

Quantum Rules!

Supergeleiding

Vooraf

Leiden, 1911.

De natuurkundige Heike Kamerlingh Onnes (foto rechts) onderzoekt de elektrische eigenschappen van een stukje kwik als het sterk gekoeld wordt. Hij ontdekt dat de weerstand plotseling verdwijnt als de temperatuur van het kwik onder 4,2 Kelvin (kritische temperatuur T_c) komt. De weerstand is daar exact gelijk aan nul ohm.

Met andere woorden: door het kwik kan ongehinderd een elektrische stroom lopen!! Deze toestand van het kwik, waarbij de weerstand nul is, wordt de **supergeleidende toestand** genoemd.

Na de ontdekking van Kamerlingh Onnes is supergeleiding in veel andere materialen gevonden. De temperatuur waar onder supergeleiding optreedt (de kritische temperatuur T_c) verschilt per materiaal. In de tabel hiernaast staan de kritische temperaturen van enkele metalen.

Men heeft lang gezocht naar een verklaring voor het verschijnsel, maar pas in 1956 werd er een sluitende natuurkundige theorie voor supergeleiding gevonden. De bedenkers van de theorie, Bardeen, Cooper en Schrieffer, ontvingen in 1972 de Nobelprijs voor dit werk.



Element	T_c (K)
Al	1.14
Hg	4.20
In	3.40
Pb	7.19
Sn	3.72
Ta	4.48

Tabel 1: T_c -waarden

Onderzoeksvraag

Hoe vinden we de supergeleidende toestand van ons sample? Op welke manier vind je welk sample de supergeleider is?

In dit experiment ga je onderzoeken hoe een drietal materialen, te weten een halfgeleider¹, een supergeleider en goud, zich gedragen bij lage temperatuur.

Je doet dit door de weerstanden in een vat met vloeibare stikstof te plaatsen en de weerstandswaarden te meten tijdens het afkoelen. *De weerstand van twee materialen zal lager worden en van één juist hoger!*

- Als het goed is ga je hierbij het verschijnsel supergeleiding ontdekken en bepaal je tegelijkertijd welke weerstand (a, b of c) welke is!



Versie 2026-01-05

¹ Een halfgeleider is een materiaal dat tussen een geleider en een isolator in zit; hoe lager de temperatuur hoe meer het een isolator wordt – de zgn. temperatuur coëfficiënt is *negatief*.

Benodigheden

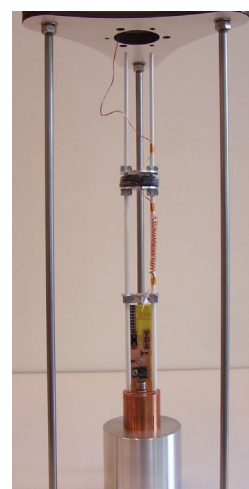
- 1 PC met het meetprogramma '**interface.py**'
- Twee digitale multimeters (DMM), zie figuur 1
- Een cryostaat met daarin
 - o drie meetweerstanden: **goud, halfgeleider, supergeleider**
 - o een platina referentieweerstand, **Pt 100** genaamd. Deze weerstand gebruiken we als **temperatuursensor**.

Zie figuur 2 voor een opgewerkte cryostaat.

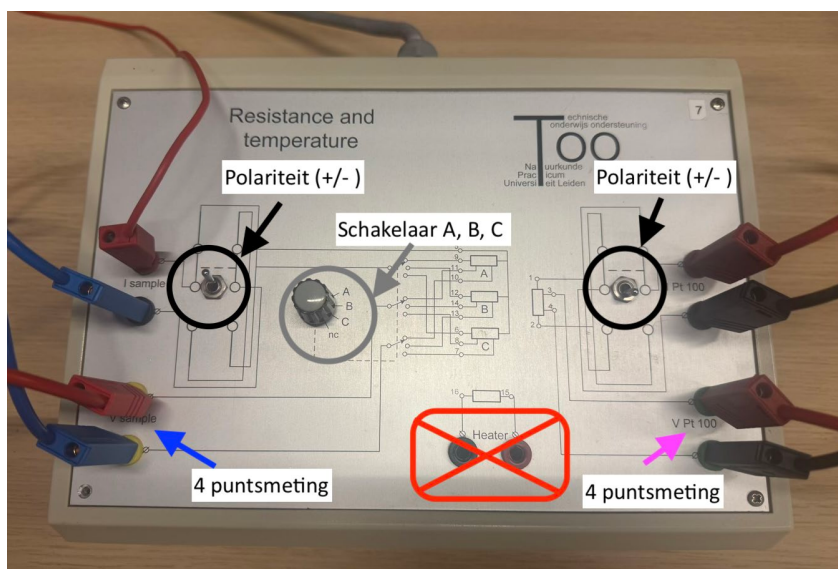
- Een schakelbord voor de verbinding tussen cryostaat en multimeters, met een schakelaar met standen A, B en C voor de drie weerstanden en een connectie met de platina referentieweerstand 'Pt 100'. Zie figuur 3 (overzicht) en figuur 4 (met aansluitingen en labels).
- Een vat voor de stikstof, waar de cryostaat na het vullen in geplaatst kan worden (zie figuur 8.2 verderop in deze handleiding).



