,36 \text{ Gy}$

ren  $Q = 1$ , og vi  
dosisækvivalent:

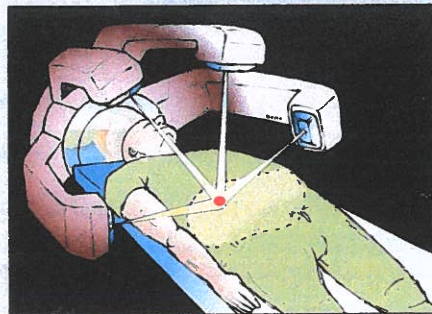
di, jævnfør tabel-

Ø38  
dosis på 3,2 mGy.  
dosis på 4,7 mGy.  
dosis på 2,2 mGy.

Ø39  
erson for  $\gamma$ -stråling.  
imængde på  
pen. Beregn den  
tagne dosisækvi-  
masse på

Ø40  
nkraftværker gæl-  
på 50 mSv/år.  
mkraftværk ud-  
nelkropsbestråling  
sætter en energi-  
fordelt over  
eren vejer 82 kg.  
ntet?  
edet?

41 Ø Med ioniserende stråling kan man ødelægge kræftsvulster inde i kroppen uden at dræbe det omgivende væv. Se på figuren til højre og forklar, hvordan det kan lade sig gøre.



42 Ø En  $\alpha$ -kilde til behandling af hudkræft har en aktivitet på 300 kBq. Hver  $\alpha$ -partikel har energien 4,0 MeV. Når kilden placeres på huden, dækker den et areal på  $1,2 \text{ cm}^2$ .

Hvor mange  $\alpha$ -partikler rammer huden i løbet af 1 minut?

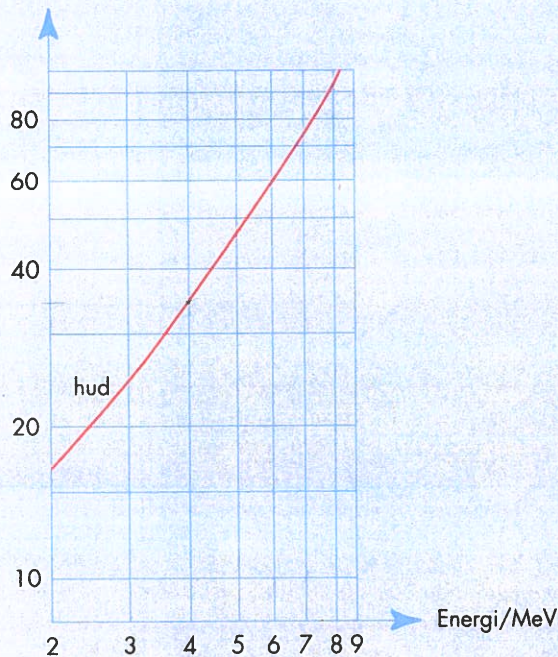
Hvor stor en energi afgiver kilden til huden i løbet af 1 minut?

Grafen til højre viser, hvorledes rækkevidden af  $\alpha$ -partikler i hud afhænger af deres energi.

Bestem den dosis, der absorberes i løbet af 1 minut.

Bestem dosisækvivalentet i 1 minut.

