

Lösningar till tentamen i Kärnkemi ak den 18 december 2000

Del A

1. Vilken energi har de fotoner som utsänds vid annihilation av en positron? (2p) Svar: 511 keV
2. Hur förändras oftast jonladdningen när joner med hög energi passerar genom materia? (2p) Svar: Den stiger (men kan aldrig bli högre än kärnladdningen).
3. Hur uppskattas standardavvikelsen i en radioaktivitetsmätning? (4p) Svar: Kvadratroten ur totalt räknat pulssantal, eventuellt sedan dividerat med mättiden om det gäller pulser per tidsenhet.
4. Vad är Apoptos? (2p) Svar: Programmerad celldöd, dvs cellen dödar sig själv.
5. Vilken nuklid i vår atmosfär utgör utgångsmaterial för produktion av ^{14}C via kosmisk strålning? Ange även reaktionsformel (4p) Svar: ^{14}N . Reaktion: $n(\text{långsam}) + ^{14}\text{N} \rightarrow ^{14}\text{C} + ^1\text{H}$ (alternativt skrivsätt är $^{14}\text{N}(n,p)^{14}\text{C}$).
6. Vad är det bästa sättet att tillverka ^{99}Mo med högsta möjliga specifika aktivitet för användning i en $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -generator? (3p) Svar: Fission av höganrikad ^{235}U med neutroner följt av separation av molybden.
7. Vilken dimension har enheten Sv om den uttrycks i SI-systemets grundenheter? (2p) Svar: $(\text{m/s})^2$
8. Definiera vad som menas med massöverskott. (3p) Svar: $\delta = M_{A,Z} - A$
9. I anfallen mot Jugoslavien använde NATO uran som beståndsdel i pansarbrytande projektiler. Vilken typ av uran var detta? (2p) Svar: Avrikt uran, dvs ^{238}U med en halt av $^{235}\text{U} < 0.3\%$
10. Vad är huvudanledningen till att det planerade svenska slutförvaret för använt kärnbränsle är tänkt att ligga på minst 500 m djup i granit? (3p) Svar: Djupet behövs för att säkerställa en hög sannolikhet för att förvaret inte blottas genom erosion under kommande istid(er)
11. Vad är en radioisotopgenerator? (2p) Svar: En anordning som innehåller en moder med betydligt längre halveringstid än den dotter man vill producera i ren form genom t ex eluering. Typexempel: $^{99\text{m}}\text{Tc}$ generator.
12. Vad har de korsade elektriska och magnetiska fälten i en hastighetsselektor för funktion? (3p) Svar: Att avlägsna joner med alla hastigheter utom en.
13. Vad kallas den minsta projektilenergi som behövs för att utlösa en kärnreaktion med negativt Q-värde? (2p) Svar: Tröskelenergin
14. Hur bör längden på driftrören i en linac ändras när jonernas energi ökar? (2p) Svar: Om jonerna inte är relativistiska ($v \ll c$) måste längden öka så att tiden för passage genom rören är samma för alla rör. Om jonerna har hastighet nära c så är längden praktiskt taget oberoende av energin.
15. Vad är Paneth och Fajans regel? (3p) Svar: En "tumregel" som säger att; en mikrokomponent sorberas på en fast makrokomponent eller samfälls med en makrokomponent om den bildar en svårslöslig förening med makrokomponentens motjon.
16. Var i nuklidkartan är förhållandet mellan protoner och neutroner 1 hos de stabilaste nukliderna vid ett givet masstal? (1p) Svar: I början.

Del B

17. Ett företag skall konstruera en tjockleksmätare för kontinuerlig mätning av tjockleken hos aluminiumfolie från ett valsverk. Härvid har man beslutat sig för att utnyttja absorptionen av betastrålar i folien så att den transmitterade intensiteten beror av tjockleken. Tjockleken hos folien kommer att vara kunna variera mellan 25 μm och 75 μm . Vid en förfrågan hos en försäljare av radionuklider uppgav sig denna kunna leverera av någon av följande nuklider i lämplig mängd: ^{14}C , ^{24}Na , ^{60}Co , ^{90}Y , ^{93}Zr och ^{152}Eu . Vilken av dessa bör användas med störst utsikt till framgång? Motivera Ditt val övertygande genom ett resonemang och en enkel beräkning! (10p).

