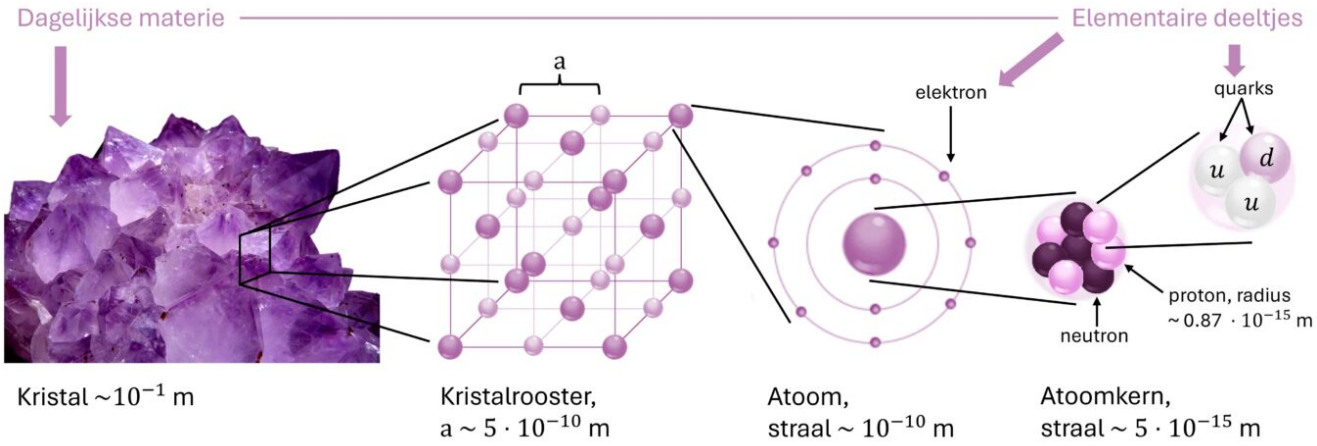
Een standaardmodelspel

Jawel, natuurkunde kan ook leuk zijn. Dat vergeet je soms als je al weken aan het zwoegen bent voor het eindexamen natuurkunde, tentamenstress hebt voor drie verschillende natuurkundevakken tegelijk, of al jarenlang onderzoek doet naar de vooralsnog onbeantwoorde vraag welke neutrino het zwaarst is. En als je natuurkunde nooit leuk hebt gevonden: ja echt, natuurkunde kan ook leuk zijn! Zo bestaat er het spel Elementary, bedacht door een Leidse natuurkundestudente, een leuk en laagdrempelig spel om met familie of vrienden te spelen én een spel dat je zonder intimiderende formules kennis laat maken met elementaire deeltjes en hun interacties.

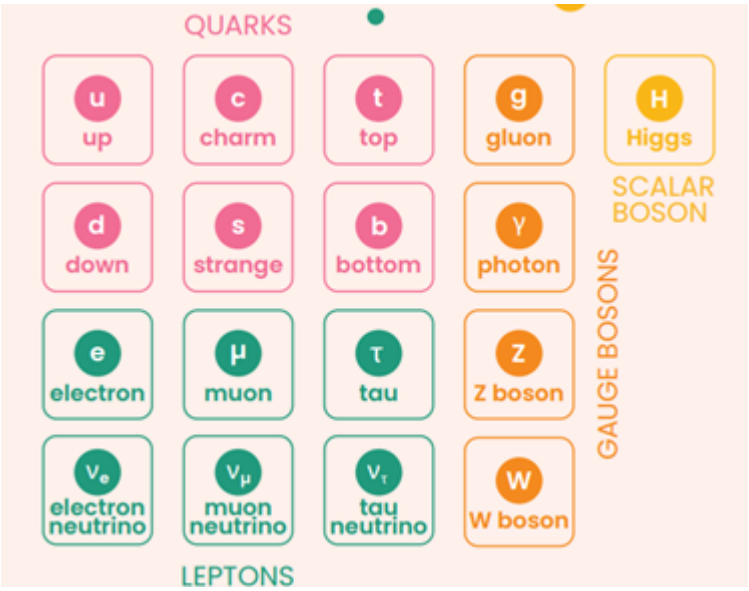


Afbeelding 1. De bouwstenen. Een kristal is opgebouwd uit een atoomrooster, met daarin atomen, bestaande uit elektronen die bewegen rondom een atoomkern. De atoomkern bestaat op zijn beurt uit protonen en neutronen, elk gevormd door drie up- of downquarks. Afbeelding: José Dupont.

