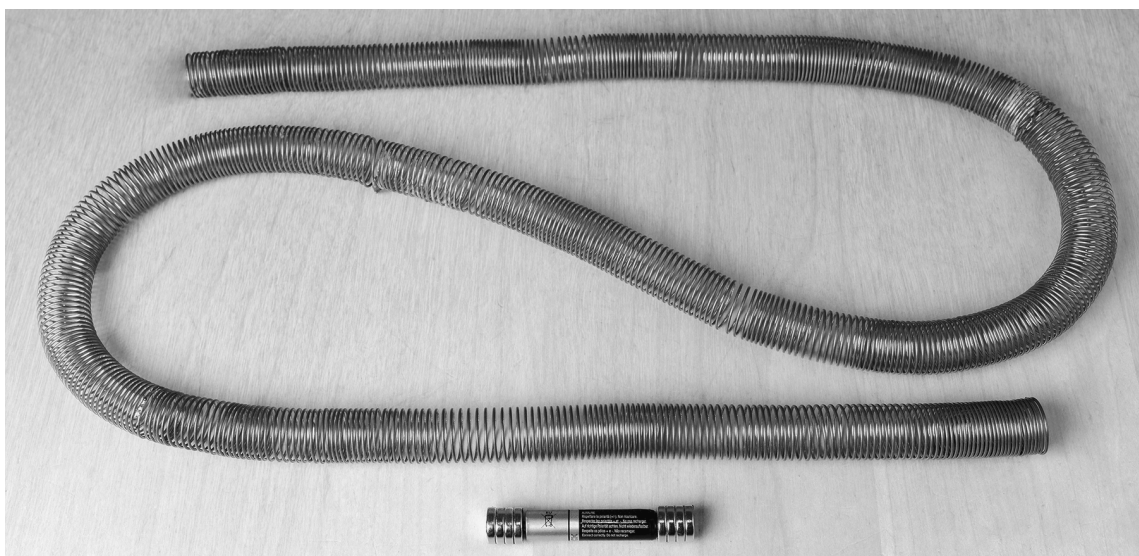


figuur 1

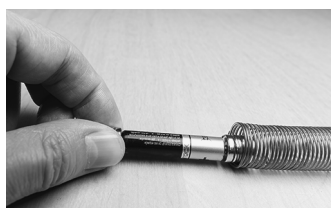


Sari wil een batterijtrein maken. Ze gebruikt voor de trein een batterij en een aantal sterke magneten. Als spoel gebruikt ze een lange, flexibele veer van niet-geïsoleerd koperdraad. Zie figuur 1. De batterijtrein gaat door de spoel heen bewegen. Om de batterijtrein te maken voert Sari de volgende handelingen uit:



figuur 2a

Sari plaatst aan elke kant van de batterij een setje sterke magneten. Elk setje wordt in het vervolg van deze opgave gezien als één magneet.



figuur 2b

Ze schuift de voorkant van de batterijtrein in de spoel, waarbij de voorste magneet contact maakt met de spoel.



figuur 2c

Ze duwt de batterijtrein verder in de spoel totdat de achterste magneet contact maakt met de spoel.