Lösning: Vissa av de föreslagna nukliderna är direkt olämpliga eftersom de utsänder γ -strålning som kommer att detekteras oberoende av foliens tjocklek. Dessa är ^{24}Na , ^{60}Co och ^{152}Eu . Vidare har ^{24}Na och ^{90}Y för korta halveringstider för att vara användbara. Nu återstår bara ^{14}C och ^{93}Zr som tänkbara kandidater. β -strålningen måste ha en maximalräckvidd i aluminium som är större än den största tjocklek som skall mätas, dvs $R_{\text{max}} > 75 \mu\text{m Al}$.

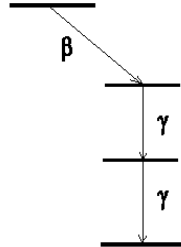
Den största folietjockleken motsvarar en ytvikt som beräknas enligt följande:

$$\rho_{\text{Al}} := 2.7 \cdot \frac{\text{gm}}{\text{cm}^3} \quad d := 75 \cdot 10^{-6} \cdot \text{m} \quad \text{ytvikt} := \rho_{\text{Al}} \cdot d \quad \text{ytvikt} = 0.02 \cdot \frac{\text{gm}}{\text{cm}^2}$$

Ur diagram 6.12, sid. 139 i boken, avläses att $E_{\text{max}} = 0.13 \text{ MeV}$ för 0.02 g/cm^2 aluminium. Aktuell nuklid måste därför ha ett värde på $E_{\beta\text{max}} > 0.13 \text{ MeV}$.

Av nuklidkartan framgår att ^{14}C har $E_{\beta\text{max}} = 0.2 \text{ MeV}$ och att ^{93}Zr har $E_{\beta\text{max}} = 0.06 \text{ MeV}$. Följaktligen kan ^{14}C användas, men inte ^{93}Zr . ^{14}C har en halveringstid på 5730 år, vilket medför att källans aktivitet kommer att vara konstant under många år.

18. Då natrium bestrålas med termiska neutroner sker reaktionen: $^{23}\text{Na}(n,\gamma)^{24}\text{Na}$. ^{24}Na är en betastrålare med halveringstiden 14.96 timmar. De avgivna β -partiklarnas maximalenergi har bestämts till 1.3892 MeV. Sönderfallet sker enligt nedanstående schema. De två γ -kvanta som utsänds har energier uppmätta till 1.368598 och 2.753995 MeV. Beräkna massan hos ^{24}Na i u med 4 decimaler. Massöverskottet för ^{23}Na är -9529.50 keV och för ^{24}Mg -13933.1 keV. (10p)



Lösning: För det första är det klart att rekylenenergierna kommer att vara så låga att de inte kan påverka massan i fjärde decimalen. Sönderfallsschemat visar hur ^{24}Na sönderfaller till ^{24}Mg . Vi skall därför basera beräkningen på massan hos ^{24}Mg , som beräknas ur dess massöverskott. Först summerar vi all de tre sönderfallsenergierna (och struntar i deras rekyler som högst är i keV storlek).

$$\text{eV} := 1.60217733 \cdot 10^{-19} \cdot \text{joule} \quad \text{keV} := 1000 \cdot \text{eV} \quad \text{MeV} := 1000 \cdot \text{keV} \quad \text{amu} := 1.6605402 \cdot 10^{-27} \cdot \text{kg}$$

$$Q := (1.3892 + 1.368598 + 2.753995) \cdot \text{MeV} \quad \text{men} \quad Q = -931.5 \cdot \left(\frac{\text{MeV}}{\text{amu}} \right) \cdot (M_{^{24}\text{Mg}} - M_{^{24}\text{Na}})$$

$$M_{^{24}\text{Mg}} := 24 \cdot \text{amu} + \frac{-13933.1 \cdot \text{keV}}{931.5 \cdot \left(\frac{\text{MeV}}{\text{amu}} \right)} \quad M_{^{24}\text{Mg}} = 23.9850 \cdot \text{amu}$$

$$Q = 5.5118 \cdot \text{MeV}$$

Lös ut $M_{^{24}\text{Na}}$ ur ekvationen för beräkning av Q så erhålles:

$$M_{^{24}\text{Na}} := \left(\frac{Q}{931.5 \cdot \frac{\text{MeV}}{\text{amu}}} + M_{^{24}\text{Mg}} \right) \quad \text{med insatta värden erhålles nu:} \quad M_{^{24}\text{Na}} = 23.9910 \cdot \text{amu}$$