De elementaire deeltjes vormen de bouwstenen van alles dat wij om ons heen zien, en zelfs van dat wat wij niet zien. Een mens bestaat uit cellen, de cellen bestaan uit moleculen, de moleculen bestaan uit atomen en de atomen bestaan uit een atoomkern met daaromheen elektronen. Een atoomkern bestaat op zijn beurt uit protonen en neutronen en die bestaan

weer uit quarks. Er waar bestaan de quarks en de elektronen uit? Voor zover we op basis van de huidige kennis weten, bestaan quarks en elektronen uit niets kleiners en zijn daarmee onsplitsbaar. Om deze reden worden quarks en elektronen *elementaire deeltjes* genoemd. In afbeelding 1 laat ik zien hoe quarks en elektronen de bouwstenen vormen van alledaagse objecten om ons heen, zoals een kristal.

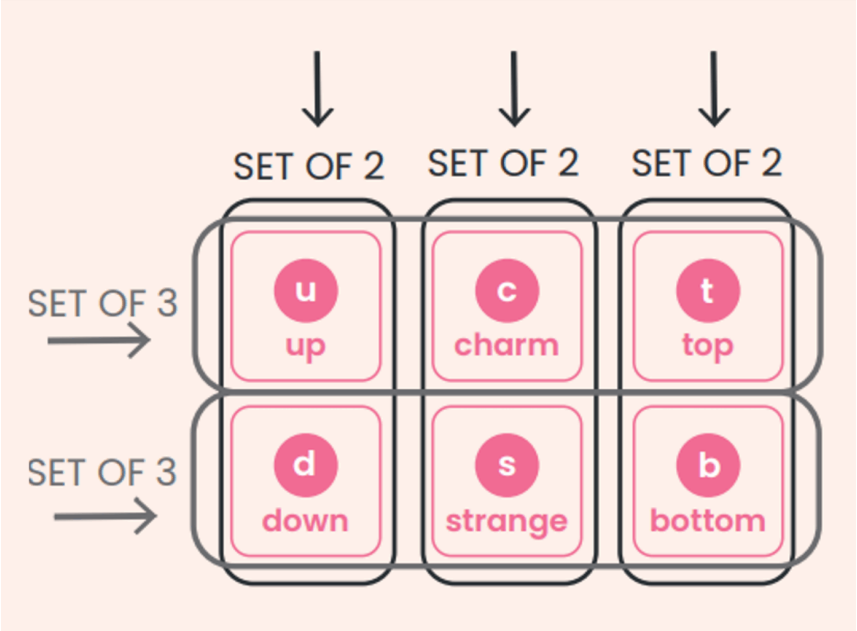
Het spel Elementary gaat over alle elementaire deeltjes die we tot zover ontdekt, of in ieder geval gemeten hebben. Sommige van deze deeltjes spelen alleen een rol bij processen met heel hoge energieën en zijn enkel gemeten in de deeltjesversneller van CERN, maar allemaal zijn het voor zover wij weten onsplitsbare deeltjes die een rol spelen bij de interacties tussen objecten op aarde. De elementaire deeltjes met hun interacties vormen samen het zogeheten *standaardmodel* van de deeltjesfysica (zie voor meer informatie over het standaardmodel ook dit artikel), en kunnen worden weergegeven zoals in afbeelding 2, te vinden in de spelregels van Elementary. We kunnen al bijna beginnen met spelen!



Afbeelding 2. De standaardmodeldeeltjes. De deeltjes in het standaardmodel zijn op te delen in vier categorieën: de quarks, de leptonen, de ijkbosonen (in het Engels: gauge bosons) en het Higgsboson. De bosonen zijn deeltjes die de interacties tussen de quarks en leptonen mogelijk maken. Afbeelding uit de spelregels van Elementary.

In afbeelding 2 zijn onder andere de up- en downquark zichtbaar, die de protonen en neutronen in een atoomkern vormen, en het elektron dat rond de atoomkern cirkelt. Eigenlijk is Elementary een variant op kwartet. Het doel is, net als bij kwartet, om setjes van kaarten te vormen. Als je set compleet is, heb je ‘kwartet’ en mag je de set uit het spel halen. Er zijn echter drie bijzonderheden.

Allereerst hebben bij Elementary de sets niet allemaal dezelfde grootte: zo vormt het Higgsboson bijvoorbeeld een set op zichzelf. Daarnaast kunnen sommige sets op twee manieren gevormd worden, zoals in afbeelding 3 is weergegeven voor de quarks.



Afbeelding 3. Sets van quarks. De quarks kunnen sets vormen op basis van hun massa’s, of op basis van hun lading. Afbeelding uit de spelregels van Elementary.

