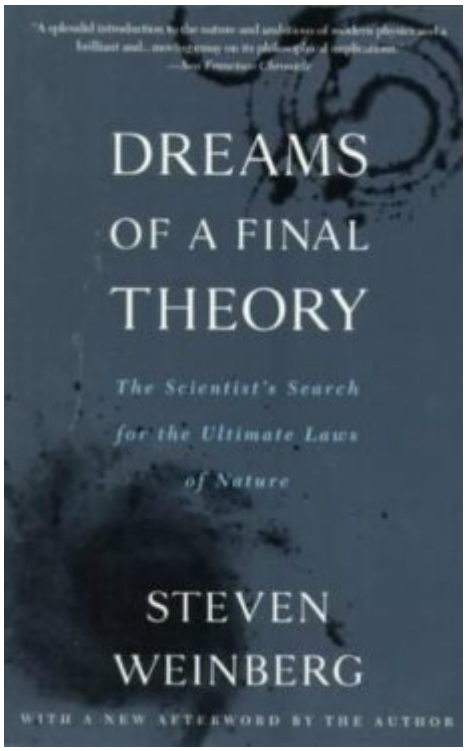
Waarom theoretische natuurkunde?

Toen ik begon met natuurkunde studeren, vijf jaar geleden, deed ik dat omdat ik wilde leren over theoretische fysica. Tijdens mijn middelbareschoolperiode was het Higgsdeeltje ontdekt en geïntrigeerd maar geïrriteerd omdat niemand duidelijk leek te zeggen wat dat Higgsdeeltje dan was, probeerde ernaar te googelen. Ik kwam niet heel ver, maar wel kwam ik erachter dat natuurkunde uit meer bestaat dan de krachten en versnellingen waarover ik leerde op de middelbare school. Ik raakte diep onder de indruk van de raarheid van de quantummechanica en elementaire deeltjes en het besef dat dát echt was hoe de wereld werkte op het kleinste, diepste niveau.



Tijdens de bachelorfase van de studie leerde ik over quantummechanica en relativistische kinematica, maar de ‘echte’ vakken waar ik naar uitkeek zouden pas in de masterfase aan bod komen: *quantum field theory* (QFT) en vakken over het standaardmodel: de

