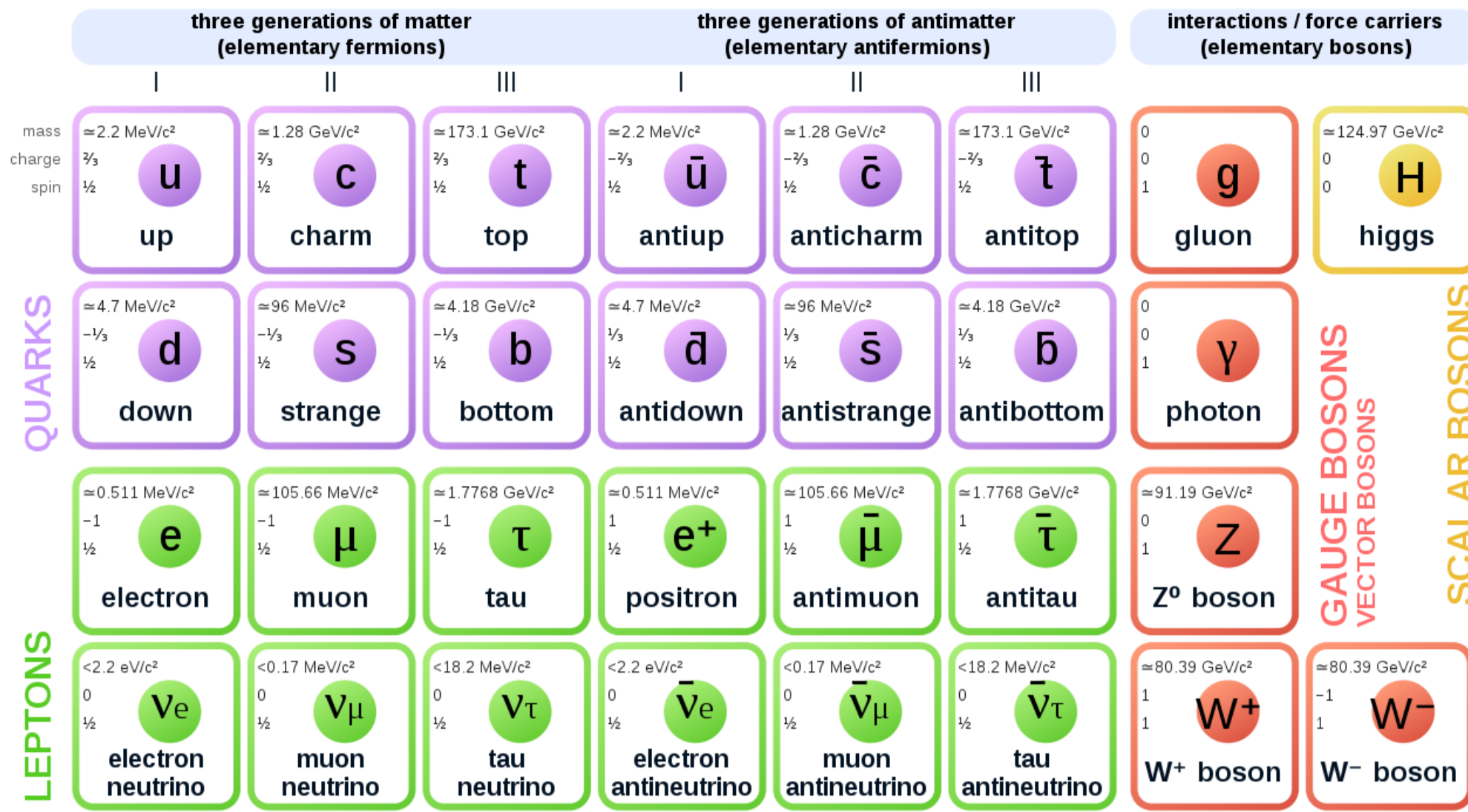


Standard Model of Elementary Particles



Gluonen
Gluonen horen bij de bosonen. Ze zorgen ervoor dat de quarks bij elkaar gehouden worden. De functie van een gluon is dus het overbrengen van de sterke wisselwerking. De werking van deze wisselwerking is te vergelijken met de werking van een veer. Des te groter de afstand, hoe groter de aantrekkingskracht. Zonder deze sterke wisselwerking zouden de positieve geladen protonen in de atoomkern door hun onderlinge elektrische afstoting elkaar afstoten. Elke gluon draagt een anti-klourlading om te compenseren voor het veranderen van de kleur lading van de betrokken quarks.

