



UvA-DARE (Digital Academic Repository)

Evolution of Magnetism and its Interplay with Superconductivity in Heavy-Fermion $U(\text{Pt},\text{Pd})_3$

Keizer, R.J.

Publication date
1999

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Keizer, R. J. (1999). *Evolution of Magnetism and its Interplay with Superconductivity in Heavy-Fermion $U(\text{Pt},\text{Pd})_3$* . [, Universiteit van Amsterdam]. Universiteit van Amsterdam.

General rights

It is not permitted to download or to forward/distribute the text or part of it without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), other than for strictly personal, individual use, unless the work is under an open content license (like Creative Commons).

Disclaimer/Complaints regulations

If you believe that digital publication of certain material infringes any of your rights or (privacy) interests, please let the Library know, stating your reasons. In case of a legitimate complaint, the Library will make the material inaccessible and/or remove it from the website. Please Ask the Library: <https://uba.uva.nl/en/contact>, or a letter to: Library of the University of Amsterdam, Secretariat, Singel 425, 1012 WP Amsterdam, The Netherlands. You will be contacted as soon as possible.

Samenvatting

De intermetallische verbinding UPt_3 wordt beschouwd als een modelsysteem voor het bestuderen van onconventionele magnetische en supergeleidende eigenschappen. De onconventionele supergeleidende eigenschappen ($T_c \approx 0.5$ K) van UPt_3 komen het best tot uiting in het meervoudige supergeleidende fase-diagram in het B - T vlak. Met name bijzonder is dat voor $B=0$ twee supergeleidende faseovergangen worden waargenomen, met een splitsing $\Delta T_c = T_c^+ - T_c^- = 0.055$ K. De magnetische eigenschappen zijn onconventioneel in de zin dat sterke spinfluctuatie verschijnselen coëxisteren met antiferromagnetische ordening ($T_N \approx 6$ K) met een extreem klein geordend moment ($m \approx 0.02 \mu_B/\text{U-atom}$). Door kleine hoeveelheden Pt te vervangen door isoelectronisch Pd kunnen de supergeleidende en magnetische eigenschappen sterk beïnvloed worden. Dit proefschrift behandelt de magnetische eigenschappen van $\text{U}(\text{Pt},\text{Pd})_3$, zoals die bestudeerd zijn d.m.v. neutronendiffractie en μSR experimenten. Daarnaast zijn de supergeleidende eigenschappen onderzocht d.m.v. (magneto)weerstand, soortelijke warmte, thermische uitzetting en magnetostrictie technieken. Op deze manier is het mogelijk om de samenwerking tussen magnetisme en supergeleiding in het $\text{U}(\text{Pt},\text{Pd})_3$ systeem te bestuderen.

Hoofdstuk 1 geeft een korte algemene inleiding gevolgd door de motivatie van het onderzoek. De experimentele technieken die gebruikt zijn voor het bestuderen van de supergeleidende en magnetische eigenschappen van $\text{U}(\text{Pt},\text{Pd})_3$ worden beschreven in hoofdstuk 2. De technieken die op het Van der Waals-Zeeman Instituut tot het standaard instrumentarium behoren zijn beknopt besproken, terwijl de μSR en neutronendiffractie-techniek in meer detail worden beschreven.

In hoofdstuk 3 presenteren we de theoretische aspecten van ons onderzoek. Dit hoofdstuk bestaat uit twee afzonderlijke delen. In het eerste deel komt de theorie van onconventionele supergeleiding in UPt_3 aan bod, terwijl in het resterende deel de interpretatie van de muon depolarisatiefunctie, zoals gemeten in een μSR experiment beschreven wordt. De bespreking van de theorie van onconventionele supergeleiding in UPt_3 richt zich voornamelijk op Ginzburg-Landau modellen. In deze modellen speelt de symmetrie van de supergeleidende gap een belangrijke rol. De Ginzburg-Landau modellen die in hoofdstuk 3 aan de orde komen zijn: (i) triplet supergeleiding met verwaarloosbare spin-orbit koppeling, beschreven met een 1D representatie, (ii) koppeling van de componenten van een 2D supergeleidende vector ordeparameter met een symmetrie-brekend veld (iii) koppeling van twee bijna ontaarde 1D supergeleidende ordeparameters. In scenario's (i) en (ii) is een symmetrie-brekend veld noodzakelijk om de ontaarding van de spin of de 2D ordeparameter op te heffen. In het geval dat de zwakke antiferromagnetische ordening het symmetrie-brekend veld is voorspelt de theorie: $\Delta T_c \propto m^2$.

