

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.

Onderzoeksvraag

Hoe vinden we de supergeleidende toestand van ons sample?

In dit experiment ga je onderzoeken hoe een supergeleider zich gedraagt bij lage temperatuur.

Je doet dit door de supergeleider met een temperatuur weerstand in een vat met vloeibare stikstof te plaatsen en de bijhorende weerstandswaarden te meten tijdens het afkoelen.

(Lees verder op de volgende pagina)



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

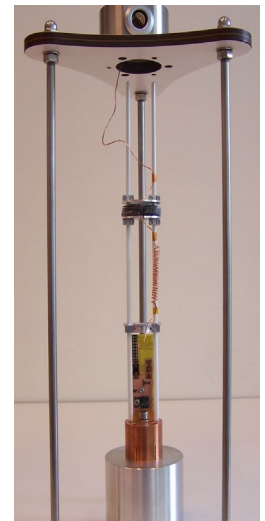


Benodigheden

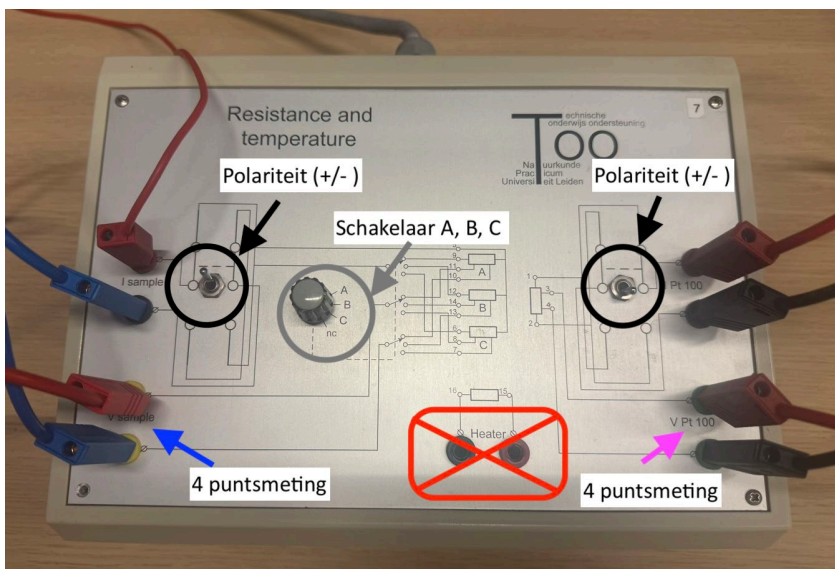
- 1 PC met het meetprogramma 'interface.py'
 - Twee digitale multimeters (**DMM**), zie figuur 1
 - Een cryostaat met daarin
 - o drie meetweerstanden: **goud, halfgeleider en supergeleider**
 - o een platina referentieweerstand, **Pt 100** genaamd. Deze weerstand gebruiken we als **temperatuursensor**.
- Zie figuur 2 voor een opengewerkte 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).



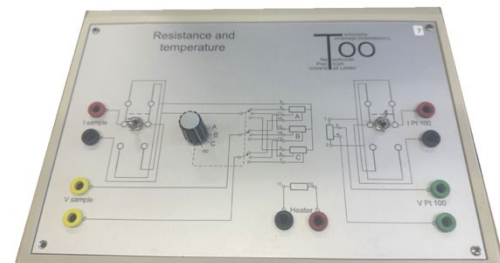
Figuur 1 Digitale multimeter DMM



Figuur 2 opengewerkte cryostaat



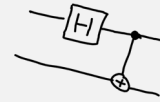
Figuur 4 Schakelbord met aansluitingen en labels



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.
De supergeleider zit op B.
- 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

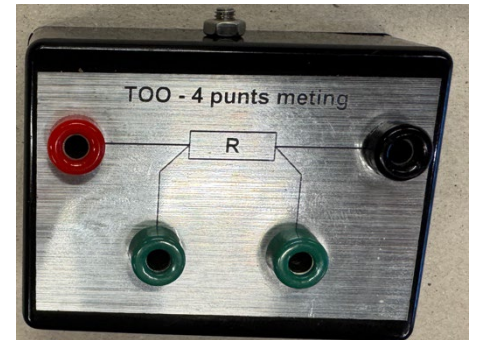
1. Weerstanden bij kamertemperatuur:

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).

