

# Subatomaire fysica

---

 [tuyaux.winak.be/index.php/Subatomaire\\_fysica](http://tuyaux.winak.be/index.php/Subatomaire_fysica)

## Subatomaire fysica

---

Richting [Fysica](#)

Jaar [3BFYS](#)

Keuzevak [Keuzevakken](#)

## Bespreking

---

Komt nog.

## Puntenverdeling

---

8 theorie, 12 oefeningen

## Examenvragen

---

---

---

## Academiejaar 2022-2023 1<sup>ste</sup> zit

---

Prof. Pierre Van Mechelen

---

---

## Theorie en oefeningen

---

:

### Mondeling

Lees de tekst over  
"A 4.3- $\sigma$  signal of dimuon decays of the Bs meson!".

Kom vervolgens deze meeting in eigen woorden toelichten. Geef de context door te melden wat je hierover geleerd hebt in het vak "Subatomaire Fysica". Bespreek de gebruikte experimentele methode en het belang van deze meting.

:

## Schriftelijk

1. Positronium is een gebonden toestand van een elektron en een positron. Excitatie van dit systeem kunnen worden geïnduceerd door de absorptie van een foton. Welke van de volgende overgangen tussen toestanden  $n^{2S+1}L_J$  zijn toegelaten? Indien een overgang niet mogelijk is, vermeld dan welke behoudswet geschonden wordt (tip: het hoofdkwantumgetal  $n$  speelt verder geen rol voor wat betreft behoudswetten).

(a)  $1^3S_1 \rightarrow 2^3S_1$

(b)  $1^3S_1 \rightarrow 2^1S_0$

(c)  $1^3S_1 \rightarrow 2^1P_1$

(d)  $1^3S_1 \rightarrow 2^3P_1$

2. Experimenteel wordt de volgende verhouding van structuurfuncties in elektron-deuteron en elektron-proton botsingen gemeten:

$$\frac{\int_0^1 F_2^{\text{eD}}(x) dx}{\int_0^1 F_2^{\text{ep}}(x) dx} = 0.84$$

Bereken deze verhouding in het quark model in functie van de relatieve fractie van de proton impuls gedragen door up en anti-up quarks,  $f_u$ , enerzijds en door down en anti-down quarks,  $f_d$ , anderzijds. Bepaal de verhouding  $f_d/f_u$  a.h.v. bovenstaande meting. De bijdrage van (anti-)strange quarks mag verwaarloosd worden.

3. Bepaal de Cabibbo-hoek  $\theta_C$  door het  $\beta$ -verval van het neutron en  $\Lambda^0$  baryon met elkaar te vergelijken (tip: hou rekening met matrixelement en fasefactor).

	Levensduur $\tau/s$	Vertakkings- verhouding $f$	Vrijgekomen energie $E/\text{MeV}$
$n \rightarrow pe^- \bar{\nu}_e$	900	1	1.3
$\Lambda^0 \rightarrow pe^- \bar{\nu}_e$	$2.63 \times 10^{-10}$	$8.3 \times 10^{-4}$	177.3

4. De grondtoestand van  $^{17}_9\text{F}$  heeft  $J^P = \frac{5}{2}^+$ . De eerste geëxciteerde toestand heeft  $J^P = \frac{1}{2}^+$ , terwijl de tweede geëxciteerde toestand  $J^P = \frac{1}{2}^-$  heeft. Geef de configuratie van protonen en neutronen in het schillenmodel voor al deze toestanden.

5. Bepaal de levensduur van een  $^{12}\text{C}$  kern tengevolge van protonvangst ( $^{12}\text{C} + p \rightarrow ^{13}\text{N} + \gamma$ ) in de kern van een ster met 80% waterstof, een dichtheid van  $1.5 \times 10^4 \text{ kg/m}^3$  en een temperatuur van  $3 \times 10^7 \text{ K}$ .