In hoofdstuk 4 worden de resultaten van neutronendiffractie experimenten aan een reeks $\text{U}(\text{Pt}_{1-x}\text{Pd}_x)_3$ éénkristallen ($x \leq 0.05$) gepresenteerd. Het "kleine moment" antiferromagnetisme (KMAF) gevonden in zuiver UPt_3 is ook aanwezig voor Pd doping tot ten

minste $x=0.005$. Het geordende moment groeit van $0.018\pm 0.002 \mu_B/\text{U-atom}$ voor zuiver UPt_3 tot een waarde van $0.048\pm 0.008 \mu_B/\text{U-atom}$ voor $x=0.005$. De Néeltemperatuur, T_N , is voor het KMAF ongeveer 6 K en varieert niet met de Pd concentratie. De ordeparameter in het kwadraat varieert quasi-lineair met de temperatuur. Een tweede antiferromagnetische fase met veel grotere momenten is gevonden voor $x\geq 0.01$. Bij optimale doping ($x=0.05$) bereikt T_N voor deze fase een maximale waarde van 5.8 K, terwijl het geordend moment $0.63\pm 0.05 \mu_B/\text{U-atom}$ bedraagt. $T_N(x)$ voor het “grote moment” antiferromagnetisme (GMAF) volgt een Doniach-type fasediagram. Uit dit fasediagram leiden we af dat de antiferromagnetische instabiliteit voor het GMAF in $\text{U}(\text{Pt}_{1-x}\text{Pd}_x)_3$ zich bevindt tussen 0.5 en 1 at.%Pd.

In hoofdstuk 5 rapporteren we μSR experimenten uitgevoerd aan een reeks $\text{U}(\text{Pt}_{1-x}\text{Pd}_x)_3$ preparaten met $x\leq 0.05$. De nulveld muon depolarisatie kan beschreven worden door de Kubo-Toyabe functie voor $x\leq 0.005$. De temperatuurafhankelijkheid van de Kubo-Toyabe lijnbreedte $\Delta_{\text{KT}}(T)$ vertoont geen teken van het “kleine moment” antiferromagnetisme, zoals gevonden in vroegere metingen door anderen. De afwezigheid van het KMAF in het nulveld μSR signaal vormt een bewijs dat de antiferromagnetische momenten fluctueren met een frequentie >10 MHz. Dus de fluctuaties zijn te snel om te worden waargenomen met μSR , maar langzamer dan de tijdschaal voor neutronendiffractieexperimenten ≈ 0.1 THz. Voor $0.01\leq x\leq 0.05$ kan de muon depolarisatie in de geordende toestand beschreven worden door twee termen met gelijke amplitude: een exponentieel gedempte oscillatie en een Lorentzische Kubo-Toyabe functie. Deze termen kunnen geassocieerd worden met antiferromagnetische ordening met beduidende momenten. De Knight-shift gemeten aan een $\text{U}(\text{Pt}_{0.95}\text{Pd}_{0.05})_3$ éénkristal in een magnetisch veld van 0.6 T bestaat in de paramagnetische toestand uit twee signalen voor $\mathbf{B}\perp \mathbf{c}$, terwijl slechts een signaal is gevonden voor $\mathbf{B}\parallel \mathbf{c}$. De analyse van de Knight shift duidt op de aanwezigheid van één positie waar de muon tot rust komt (0,0,z).

In hoofdstuk 6 bespreken we het effect van Pd doping op het supergeleidende fasediagram van UPt_3 , zoals gemeten d.m.v. (magneto)weerstand, soortelijk warmte, thermische uitzetting en magnetostrictie. Experimenten aan één- en polykristallijn $\text{U}(\text{Pt}_{1-x}\text{Pd}_x)_3$ preparaten met $x\leq 0.006$ laten zien dat de supergeleidende overgangstemperaturen T_c^+ en T_c^- beide afnemen, terwijl de opsplitsing ΔT_c toeneemt met een snelheid van 0.30 ± 0.02 K/at.%Pd. De B fase wordt als eerste onderdrukt rond $x=0.004$, terwijl de A fase stabiel is tot $x\approx 0.007$. $\Delta T_c(x)$ correleert met de toename van het zwakke moment $m(x)$ voor Pd doping. Dit vormt aanvullend bewijs voor Ginzburg-Landau modellen met het symmetrie-brekend veld (scenario's (i) en (ii)). Slechts voor kleine waarden van ΔT_c ($\Delta T_c\leq 0.05$ K) vinden we dat $\Delta T_c\propto m^2(T_c^+)$, zoals voorspeld. De resultaten voor grotere splitsing duiden op de noodzaak voor een Ginzburg-Landau ontwikkeling met termen hoger dan vierde order. Het tetrakritische punt in het B - T vlak blijft bestaan tot ten minste $x=0.002$ voor $\mathbf{B}\perp \mathbf{c}$, terwijl het snel onderdrukt wordt voor $\mathbf{B}\parallel \mathbf{c}$. Door substitutie van Pt door Pd neemt de stabiliteit van de A en B fasen toe ten koste van de C fase.