Rækkevidde/ $\mu\text{m}$

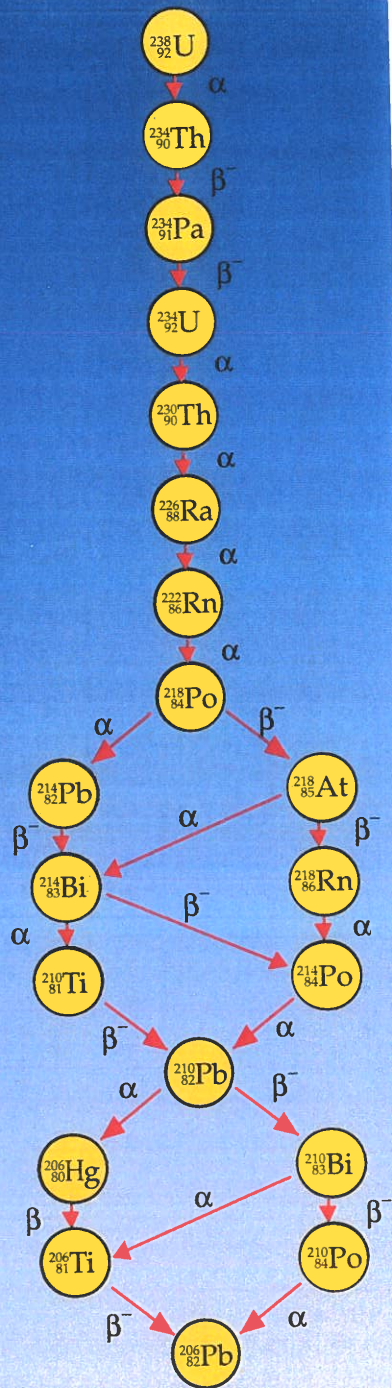


## Strålingens helbredsvirkninger

Strålernes ioniserende virkning kan fremkalde to forskellige typer skader: Skader på det bestrålede menneskes *krop*, og skader på *arveanlæggene*. Den første type skader kaldes *somatiske* skader (soma = krop). Den anden type skader er de *genetiske* skader.

Somatiske skader optræder kun hos det bestrålede menneske. De kan optræde hurtigt efter bestrålingen eller lang tid efter den. Hvis det er sent optrædende skader, kan de være *maligne* (ondartede) eller *benigne* (ikke ondartede). Maligne sygdomme er kræftsygdomme. Benigne sygdomme kan være slemme nok (for eksempel sterilitet eller blindhed).

Genetiske skader bevirker forandringer i kromosomerne i bestrålede menneskers sæd- eller ægceller, hvilket påvirker de pågældende menneskers afkom.



Uran findes overalt i undergrunden og i byggematerialer. Det henfalder til datterkerner, der selv er radioaktive og henfalder til datterkerner, som ...

Ækvivalentdosis	Bemærkning
0,01 mSv	3 timers flyvning i 10 km højde.
0,5 mSv/år	Grænseværdi for det dosisækvivalent, som børn og unge må udsættes for ved eksperimentelt arbejde.
1 mSv/år	Gennemsnitlig naturlig strålebelastning i Danmark.
1,5 mSv/år	Gennemsnitlig belastning på grund af medicinsk anvendelse af stråler.
3 mSv/år	Ekstra belastning ved at bo i betonbygninger.
5 mSv/år	Grænseværdi for det dosisækvivalent, som voksne må udsættes for ved eksperimentelt arbejde.
200 mSv/år	Maksimal naturlig belastning ved Brasiliens atlantehavskyst.
250 mSv	Første symptomer på strålesyge ved helkropsbestråling på én gang. Strålesyge: Kvalme, opkastning, diarre.
1000 mSv	Forbigående strålesyge efter helkropsbestråling på én gang.
4000 mSv	Svær strålesyge efter helkropsbestråling på én gang. 50% dødelighed ved ubehandlet sygdom.
7000 mSv	Dødelig strålesyge ved ubehandlet sygdom efter helkropsbestråling på én gang.
10000 mSv	Maksimal dosis ved strålebehandling af kræftsygdomme.

Store doser helkropsbestråling i fredstid er sjældne.

I områder med store ækvivalentdoser vil der ofte findes betydelige forekomster af radioaktive stoffer i undergrunden, f.eks. uran, hvis væsentligste isotop, U-238, danner en henfaldskæde som vist i figuren.

