

# DE VERBORGEN CHARME VAN HET PROTON

Het proton (b)lijkt soms een nieuw element te bevatten: een 'charmante' quark, ook al is hij topzwaar. Dit blijkt uit een analyse van ruim veertig jaar aan metingen van botsende protonen. Het onderzoek is in augustus gepubliceerd in *Nature* [1]. Onder huis-tuin-en-keukenomstandigheden bestaan protonen uit twee up-quarks en een down-quark, die door de sterke kernkracht onverbrekkelijk bij elkaar worden gehouden. Deze sterke kernkracht wordt volgens de theorie overgebracht door de uitwisseling van gluonen. Door protonen met veel energie op elkaar af te vuren, spatten ze uit elkaar. De gluonen kunnen daarbij bijvoorbeeld uiteenvallen in middelzware charm-quarks, ook wel

extrinsieke charm-quarks genoemd. In hoogenenergetische botsingen van protonen worden ze regelmatig geproduceerd.

Theoretici zoals Stan Brodsky (SLAC) voorspelden al meer dan veertig jaar geleden dat er in het proton zelf ook charm-quarks kunnen huizen, de zogenoemde intrinsieke charm-quarks. Dit lijkt op het eerste gezicht onmogelijk: een charm-quark is duizend keer zwaarder dan de up-quarks en down-quarks. "Dat gaat in tegen alle gezonde verstand. Het is alsof je een pak zout van een kilo koopt, waar vervolgens twee kilo zand uit komt. Of wat natuurkundiger: dat in het proton van ongeveer 1 GeV massa nu en dan spontaan charm-quarks en hun

antideeltje opduiken, die een massa hebben van 1,3 GeV elk", zegt theoretisch natuurkundige Juan Rojo van Nikhef en de Vrije Universiteit, hoofdauteur van het artikel in *Nature*. "Maar in de quantummechanica kan zoiets dus gewoon. Alles in het proton wordt beschreven met een waarschijnlijkheidsfunctie en de kans dat we een intrinsieke charm-quark meten is zeer klein. Dat we een virtueel deeltje kunnen detecteren, komt doordat het bij een botsing met een foton of gluon energie heeft geabsorbeerd. Omdat de kans dat het opduikt zo klein is, draagt de massa van de charm-quark voor hooguit één procent bij aan de protonmassa." Theoretici gingen er dan ook altijd





'Klassieke' artistieke weergave van een proton met twee up-quarks en een down-quark.

vanuit dat er bij protonbotsingen zowel intrinsieke als extrinsieke quarks zouden vrijkomen. De cruciale vraag was wel: hoe zie je het verschil tussen de deeltjes? Met andere woorden: hoe kun je experimenteel aantonen dat er intrinsieke charm-quarks bestaan?

Rojo en zijn medeonderzoekers losten dit vraagstuk op door veertig jaar aan experimenten met botsende protonen te analyseren. Daarbij wordt gebruikgemaakt van kansfuncties die de waarschijnlijkheid geven om quarks van elk type en gluonen aan te treffen in het proton. "Met die kansfunctie kun je, heel kort door de bocht, berekenen hoeveel extrinsieke charm-quarks je verwacht bij een experiment. Als je er dan veel meer

'telt' dan verwacht, kun je zeggen: 'Hé, er lijkt nog een andere bron van charm-quarks te zijn'."

In het *Nature*-artikel wordt gesproken over een waarschijnlijkheid van drie sigma dat er charm-quarks in het proton zitten. "Dat betekent dat we een serieuze aanwijzing hebben dat ze bestaan. Bij meer dan vijf sigma is er ook bewijs. De data hiervoor halen we onder meer uit de experimenten met de LHC in de komende jaren. Ook de Electron Ion Collider in de Verenigde Staten gaat veel data leveren." Volgens Rojo is het verbazingwekkend dat we meer dan honderd jaar na de ontdekking van het proton in 1919 nog iets nieuws ontdekken aan het proton. "Het is al zo intensief onderzocht.

Interessant is ook wat de doorwerking van deze ontdekking zal zijn. Sommige voorspellingen van processen waarbij protonen betrokken zijn, zullen waarschijnlijk worden aangescherpt."

Rojo denkt hierbij onder meer aan de detectie van neutrino's met sensoren onder dikke ijslagen, zoals bij IceCube op de Zuidpool. De neutrino's botsen af en toe op protonen en mogelijk werpt de ontdekking van de intrinsieke charm-quarks nieuw licht op deze processen in het proton.

#### REFERENTIE

<sup>1</sup> Juan Rojo et al., Evidence for intrinsic charm quarks in the proton, *Nature* 608-7923, 483-487 (2022).