De werkzame doorsnede voor het invangen van een proton met energie  $E$  kan benaderd worden door

$$\sigma(E) = \frac{1}{E} S(0) \exp(-\sqrt{E_G/E})$$

met voor  $^{12}\text{C} - p$  fusie  $E_G = 31.93 \text{ MeV}$  en  $S(0) = 1.4183 \text{ keV barn}$ .

(Tip: de waarschijnlijkheid voor fusie is evenredig met

$$\exp(-\phi(E)) = \exp(\sqrt{E_G/E} + E/k_B T)$$

Deze functie heeft een maximum bij  $E_0 = (E_G)^{1/3} (k_B T/2)^{2/3}$  en een breedte  $\approx \sqrt{E_0 k_B T}$ .)

## Mondeling

Lees de tekst over "A 4.3- $\sigma$  signal if dimuon decays of the Bs meson!" [1], kom vervolgens deze meting in eigen woorden toelichten. Geef de context door te vermelden wat je hierover hebt geleerd in het vak "Subatomaire fysica". Bespreek de gebruikte experimentele methode en het belang van deze meting.

## Schriftelijk

### Vraag 1

Het deutron heeft spin gelijk aan 1 en een positieve pariteit. Toon aan dat het enkel in de toestanden  $3S1$  en  $3D1$ . (gebruikte notatie:  $2J+1LS$ )

### Vraag 2

Stel dat je een experiment uitvoert om de semi-inclusieve werkzame doorsnede te meten van het volgende proces:

$$a+N \rightarrow \mu^+ \mu^- X$$

$$a+N \rightarrow \mu^+ \mu^- X$$

waarbij de bundel-deeltjes  $a=p, \pi^+$  of  $\pi^-$  zijn en  $N$  een nucleon-doelwit is met gelijk aantal protonen en neutronen.

- Voorspel uitgaande van het eenvoudigste quark-model waarbij baryonen uit drie quarks, en mesonen uit een quark-antiquark paar bestaan, de verhouding van werkzame doorsnedes:

$$\sigma p N : \sigma \pi^+ N : \sigma \pi^- N$$

$$\sigma p N : \sigma \pi^+ N : \sigma \pi^- N$$

- Vergelijk je voorspelling met het experimenteel behaalde resultaat  $0.17 : 1 : 3.85$  en bespreek. Leid een formule af om uit dit resultaat de fractie  $\alpha$  aan antiquarks in de nucleonen te bepalen en bereken  $\alpha$  uitgaande van het experimenteel gemeten resultaat.

### Vraag 3

Het  $D^0$  ( $cd^+cd^-$ ) meson vervalst via de zwakke wisselwerking naar  $K^-0\mu^+\nu_\mu$  of naar  $\pi^0\mu^+\nu_\mu K^-0\mu^+\nu_\mu$  of naar  $\pi^0\mu^+\nu_\mu$ . Bepaal de verhouding van de werkzame doorsnede voor deze twee verval-kanalen

$$(m_D=1870 \text{ MeV}, m_{K^0}=498 \text{ MeV}, m_{\pi^0}=135 \text{ MeV}, m_\mu=106 \text{ MeV})$$

### Vraag 4

Veronderstel dat het verschil in bindingsenergie tussen de kernen  $^3\text{H}$  en  $^3\text{He}$  enkel te wijten is aan de elektrostatische afstoting tussen de twee protonen in  $^3\text{He}$ . Wat is dan de afstand tussen de protonen als je weet dat de maximale energie die vrijkomt bij het  $\beta^-$ -verval van  $^3\text{H}$  gelijk aan 18.6 keV is.

### Vraag 5

Beschouw twee  $\alpha$ -stralers, met hetzelfde massagetal, met een  $Z=82$  en een ander met  $Z=84$ . Ze hebben ook dezelfde gemiddelde levensduur. Indien de laatste kern  $\alpha$ -deeltjes uitzendt met een energie gelijk aan 5.3 MeV, bepaal dan de energie van de  $\alpha$ -deeltjes afkomstig van de eerste kern.

## Academiejaar 2018-2019 1<sup>ste</sup> zit

## Mondeling

### Vraag 1

Lees de tekst over "Neutrino-mass measurements could benefit from holmiumtrapping result".

