|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| |  |  |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | 预习报告 | | 实验记录 | | 分析讨论 | | 总成绩 | | |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | | 年级、专业： | 2018级物理学 | 组号： | 实验班3 | | 姓名： | 罗力、胡振新、邬凯航 | 学号： | 18353051、18353020、18353080 | | 日期： |  | 教师签名： |  |   **实验E1 高温超导实验**  【实验报告注意事项】   1. 实验报告由三部分组成： 2. 预习报告：（提前一周）认真研读**实验讲义**，弄清实验原理；实验所需的仪器设备、用具及其使用（强烈建议到实验室预习），完成讲义中的预习思考题；了解实验需要测量的物理量，并根据要求提前准备实验记录表格（由学生自己在实验前设计好，可以打印）。预习成绩低于10分（共20分）者不能做实验。 3. 实验记录：认真、客观记录实验条件、实验过程中的现象以及数据。实验记录请用珠笔或者钢笔书写并签名（**用铅笔记录的被认为无效**）。**保持原始记录，包括写错删除部分，如因误记需要修改记录，必须按规范修改。**（不得输入电脑打印，但可扫描手记后打印扫描件）；离开前请实验教师检查记录并签名。 4. 分析讨论：处理实验原始数据（学习仪器使用类型的实验除外），对数据的可靠性和合理性进行分析；按规范呈现数据和结果（图、表），包括数据、图表按顺序编号及其引用；分析物理现象（含回答实验思考题，写出问题思考过程，必要时按规范引用数据）；最后得出结论。   **实验报告**就是预习报告、实验记录、和数据处理与分析合起来，加上本页封面。   1. 每次完成实验后的一周内交**实验报告**。 2. 除实验记录外，实验报告其他部分建议双面打印。 |
| **实验E1 高温超导实验** 【实验目的】  1. 学习基本的低温技术，掌握深冷温区的获得和测量方法 2. 掌握超导电性的两个基本特征：零电阻和迈斯纳效应，认识磁场对超导临界温度的 影响，对宏观量子化有一个初步的认识；学习多变量对研究对象影响的研究方法 3. 学习将弱信号测量技术应用于超导转变的测量：直流四引线法用于零电阻特性测量 （实验内容 1），交流磁化率用于迈斯纳效应测量（实验内容 2）；学习为测量提供 磁场条件 4. 复习巩固信号提取方法之“本底扣除”，包括硬件设计中的物理扣除和数据处理时 的数值扣除  【实验用具】  【实验原理】一、低温技术 1．制冷：  (1)将制冷剂运输到实验室利用制冷剂的相变潜热降温，投入少，实验过程中的噪声小，冷却快，但利用率低，成本高。1、运用制冷剂，主要是液氮，好处就是投入小，而且噪声小，仅仅是利用汽化吸热，热传导，没有机械噪声，而且快；但是缺点就是冷却效率极低，这个我们也理解，大部分的液氮直接汽化掉了，只有很小的一部分参与制冷，所以使用成本很高，维持低温时间也很短。  (2)利用微型循环制冷机冷却样品，效率和冷量利用率高，但制冷时间长，有噪声和振动。注：由于我们组测量磁化率，使用的是制冷剂的相变潜热。并且仪器的缺陷就是：功率只能从0，15%，100%里选择。于是很容易出现：当选择15%时，PID总是调整到预设温度以下2°C；当选择100%时，PID总是调整到预设温度以上2°C。于是我们需要花很多时间调整液氮的量。  2 隔热：  (1)真空可以基本阻值热传导和对流。  (2)采用低温防辐射屏或多层绝材料，阻隔样品和环境之间的热辐射。设防辐射屏的温度为TM，环境温度TE，样品温度TL，达到热平衡后漏热为无屏时的一半，如下。    3．