19. Isotopen ^{248}Cf med halveringstiden 333.5 d kan erhållas genom reaktionen $^{247}\text{Bk}(n,\gamma)^{248\text{m}}\text{Bk}(\beta^-)^{248}\text{Cf}$. Samtidigt sker bireaktionen $^{247}\text{Bk}(n,\gamma)^{248}\text{Bk}$. Halveringstiden för ^{247}Bk är 1380 år, för $^{248\text{m}}\text{Bk}$ 23.7 h och för ^{248}Bk drygt 9 år. ^{248}Bk är en α -strålare. n-tvårsnittet för den första reaktionen är 84 b och för bireaktionen 265 b. Ett preparat av rent ^{247}Bk bestrålas under 20 dygn i ett flöde på $2 \cdot 10^{18} \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$. Därefter får target avklinga under 14 dygn. Hur stor andel av ursprungligt antal atomer av ^{247}Bk finns nu som atomer av ^{248}Cf ? Försumma n-tvårsnitten för $^{248\text{m}}\text{Bk}$ och ^{248}Cf samt IT hos $^{248\text{m}}\text{Bk}$. (10p)

Lösning: Vi har två konkurrerande reaktioner som kan förbruka targetmaterial. Först av allt kollar vi om detta leder till en påtaglig minskning av mängden ^{247}Bk under bestrålningen. Vi skall då summera reaktionstvårsnitten till ett totalt tvårsnitt:

$$\text{barn} := 10^{-28} \cdot \text{m}^2 \quad \sigma_1 := 84 \cdot \text{barn} \quad \sigma_2 := 265 \cdot \text{barn} \quad \sigma_{\text{tot}} := \sigma_1 + \sigma_2 \quad \sigma_{\text{tot}} = 349 \cdot \text{barn}$$

$$\frac{dN_t}{dt} = -\phi \cdot \sigma_{\text{tot}} \cdot N_t \quad \text{Lösningen till denna lilla diffekvation är:} \quad N_t = N_{t0} \cdot e^{-\phi \cdot \sigma_{\text{tot}} \cdot t}$$

$$\text{Flödet var:} \quad \phi := 2 \cdot 10^{18} \cdot \text{sec}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \quad \text{och tiden var:} \quad t_{\text{irr}} := 20 \cdot \text{day} \quad t_{\text{irr}} = 1.728 \cdot 10^6 \cdot \text{sec}$$

$$\text{Bråkdelen förbrukad targetnuklid blir då:} \quad \frac{N_{t0} - N_t}{N_{t0}} = \left(1 - e^{-\phi \cdot \sigma_{\text{tot}} \cdot t_{\text{irr}}}\right) \quad 1 - e^{-\phi \cdot \sigma_{\text{tot}} \cdot t_{\text{irr}}} = 0.114$$

Vi har således en inte försumbar minskning av mängden targetatomer (11.4%). Följaktligen bör vi inte använda den enkla ekvationen 15.7 på sid 390 i läroboken!

Antalet targetatomer som bildat $^{248\text{m}}\text{Bk}$, N_1 , kan nu beräknas ur de partiella reaktionstvårsnitten enligt följande:

$$\frac{N_1}{N_{t0}} = \frac{N_{t0} - N_t}{N_{t0}} \cdot \frac{\sigma_1}{\sigma_{\text{tot}}} \quad \text{Insättes ekvationen för förbrukningen av targetnukliden så får vi:}$$

$$\frac{N_1}{N_{t0}} = \left(1 - e^{-\phi \cdot \sigma_{\text{tot}} \cdot t_{\text{irr}}}\right) \cdot \frac{\sigma_1}{\sigma_{\text{tot}}} \quad \text{Detta ger oss värdet:} \quad \left(1 - e^{-\phi \cdot \sigma_{\text{tot}} \cdot t_{\text{irr}}}\right) \cdot \frac{\sigma_1}{\sigma_{\text{tot}}} = 0.027$$

eftersom alla bildade $^{248\text{m}}\text{Bk}$ -atomer kommer att sönderfalla till ^{248}Cf under bestrålningen och den efterföljande avsvlningstiden ($t_{\text{cool}} > 10 \cdot t_{1/2}$). Om vi försummar sönderfallet av ^{248}Cf ($t_{1/2} = 333.5 \text{ d}$) under de 20 dygn som bestrålningen varat och de efterföljande 14 dagarna så blir svaret approximativt 2.7 %. Vi kan göra en approximativ korrektion för sönderfallet genom att beräkna hur mycket av denna mängd som sönderfallit under halva tidsrymden och subtrahera detta från svaret (beror på att mängden bildat approximativt ökar linjärt med tiden när bara litet target förbrukas, dvs $(1 - e^{-x \cdot t})$ blir ca $x \cdot t$ om $x \cdot t$ är litet):