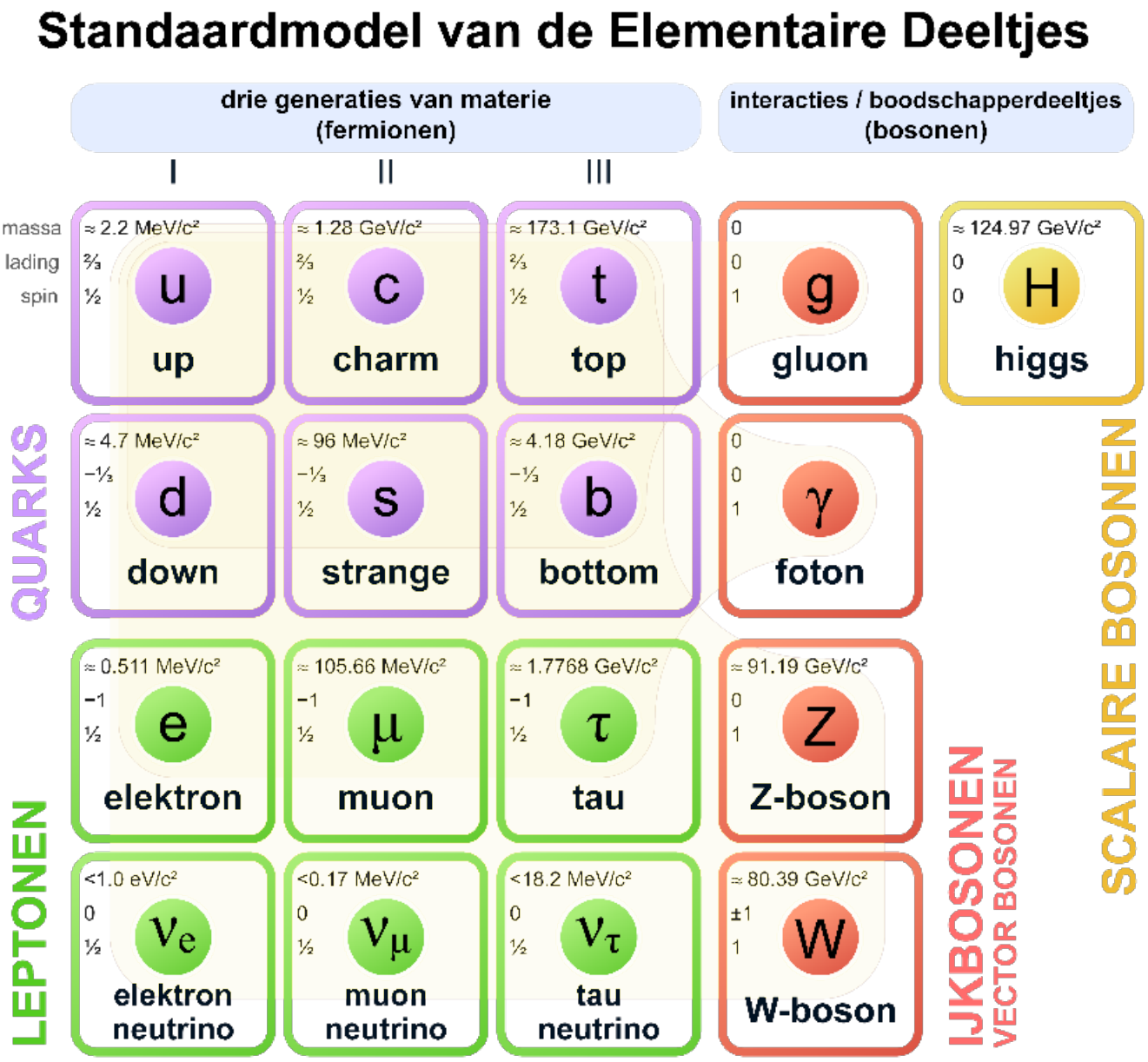
quantumveldentheorie die (volgens de huidige inzichten) de werkelijkheid beschrijft Na het lange wachten was mijn teleurstelling groot toen ik tijdens mijn QFT-vakken erachter kwam dat ik quantumveldentheorie… vrij lelijk vond. Ik had al vaak gehoord over de oneindigheden die opduiken in quantumveldentheorieën en een probleem vormen, maar ik dacht dat die oneindigheden alleen zouden opduiken in heel specifieke situaties die we pas in de gevorderde QFT-lessen zouden zien. De oneindigheden doken echter al op in les twee van QFT 1.

Natuurlijk is enige bescheidenheid hier op zijn plaats. De 'lelijkheid' lag waarschijnlijk voornamelijk aan mijn begrip van de theorie – niet voor niets zijn er vier QFT-vakken (QFT 1, QFT 2, QFT 3 en Advanced QFT) op een rij. En er was vast een reden waarom men zo'n groot fan is van quantumveldentheorie. Dus ik hield me in en dacht: misschien kan ik het beter waarderen na het volgende vak. En na het volgende QFT-vak dacht ik: misschien na het volgende. Enzovoort. Een vriend van me vergeleek het grappend met een soort cult met verschillende niveaus van hiërarchie, waar op elk niveau werd verteld dat bij het *volgende* niveau je pas *echt* werd ingewijd in de grote geheimen van het bestaan. En dan moet je natuurlijk hopen dat die grote geheimen het pad erheen waard blijken.

