

## Subatomaire fysica 1 (SAP1) 2 juli 2001

Bij dit tentamen mag u boeken naar keuze gebruiken. Echter, alle informatie nodig voor het tentamen is gegeven.

U heeft drie uur voor het tentamen.

### Opgave 1 Rutherfordverstrooiing

De Rutherfordformule beschrijft verstrooiingsprocessen aan puntladingen. In het volgende (denkbeeldige) experiment verstrooit men  $\alpha$ -deeltjes aan een dun metalen trefplaatje. Bij een meting met  $\alpha$ -deeltjes met bundelenergie  $T = 15$  MeV is voor een verstrooiingshoek  $\Theta = 60^\circ$  een werkzame doorsnede

$$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_{\text{Ruth}} = 6.2 \text{ fm}^2/\text{sr}$$

gemeten.

- Van welk element is het trefplaatje gemaakt? (M.a.w.: hoeveel protonen heeft iedere kern? Dit is het atoomgetal.) (10 punten)
- Hoeveel nucleonen bevatten de kernen van dit element? Een schatting is voldoende. (5 punten)
- Bereken de straal van zo'n kern volgens de vergelijking: (5 punten)

$$R_{\text{kern}} \approx 1.25 \times A^{\frac{1}{3}} \text{ fm}$$

- Bereken de energie die nodig is zodat het projectiel bij een verstrooiingsproces onder een hoek van  $\Theta = 60^\circ$  het kernoppervlak raakt. (Veronderstel dat het projectiel een straal  $R_\alpha = 0$  heeft.) (10 punten)

### Opgave 2 Productie van deeltjes

In een botsing tussen een positron met totale energie  $E$  en een (stationair) atomair elektron wordt een  $\phi$ -deeltje gevormd. ( $\phi = \{s\bar{s}\}$ )

- Teken een mogelijk Feynmandiagram. Probeer een mogelijkst eenvoudige reactie te verzinnen. (10 punten)
- Bereken de totale energie van het inkomende positron, die nodig is om het  $\phi$ -deeltje te vormen. (15 punten)

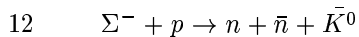
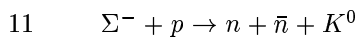
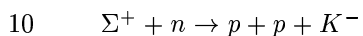
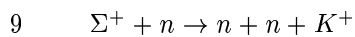
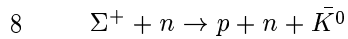
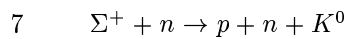
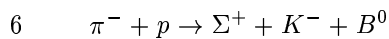
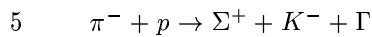
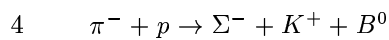
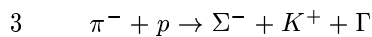
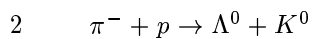
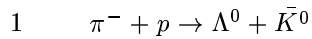
Onder de elementaire deeltjes zijn er slechts enkele die niet in andere deeltjes uiteenvallen. De stabiele fermionen (speculatieve effecten zoals protonverval of neutrino-oscillaties buiten beschouwing gelaten) zijn:

het proton;      het elektron;      de drie soorten neutrino's.

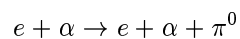
- Geef een mogelijke vervalreeks van het  $\phi$  via *hadronen*, tot er geen verder verval meer mogelijk is. Welke wisselwerkingen spelen hier een rol? Teken voor elke wisselwerking ten minste één Feynmandiagram van deze vervalreeks. (15 punten)
- Indien er in de reeks een  $\pi^0$  zou voorkomen, hoe zou diens meest waarschijnlijke verval eruit zien? (5 punten)