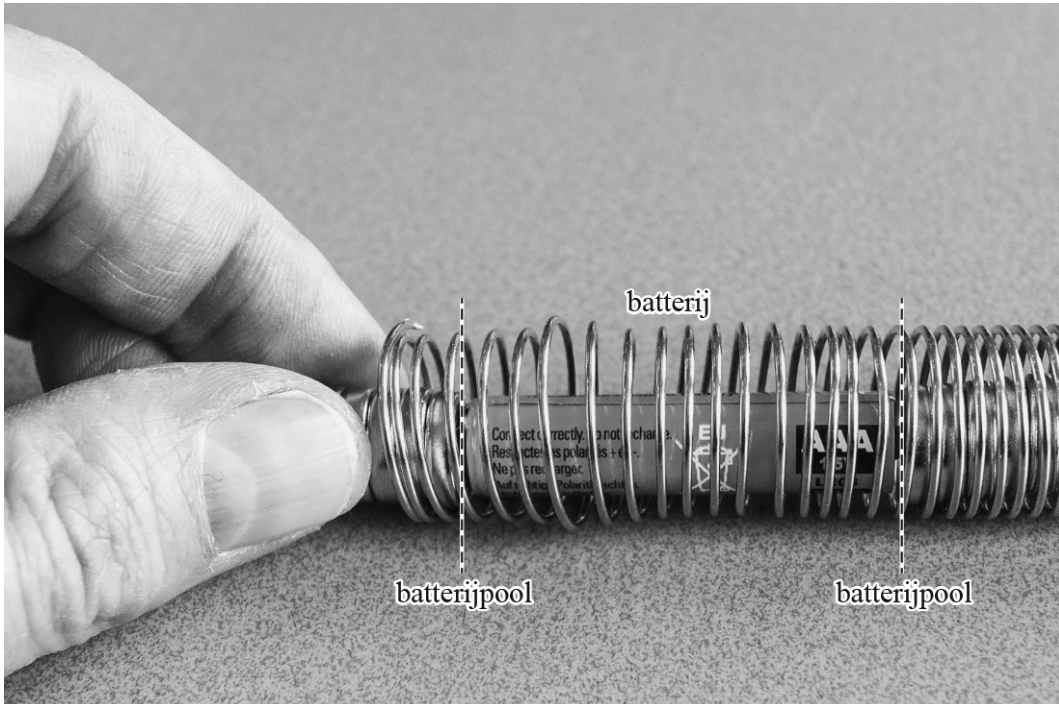


figuur 2d

De batterijtrein begint uit zichzelf door de spoel te bewegen.

De situatie van figuur 2c staat vergroot weergegeven in figuur 3. De magneten maken contact met de spoel. Hierdoor ontstaat er een gesloten stroomkring met daarin de batterij, de magneten en het stuk van de spoel tussen de batterijpolen. Dit stuk van de spoel gedraagt zich hierdoor als een elektromagneet met een weerstand  $R_{\text{spoel}}$ . In figuur 3 zijn de posities van beide batterijpolen met stippellijnen aangegeven. Wanneer de batterijtrein gaat bewegen door de spoel, beweegt deze stroomkring mee.

**figuur 3**

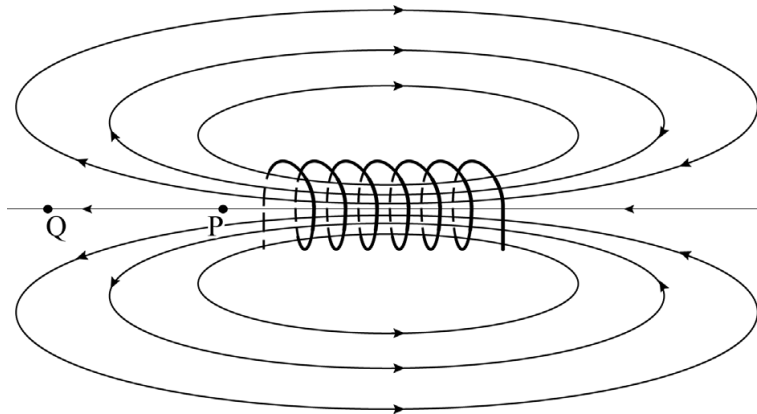


De dikte van de koperdraad is 1,1 mm. De gemiddelde diameter van de spoel is 1,9 cm.

4p 10 Bepaal  $R_{\text{spoel}}$ .

In figuur 4 is het magnetisch veld weergegeven dat ontstaat wanneer er een elektrische stroom door een spoel loopt.