Ondanks deze soort van hoop had ik moeite om mijn motivatie voor theoretische fysica op het niveau te houden waarmee ik ermee begon. Ik begon na te denken: waarom stop ik mijn energie niet in iets wat concretere impact op de maatschappij zou kunnen hebben? Waarom kijken we met z'n allen zo makkelijk over de filosofische problemen van de quantummechanica heen? Wil ik me niet bezighouden met iets meer *menselijks* of op z'n minst *tastbaars*? Dus, toen ik in mijn QFT-syllabus las dat '*Dreams of a Final Theory*' een boek was dat elke theoretische-fysicastudent zou moeten lezen op een of ander moment tijdens de studie, dacht ik: dit is het moment.

Steven Weinberg schreef dit boek naar aanleiding van de problemen rond de realisatie van de Superconducting Super Collider (SSC), een deeltjesversneller die in de tijd van schrijven (eind jaren 80 – begin jaren 90) gepland werd om te bouwen in Amerika. Er was veel weerstand in de maatschappij, politiek en binnen de wetenschap tegen dit plan, voornamelijk vanwege de hoge kosten. Weinberg nam het op zich om in een boek uit te leggen waarom elementaire-deeltjesfysica en de zoektocht naar een uiteindelijke 'Theorie van Alles' zo'n speciale plek inneemt binnen de wetenschap. Waarom het precies de moeite, energie, tijd en

het geld waard is die erin worden gestopt. Kortom, in dit boek werden precies de vragen waar ik mee zat (alhoewel op kleinere schaal) onder de loep genomen. Hopelijk zou dit boek me wat nieuwe motivatie inblazen.



Afbeelding 2. Het standaardmodel van de deeltjesfysica. Het standaardmodel vat ons huidige beeld van de fundamentele natuurkunde samen. Maar er ontbreekt nog iets; is er een ‘Theorie van Alles’ die het standaardmodel aanvult of vervangt? Afbeelding: MissMJ, Cush.

Beginnend met quantummechanica, gaat Weinberg via algemene relativiteitstheorie naar *quantum field theory* en de theorie van de zwakke en sterke nucleaire krachten, om

vervolgens in te gaan op het Higgsmechanisme en snaartheorie. Het viel me op (voor zover ik het kan beoordelen) dat in vergelijking met de meeste populairwetenschappelijke boeken over natuurkunde die ik heb gelezen, Weinberg erg dicht blijft bij het wiskundige, 'nette' formalisme van de theorie. Hij vervalt minder in twijfelachtige vergezochte analogieën en focust niet op details in de theorie die toevallig makkelijk 'flitsend te maken zijn'. Daardoor is zijn uitleg verrassend herkenbaar voor mij als natuurkundestudent. Bijvoorbeeld: dit is het eerste populairwetenschappelijke boek dat ik lees waarin het begrip *Hamiltoniaan* (een cruciaal begrip in het beschrijven van de energie van een quantumsysteem) genoemd en uitgelegd wordt – en op zo'n manier, dat ik het boek ook zou aanraden aan mijn vrienden die geen natuurkunde studeren.

Ik moet zeggen dat het een prettige egoboost was om te zien dat ik een stuk meer herkende en begreep dan ik een halfjaar geleden, voordat ik begon aan de master, zou hebben gedaan. Daarnaast hielp het me om vanaf een afstandje het overkoepelende plaatje weer voor de geest te halen, dat ik soms kwijtraak te midden van alle wiskundige technieken als Fouriertransformaties en tensoralgebra. De stukken over het Higgsdeeltje hebben me enthousiast gemaakt voor mijn aankomende vakken, waarin ik hopelijk eindelijk het (of op z'n minst *een*) antwoord ga leren op die eerste natuurkundige vraag die ik mezelf stelde. Maar nog interessanter voor natuurkundestudenten: de theorie wordt afgewisseld met argumenten voor en tegen de SSC en, meer algemeen, voor en tegen de speciale positie die theoretische fysica toegedicht krijgt binnen de wetenschap. Verschillende tegenargumenten passeren de revue en worden door Weinberg grondig uitgeplozen en onder schot genomen. Bijvoorbeeld, de anti-reductionistische sentimenten die spelen bij wetenschappers in andere gebieden, zoals de materiaalfysica. Zij krijgen vaak het gevoel dat reductionisme – het willen reduceren van de natuur tot steeds kleinere fundamentelere entiteiten, zoals theoretische fysici nastreven – impliceert dat hun onderzoeksgebieden niet belangrijk, interessant of relevant zijn. Ook anti-realistische, positivistische en relativistische geluiden uit de wetenschapsfilosofie krijgen ervan langs.