Kom vervolgens deze meting in eigen woorden toelichten. Geef de context door te vermelden wat je hierover hebt geleerd in het vak "Subatomaire Fysica". Bespreek de gebruikte experimentele methode en het belang van deze meting. Hierbij kan je de volgende vragen verwachten:

- Wat zijn neutrino's?
- Wat zijn neutrino-oscillaties?
- Hoe kan de neutrino-massa bepaald worden via  $\beta\beta$ -verval?
- Wat is "electron capture"?
- Wat is het voordeel van electron capture t.o.v. gewoon  $\beta\beta$ -verval bij het bepalen van de neutrino-massa?
- Waarom gaat de doorbraak in dit artikel? Waarom is er ook kritiek?

## Schriftelijk

### Vraag 1

Beschouw het  $\eta$  meson met spin-pariteit  $J^P=0^--$  en massa  $m_\eta=547 \text{ MeV}$ . De belangrijkste vervalkanalen en de respectievelijke vertakingsverhoudingen zijn:

$$B(\eta \rightarrow \gamma + \gamma) = 39\% \quad B(\eta \rightarrow \gamma + \gamma) = 39\%$$

$$B(\eta \rightarrow \pi^0 + \pi^0 + \pi^0) = 33\% \quad B(\eta \rightarrow \pi^0 + \pi^0 + \pi^0) = 33\%$$

$$B(\eta \rightarrow \pi^+ + \pi^- + \pi^0) = 23\% \quad B(\eta \rightarrow \pi^+ + \pi^- + \pi^0) = 23\%$$

- Toon aan dat wegens behoud van pariteit het verval naar twee pionen verboden is.
- Toon aan dat wegens behoud van ladingspariteit het verval naar drie fotonen verboden is en leid daaruit de ladingspariteit van het foton en  $\eta$  meson af.
- Op het eerste zicht zou je kunnen verwachten dat het verval naar pionen via de sterke wisselwerking plaatsheeft, terwijl het verval naar fotonen via de elektromagnetische wisselwerking gebeurt. Uit de vertakkingsverhoudingen blijkt echter dat de drie vervallen ongeveer even vaak voorkomen en het verval naar pionen moet daarom ook via de elektromagnetische wisselwerking plaatshebben. Verklaar deze waarneming door aan te tonen dat het verval naar drie pionen via de sterke wisselwerking verboden is wegens behoud van isospin.

### Vraag 2

Pionen worden op een doelwit van  $^{12}\text{C}$ -kernen geschoten. Bereken de verhouding van de werkzame doorsnede voor Drell-Yan-productie in  $\pi^+ \text{C} \rightarrow \mu^+ \mu^- \text{X}$ ,  $\pi^- \text{C} \rightarrow \mu^+ \mu^- \text{X}$  en  $\pi^- \text{C} \rightarrow \mu^+ \mu^- \text{X}$  botsingen, in de limiet  $m_{2\mu}/s \rightarrow 1$ .

### Vraag 3

Besprek de volgende vervallen via de zwakke wisselwerking:

$$\Xi^- \rightarrow \Lambda + \pi^- \quad \Xi^- \rightarrow \Lambda + \pi^-$$

$$\Xi^- \rightarrow n + \pi^- \quad \Xi^- \rightarrow n + \pi^-$$

Welk verval is het meest frequent? Hou rekening met faseruimtefactoren, alsook met elementen die het matrixelement beïnvloeden.

### Vraag 4

De eerste twee geëxciteerde toestanden van  $^9\text{Be}$  hebben een energie van  $E=214 \text{ keV}$  en  $E=1.1 \text{ MeV}$ . Wat is de verwachte spin-pariteit van deze geëxciteerde toestanden volgens het schillenmodel?