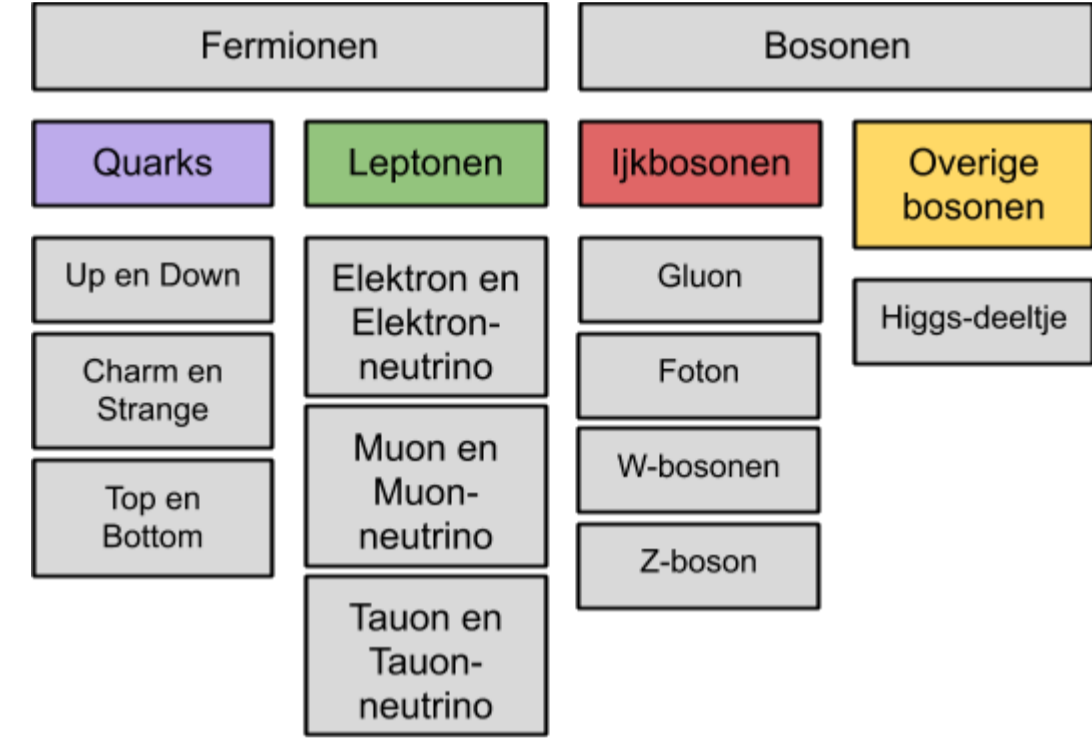
Fotonen
Fotonen bewegen (zich in vacuüm) met de lichtsnelheid voort. Hierdoor heeft de foton geen rustmassa, want volgens de relativiteitstheorie kan een deeltje met een rustmassa groter dan nul nooit de lichtsnelheid bereiken. Fotonen worden ook wel licht deeltjes genoemd vooral bij gammastraling, daarom worden fotonen ook wel aangegeven met de letter gamma (γ) Fotonen worden door een atoom uitgezonden, worden opgewekt bij kernreacties of komen vrij bij de wisselwerking tussen elementaire deeltjes of het verval van een elementair deeltje. Bijvoorbeeld wanneer een elementair deeltje en zijn antideeltje botsen daardoor kan alle massa worden omgezet in een foton. Dus als je genoeg fotonen hebt, kan je elementaire deeltjes maken. Dit is te verklaren aan de hand van de relativiteitstheorie van Einstein.

W-boson
Het W-boson komt in twee varianten voor: positief en negatief geladen. Een W-boson kan bijvoorbeeld ontstaan als een neutron vervalt een proton. Een neutron bestaat uit twee down-quarks en één up-quark en een proton bestaat uit één down-quark en twee up-quarks. Als een down-quark in een up-quark verandert, ontstaat er eerst een W-boson. Deze vervalt al vrij snel tot een elektron en een elektron antineutrino.