Daarnaast speculeert Weinberg over de eigenschappen van een ware Theorie van Alles. Hij beargumenteert onder andere dat de schoonheid van een theorie een werkelijke indicator is van de correctheid en ook van hoe dicht een theorie bij de uiteindelijke 'juiste' theorie komt – omdat schoonheid in de natuurkunde hand in hand gaat met een bepaalde onvermijdelijkheid en onwillekeurigheid. Ik voelde me ook erg gesterkt in mijn sceptische houding tegenover

QFT toen Weinberg quantumelectrodynamica (QFT toegepast op het electromagnetisme) aanhaalde als voorbeeld van een lelijke theorie. Op deze manier beargumenteert Weinberg waarom theoretisch fysici zo sterk vertrouwen blijven houden in hun theorieën en in het belang ervan en waarom politici hen daarin zouden moeten volgen.

Afbeelding 3. Steven Weinberg. Foto van Weinberg (1933-2021) genomen tijdens het Texas Book Festival in Austin. Foto: Larry D. Moore.

Helaas bleek deze politieke missie van Weinberg tevergeefs. Het feit dat je waarschijnlijk nog nooit gehoord hebt van de SSC betekent inderdaad dat de overheidssubsidies stop zijn gezet en de SSC nooit het daglicht gezien heeft, ook al was het technische plan al af en de bouw al begonnen. In zijn artikel '*The Crisis of Big Science*' bespreekt Weinberg bezorgd het lot van de fysica en astronomie, die door hun vooruitgang gedwongen zijn om steeds duurdere, grotere experimenten te doen om hun theoretische vooruitgang te toetsen. Niet omdat natuurkundigen expres het overheidsbudget willen leegslurpen, maar omdat we inmiddels zo ver op weg zijn richting een Theorie van Alles dat alleen zeer extreme labomstandigheden nog nieuwe aspecten van de werkelijkheid aan het licht kunnen brengen.

Inmiddels is het Higgsdeeltje, waar Weinberg in zijn boek nog speculatief over is en waarvan

het vinden een van de duidelijkst omlijnde taken had moeten worden van de SSC, gevonden bij CERN. Helaas blijven andere, verrassende ontdekkingen van nieuwe deeltjes uit, wat de vooruitgang van theoretici al langere tijd in een impasse houdt. Uiteindelijk is de voornaamste reden waarom QFT 'lelijk' is, simpelweg dat QFT nog niet af is – zoals Weinberg beschrijft is het een *low-energy effective theory*, die waarschijnlijk slechts een limiet is van de Theorie van Alles – dat wil zeggen, het standaardmodel is een benadering van een Theorie van Alles voor lage energieën, zoals Newtons zwaartekrachttheorie een benadering is van Einsteins algemene relativiteitstheorie voor lichte massa's. Niet zo gek dan, dat quantumveldentheorie bij hoge energieën oneindigheden oplevert. Er mist simpelweg nog iets. Maar om een poging te kunnen doen te begrijpen wat eraan ontbreekt en in welke richting we moeten zoeken voor een verbetering, moet ik eerst begrijpen waar we zo ongeveer zijn. Ik weet niet of het mijn taak wordt om een poging te wagen de impasse te doorbreken, maar ik weet wel weer iets beter waarom ik in elk geval in die richting studeer.

Dreams of a Final Theory: The Scientist's Search for the Ultimate Laws of Nature, Steven Weinberg. Vintage (1994), 352 pagina's.

Dit artikel werd oorspronkelijk geschreven voor de Scoop, het tijdschrift van de natuurwetenschappelijke studievereniging Amsterdam (NSA).