### Vraag 5

Het zilverisotoop  $^{111}\text{Ag}$  heeft een atomaire massa gelijk aan  $110.905291 \text{ u}$  en is radioactief. Het vervalt spontaan via  $\alpha$ -,  $\beta^+$ -,  $\beta^-$ -verval. De atomaire massa's van de mogelijke vervalproducten zijn  $^{107}\text{Ag}$  ( $106.905823 \text{ u}$ ),  $^{111}\text{Cd}$  ( $110.904178 \text{ u}$ ) en  $^{111}\text{In}$  ( $110.904178 \text{ u}$ ). Bepaal welk proces verantwoordelijk is voor het spontane verval van  $^{111}\text{Ag}$ .

## **Academiejaar 2017-2018 1<sup>ste</sup> zit**

Prof. Pierre Van Mechelen

### **Schriftelijk**

### Vraag 1

Zijn de volgende deeltjesreacties toegelaten door behoudswetten? Indien ja, vermeld via welke wisselwerking de reactie plaatsheeft en teken een Feynman-diagram. Indien nee, verklaar waarom niet.

- $\pi^- \rightarrow \mu^- + \nu_\mu$
- $\tau^- \rightarrow \mu^- + \nu_\tau$
- $\Sigma^0 \rightarrow \Lambda + \gamma$
- $p \rightarrow n + e^+ + \nu_e$
- $\pi^- + p \rightarrow \pi^0 + \Sigma^0$
- $\pi^- + p \rightarrow K^0 + \Sigma^0$
- $e^+ + e^- \rightarrow \mu^+ + \mu^-$
- $\pi^0 \rightarrow \tau^+ + \tau^-$

### Vraag 2

Een bundel  $K^-$ -mesonen wordt op een isoscalair doelwit geschoten. Hierbij worden o.m.  $\Sigma^-$ -deeltjes geproduceerd.

- Bepaal de verhouding van het aantal geladen tot het aantal neutrale  $\Sigma^-$ -deeltjes.
- Verklaar waarom het verval  $\Sigma^- \rightarrow n + e^- + \bar{\nu}_e$  wel waargenomen wordt en het verval  $\Sigma^- \rightarrow n + \nu_e$  niet.

### Vraag 3

Bepaal de Cabibbo-hoek  $\theta_C$  door het  $\beta\beta$ -verval van het neutron en  $\Lambda\Lambda$ -baryon met elkaar te vergelijken.

	Levensduur	Vertakingsverhouding	Vrijgekomen energie
	$\tau/\text{s}$	ff	E/MeV/MeV
$n \rightarrow p e^- \bar{\nu}_e$	900900	11	1.31.3
$\Lambda \rightarrow p e^- \bar{\nu}_e$	$2.63 \times 10^{-10}$	$8.3 \times 10^{-4}$	177.3177.3

### Vraag 4

Toon aan dat  $^{229}\text{Th}$  een onstabiele kern is en bepaal of het vervalt via het uitstralen van een  $\alpha$ - of  $\beta$ -deeltje plaatsheeft. De atoommassa's (in a.m.u.) van de relevante kernen zijn:

Element	$^{42}\text{He}$	$^{226}\text{Ra}$	$^{229}\text{Ac}$	$^{229}\text{Th}$	$^{229}\text{Pa}$
Massa	4.0026034	226.0254104	229.0320992	229.0330917	229.0320992

### Vraag 5

Een even-even kern in de grondtoestand vervalt via het uitsenden van een  $\alpha$ -deeltje. Welke spin-pariteit JP is mogelijk voor de dochterkern?

## Academiejaar 2012-2013 1<sup>ste</sup> zit

### Theorie

Groep A

Vragen bij teksten "SLAC sees parity violation in electrons"[2] en "SLAC E158: Measuring the electron's weak charge." [3] Kom vervolgens deze meting in eigen woorden toelichten. Geef de context door te vermelden wat je hierover geleerd hebt in het vak "Subatomaire Fysica". Bespreek de gebruikte experimentele methode en het belang van deze meting.

Groep B

Lees de tekst over "A  $4.3\sigma$  signal of dimuon decays of the  $B_s$  meson!"[4]. Kom vervolgens deze meting in eigen woorden toelichten. Geef de context door te vermelden wat je hierover geleerd hebt in het vak "Subatomaire Fysica". Bespreek de gebruikte experimentele methode en het belang van deze meting.