Z-boson
Het Z-boson brengt net als het W-boson een zwakke wisselwerking over. In tegenstelling tot de W-boson is het Z-boson neutraal en is hij een stuk zwaarder.

Higgsboson
Het Higgsboson moet bestaan op het standaardmodel van de deeltjesfysica uit te laten kloppen. Het is de drager van het higgsveld, dat in het hele universum aanwezig is. Het higgsveld is een hypothetische veld. Higgs deeltjes vormen een higgsveld. Dat veld zorgt ervoor dat de quarks, leptonen, het W- en Z-boson 'massa krijgen' Het higgs-deeltje is dus een noodzakelijk deeltje om de theorie van de deeltjesfysica kloppend te maken.

Alle elementaire deeltjes zijn verdeeld in groepen. Het behoort of tot de fermionen of tot de bosonen. het verschil daartussen is hun spin. Fermionen zijn deeltjes met een halfvallige spin en bosonen hebben een heeltallige spin. Ook wordt er in het algemeen de 12 fermionen geassocieerd met materie en de bosonen als fundamentele wisselwerkingen. (Zie het blokschema hiernaast voor het overzicht van de verdeling)



Gegevens quarks:

Generatie	Spin	Naam	symbool	Lading (e)	Massa
Eerste	+ 1/2	upquark	u	+ 2/3	2,2 MeV/c ²
	- 1/2	downquark	d	- 1/3	4,7 MeV/c ²
Tweede	+ 1/2	charmquark	c	+ 2/3	1,28 GeV/c ²
	- 1/2	strangequark	s	- 1/3	96 MeV/c ²
Derde	+ 1/2	topquark	t	+ 2/3	173,1 GeV/c ²
	- 1/2	bottomquark	b	- 1/3	4,18 GeV/c ²

- Spin = Een maat voor de hoeveelheid draaiing van een deeltje rond zijn eigen as.
- De massa is in MeV/c² of in GeV/c² weergegeven. Dit is te verklaren met de relativiteitstheorie: $E = m \times c^2$
- De relativiteitstheorie heeft als uitgangspunt dat de lichtsnelheid voor alle waarnemers gelijk is.

Gegevens van Bosonen:

Naam	Symbool	Massa	Lading (e)	Wisselwerking	Spin	werkend tussen
Gluon	g	0 GeV/c ²	0	Sterke wisselwerking	1	quarks, gluonen
Foton	γ	0 GeV/c ²	0	Elektromagnetische wisselwerking	1	geladen deeltjes
W-plus	W ⁺	80,39 GeV/c ²	+1	zwakke wisselwerking	1	Quarks, leptonen
W-min	W ⁻	80,39 GeV/c ²	-1	zwakke wisselwerking	1	Quarks, leptonen
Z-nul	Z ⁰	91,19 GeV/c ²	0	zwakke wisselwerking	1	Quarks, leptonen
Higgs	H ⁰	124,97 GeV/c ²	0	n.v.t	0	alle deeltjes

Quarks
Quarks zijn de bouwstenen van hadronen. Hadronen bestaan uit mesonen en baryonen. Er bestaan zes verschillende soorten quarks, men noemt ze ook wel quarksmaken. Deze soorten zijn voor elke 'familie' een paar van elementaire deeltjes. Er zijn dus drie paren en die noemen we: *up en down; charm en strange; top en bottom* (zie figuur 1). Alle normale materie is opgebouwd uit de lichtste quarks: *up en down*. De quarks *charm en strange* is te vinden in kosmische straling. De top- en bottomquarks komen alleen voor onder extreme omstandigheden waarbij veel energie nodig is. Voor elke quark bleek er een anti deeltje te zijn, deze noemen we anti-quarks. Het enige verschil tussen quarks en anti-quarks is dat elektrische lading precies tegenovergesteld.

Ook hebben quarks een kleurlading. Dit zorgt ervoor dat ze niet dezelfde toestand hebben, want dat gaat tegen het Pauliverbod in. Er zijn 3 verschillende waarden die een kleurlading kan aannemen: Rood (r), groen (g) of blauw (b), maar zijn er ook nog de kleuradingen: antirood, antigroen en antiblaauw, omdat elk deeltje een antideeltje heeft.