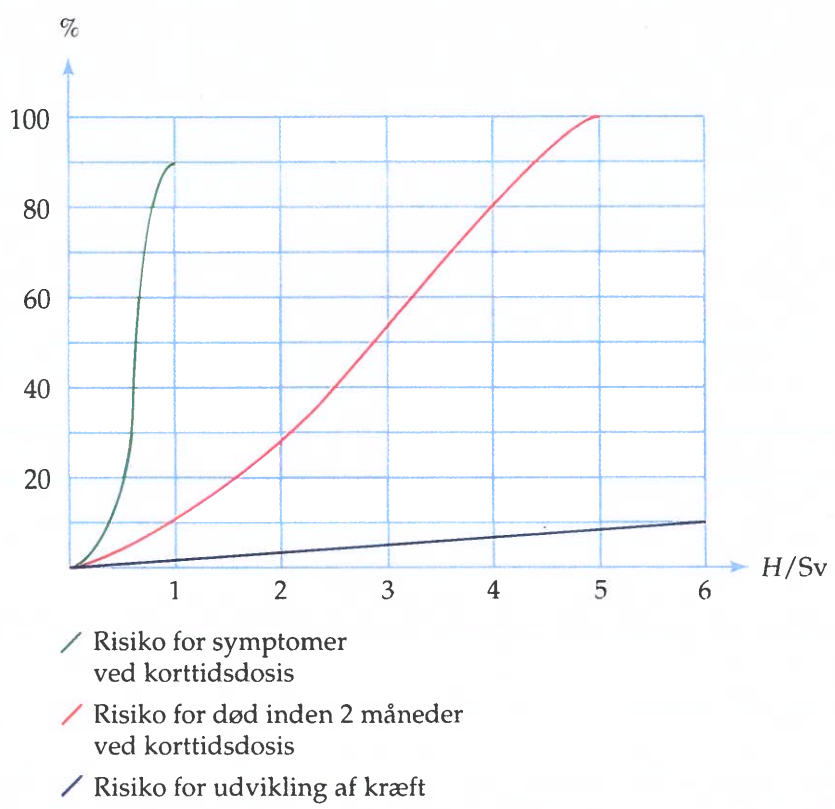
km højde.  
 dosisækviva-  
 ge må udsættes  
 lt arbejde.  
 ig strålebelast-  
 ning på grund  
 else af stråler.  
 l at bo i beton-  
 dosisækviva-  
 udsættes for  
 rbejde.  
 elastning ved  
 vskyst.  
 å strålesyge ved  
 å én gang.  
 , opkastning,  
 /ge efter hel-  
 n gang.  
 r helkropsbe-  
 50% dødelig-  
 sygdom.  
 ved ubehandlet  
 opsbehandling på  
 l strålebehand-  
 lme.

d er sjældne.  
 vil der ofte findes  
 stoffer i under-  
 e isotop, U-238,  
 guren.

Strålingens *senvirkninger* er det mere kompliceret at få overblik over. Senvirkningerne rammer ret tilfældigt, og risikoen er svær at vurdere.

Mange medicinere hælder til *linearitetsteorien*, som går ud fra, at strålefremkaldt kræfts risiko vokser proportionalt med dosisækvivalentet. Man anslår kræfttrisikoen til at være 1% pr. Sv.

En gennemsnitsdanskers samlede påvirkning anslås til at være omkring 3 mSv pr. år. Det skulle derfor give en årlig kræftisiko på  $3 \cdot 10^{-3}\%$  ud af en befolkning på 5 millioner, svarende til 150 kræfttilfælde. Det er svært for ikke at sige umuligt at påvise denne sammenhæng, når der i øvrigt i Danmark hvert år registreres omkring 15.000 nye kræfttilfælde.



Grafen viser for eksempel, at der er knap 90% risiko for symptomer efter en korttidsdosis på 1 Sv, og at der er 100% dødelighed inden for to måneder efter en korttidsdosis på 5 Sv. Man har dog eksempler på personer, der efter intensiv behandling med blodtransfusioner og knoglemarvstransplantation har overlevet en dosis på 8 Sv.

Den nederste rette linie illustrerer proportionaliteten mellem kræfttrisikoen og den samlede strålingsdosis, som en person har modtaget i tidens løb.