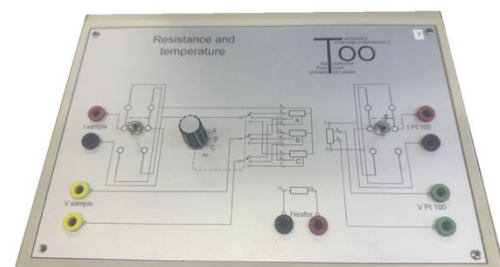
Figuur 1 Digitale multimeter DMM



Figuur 2 opengewerkte cryostaat



Figuur 4 Schakelbord met aansluitingen en labels

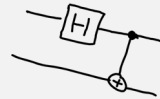


Figuur 3 Schakelbord

Toelichting op het aangesloten schakelbord zoals afgebeeld in figuur 4:

- Links zitten de aansluitingen voor de drie weerstanden **A, B, C**.
- Er zijn twee metalen schakelaars waarmee je de polariteit kunt regelen. Met de ronde draaiknop (grijze cirkel) schakel je tussen weerstand A, B en C en nc = nothing connected.
- Rechts zitten de aansluitingen voor de Pt 100 weerstand. Hiermee kun je de temperatuur bepalen waarbij de supergeleider supergeleidend wordt. De kabels tussen de digitale multimeters en schakelbord zijn al op de juiste wijze aangesloten. (Er wordt een zogenaamde **vierpuntsmeting** van de weerstanden uitgevoerd, speciaal voor het nauwkeurig meten van kleine weerstanden).

N.B. De aansluiting voor de heater gebruiken wij niet (rode kruis).



Quantum Rules!

Uitvoering

1. Weerstanden bij kamertemperatuur:

Bekijk eerst de opstelling goed en vraag hulp als je vastloopt.

Let op de eenheden bij het aflezen van de DMM's (de rode lampjes boven Ω en **Auto** moeten branden).

- Noteer de weerstandswaarden van de drie materialen door te schakelen tussen A, B en C de bijbehorende DMM af te lezen
- Welk materiaal is welk type volgens jou: welke is de supergeleider, de halfgeleider en van goud. Waar leid je dit uit af? Zet dat erbij.

Schakelaar	Weerstand (Ω)	Type geleider / argumentatie
A		
B		
C		

Tabel 2: Weerstandswaarden bij kamertemperatuur

2. Platinaweerstand als temperatuursensor:

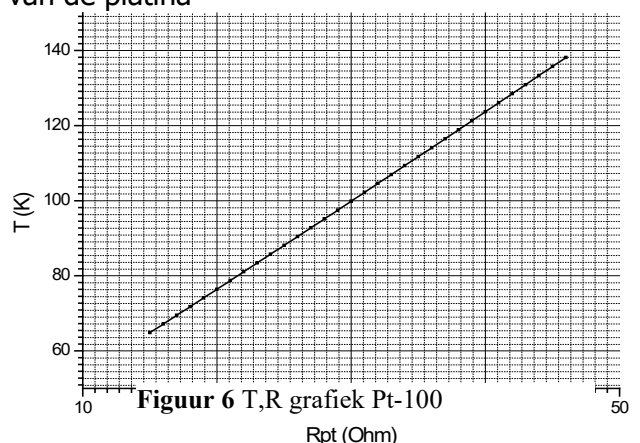
- Bekijk het losse kastje dat aangesloten is aan een digitale handmultimeter. Deze is geschakeld aan het losse weerstand kastje. Het uitstekende draadje is de platinaweerstand.
- Lees de weerstand van de draad af op de multimeter.
- Raak de draad aan met je vingers. De draad warmt op.