$$t_{\text{decay}} := (20 + 14) \cdot \text{day} \quad N = N_0 \cdot e^{-\lambda_3 \cdot \frac{t_{\text{decay}}}{2}} \quad \lambda_3 := \frac{\ln(2)}{333.5 \cdot \text{day}}$$

$$1 - e^{-\lambda_3 \cdot t_{\text{decay}}} = 0.035 \quad \text{av den bildade mängden har vi således förlorat 3.5%. Inför vi denna korrektion i det tidigare svaret 2.7 % så får vi:}$$

$$0.027 \cdot (1 - 0.035) = 2.61 \cdot \%$$

Med detta smarta beräkningssätt har vi undgått att lösa mer komplicerade diffekvationer.

19. Isotopen ^{248}Cf med halveringstiden 333.5 d kan erhållas genom reaktionen $^{247}\text{Bk}(n,\gamma)^{248}\text{Bk}(\beta^-)^{248}\text{Cf}$. Samtidigt sker bireaktionen $^{247}\text{Bk}(n,\gamma)^{248}\text{Bk}$. Halveringstiden för ^{247}Bk är 1380 år, för ^{248}Bk 23.7 h och för ^{248}Bk drygt 9 år. ^{248}Bk är en α -strålar. n-tvärsnittet för den första reaktionen är 84 b och för bireaktionen 265 b. Ett preparat av rent ^{247}Bk bestrålas under 20 dygn i ett flöde på $2 \cdot 10^{18} \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$. Därefter får target avklinga under 14 dygn. Hur stor andel av ursprungligt antal atomer av ^{247}Bk finns nu som atomer av ^{248}Cf ? Försumma n-tvärsnitten för ^{248}Bk och ^{248}Cf samt IT hos ^{248}Bk . (10p)

Lösning: Vi har två konkurrerande reaktioner som kan förbruka targetmaterial. Först av allt kollar vi om detta leder till en påtaglig minskning av mängden ^{247}Bk under bestrålningen. Vi skall då summera reaktionstvärsnitten till ett totalt tvärsnitt:

$$\text{barn} := 10^{-28} \cdot \text{m}^2 \quad \sigma_1 := 84 \cdot \text{barn} \quad \sigma_2 := 265 \cdot \text{barn} \quad \sigma_{\text{tot}} := \sigma_1 + \sigma_2 \quad \sigma_{\text{tot}} = 349 \cdot \text{barn}$$

$$\frac{dN_t}{dt} = -\phi \cdot \sigma_{\text{tot}} \cdot N_t \quad \text{Lösningen till denna lilla diffekvation är:} \quad N_t = N_{t0} \cdot e^{-\phi \cdot \sigma_{\text{tot}} \cdot t}$$

$$\text{Flödet var:} \quad \phi := 2 \cdot 10^{18} \cdot \text{sec}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \quad \text{och tiden var:} \quad t_{\text{irr}} := 20 \cdot \text{day} \quad t_{\text{irr}} = 1.728 \cdot 10^6 \cdot \text{sec}$$

$$\text{Bråkdelen förbrukad targetnuklid blir då:} \quad \frac{N_{t0} - N_t}{N_{t0}} = \left(1 - e^{-\phi \cdot \sigma_{\text{tot}} \cdot t_{\text{irr}}}\right) \quad 1 - e^{-\phi \cdot \sigma_{\text{tot}} \cdot t_{\text{irr}}} = 0.114$$

Vi kan således inte använda en enkla ekvation (15.7) som finns i läroboken. Lösning av de diffekvationer som gäller för bildning och sönderfall av ^{248}Bk och ^{248}Cf ger oss följande ekvationer som gäller fram till slutet av bestrålningen:

$$\text{Index 1 är } ^{248}\text{Bk} \text{ och index 2 är } ^{248}\text{Cf}. \quad \lambda_1 := \frac{\ln(2)}{23.7 \cdot \text{hr}} \quad \lambda_2 := \frac{\ln(2)}{333.5 \cdot \text{day}}$$