### Oefeningen

Groep A

- Wanneer  $\pi^-$  mesonen gestopt worden in een deuterium-doelwit kunnen ze een gebonden  $\pi^-p$ -toestand vormen met ruimtelijk draaimoment gelijk aan 0. Deze gebonden toestand vervalt via de sterke interactie als  $\pi^-d \rightarrow nn$ . Bespreek de mogelijke spin en ruimtelijk-draaimomenttoestanden voor het  $nn$ -systeem en leidt hieruit af dat het pion een negatieve pariteit heeft.  
(Het deutron heeft  $J^P=1^+$  en het pion is een spin 0 deeltje.)
- Welke baryon- en mesonmultipletten met  $u$ ,  $d$ - en  $s$ -quarks zouden er bestaan indien quarks spin 0 deeltjes zouden zijn en er verder niets verandert? Hou er rekening mee dat de golf functie voor bosonen symmetrisch is onder uitwisseling van deeltjes.
- Geladen kaonen kunnen op verschillende manieren vervallen via de zwakke wisselwerking. De belangrijkste vervalkanalen zijn  $K^+ \rightarrow \mu^+ \nu_\mu$ ,  $K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^0$ ,  $K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^+$ ,  $K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$ ,  $K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^+ \pi^-$ .  
1. Teken een Feynmandiagram voor elk van deze vervallen.  
2. De vertakingsverhouding voor  $K^+ \rightarrow \mu^+ \nu_\mu$  is 63,55%. Maak een schatting van de levensduur van het geladen kaon, als je weet dat de levensduur van het pion  $2,6033 \times 10^{-8}$  s is en dat het pion haast uitsluitend volgens  $\pi^+ \rightarrow \mu^+ \nu_\mu$  vervalt.
- Veronderstel dat het verschil in bindingsenergie tussen de kernen  $^3\text{H}$  en  $^3\text{He}$  enkel te wijten is aan de elektrostatische afstoting tussen de twee protonen in  $^3\text{He}$ . Wat is de afstand tussen de protonen als je weet dat de maximale energie die vrijkomt bij het  $\beta$ -verval van  $^3\text{H}$  18,6 keV is.
- Bereken het magnetisch dipoolmoment van  $^{209}_{83}\text{Bi}$  volgens het schillenmodel.

Groep B

- Neutrale kaonen vervallen vanuit de toestanden  $K^0$  en  $\bar{K}^0$  met CP eigenwaarden respectievelijk gelijk aan +1 en -1. Indien  $p\bar{p}$  annihiliatie gebeurt vanuit een  $L_{p\bar{p}}=0$  toestand, toon dan aan dat de reactie  $p\bar{p} \rightarrow K^0 \bar{K}^0$  toegelaten is, terwijl de reacties  $p\bar{p} \rightarrow 2K^0$  en  $p\bar{p} \rightarrow 2\bar{K}^0$  verboden zijn.
- Beschouw Drell-Yan productie van  $\mu^+\mu^-$  paren met invariante massa  $m_{\mu\mu}$  in botsingen tussen pionen en koolstof kernen (koolstof heeft een gelijk aantal protonen en neutronen). Leg uit waarom de verhouding  $\sigma(\pi^+\pi^- \rightarrow \mu^+\mu^- X) / \sigma(\pi^+\pi^- \rightarrow \mu^+\mu^- X)$  ongeveer gelijk is aan 1 voor kleine  $m_{\mu\mu}$ , terwijl ze daalt tot 1/4 voor  $m_{\mu\mu} \rightarrow s$ .