Vragen:

- Hoe zie je de weerstand veranderen op de onderste digitale multimeter?
- Wat voor soort weerstand is de platinadraad? PTC, NTC, ohms of iets anders? Leg uit.

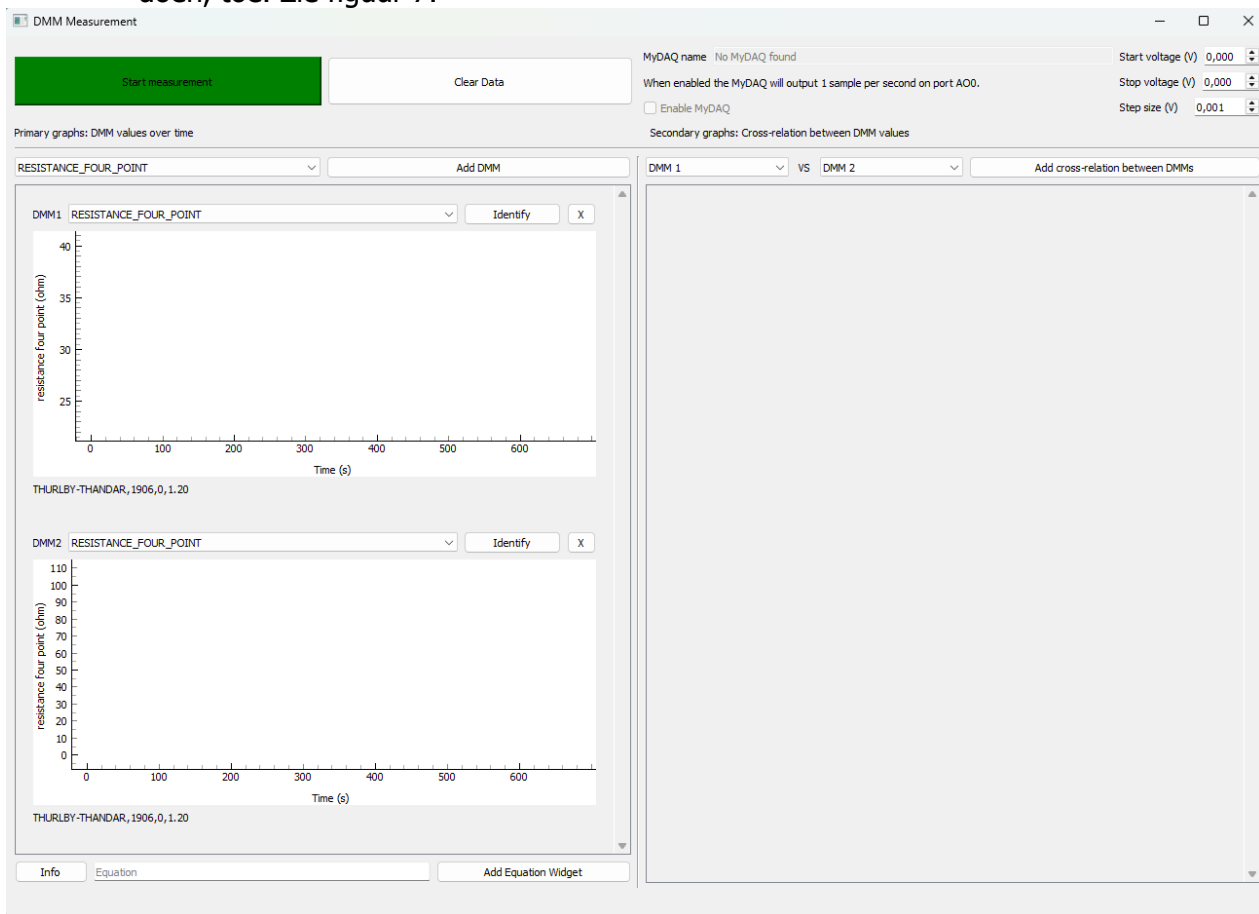
In figuur 6 zie je de temperatuur, weerstand grafiek van de platina weerstand. We kunnen straks de temperatuur aflezen waarbij de supergeleider supergeleidend wordt in de vloeibare stikstof.

- Zoek de kooktemperatuur van stikstof op en bepaal met figuur 6 welke weerstand onze Pt weerstand bij die temperatuur heeft.



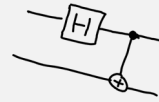
3. Meetprogramma:

- Start het programma **interface.py** op het bureaublad van de computer door erop te dubbelklikken.
- Voeg in het meetprogramma de 2 DMM's toe, die een vierpuntsmeting doen, toe. Zie figuur 7.