Leptonen
Er zijn 12 leptonen bekend: Drie deeltjes met materie, drie corresponderende neutrino's en zes antideeltjes. Het enige verschil tussen een deeltje en een antideeltje is de lading, die is namelijk tegenovergesteld. Als de lading nul is dan betekent het niet dat de deeltjes en antideeltje identiek zijn. Leptonen behoren tot de fermionen net als de quarks. Fermionen zijn gevoelig voor alle wisselwerkingen behalve de sterke wisselwerking. Alle fermionen hebben een halfvallige spin. De geladen leptonen (elektron, muon, tau en de antideeltjes daarvan) hebben een rustmassa.

Elektron
De elektron is het lichtste deeltje onder de leptonen en is negatief geladen. Het bevindt zich verbonden in bijvoorbeeld in een atoom of vrij. De elektronen die verbonden zijn aan een atoom zitten volgens het atoommodel van Bohr in verschillende schillen van verschillende energieniveaus. Hier kan emissie en absorptie plaatsvinden. Dit gebeurt als een elektron van de ene schil naar de andere schil gaat. Hierbij komen er fotonen vrij. Ook zijn elektronen erg belangrijk bij het metalen geleiden, want in een metaal komen dan vrij elektronen die de elektrische energie vervoerd door het metaal. Het antideeltje van een elektron wordt een positron genoemd.

Elektron-neutrino
Een elektron-neutrino is een ongeladen lepton en heeft spin 1/2, hierdoor valt het dus onder de fermionen. Dit deeltje ontstaat bij Bèta-erval. Een elektron-neutrino is het lichtste en meest stabiele deeltje.

Muon
Het muon zit in de tweede generatie van de leptonen. Net als de elektron en elektronneutrino hoort dit deeltje tot de fermionen. Een muon is ongeveer 200 keer zo zwaar als een elektron en heeft spin 1/2, omdat het deeltje dus zo zwaar is is het niet stabiel.

Het muon werd ontdekt door Carl David Anderson, toen het met een nevelvat de kosmische straling bestudeerde. Dit is een vat met onderkoelde, zuivere damp die op het punt staat om te condenseren. Als er een deeltje in dit vast komt zat de damp condenseren op de plekken waar het deeltje is geweest. Er wordt dus een soort spoor gevormd.

Muon-neutrino
Een muon-neutrino is een ook een ongeladen lepton. Het komt uit dezelfde generatie als het muon. Het is nog niet zeker of een muon-neutrino een massa heeft, maar als dat zo is dan zal het kleiner zijn dan 0,17 MeV/c².

Tauon
Het tau deeltje is de derde generatie van de leptonen en is daarmee ook het meest zware en instabiele deeltje van de leptonen. Hij is ongeveer 3500 keer zo zwaar als een elektron. Een tauon heeft een negatieve lading net als een muon en een elektron.