3. Leg uit waarom het verval  $\pi^0 \rightarrow \nu\mu\bar{\nu}\mu\pi^0 \rightarrow \nu\mu\bar{\nu}\mu$  verboden is.
4. Twee alfa-stralers hebben hetzelfde massagetal, maar verschillende ladingsgetallen:  $Z=84$  voor de ene en  $Z=82$  voor de andere. Veronderstel dat ze dezelfde vervalconstante (levensduur) hebben en dat de eerste alfa-straler alfa-deeltjes uitzendt met een kinetische energie gelijk aan 5,3 MeV. Wat is de kinetische energie van de alfa-deeltjes afkomstig van de tweede alfa-straler? Beargumenteer eventuele benaderingen die je maakt.
5. Beschouw een energieniveau uit het schillenmodel voor kernen met oneven pariteit dat 12 nucleonen kan herbergen. Wat zijn de J en L waarden van dit energieniveau?

## Academiejaar 2011-2012 1<sup>ste</sup> zit

### theorie

Hier kreeg men een artikel te lezen over de verstrooiing van elektronen aan diwaterstofgas

- Geef een voorbeeld van CP-breking
- Verklaar verschil EM-kracht en zwakke wisselwerking (elektrozwakke unificatie)
- Wat is breking van CP-behoud?
- Geef een voorbeeld van CP-behoud + leg uit
- Teken feynmanndiagrammen van de reacties tussen de elektronen uit de bundel en de atomische elektronen (daarover ging het artikel)
- Welk van die reacties is hier waarschijnlijk? Waarom?
- Iets met de koppelingsconstante bij de feynmanndiagrammen
- Hoe weet je of de atomische elektronen waaraan de invallende elektronen verstrooid worden links- of rechtshandig zijn (niet, gemiddelde nemen)

### Oefeningen

1. Neutrale kaonen vervallen vanuit de toestanden  $K^0, K^0\bar{K}^0, K^0\bar{K}^0$  met CP eigenwaarden gelijk aan, respectievelijk +1 en -1. Indien  $pp^+ \bar{p}p^-$  annihilatie gebeurt vanuit een  $L_{pp^+} = 0, L_{pp^-} = 0$  toestand, toon dan aan dat de reactie  $pp^+ \rightarrow K^0 K^0 \bar{p}p^- \rightarrow K^0 K^0$  toegelaten is, terwijl de reacties  $pp^+ \rightarrow 2K^0 \bar{p}p^- \rightarrow 2K^0$  en  $pp^+ \rightarrow 2K^0 \bar{p}p^- \rightarrow 2K^0$  verboden zijn.
2. Een resonantie genoemd  $X^+(1520)$  vervalt via de sterke wisselwerking in een  $n\pi^+ n\pi^+$  of een  $p\pi^0 p\pi^0$  eindtoestand, met respectievelijke vertakkingsverhouding 36% en 18%, wat is de isospin van  $X^+$ .
3. De massas van de b en c quark bedragen resp. 4.3 en 1.3 GeV. Welke verhouding voor hun levensduur verwacht je door enkel rekening te houden met de faseruimte factor? Het blijkt dat de levensduren van b en c quarks in de realiteit ongeveer gelijk zijn. Welke andere factoren kunnen dit verklaren? Staaf je antwoord met een numerieke berekening.
4. Twee alfa-stralers hebben hetzelfde massagetal, maar verschillende ladingsgetallen  
 $Z=84$

$$Z=84$$

voor de ene en  $Z=82$  voor de andere, veronderstel dat ze dezelfde vervalconstante hebben en dat de eerste alfa-straler alfa-deeltjes uitzendt met een kinetische energie gelijk aan 5,3 MeV. Wat is de kinetische energie van de alfa-deeltjes afkomstig van de tweede alfa-straler? Beargumenteer eventuele benaderingen die je maakt.

5. Beschouw een energieniveau uit het schillenmodel voor kernen met oneven pariteit dat 12 nucleonen kan herbergen. Wat zijn de J en L waarden van dit energieniveau

## Academiejaar 2009-2010 1<sup>ste</sup> zit

### Theorie

Op het theorie examen werd een artikel getoond over een nieuw experiment in CERN, dat men even kon lezen en waarover men daarna enkele vragen kreeg.