Figuur 7 Screenshot van Interface.py. Twee digitale multimeters zijn toegevoegd en zijn te zien door hun grafieken (RESISTANCE_FOUR_POINT).

- Gebruik de groene startknop linksboven in het scherm om een meting te starten. Je wordt gevraagd om de meting op te slaan als een Excel bestand. Geef een naam aan dit bestand en klik op OK.
- Zie je data in de beide grafieken verschijnen? De ene grafiek bevat de referentieweerstand R_{Pt} en de andere grafiek de ('sample') weerstand R_s dus A, B of C (je kunt de grafieken eventueel omwisselen).
- Gebruik de knop '**STOP**' om het meten te stoppen. **Klik één keer en wacht even.** Het programma stopt niet direct met meten.
- Gedurende het experiment kan je de schaal van de y-as aanpassen (dit kan je gebruiken om kleine veranderingen beter te kunnen zien of juist om hele grote waardes binnen het bereik van de grafiek te brengen). Probeer maar!



Quantum Rules!

4. Stikstof vullen:

- Zie figuur 8 voor de materialen die je nodig hebt.
- Zet een veiligheidsbril op en doe cryogene handschoenen aan.
- Vul één van de Dewars (Een soort thermosfles) die in het lab staat, en breng deze naar je opstelling.
- Schenk voorzichtig stikstof uit het Dewarvat in je eigen stikstofvat tot ongeveer 2/3 vol.

LET OP! Extreem lage temperaturen!

Je kunt dit het beste niet vlak naast de opstelling doen of dichtbij iemand anders.

LET OP! Plaats de cryostaat nog niet in het stikstofvat!



Figuur 8.1 Dewarvat



Figuur 8.2
Thermosfles
voor stikstof



Figuur 8.3 cryogene
handschoenen



Figuur 8.4 Veiligheidsbril

5. De meting

- Start het programma weer op en laat het even lopen om te zien of het goed werkt. (Laat het werkende programma eventueel controleren door een begeleider)
- Plaats de cryostaat in het stikstofvat: de drie poten passen precies om het vat heen en de buis (met daarin de materialen) er precies in.
- Plaats de piepschuimen blokken om de cryostaat (figuur 9).
- Volg in het scherm van het meetprogramma wat er gebeurt met de weerstanden.
- **Zorg dat je de weerstand van alle drie de materialen in de gaten houdt door tijdens het afkoelen te schakelen. (Kijk ook op de multimeter en schrijf eventueel waarden op als je iets gekst opmerkt).**



Figuur 9 cryostaat in de thermosfles met stikstof

Eventuele notities tijdens het afkoelen:

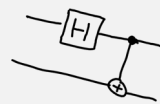
- In het scherm van R_{Pt} zie je de platina referentieweerstand steeds lager worden: hieraan kun je zien dat er inderdaad afkoeling plaatsvindt.
- Laat eventueel controleren door een lab begeleider of kijk in de bijlage voor een voorbeeld screenshot van een meting.

In de 20 minuten wachttijd kun je aan de slag met opgaven die je meer inzicht geven in het verschijnsel supergeleiding.

Als het goed is zie je op een gegeven moment dat je 'klaar' bent. Noteer hieronder waarom je dit denkt en wanneer dit is. Reken op minstens twintig minuten meettijd.

Klaar met meten want:

Als je klaar bent mag je de meting in het meetprogramma stopzetten.



Quantum Rules!

Resultaten

- Noteer nu opnieuw welke weerstand welke waarde heeft, en waarom je dit denkt.

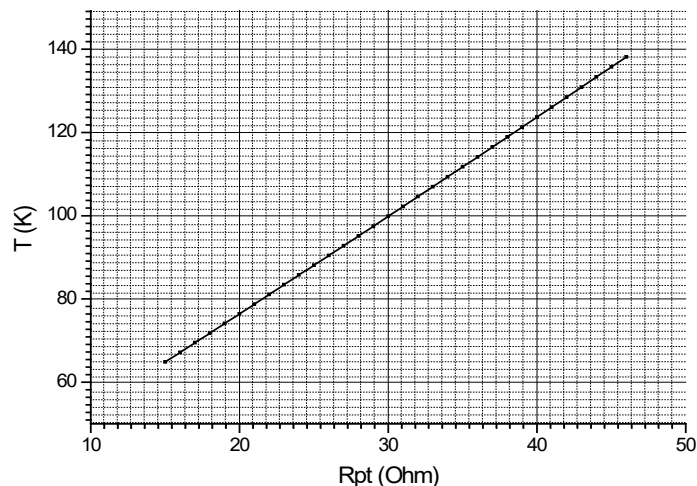
Schakelaar	Weerstand (Ω)	Type geleider / argumentatie
A		
B		
C		

Tabel 3: Weerstandswaarden na afkoelen

Vraag:

- a) Bij welke temperatuur ontstond supergeleiding?