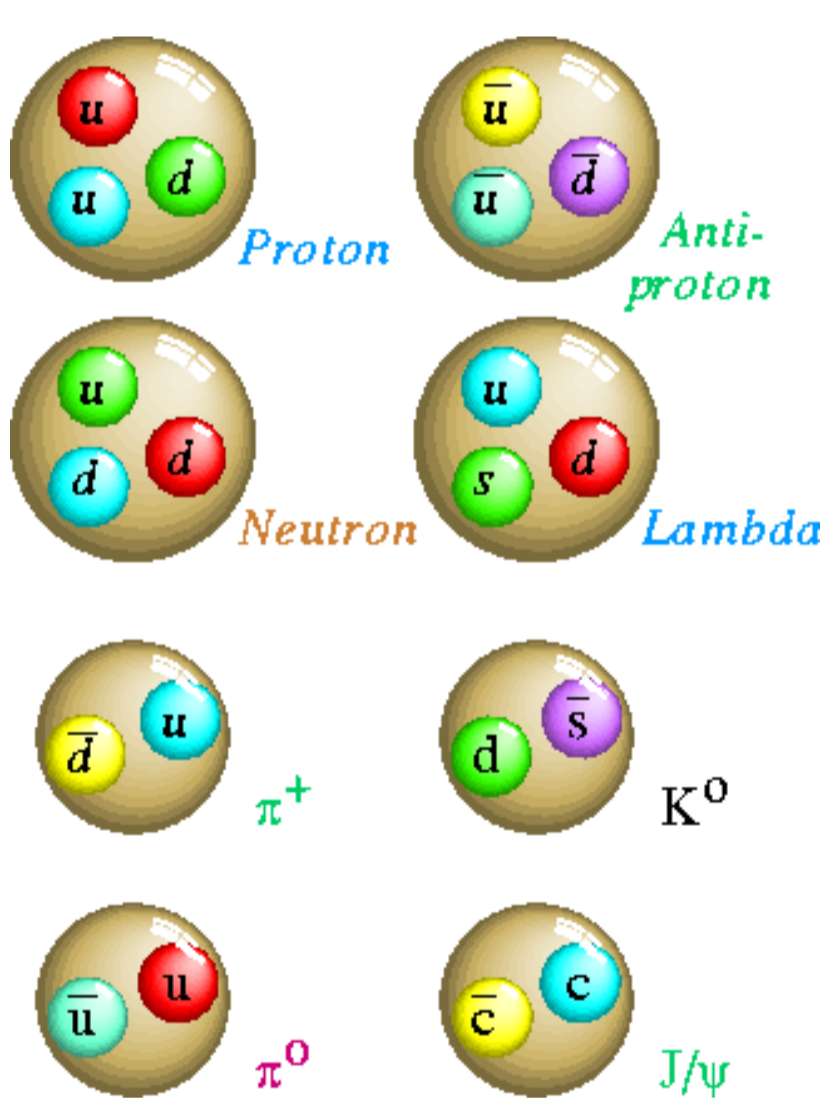
Tauon-neutrino
Een tauon-neutrino is wederom een ongeladen deeltje met een spin 1/2. Net als bij de muon-neutrino niet zeker of een tauon-neutrino een massa heeft, als dat zo is dan zal die kleiner zijn dan 18,2 MeV/c². De tauon-neutrino is het laatst ontdekte deeltje van de leptonen tot nu toe.

Gegevens leptonen:

Generatie	Naam	Symbool	Massa	Lading (e)	Wisselwerking	Spin
Eerste	Elektron	e	0,511 MeV/c ²	-1	Zwakke wisselwerking	1/2
	Elektron-neutrino	ν_e	< 2,2 eV/c ²	0	Zwakke wisselwerking	1/2
Tweede	Muon	μ	105,66 MeV/c ²	-1	Zwakke wisselwerking	1/2
	Muon-neutrino	ν_μ	< 0,17 eV/c ²	0	Zwakke wisselwerking	1/2
Derde	Tauon	τ	1,7768 GeV/c ²	-1	Zwakke wisselwerking	1/2
	Tauon-neutrino	ν_τ	< 18,2 MeV/c ²	0	Zwakke wisselwerking	1/2