- **Zet de schakelaar op B.**
- Noteer de weerstand van de supergeleider:
 $R_{\text{super}} = \quad \Omega$
- Noteer de weerstand van de Platina weerstand:
 $R_{\text{Pt}} = \quad \Omega$

2. Platinaweerstand als temperatuursensor:

- Bekijk het losse weerstandskastje dat aangesloten is aan een digitale **hand**multimeter. Het uitstekende boutje met schroefdraad aan de bovenkant is de platinaweerstand.
- Lees de weerstand van de draad af op de multimeter.
- Raak de schroefdraad aan met je vingers of blaas ertegen. De draad warmt op.



Figuur 5 Weerstandskastje met uitstekende platina draad aan de bovenkant.

Vragen:

- Hoe zie je de weerstand veranderen op de hand 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.

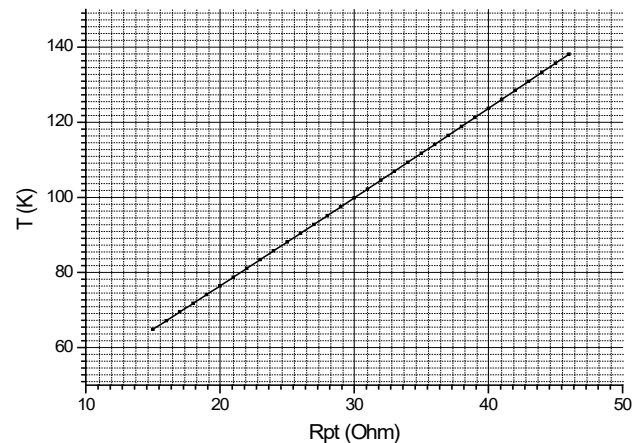
- Zoek de kooktemperatuur van stikstof op en bepaal met *figuur 6* welke weerstand onze Pt weerstand bij die temperatuur heeft.

Kookpunt N_2 :

$$T_{\text{kook } N_2(g)} = \quad K$$

Weerstand Pt-100 (bij kookpunt N_2):