De up- en downquark vormen samen een set van twee, maar de upquark kan ook een set van drie vormen met de charm- en de topquark. Dit is niet zomaar een rare regel, maar een met een fysische motivatie. De up- en de downquark hebben ongeveer dezelfde massa ($\sim 1 MeV/c^2$ – zie verderop voor de misschien wat ongebruikelijke eenheid) en zijn de enige *stabiele* quarks, wat wil zeggen dat ze niet vervallen tot minder zware elementaire deeltjes. Bij de temperaturen waarin wij ons dagelijks bevinden, zullen up- en downquarks elkaar aantrekken en de protonen (uud) en neutronen (udd) vormen waaruit alle atoomkernen zijn opgebouwd. Ook de charm- en strangequarks hebben ongeveer dezelfde massa ($\sim 1 GeV/c^2$, grofweg duizend keer zoveel als de up- en downquarks) en

vormen daarmee een quarkpaar. Hetzelfde geldt voor de top -en bottomquark. Deze zware quarks kunnen echter alleen ontstaan bij heel hoge energieën en zijn bovendien instabiel, waardoor ze geen deel uitmaken van objecten in ons dagelijks leven.

Vanwege hun vergelijkbare massa's vormen sommige quarks dus paren. Up, charm en top hebben echter allemaal een elektrische lading van 2/3 van de protonlading, terwijl down, strange en bottom een lading van -1/3 hebben. Op basis van hun lading kunnen uit de quarks dus ook twee sets van drie quarks gevormd worden, zoals is weergegeven in afbeelding 3 hierboven.

Afbeelding 4. Antiquarks. De antideeltjes van de zes quarks uit het standaardmodel. Afbeelding uit de spelregels van Elementary.

De laatste bijzonderheid van Elementary is dat 'kwartetten' vernietigd kunnen worden. Dit kan door middel van *antideeltjes*. Antideeltjes hebben dezelfde eigenschappen als de bijbehorende deeltjes, maar een tegengestelde lading. Als voorbeeld van antideeltjes geef ik in afbeelding 4 de antiquarks weer. Wanneer ik de tweedelige quarkset 'up+down' heb afgelegd (zoals je normaal onder het roepen van "kwartet!" een set van vier kaarten aflegt), en een medespeler krijgt de set 'anti-up+anti-down', dan kan deze speler besluiten om met zijn antiset mijn 'up+down'-set te vernietigen. In ruil daarvoor krijgt de speler *energie* terug. Dit is natuurlijk erg gemeen, maar het is ook fysisch! Als een deeltje en zijn antideeltje bij elkaar komen, zullen deze elkaar namelijk vernietigen. Dit proces wordt in de natuurkunde ook wel *annihilatie* genoemd. Volgens de wet van behoud van energie moet de energie vóór de annihilatie echter gelijk zijn aan de energie na de annihilatie:

$$E_{\text{voor annihilatie}} = E_{\text{na annihilatie}}.$$

Vóór de annihilatie hebben deeltjes altijd energie: als ze massaloos zijn hebben ze bewegingsenergie en als ze massa m hebben, hebben ze naast eventuele bewegingsenergie een rustenergie, gegeven door Einsteins bekende vergelijking

$$E_{\text{rust}} = m c^2.$$

Deze vergelijking vertelt omgekeerd waarom we de massa's van deeltjes eerder uitdrukten als een energie gedeeld door c^2: MeV/c^2, GeV/c^2, enzovoort. Als een upquark u met massa $m_u \approx 2\ MeV/c^2$ en een anti-upquark $\bar{u}$ met massa $m_{\bar{u}} = m_u$ nu met elkaar botsen en *annihileren*, zal er dus een energie *E* overblijven van minstens

$$E \geq 2 E_{\text{rust},u} = 2 \cdot m_u\ c^2 = 4\ MeV.$$

Deze energie krijgt de vernietiger in het spel Elementary in de vorm van energiefiches. Die energiefiches kunnen later in het spel gebruikt worden om deeltje-antideeltjeparen terug in het spel te brengen. Dit is opnieuw een fysisch proces dat mogelijk is via energiebehoud. Als ik minstens 4 MeV aan energie heb, kan ik in principe een up- en een anti-upquark creëren!

Dankzij deze bijzondere regels is Elementary een fysisch spel, dat dat je leert over de verschillende deeltjes van het standaardmodel en hun eigenschappen en interacties. Mocht je hoofd nu tollen van al die natuurkunde, dan zou ik je adviseren gewoon eens het spel te gaan spelen, dan worden al die regels vanzelf een tweede natuur!

Elementary is te koop voor €17,99, bijvoorbeeld in de webshop van de Elementary-website.

QU is sinds kort weer actief op Instagram! Volg ons voor nieuws en aankondigingen van nieuwe artikelen: https://www.instagram.com/quantumuniverse.nl/