**figuur 4**

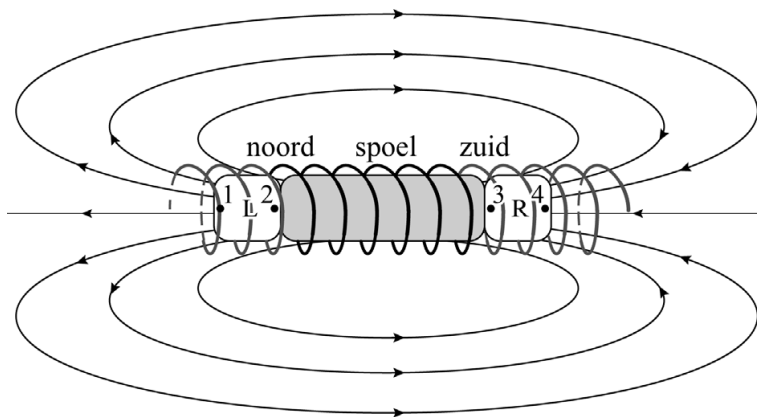


1p 11 Geef aan hoe uit figuur 4 blijkt dat de sterkte van het magnetisch veld in punt P groter is dan in punt Q.

Figuur 4 staat ook op de uitwerkbijlage.

1p 12 Geef in de figuur op de uitwerkbijlage de richting van de elektrische stroom door de windingen van de spoel aan.

**figuur 5**



In figuur 5 is de complete batterijtrein schematisch weergegeven. Met 'noord' en 'zuid' zijn de magnetische polen van de spoel aangegeven. L en R zijn de twee magneten. Hierop zijn de punten 1 tot en met 4 aangegeven. Deze punten stellen de noord- en zuidpolen voor van de magneten. Beide magneten ondervinden een kracht doordat ze zich in het magnetisch veld van de spoel bevinden. De trein beweegt hierdoor naar rechts.

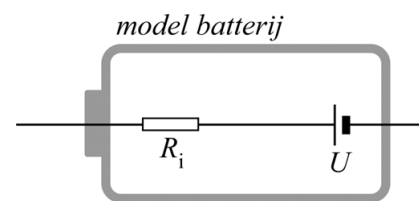
Op de uitwerkbijlage staan vijf afbeeldingen over deze situatie. In de bovenste afbeelding zijn de resulterende krachten op beide magneten, veroorzaakt door de spoel, aangegeven met pijlen. In de afbeeldingen eronder zijn de vier afzonderlijke magneetpolen weergegeven met de punten 1 tot en met 4. Ook de magnetische kracht in punt 1, veroorzaakt door de spoel, is weergegeven met een pijl. Alle pijlen zijn op dezelfde schaal getekend.

- 4p **13** Voer de volgende opdrachten uit:
- Teken in de punten 2 tot en met 4 op de uitwerkbijlage zo nauwkeurig mogelijk de magnetische kracht die op het aangegeven punt werkt, veroorzaakt door het magnetisch veld van de spoel.
  - Geef, op basis van je tekening, in de tabel op de uitwerkbijlage bij elk van de vier punten aan of er sprake is van een noordpool of een zuidpool.

Tijdens het experimenteren met de batterijtrein wordt de spoel wat warmer. Sari merkt echter op dat de batterij al na een paar seconden nog veel warmer wordt.

Blijkbaar ontstaat er niet alleen warmte in de spoel, maar ook in de batterij. Om dit te verklaren gebruikt Sari een model van een batterij waarin de batterij bestaat uit een spanningsbron  $U$  en een weerstand in serie. Deze weerstand wordt de inwendige weerstand  $R_i$  van de batterij genoemd. Zie figuur 6.

**figuur 6**



In de stroomkring van de batterijtrein bevinden zich dus twee weerstanden:  $R_i$  en  $R_{\text{spoel}}$ . De weerstand van de magneten wordt in dit model verwaarloosd.

Voor de ontwikkelde vermogens in de batterij en in de spoel geldt:

$$P_i \gg P_{\text{spoel}}$$

- 3p **14** Leg hiermee uit welke van de twee weerstanden in de stroomkring,  $R_i$  of  $R_{\text{spoel}}$ , het grootst is.