

Een papieren lithiumbatterij

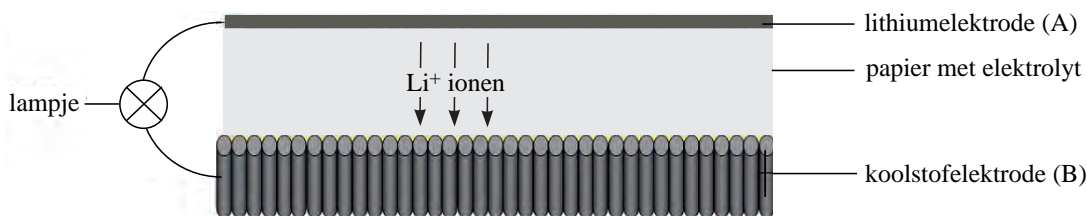
De batterij in figuur 1 is amper groter dan een postzegel en niet dikker dan een blaadje papier. Toch kan deze nieuwe batterij van papier voldoende energie geven om een klein lampje te laten branden. Hoe werkt deze batterij?

figuur 1



In figuur 2 is een schematische voorstelling van de batterij te zien. Eén pool is gemaakt van koolstof, de andere van lithium. Tussen de polen bevindt zich papier dat doordrenkt is met een geleidende vloeistof.

figuur 2



Aan elektrode A vindt de volgende halfreactie plaats:



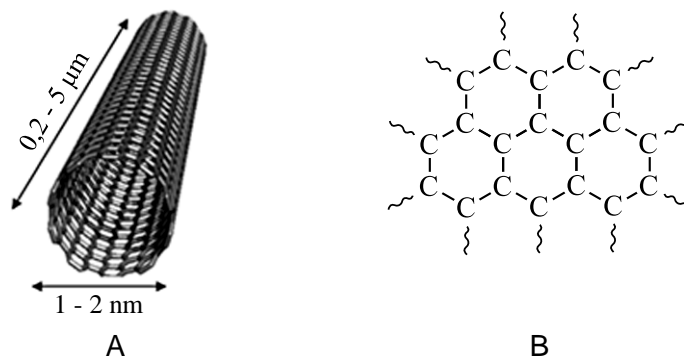
- 2p **18** Is elektrode A de positieve of de negatieve elektrode? Licht je antwoord toe.

In het organische oplosmiddel waarmee het papier is doordrenkt, is de stof LiPF_6 opgelost. LiPF_6 bestaat uit twee soorten deeltjes: Li^+ ionen en één soort negatieve ionen.

- 1p **19** Geef de formule van deze negatieve ionen.
- 2p **20** Verklaar waarom de oplossing, waarmee het papier is doordrenkt, de elektrische stroom geleidt. Maak daarbij gebruik van begrippen op microniveau (deeltjesniveau).

Met de koolstofelektrode in de papieren batterij is iets bijzonders aan de hand. Deze elektrode bestaat uit zogenoemde koolstof nanobuisjes. Deze nanobuisjes bestaan uitsluitend uit C atomen. In figuur 3A is een model van zo'n koolstof nanobuisje weergegeven. In figuur 3B is weergegeven hoe de koolstofatomen in een nanobuisje aan elkaar zijn gebonden: ieder C atoom (behalve de C atomen aan de uiteinden van de nanobuisjes) is met drie atoombindingen aan drie andere C atomen gebonden.

figuur 3



Koolstof nanobuisjes geleiden de elektrische stroom doordat ze zogenaemde vrije (beweeglijke) elektronen bevatten. Elektronen die zijn betrokken bij een atoombinding kunnen zich niet als vrije elektronen gedragen.

- 3p **21** Leg uit, aan de hand van figuur 3B, hoeveel vrije elektronen elk C atoom (behalve de C atomen aan de uiteinden van de nanobuisjes) heeft.

De belangrijkste oorzaak waardoor deze papieren lithiumbatterij elektrische stroom levert, berust op een eigenschap van de koolstof nanobuisjes. Deze kunnen namelijk Li atomen binden. De binding van de Li atomen aan de nanobuisjes is zelfs sterker dan de binding tussen de Li atomen in de lithiuelektrode. Bij stroomlevering komen de Li^+ ionen los uit de lithiuelektrode, bewegen naar de koolstofelektrode en worden uiteindelijk als Li atomen aan de koolstof nanobuisjes gebonden.

In de koolstof nanobuisjes worden twee Li atomen per zes koolstofatomen gebonden. De verbinding wordt weergegeven met de formule C_6Li_2 .

De stroomlevering van de batterij stopt wanneer voor alle koolstofatomen in de koolstofelektrode geldt dat per zes koolstofatomen twee Li atomen zijn gebonden. Aan de andere elektrode is dan nog steeds lithium aanwezig. De capaciteit van een batterij kan worden gedefinieerd als de hoeveelheid elektronen die deze batterij kan leveren. Voor de papieren lithiumbatterij wordt de capaciteit bepaald door het aantal koolstofatomen in de koolstofelektrode.

- 3p **22** Geef de vergelijking van de halfreactie van de vorming van C_6Li_2 uit Li^+ ionen en koolstof.
- 2p **23** Bereken hoeveel mol elektronen een papieren lithiumbatterij met een koolstofelektrode van 210 mg maximaal kan leveren.

De in deze opgave beschreven batterij is oplaadbaar.

- 2p **24** Leg uit hoe het komt dat deze batterij oplaadbaar is.