$$x_1 = \frac{N_{t0}}{N_{t0}} = \frac{\phi \cdot \sigma_1}{\lambda_1 - \phi \cdot \sigma_{\text{tot}}} \cdot \left(e^{-\phi \cdot \sigma_{\text{tot}} \cdot t_{\text{irr}}} - e^{-\lambda_1 \cdot t_{\text{irr}}}\right)$$

$$x_2 = \frac{N_{t0}}{N_{t0}} = \frac{\phi \cdot \sigma_1 \cdot \lambda_1}{(\lambda_1 - \phi \cdot \sigma_{\text{tot}}) \cdot (\lambda_2 - \phi \cdot \sigma_{\text{tot}})} \cdot \left(e^{-\phi \cdot \sigma_{\text{tot}} \cdot t_{\text{irr}}} - e^{-\lambda_2 \cdot t_{\text{irr}}}\right) \dots$$

$$+ \frac{\phi \cdot \sigma_1 \cdot \lambda_1}{(\lambda_1 - \phi \cdot \sigma_{\text{tot}}) \cdot (\lambda_2 - \lambda_1)} \cdot \left(e^{-\lambda_2 \cdot t_{\text{irr}}} - e^{-\lambda_1 \cdot t_{\text{irr}}}\right)$$

$$x_1 := \frac{\phi \cdot \sigma_1}{\lambda_1 - \phi \cdot \sigma_{\text{tot}}} \cdot \left(e^{-\phi \cdot \sigma_{\text{tot}} \cdot t_{\text{irr}}} - e^{-\lambda_1 \cdot t_{\text{irr}}}\right) \quad x_1 = 1.849 \cdot 10^{-3}$$

$$x_2 := \frac{\phi \cdot \sigma_1 \cdot \lambda_1}{(\lambda_1 - \phi \cdot \sigma_{\text{tot}}) \cdot (\lambda_2 - \phi \cdot \sigma_{\text{tot}})} \cdot \left(e^{-\phi \cdot \sigma_{\text{tot}} \cdot t_{\text{irr}}} - e^{-\lambda_2 \cdot t_{\text{irr}}}\right) \dots$$

$$+ \frac{\phi \cdot \sigma_1 \cdot \lambda_1}{(\lambda_1 - \phi \cdot \sigma_{\text{tot}}) \cdot (\lambda_2 - \lambda_1)} \cdot \left(e^{-\lambda_2 \cdot t_{\text{irr}}} - e^{-\lambda_1 \cdot t_{\text{irr}}}\right) \quad x_2 = 0.025$$

Nu kan vi låta bildat ^{248}Cf falla sönder för sig under 14 dygn och sedan behandla inväxt och sönderfall från närvarande ^{248}Bk under de sista 14 dygnen. Sedan summerar vi mängerna av ^{248}Cf .

$$t_{\text{cool}} := 14 \cdot \text{day}$$

$$x_{2s1} := x_2 \cdot e^{-\lambda_2 \cdot t_{\text{cool}}} \quad x_{2s1} = 0.024$$

$$x_{2s2} := \frac{\lambda_1}{(\lambda_2 - \lambda_1)} \cdot x_1 \cdot \left(e^{-\lambda_1 \cdot t_{\text{cool}}} - e^{-\lambda_2 \cdot t_{\text{cool}}}\right) \quad x_{2s2} = 1.801 \cdot 10^{-3}$$

$$x_{2s} := x_{2s1} + x_{2s2} \quad x_{2s} = 0.026 \quad x_{2s} = 2.609 \cdot \%$$

20. Det amerikanska Surveyor projektet syftar bland annat till att fastställa sammansättningen hos planeternas ytor. Man har som ett alternativ tänkt sig att landa små neutrongeneratorer ($D + T \Rightarrow He + n$), provtagningsanordningar, samt gammaspektrometrar. Verkningsgraden för en sådan spektrometer (Ψ) kan uppskattas till 20% vid gammaenergin 0.51 MeV, 5% vid 1.33 MeV samt följer sambandet $\log(\Psi) = a \cdot \log(E_\gamma) + b$. Bakgrunden hos en sådan oskärmad detektor kan approximeras med följande samband $I_0 = 1000 \cdot e^{-2E_\gamma}$ (cpm). Provtagningsanordningen levererar 1 g prov för bestrålning i ett neutronflöde av 10^9 n/cm²s under 20 sekunder. Mätningen startar omedelbart efter bestrålningens slut och pågår i 20 sekunder. Minst dubbla nolleffekten bör mätas för att syrehalten i ett prov skall anses vara påvisbar. Uppskatta minsta påvisbara halt av syre ($^{16}O(n,p)^{16}N$) i planeternas ytor med denna anordning (%). ^{16}N utsänder 6.129 MeV γ i 68.8% av sina sönderfall och tvärsnittet för den angivna reaktionen är 49 mb. (10p)