恒温器与测温：  (1)低温恒温器：通过与冷源漏热和与热源漏热达到平衡来实现恒温器温度控制，冷指通过控制冷端与冷源的接触或通过冷颈加热补偿，达到某一温度的热平衡。恒温器与环境之间有真空和防辐射屏的隔离。 二、强磁场技术 电磁铁是用高磁导率的铁磁材料作为磁芯外绕螺线管制成，通过对线圈施加较小的电流在电磁铁的边缘或磁隙中获得较高的磁场，铁磁体通常采用锥形结构进一步聚集磁场，极限磁场取决于铁磁材料的饱和磁化强度；磁隙越宽,磁隙内的磁场就越弱。电磁铁电源建议使用磁场模式，因为该模式自带自动消磁的功能，而且通过特斯拉计测量磁场值反馈控制来获得所需磁场。正常情况下，由于有磁滞，磁场和电流并不是线性关系，所以最好使用FIELD模式，可以自动消除磁滞。对于液氮制冷，电磁铁是固定的，可以移动样品。  磁场标定：1)在安装样品的位置用霍尔探头测量磁场；2)电磁铁采用电流模式，用特斯拉计测量磁隙内不同的位置的磁场，获得样品位置与传感器位置的磁场关系。 三、互感法测量交流磁化率 Ⅰ> 原理  磁化率表征材料对外加磁场（变化）的响应，当交流磁场振幅很小时，交流磁化率反映的是材料磁化曲线的斜率（复数），如下，其中，M为磁化强度，H为磁场强度。  交流磁化率通常通过一对缠绕在一起的互感线圈来测量，分别称为初级线圈（产生磁场）和次级线圈（检验磁响应）。此时，可被表示为Eq.4。  为通过初级线圈的电流，与内部的磁场强度成正比,为互感系数。  当在线圈内插入待测样品后（其），则待测样品的磁性改变了原线圈的互感系数，从而改变了其次级交流响应强度，但次级线圈的感应电动势并不直接正比于样品的交流磁化率。对于铁磁性材料，有磁化率，所以互感系数为；对于顺磁性和弱抗磁性材料，有磁化率，此时需通过两对线圈反接（两个初级与初级正接、两个次级与次级反接，或反过来）构成半桥，从而可以输出差分信号，最大限度地抵消本底信号。  对于本实验装置，由于锁相放大器阻抗较大，因此次级线圈组输出的差分电压信号等于输出电动势，如下。  2）互感线圈  OE4004是一款通过压控信号大小控制频率和电流大小的电流源设备。设稳流源的输入控制电压为：  则稳流源输出为：  所以，得交流磁化率为    当线圈不完全对称时，相位超前不为于是我们需要测量差分电动势，使得其为0才满足要求。  1、低温控制：  低温控制两个比较重要的因素：制冷和隔热  制冷：实验室里面制冷有两种方法：  1、运用制冷剂，主要是液氮（我猜是因为一般温度较低，而且较比液氨没什么味道），好处就是投入小（液氮价格我上网上调查了一下，比我们想象的要便宜），而且噪声小，仅仅是利用汽化吸热，热传导，没有机械噪声，而且快；但是缺点就是冷却效率极低，这个我们也理解，大部分的液氮直接汽化掉了，只有很小的一部分参与制冷，所以使用成本很高，维持低温时间也很短。  2、运用制冷机制冷，原理不用多说，好处就是操作很简单，效率和利用率很高，缺点就是制冷时间长，有振动和噪声。  隔热：物质间传热有三种方式：传导（烤地瓜），对流（蒸馒头），辐射（烤地瓜），这个实验条件下，我们利用了真空泵，将物质与外界抽成真空，基本消除了对流的漏热，传导的漏热也可以基本消除，然后就是辐射的漏热，因为根据斯特藩玻尔兹曼定律，辐射热与T的四次方成正比：  但是如果我加了一个防辐射层，达到热平衡时防辐射屏到物体之间的漏热比从环境的直接漏大大降低从环境对防辐射屏的净漏等于从防辐射屏到低温物体的净漏热，则从环境到低温物体的净漏热减半  所以我认为可以加入很多很多防辐射层，这样的话，漏热就会变得很小很小。  2、低温测量与引线：  在极低的温度下，我们平时所忽略的接触电阻现在也要考虑在内，这就导致了我们必须想办法消除这些电阻，所以我们使用了四引线法测量，在测量小电阻的时候，四引线法  四引线法为什么测量的准确如图：    //（引用自https://www.zhihu.com/question/21266401）  3、循环制冷机  其具体工作原理没必要多做掌握，只需要考虑：  为更准确地测量超导样品的温度，用石墨带把 PT1000 温度传感器固定在超导样品的表面后，再塞入线圈架孔内  4、强磁场技术：  实验室所需要用线圈来产生磁场，所以带有铁磁性或者与实验无关的金属不要带入实验区，正常情况下，由于有磁滞，磁场和电流并不是线性关系，所以最好使用FIELD模式，可以自动消除磁滞。