## Strålingsmiljøet

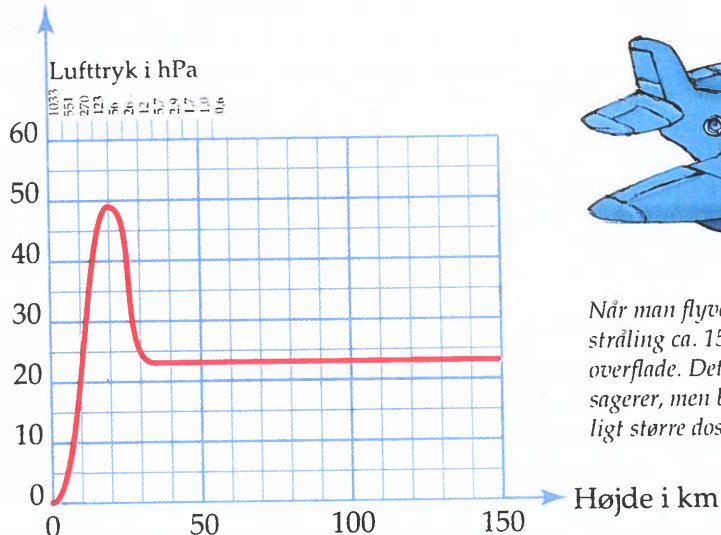
Vi bliver alle hele tiden udsat for stråling, som kommer fra mange forskellige kilder:

### Kosmisk stråling

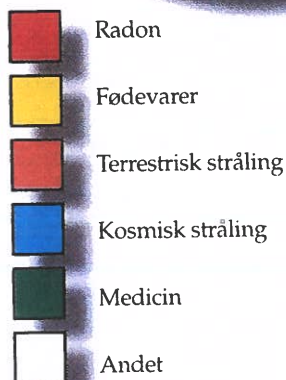
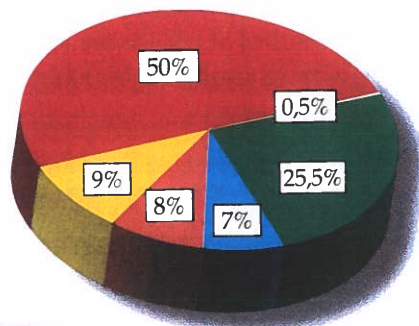
Den kosmiske stråling er i Danmark ansvarlig for ca. 7% af den samlede strålebelastning. I bjergområder er den kosmiske strålings virkning tydeligt større, da strålingen ikke bliver absorberet så meget i atmosfæren.

I 1949 undersøgte man for første gang, hvorledes den kosmiske stråling afhænger af højden over jordoverfladen. I spidsen af en tysk V2-raket anbragte man simpelthen en Geigertæller. Grafen viser de registrerede tælleletal pr. sekund ved denne flyvetur som funktion af højden. Maksimumsværdien omkring 20 km skyldes, at der her ved sammenstød mellem luftmolekyler og hurtige partikler i den kosmiske stråling sker kernereaktioner, som bevirker en ekstra sekundærstråling.

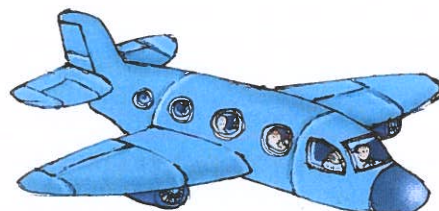
Tælleletal



Strålingsindvirkning på den danske befolkning 1995



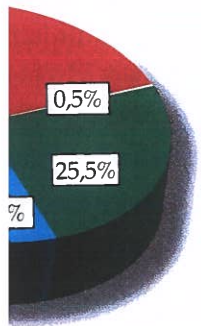
CD159  
EKSPERIMENT



Når man flyver i 10 km højde er den kosmiske stråling ca. 150 gange så intensiv som ved Jordens overflade. Det kan være uden betydning for flypassagerer, men besætningen får på årsbasis et væsentligt større dosisækvivalent end andre mennesker.