Lösning: Först beräknar vi verkningsgraden vid 6.129 MeV

$$\begin{aligned}\Psi_1 &:= 20\% & \Psi_2 &:= 5\% & \text{men:} & \log(\Psi_1) &= a \cdot \log(0.51) + b \\ & & & & & \log(\Psi_2) &= a \cdot \log(1.33) + b \\ & & & & & \log\left(\frac{\Psi_1}{\Psi_2}\right) &= a \cdot \log(0.51) - a \cdot \log(1.33) \\ & & & & a &:= -1.043271 \cdot \ln\left(\frac{\Psi_1}{\Psi_2}\right) & a = -1.446\end{aligned}$$

$$Bq := \text{sec}^{-1} \quad b := \log(\Psi_1) - a \cdot \log(0.51) \quad b = -1.122$$

$$\text{Verkningsgraden vid 6.129 MeV blir:} \quad \Psi_3 := 10^{a \cdot \log(6.129) + b} \quad \Psi_3 = 5.487 \cdot 10^{-3}$$

$$\text{Nu uppskattar vi bakgrundsvärdet vid 6.129 MeV:} \quad I_0 := 1000 \cdot e^{-2 \cdot 6.129} \cdot \text{min}^{-1} \quad I_0 = 7.912 \cdot 10^{-5} \cdot Bq$$

Aktiviteten hos ^{16}N vid bestrålningens slut uppskattas enligt följande:

$$\begin{aligned}t_{\text{irr}} &:= 20 \cdot \text{sec} & t_{\text{meas}} &:= 20 \cdot \text{sec} & m_{\text{prov}} &:= 1 \cdot \text{gm} & M_{\text{wO}} &:= 16 \cdot \frac{\text{gm}}{\text{mole}} & N_A &:= 6.0221367 \cdot 10^{23} \cdot \text{mole}^{-1} \\ \phi &:= 10^9 \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1} & n &:= 68.8\% & \sigma &:= 49 \cdot 10^{-3} \cdot \text{barn} & \lambda &:= \frac{\ln(2)}{7.13 \cdot \text{sec}}\end{aligned}$$

$$\text{Syrehalten sätts till y:} \quad m_O = m_{\text{prov}} \cdot y \quad N_O = \frac{m_O}{M_{\text{wO}}} \cdot N_A$$

$$A = \phi \cdot \sigma \cdot N_O \cdot (1 - e^{-\lambda \cdot t_{\text{irr}}}) \quad \text{eftersom vi har en mättid} > t_{1/2}/100 \text{ används:} \quad R = \Psi_3 \cdot n \cdot \frac{A}{\lambda} \cdot (1 - e^{-\lambda \cdot t_{\text{meas}}}) \cdot \frac{1}{t_{\text{meas}}}$$

Men enligt uppgiften söker vi det y som ger $R=2 \cdot I_0$, dvs:

$$R := 2 \cdot I_0 \quad R = 1.582 \cdot 10^{-4} \cdot \text{sec}^{-1} \quad \text{Sätt in värdet på A och } N_O \text{ i ekvationen för R så erhålles:}$$

$$R = \Psi_3 \cdot \frac{\phi \cdot \sigma \cdot \left(\frac{m_{\text{prov}} \cdot y}{M_{\text{wO}}} \cdot N_A\right) \cdot (1 - e^{-\lambda \cdot t_{\text{irr}}}) \cdot n}{\lambda} \cdot \frac{1 - e^{-\lambda \cdot t_{\text{meas}}}}{t_{\text{meas}}} \quad \text{Enda obekanta i denna ekvation är y.}$$

$$y := -R \cdot \frac{M_{\text{wO}} \cdot \lambda \cdot t_{\text{meas}}}{\Psi_3 \cdot \phi \cdot \sigma \cdot m_{\text{prov}} \cdot N_A \cdot n \cdot \left[-1 + \exp(-\lambda \cdot t_{\text{meas}}) + \exp(-\lambda \cdot t_{\text{irr}}) - \exp(-\lambda \cdot (t_{\text{irr}} + t_{\text{meas}}))\right]}$$

$$y = 6.018 \cdot 10^{-8} \quad y = 6.018 \cdot 10^{-6} \cdot \%$$