对于液氮制冷，电磁铁是固定的，可以移动样品。  标定过程中，我们应该在加入样品之前，利用特斯拉计测量不同位置的磁感应强度，而且应该使用电流控制，不会受到特斯拉计的反馈，电流稳定后磁场分布也稳定  5、直流四引线法测量电阻：  四引线法的原理上面说过了，然后我们来讨论一下为什么会用两个方向的电流：  我们先确定一个正方向，然后由于电极并不一定对称，然后也会由于一定的温度差带来的温度电势不同，这个是客观存在的方向，与电流计算方向无关，所以我们在正反两个方向测量电阻来消除温差电势和接触电势：  6、交流四引线法测量电阻  我们在精密测量的课程里面学习到了，当你知道了信号源的频率的时候，可以通过锁相放大的方法抽出这个频率的信号，然后可以测量出电压的有效值,因为热电势以及接触电势是直流的信号，然后我们可以求出电抗，而非电阻。  7、Labview技术  实验测量的数据采集大部分利用的是Labview的程序，利用电脑操作控制，能够节省大量的时间。  具体的程序不多赘述  【思考题】   1. 深低温系统为什么要抽真空？真空度要求有多高   ① 热传递有三种方式：热辐射 热传导和热对流，系统内的残余空气可以作为系统和外界进行热传导和热对流的介质，影响制冷效率  ② 不抽真空会导致深低温系统中结露，结冰，堵住通道。  真空度＜0.08MPa   1. 真空泵产生一定的噪声，在达到真空要求后，是否可以关真空泵？关真空泵前，是否要先关真空阀门？   真空泵会产生高频的机械噪声。达到真空度要求后可以关闭真空泵，关闭真空泵前必须先关闭真空阀门，防止漏气   1. 为什么要安装屏蔽罩（防辐射屏）？屏蔽罩用哪一类材料最好？   高真空环境中热传导和热对流对热传递的贡献远小于热辐射的，因此需要安装防辐射屏来减少系统通过热辐射的漏热。  屏蔽罩用多层的防辐射屏构成。   1. 请估计直径为12mm、长为100mm，温度为4K的恒温器在无防辐射屏时的漏热约为多少？在采用一层防辐射屏后，其与环境之间的辐射漏热减少了多少？如果将防辐射屏的温度降到液氮温度（77K），则该防辐射屏的辐射漏热又为多少？   由式(E1-1)知，直径为12mm、长为100mm，温度为4K的恒温器在无防辐射屏时的漏热为：  有一层防辐射屏后，辐射漏热减少至原先的一般，变化量为0.866W  77K温度下，有防辐射屏：   1. 铂电阻温度计位置不在样品旁边，有什么因素会影响样品温度偏离温度计的温度？偏离有多大？能否通过建模进行定量分析？   铂电阻温度计位置不在样品旁边，样品的温度变化通过热传递到铂电阻需要一定时间，因此温度计的响应存在一定的滞后现象：实验数据中对样品温度的间接测量和对铂电阻温度计的直接测量反映了这一变化：    从图中看出：升温时，样品温度比温度计温度升得更快；降温时，样品温度比温度计温度降得更快。  这个偏移量约为 5K   1. 外加磁场与电流方向的夹角不同，洛伦兹力不同，从而超导体的磁流阻大小不同，你怎么设计实验以研究磁场（矢量）对超导转变的影响？   通过旋转样品来实现：调整系统至样品处于超导态，在保持温度稳定以及外加磁场恒定的情况下，旋转样品0°30°45°60°90°180°270°，分别记录实验数据。   1. 实验装置上的两个次级线圈不能做到对称，它们已被连接好，你又不知道单个线圈的输 出是多少，如何判断测量交流磁化率的次级线圈（相对于初级线圈）是否接反以抵消本 底？   ： 在正常接法的情况下，两个线圈产生的感应电动势分别是  二者相加得到的总的感应电动势为：  若反接其中一个线圈，总的感应电动势应当为：  对比正接与反接的电动势，显然反接的电动势大于正接的电动势，所以我们只需要将线圈正反各接一次，比较两种测量电动势的大小，两次测量中，电动势较大的为反接情况。 