Gebruik hiervoor de meting van de Pt 100 weerstand en de ijkgrafiek hieronder.

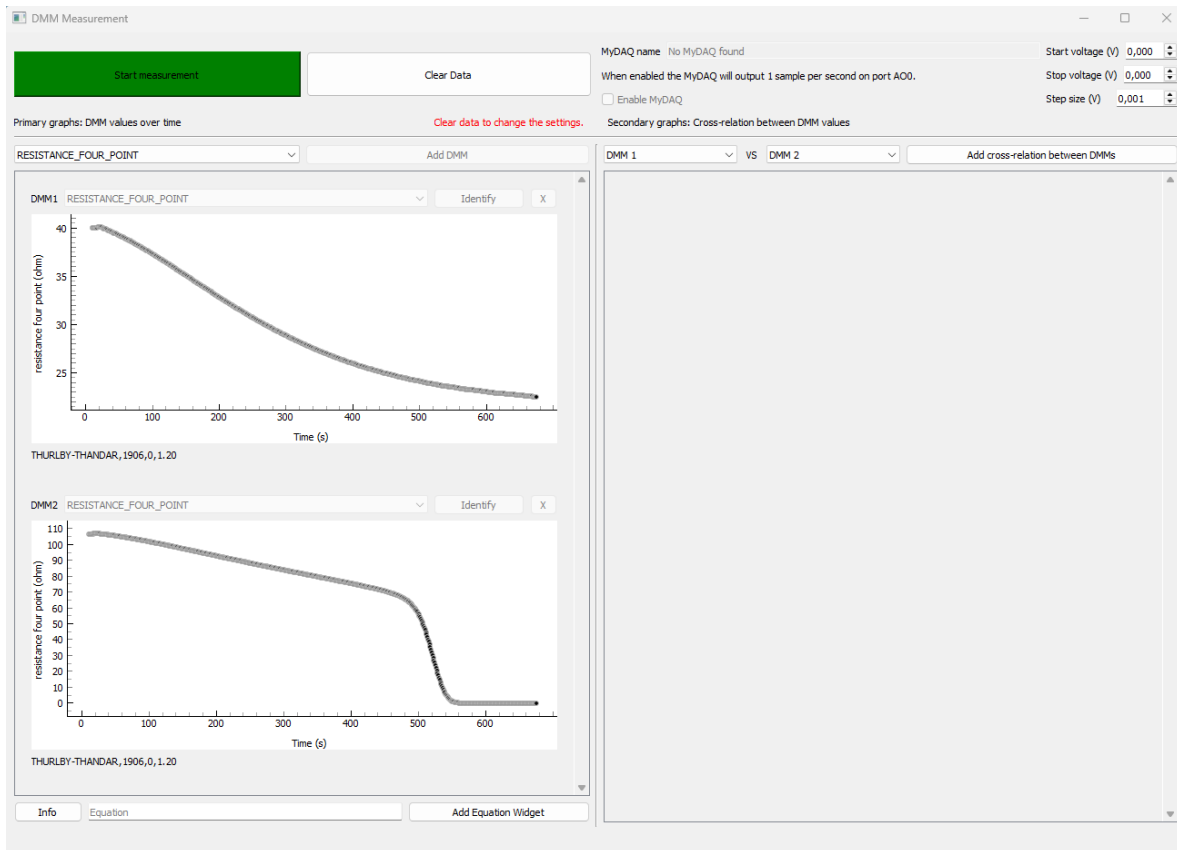


Figuur 10 Ijkgrafiek: temperatuur van de van de platinaweerstand als functie van weerstandswaarde R_{Pt}

Supergeleider overgangstemperatuur T_c :

Waarde van R_{Pt} weerstand (Ω)	Temperatuur T_c (K)

Bijlage: Voorbeeld van een meting.



Figuur 11 Screenshot van Interface.py, voorbeeld van een meting.

Vraag:

Welke grafiek is van de supergeleider en welke van de Pt weerstand?