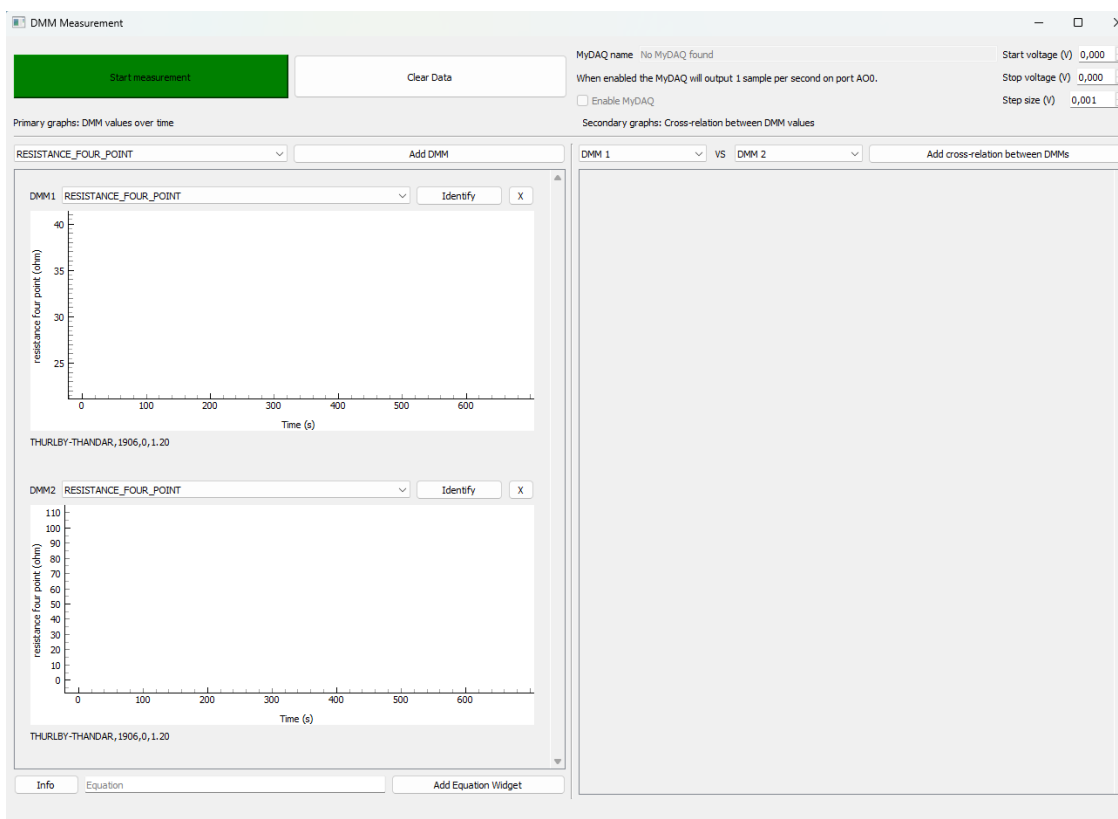
$$R_{\text{Pt}} = \quad \Omega$$



Figuur 6 T,R grafiek Pt-100

3. Meetprogramma:

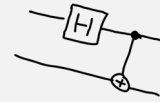
- Start het programma **interface.py** op het bureaublad van de computer door erop te dubbelklikken.
- Voeg in het meetprogramma de 2 DMM's toe, die een vierpuntsmeting doen, toe. Zie figuur 7.
- Kies: RESISTANCE_FOUR_POINT daarna Add DMM.



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 van stand B (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.

Kies/klik nu **Clear Data**.



Quantum Rules!



4. Stikstof vullen:

- Zie figuur 8 voor de materialen die je nodig hebt.
- Zet een veiligheidsbril op en doe cryogene handschoenen aan.
- Schenk voorzichtig stikstof uit het Dewarvat in je eigen stikstofvat tot ongeveer 2/3 vol.

**LET OP! Extrem laag 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

- Plaats de cryostaat in het stikstofvat: de drie poten passen precies om het vat heen en de buis (met daarin de materialen) past erin.
- Plaats de piepschuim blokken om de cryostaat (figuur 9).
- 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)
- Volg in het scherm van het meetprogramma wat er gebeurt met de weerstanden.
- **Houd de weerstand van B en de temperatuur weerstand (Pt) in de gaten tijdens het afkoelen.**

Eventuele notities tijdens het afkoelen:

- In het diagram van R_{Pt} zie je de platina referentieweerstand een steeds lagere weerstand krijgen: 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 de theorie van supergeleiding, die je meer inzicht geeft in het verschijnsel supergeleiding.

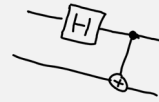
Als het goed is zie je op een gegeven moment dat je 'klaar' bent. Noteer hieronder waarom je dit denkt en wanneer dit is. Reken op minstens twintig minuten meettijd.

Klaar met meten want:

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



Figuur 9 cryostaat in de thermosfles met stikstof



Quantum Rules!

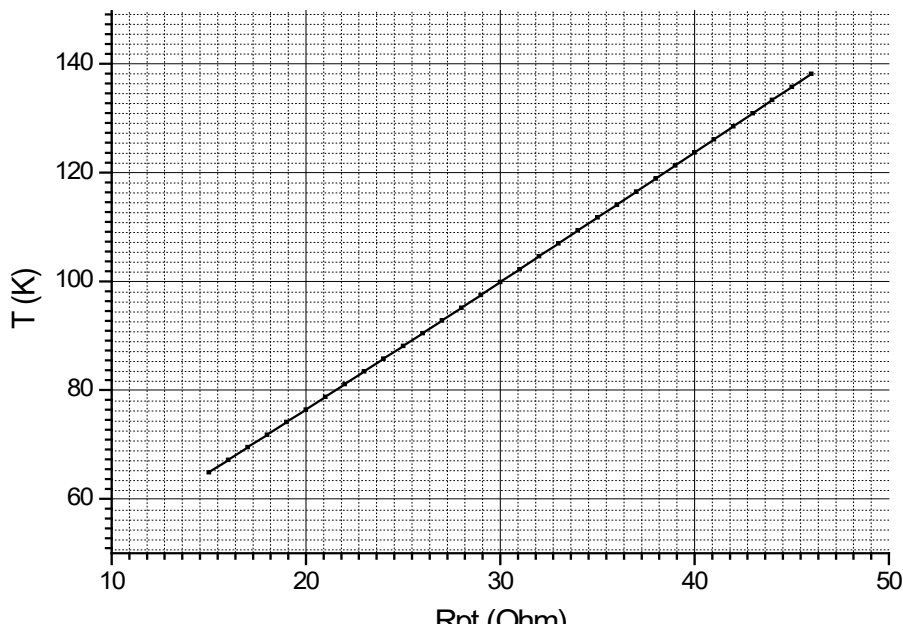
Resultaten

- Noteer nu de waarde van de weerstand die de supergeleider heeft.