### Oefeningen

1. Voorspel de spin-pariteit van de eerst-geëxciteerde toestand van  $^{31}Si, ^{41}Si, ^{119}K, ^{141}K$  en  $^{49}Sc, ^{149}Sc$ . Verklaar hoe de geobserveerde waarden van resp.  $12^+, 12^+, 12^+$  en  $32^+, 32^+$  tot stand komen.
2. Bepaal de reactiesnelheid te wijten aan  $\alpha$  verval voor  $^{80}Kr$  en  $^{176}Hf$ . Gebruik hiervoor de volgende atoommassa's  
 $^{80}Kr$

$$^{80}Kr$$

$^{79}Se, ^{76}Se, ^{75}Se, ^{176}Hf, ^{175}Hf, ^{172}Y, ^{171}Y, ^{4}He, ^{4}He$

3. Een  $\pi^+ \pi^-$  bundel valt in op een doelwit en produceert neutrale KK mesonen en  $\Lambda\Lambda$  hyperonen. Stel dat de KK mesonen een impuls pp hebben van 10 GeV. Wat is de verhouding van KSKS tot KLKL mesonen bij het interactiepunt? Wat is dezelfde verhouding op 10m van het interactiepunt? Hoeveel vervallen naar  $2\pi\pi$  verwacht je op 10m afstand van het interactiepunt indien CP behouden zou zijn?
4. De massa's van de b en c quark bedragen resp. 4.3 en 1.3 GeV. Welke verhouding voor hun levensduur verwacht je door enkel rekening te houden met de faseruimte factor? Het blijkt dat de levensduren van b en c quarks in de realiteit ongeveer gelijk zijn. Welke andere factoren kunnen dit verklaren? Staaf je antwoord met een numerieke berekening.

## Theorie

---

1. Bespreek  $\alpha$ ,  $\beta\beta$  en  $\gamma\gamma$ -verval. Welke reacties zijn dit? Onder welke omstandigheden hebben ze plaats? Wat zijn de belangrijkste karakteristieken?

1. Geef een mondelinge synthese van het artikel "A triangle that matters".

## Oefeningen

---

1. Beschouw de volgende kernen in hun grondtoestand:  
135B 136C 137N

513B613C713N

1. Orden deze kernen volgens stijgende massa
2. Bepaal hun magnetisch dipoolmoment
2. Een folie van  $^7\text{Li}$  met een massa van 0.05g wordt bestraald met thermische neutronen waarbij  $^8\text{Li}$  gevormd wordt (de werkzame doorsnede voor het invangen van de neutronen bedraagt 37 mb).  $^8\text{Li}$  ondergaat  $\beta^-$ -verval en heeft een halfwaardetijd van 0.85s. Bepaal de activiteit (i.e. het aantal  $\beta^-$ -vervalen per seconde) bij evenwicht indien de folie met constante flux van  $3.10123 \cdot 10^{12}$  neutronen per seconde, per  $\text{cm}^2$  bestraald wordt.
3. Stel dat je een analyse wil doen van de productie van zwakke bosonen bij HERA (HERA laat 27.6 GeV elektronen botsen met 920 GeV protonen)  
 $ep \rightarrow eW^\pm X$

$ep \rightarrow eW^\pm X$

en  $ep \rightarrow eZ^0 X$ . Een belangrijk deel van de werkzame doorsnede zal te maken hebben met interacties waarbij een zgn. "resolved" foton interageert met het proton. Hierbij fluctueert een quasi-reëel foton, afkomstig van het elektron, in een quark-antiquark paar en ontwikkelt het een hadronische structuur, lang voor de interactie met het proton.

1. De HERA detectors bestaan uit vertex-detectors, sporenkamers, elektromagnetische en hadronische calorimeters en muon-detectors. Welke signatuur zou je gebruiken om de eindtoestand van dergelijke interacties te herkennen?
2. Bepaal de minimale  $x_B$  die bij dit soort reactie bereikt wordt.
3. Maak een ruwe schatting van de verhouding van de werkzame doorsnedes voor  $Z^0 Z^0$ ,  $W^+ W^+$  en  $W^- W^-$  productie. Argumenteer welke benaderingen je hierbij maakt.