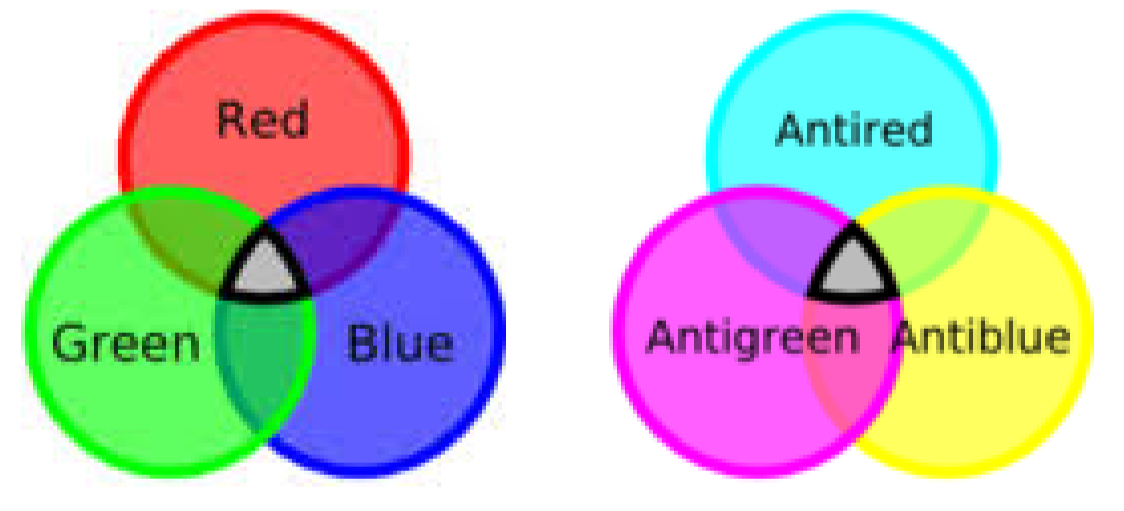
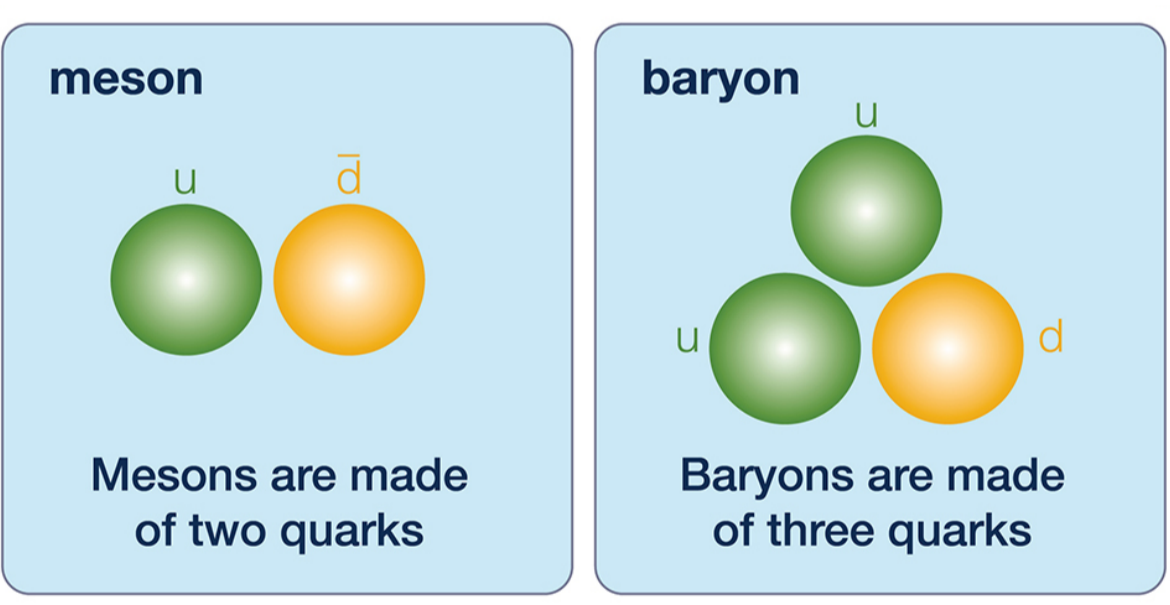
Hadronen
Op grond van de 4 fundamentele wisselwerkingen zijn materiedeeltjes in twee groepen in te delen: Leptonen en hadronen. Hadronen zijn gevoelig voor alle wisselwerkingen behalve de gravitationele wisselwerking. De hadronen kan je weer onderverdelen in twee andere groepen: De baryonen en de mesonen. Baryonen hebben een halfvallige spin en mesonen een heeltallige spin.

Hadronen bestaan uit de quarks up, down en strange. Mesonen bevatten 2 quarks en een anti-meson uit 2 anti-quarks; baryonen bestaan uit drie quarks en een anti-baryon uit 3 anti-quarks. Omdat we met quarks te maken hebben is er hier sprake van een kleurlading, om te voorkomen dat ze in dezelfde grondtoestand bevinden. Dat kan niet volgens het Pauliverbod.



Kleurlading
Quarks hebben kleurlading, maar hadronen zijn kleur neutraal. Bij mesonen komt dit, doordat ze een combinatie hebben van een kleur en een anti-kleur. Dit zorgt ervoor dat het kleur neutraal wordt net als bij een proton en een elektron dat samen neutraal wordt. Een kleur-neutrale meson zal dus altijd bestaan uit een gewone quark en een anti-quark.

Bij baryonen komt dit, doordat ze uit alle drie de kleuradingen bestaan. Zoals in de kleurtheorie: rood + groen + blauw = wit. Dus een baryon zal bestaan uit drie quarks met ieder een andere kleurading.