forskellige

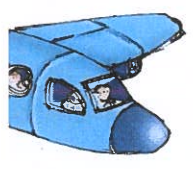
på den danske



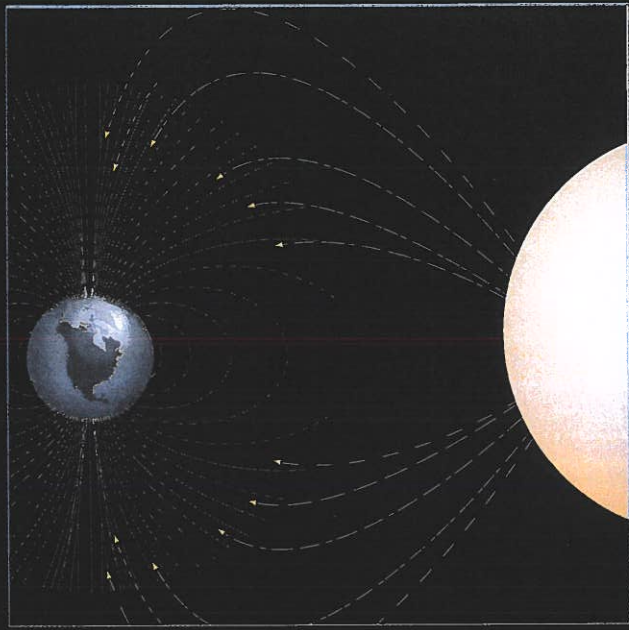
ling

ng

CD159  
EKSPERIMENT



øjede er den kosmiske intensiv som ved Jordens den betydning for flypasfår på årsbasis et væsentt end andre mennesker.



Jordens magnetfelt bevirker, at der er mere kosmisk stråling ved polerne end ved ækvator. Der er tale om en forskel på ca. 10% af strålingen ved ækvator.

En del af den kosmiske stråling udgøres af ladede partikler fra Solen. Også de afbøjes af Jordens magnetfelt og koncentrerer ved polerne. Her støder de sammen med luftmolekyler og bevirker herved lysfænomener, som kaldes polarlys. Teorien for afbøjningen er ret kompliceret og falder uden for denne bogs rammer.



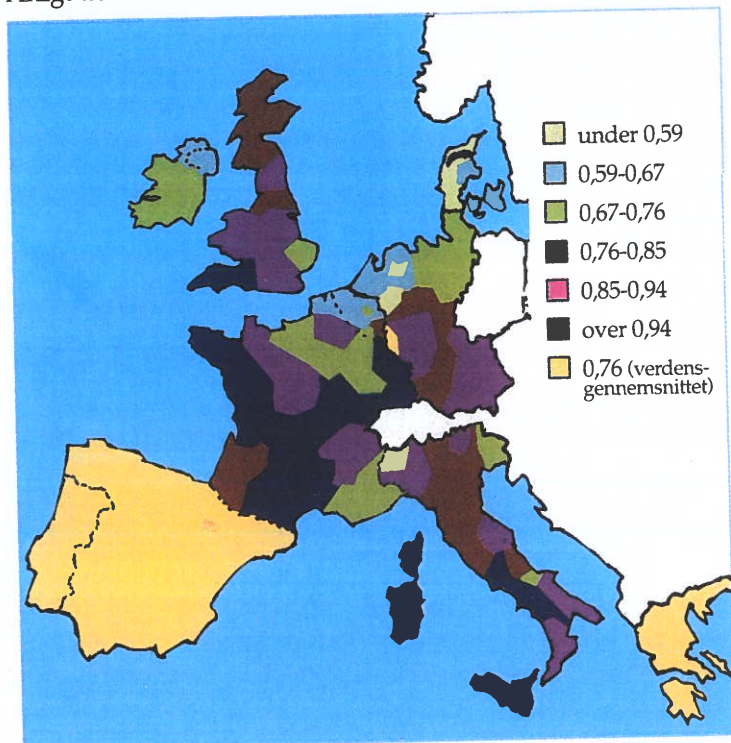
Polarlys på den nordlige halvkugle kaldes nordlys.

## Terrestrisk stråling

Det er stråling, som stammer fra undergrunden. Også stråling, som stammer fra de materialer, som husene er af, regnes med her. Forskelle i undergrunden og i byggematerialerne bevirker ret stor forskel i den baggrundsstråling, som mennesker udsættes for.

Kortet herunder viser det årlige dosisækvivalent i Europa, som skyldes baggrundsstrålingen hidrørende fra kosmisk stråling og terrestrisk stråling.

Årligt dosisækvivalent i mSv



Det årlige dosisækvivalent, som skyldes baggrundsstrålingen hidrørende fra kosmisk stråling, strålingen fra undergrunden og fra bygninger.