### Opgave 3 Reacties tussen deeltjes

- a. Geladen kaonen tonen (bij niet al te hoge energie) een “vreemd” gedrag als ze door materie gaan: het  $K^+$  heeft een veel grotere vrije weglengte – oftewel kleinere werkzame doorsnede – dan het  $K^-$ . Geef een verklaring voor dit feit. (13 punten)
- b. Welke van de hieronder genoemde reacties zijn toegestaan, en welke niet? Waarom (niet)? Let op: pionen en protonen zijn sterk wisselwerkende deeltjes; zwakke wisselwerking speelt in deze processen geen rol. De benodigde energie (massa) wordt uit de kinetische energie van de botsende deeltjes gehaald. (12 punten)



- c. (bonusvraag, 10 punten) Is de volgende reactie verboden? Leg uit.



## Bijlage

### Rutherford cross section

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \left( \frac{zZ\alpha\hbar c}{4T \sin^2(\frac{\Theta}{2})} \right)^2$$

met  $z$  de lading van het projectiel,  $Z$  de lading van de targetkern,  $\Theta$  de verstrooiingshoek, en  $T$  de kinetische energie van het projectiel.

Voor de kleinste afstand tussen het projectiel en de target tijdens verstrooiing onder hoek  $\Theta$  geldt:

$$d = d_{\min} \left( 1 + \frac{1}{\sin(\frac{\Theta}{2})} \right)$$

met

$$d_{\min} = \left( \frac{zZ\alpha\hbar c}{T} \right)$$

### Tabellen

$N_a$	Getal van Avogadro	$6.023 \times 10^{23}$
$m_e$	Massa van het elektron	$0.000511 \text{ GeV}/c^2$
$m_H$	Massa van het waterstof-atoom	$0.93878 \text{ GeV}/c^2$
$m_p$	Massa van het proton	$0.93827 \text{ GeV}/c^2$
$m_n$	Massa van het neutron	$0.93957 \text{ GeV}/c^2$
$amu$	atomaire massa eenheid	$0.93149 \text{ GeV}/c^2$
$\beta$	Snelheid projectiel $v/c$	= impuls / $E_{\text{totaal}}$
$\gamma$	$= 1/\sqrt{1 - \beta^2}$	
impuls	$p$	in $\text{GeV}/c$
energie	$E$	in $\text{GeV}$
massa	$m$	in $\text{GeV}/c^2$
	$E^2 = p^2c^2 + m^2c^4$	
$\alpha$	$e^2/(4\pi\epsilon_0\hbar c)$	1/137
	$\hbar$	$6.582 \times 10^{-22} \text{ MeV s}$
	$\hbar c$	197 $\text{MeV fm}$

Deeltje	Massa (MeV/c <sup>2</sup> )	Quarks	Deeltje	Massa (MeV/c <sup>2</sup> )	Quarks
$\Gamma$	9460	$b\bar{b}$	$\Xi^-$	1485	$ssd$
$B^+$	5278	$u\bar{b}$	$\Sigma^0$	1185	$sud$
$B^0$	5279	$d\bar{b}$	$\Sigma^+$	1185	$suu$
$J/\psi$	3097	$c\bar{c}$	$\Lambda$	1115	$sud$
$D^0$	1864	$c\bar{u}$	$n$	939	$udd$
$D^+$	1869	$c\bar{d}$	$p$	938	$uud$
$\phi$	1020	$s\bar{s}$	$\Xi^0$	1485	$ssu$
$K^0$	498	$d\bar{s}$			
$K^+$	494	$u\bar{s}$	$\tau$	1784	
$K^-$	494	$s\bar{u}$	$\mu$	106	
$\pi^+$	140	$u\bar{d}$	$e$	0.511	
$\pi^0$	135	$d\bar{d} - u\bar{u}$	$\nu$	0 (?)	

generatie	1	2	3	lading
quarks	up	charm	truth	$\frac{2}{3}$
	down	strange	beauty	$-\frac{1}{3}$
leptonen	$e^-$	$\mu^-$	$\tau^-$	-1
	$\nu_e$	$\nu_\mu$	$\nu_\tau$	0