Schakelaar	Weerstand (Ω)
B	

Tabel 3: Weerstandswaarden na afkoelen

Bij welke temperatuur ontstond supergeleiding? Gebruik bij je antwoord hiervoor de meting van de Pt 100 weerstand en de ijkgrafiek hieronder.



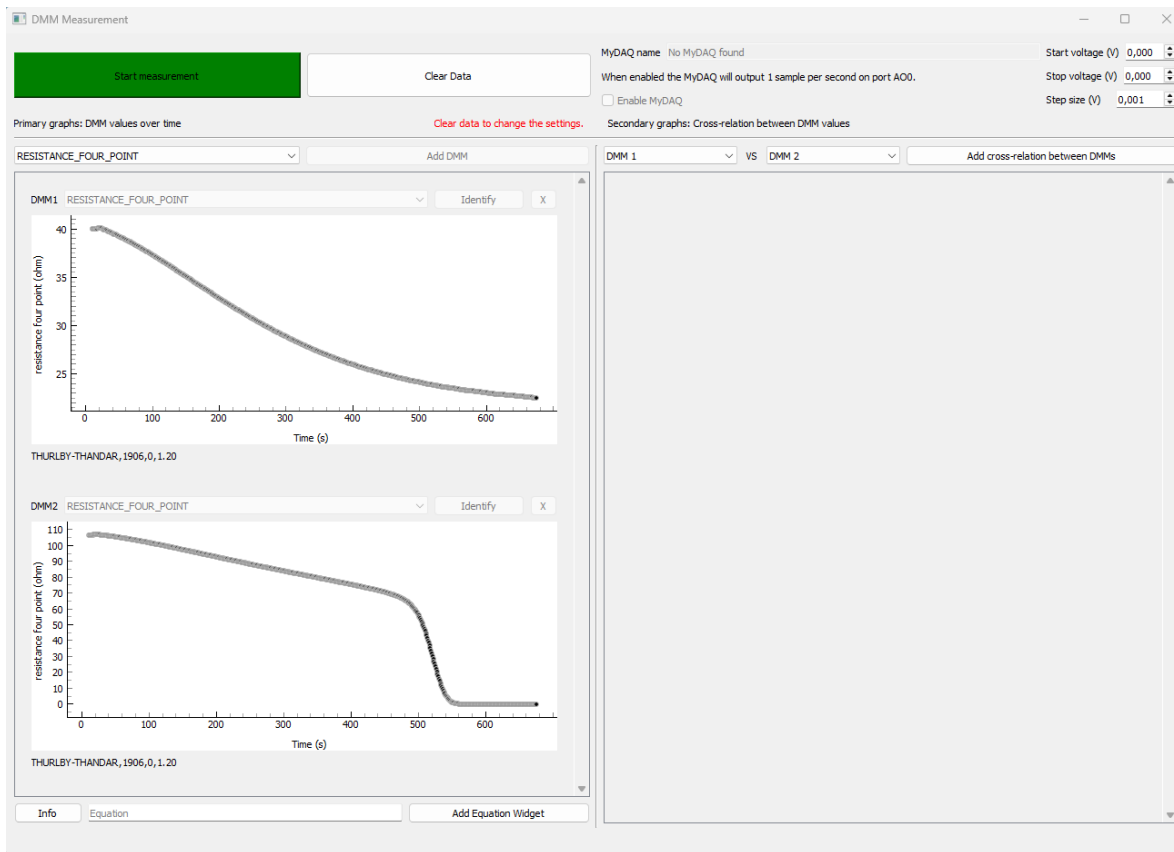
Figuur 10 Ijkgrafiek: temperatuur van de van de platinaweerstand als functie van weerstandswaarde R_{Pt}

Supergeleider overgangstemperatuur T_c :

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

Voor betere nauwkeurigheid kun je de meting door laten lopen als je de cryostaat laat opwarmen als hij uit het stikstofbad wordt gehaald. Je ziet dan het omgekeerde proces en kunt nog een keer T_c bepalen.

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?