## Radon

Luften er naturligt radioaktiv. Det skyldes, at den indeholder den radioaktive luftart radon. Den dannes som flere forskellige isotoper som led i henfaldskæden for uran, som findes overalt i jordskorpen og i bygningsmaterialer. Når radon slipper ud i atmosfæren, spredes den hurtigt. Hvis den siver ud i bygningers indre, vil koncentrationen kunne blive høj, såfremt der ikke er god udluftning. Radon er  $\alpha$ -aktiv. Strålingen har derfor en kort rækkevidde, men når Rn kommer ned i lungerne, vil  $\alpha$ -strålingen påvirke lungeslimhinderne. Desuden henfalder Rn til forskellige datterkerner, som selv er radioaktive. Disse faste datterprodukter kan bindes til støvpartikler og små vanddråber. Når sådanne partikler kommer ned i lungerne, kan de sætte sig fast der og medføre længerevarende bestråling.

Effekten af strålingen fra radon og dens døtre er svær at vurdere i det enkelte tilfælde. Man antager, at en gennemsnitseuropæer får et årligt dosisækvivalent på 1 mSv fra denne kilde. Gennemsnittet dækker dog over store variationer.

CD156  
EKSPERIMENT



den samlede absorberede energi  $E_{1s}$  i løbet af et sekund:

$$E_{1s} = \langle E_{\beta} \rangle \cdot A \cdot \Delta\tau \\ = 0,44 \text{ MeV} \cdot 1,602 \cdot 10^{13} \text{ J/MeV} \cdot 2,76 \text{ kBq} \cdot 1 \text{ s} \\ = 1,95 \cdot 10^{-10} \text{ J}$$

I løbet af et år bliver det til

$$E_{1\text{år}} = 1,95 \cdot 10^{-10} \text{ J} \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600 = 6,1 \text{ mJ}$$

Den absorberede dosis i et år er den absorberede energi divideret med kvindens masse:

$$D_{1\text{år}} = \frac{E_{1\text{år}}}{m} = \frac{6,1 \text{ mJ}}{65 \text{ kg}} = 0,094 \text{ mGy}$$

For  $\beta$ -stråling gælder, at kvalitetsfaktoren  $Q = 1 \text{ Sv/Gy}$ . Med

$$H = Q \cdot D$$

får vi så:

$$H = 1 \text{ Sv/Gy} \cdot 0,094 \text{ mGy} = 0,094 \text{ mSv}$$

hvilket er ca. 10% af den gennemsnitlige naturlige strålingsdosis for en dansker pr. år.

**43 Ø** Hvad kan være forklaringen på, at den kosmiske stråling ikke ændres, når vi kommer op i højder på 50 km og derover?

**44 Ø** Hvor stort bliver det årlige dosisækvivalent for medlemmerne af en flybesætning, hvis de befinder sig i 10 km højde 6 timer 200 dage om året? (se tabellen s. 52) ↗

Lad os antage, at hvert medlem af flybesætningen er aktive flyvere i 20 år. Hvor stor bliver det samlede akkumulerede dosisækvivalent i denne periode?

Beregn den ekstra kræft risiko, som medlemmerne af flybesætningen pådrager sig i denne periode. Vil man forvente at kunne påvise en forøget kræft hyppighed hos flyvende personale?

Et bestemt mærke helsesalt indeholder 40% KCl, beregnet efter masse. Ø4

Beregn aktiviteten fra henfaldet af den mængde K-40, som findes i en pakke med 1 kg af dette helsesalt.

Kaffe indeholder 5% K, beregnet efter masse. Vi regner med, at der går 10 g bønner til en kop god stærk kaffe. En gymnasieelev laver en weekend lektier hele dagen og drikker ved den lejlighed så meget kaffe, at eleven inden for 24 timer til stadighed indeholder kaliummængden fra 10 kopper kaffe. Ø4

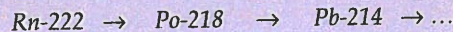
Beregn aktiviteten fra kaliummængden fra 10 kopper kaffe.

Beregn dosis og dosisækvivalentet, som eleven får på grund af kaffedrikningen.

Projekt:

### Radondøtre

Henfaldet af radon giver anledning til en hel serie henfald:



Henfaldsprodukterne kaldes radondøtrene. De kan opfanges på et stykke gazebind, der er fastgjort for enden af en støvsugerslange. Koncentrationen af radon er størst i dårligt ventilerede kælderlokaler.

Opsaml radondøtre og forsøg at bestemme dem.



CD158  
EKSPERIMENT