对于铁磁性材料，χ>>1 ，此时本底信号并不重要；但是对于顺磁性和弱抗磁性的磁体χ<1，底信号就很重要 了。此时扣除本底信号的方法是将两段次级线圈反接，从而输出差分信号，最大限度地抵消本底信号。   1. 交流信号包含幅值（R）和相位（θ），或实部和虚部，由于实际制备时两个次级线圈不可能做到完全对称，那么，   1) 可以在物理上抵消本底信号（含幅值和相位）吗？  2) 由两对线圈完全对称假设而推出的式（E1- 18）会是怎样？请推导。  3) 实部与虚部的区分依赖于相位差测量，如何扣除交流磁化率测量系统的相位差本底？（如下图参考双通道锁相放大器微小阻抗测量实验中的用取样电阻获得初级线圈电流相位）       1. 可以，将样品放入两对线圈各做一次实验，差分电动势取两次的平均值，如果实验条件允许的话还可以进行更多组的测量，以此来扣除本底噪声影响。   其中为两对线圈的测量结果，V2、θ为通过计算得到的等效值   1. 如下图连接仪器，以Ch1信号为本底信号，直接计算Ch1、Ch2电流间的相位差可以扣除电压和电流之间的相位差本底      1. 如何对磁化率定标？实部或虚部能同时定标吗？   用一已知磁化率=A+Bi 的样品进行实验，得到θ，θI 计算则 A/a 为公式中前半部分的常数 测量得到的磁化率的虚部与实部之比可能与实际的磁化率虚部与实部之比不同，所以只能定标其中之一。   1. 交流互感一级线圈的电阻为34Ω，对于稳流源的最大输出0.1A，所产生的焦尔热为0.34W，它对样品温度产生多大的影响？有什么方法降低该影响？【提示，设线圈与恒温器的接触热阻为 20K/W。】   线圈产生的焦耳热会使得样品温度上升6.8K，影响对样品温度的测量结果。因此样品因避免与线圈接触，同时线圈内的电流越小越好。   1. 线圈架用材料做合适？为什么不能用金属？   用塑料做较为合适，使用金属会在磁场作用下产生感应电流，进而产生磁场，造成磁场分布的不均匀性，影响实验结果。   1. 高磁场下电磁铁长时间工作会导致线圈温度升高，如何在满足实验需求的同时，使线圈 电流最小、且实验时间最短？然后如何保护自己避免烫伤、又不影响线圈散热？ 选用磁隙较窄的铁芯，减少涡流损耗，这可以在满足实验需要的磁场的同时减少线圈发热。如果实验时间较长，可以通过风冷的方式对线圈散热，我们实验时没有出现线圈发热至能够烫伤人的情况，可以认为这在3个小时的实验时间内能够满足散热需求。 2. 本实验中样品位置的磁场与霍尔探头测量的磁场有多大的偏差？如何校正？校正时电 磁铁电源能选用“磁场模式”吗？为什么？   样品处的磁场与霍尔探头测量的磁场偏差取决于两者位置之差，可以通过测量电磁铁磁隙内不同位置点的磁 场强度，建模分析探头与样品位置处的磁场关系以进行校正。校正时不能使用“磁场模式”，因该模式下，电磁铁 会根据特斯拉计的反馈自动调整磁场，这样获得的磁场关系就会改变。“电流模式”下则不会改变。   1. 如果采用“电流模式”加磁场，电磁铁的剩磁有多大？实验中可以消除剩磁到什么水平？ 电流模式下不会自动消磁，剩磁大小取决于电流模式所加磁场大小。实验中，断开电源后，可以加一个较小的反向电流，以实现消磁。可用特斯拉计持续测量铁芯两端磁场强度，同时控制反向电源大小，直到磁场接近0，此方法课消除剩磁至特斯拉计的最小精度量级。 2. 如果采用“磁场模式”加磁场，会有剩磁问题吗？   不会。刚进入“磁场模式”时，电磁铁会自动进行消磁，此时需要等待至少30s，待实际输出磁场约为0时，再加磁场进行实验。故不存在剩磁问题。 