Sterke wisselwerking
Atoomkernen zijn stabiel door de sterke wisselwerking, het voorkomt dat een kern wordt afgestoten door de protonen. Ook is de wisselwerking werkzaam tussen quarks. Hier werkt de wisselwerking op de kleurlading, daarom zijn leptonen niet gevoelig voor de sterke wisselwerking, want zij zijn kleurneutraal.

Het wisselwerkingsdeeltje voor de sterke wisselwerking is het gluon. een gluon heeft een kleur en een anti-kleur. In de afbeelding hieronder kan je goed zien wat er gebeurd bij een sterke wisselwerking.

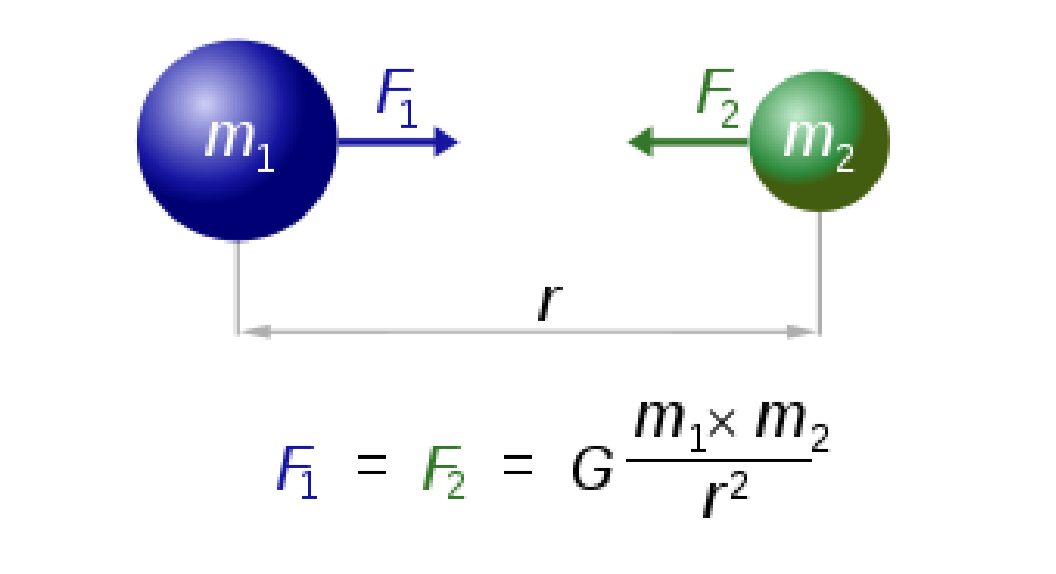
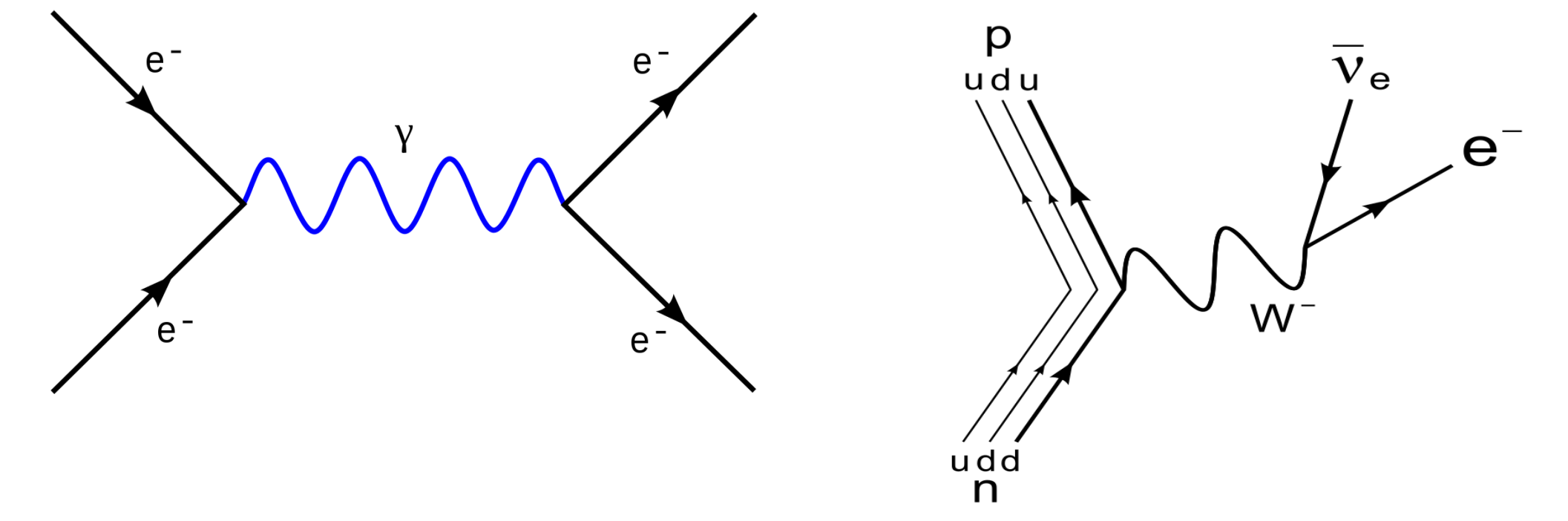
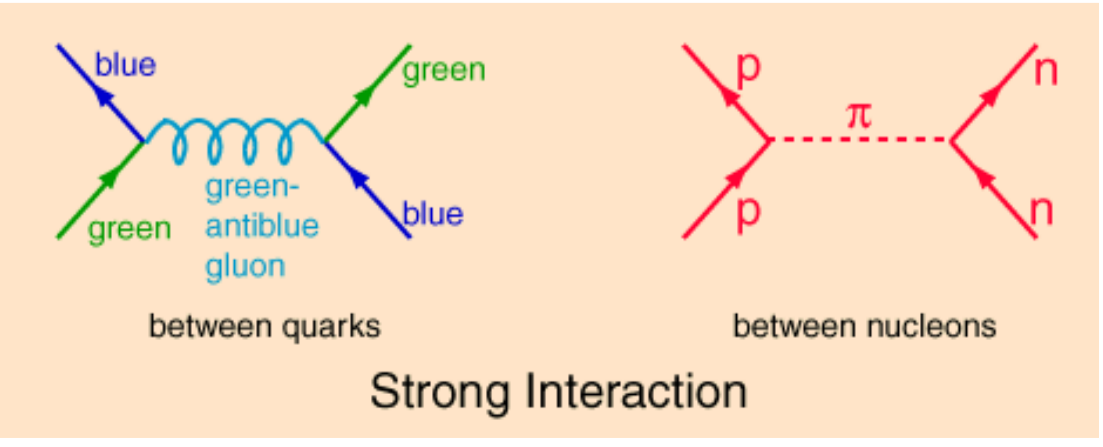
Elektromagnetische wisselwerking
Deze wisselwerking werkt alleen tussen geladen deeltjes. Door deze kracht zorgt ervoor dat de elektronen aan een atoomkern binden. Ook zorgt het voor de binding tussen atomen is moleculen en tussen moleculen zelf. Kortom het zorgt voor een samenhang van materie.

Het wisselwerkingsdeeltje is hierbij het foton. Zie de afbeelding hieronder voor een goed voorbeeld.

Zwakke wisselwerking
De zwakke wisselwerking is vooral bekend van de β -verval van radioactieve kernen. Er zijn twee wisselwerkingsdeeltjes: het Z⁰-boson, ook wel het neutrale wisselwerkingsdeeltje genoemd. hierbij zijn de elektrische lading, quarksmaak en de quarkkleur behouden.

Dan heb je nog de W⁻ en de W⁺-bosonen. Deze deeltjes zijn de geladen wisselwerkingsdeeltjes. Hierbij verandert de quarksmaak of kan er een quark van een andere generatie ontstaan. Dit is goed te zien in de onderstaande afbeelding.

Gravitatiele wisselwerking
De gravitatiekracht tussen subatomaire deeltjes zijn te zwak om een rol van betekenis te spelen. Het deeltje dat nodig is bij deze wisselwerking is het graviton. Dit deeltje heeft geen massa en heeft waarschijnlijk spin 2, maar dit is nog niet zeker.



$$F_1 = F_2 = G \frac{m_1 \times m_2}{r^2}$$