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | | 专业： |  | 年级： |  | | 姓名： |  | 学号： |  | | 室温： |  | 实验地点： |  | | 学生签名： |  | 评分： |  | | 日期： |  | 教师签名： |  |   **实验E1 高温超导实验**  **【注意事项】**  **1、加注液氮时一定要做好防护措施以防冻伤**  **2、低温版液氮恒温器温度严禁超过 325K，否则会造成永久性损坏**  **3、温度在 200K 以下可关闭真空泵，但需先关真空阀**  **4、加液氮时，请确保漏斗上无水，防止水进入到液氮容器。离场前将恒温器加热到 290K**  **5、开机顺序： 先开 NI 机箱、控温仪、电磁铁电源以及直流电源，锁相放大器等， 最后开计算机**  **6、电磁铁周围（1 米范围内）禁止有其它铁磁性物质电磁铁调整极头间距或移动电磁铁时，保证电磁铁电源的输出电流为零；不需要磁场时，请将电磁铁电源输出电流为设置为零** [实验步骤] 输入电流或磁场以及电流输出速率（注意值不能太大）；在锁相放大器中连接。  4检查球阀是否处于关闭状态，之后打开机械泵，慢慢将球阀转动90ř，抽取30分钟之后打开制冷机。  5先打开变压器，之后打开制冷机，观察控温仪上的温度值，设置目标温度（时长：2小时），当温度低于200K时，关闭球阀与机械泵，打开功率选择（15%）。  6接线：1）单通道锁相放大器SINEOUT端输出交流恒流源；2）交流恒流源端输出接到初级线圈接口；3）次级线圈接口与锁相放大器输入端SIGNALINA/I端。  7设置驱动信号（1V的驱动电压对应100mA），开启交流恒流源电源。  8保存Labview数据，从数据中观察超导转变温度。  9关闭仪器，先关闭制冷机，再关变压器，最后关闭其它仪器。  以上是简略的实验步骤，以下是具体。 一．磁化率的相关测量 .获得交流磁化率转变以及超导转变温度  1)抽真空。关闭真空阀门，打开真空泵（开关位于泵的侧面），2分钟以后慢慢打开真空阀，听到“呼噜”声停止旋转阀，声音停止后继续缓慢旋转真空阀至全开（绿色阀柄与波纹管平行），真空泵打开半个小时后，开始致冷。  2）抽真空的过程中，打开其他仪器开关。打开NI机箱电源开关（前面板按钮）；打开控温仪TC202开关（前面板红色按钮）；普源数字多用表RIGOLDM3058E通电（先观察下图1-2中的前面板开关按钮是否闪烁：若是闪烁，则按一下表头屏幕亮，开机完成；若前面板按钮常暗，则需要先拨通后面板的开关至“1”，使其闪烁，然后重复上一个步骤）；打开电磁铁P10-40电源开关（背后红色按钮，然后按前面板“power”长按3秒）；打开锁相放大器OE1022开关；打开电脑开关  3）制冷（真空泵打开半个小时后）  (a)当温度降至200K附近时，先关闭真空阀，再关闭真空阀，再关闭真空泵。  (b)加入液氮,使得旁边的喷气孔刚好喷出多余的液氮。实验过程中根据控温的效果，速度以及震荡及时补充液氮。  4）电脑LabVIEW参数设置（制冷过程进行）：  (a)打开程序  (b) 进入界面，有4个选项卡，分别是TC202控温仪，P5-40电磁铁电源，3058E万用表，锁放OE1022。  (c) 对于控温仪、电磁铁电源、锁相放大器选择所作机位对应的端口。  在TC202界面Setpoint处输入110，使得温度控制在110K并且波动小于0.5K(TC202使用(d)PID算法控制温度；加热功率有三档，选择15%时，如果经过10分钟实际温度依然低于设定温度，说明加热功率选择偏低，请将加热功率选择100%。经过10分钟以后如果温度还没有稳定在设定温度，需要调节控温仪的加热功率)。控制温度为避免重复设置，可将选好的数值。  (e)打开3058E界面，其中Rpt1000处显示样品附近的PT1000阻值，其与温度的换算关系参见下表（下表是PT100的数据，PT1000只需要每个数据乘10就是阻值）。  (f)打开锁相放大器界面  5）输出信号的测量及连线  a)对输出信号进行测量，将锁相放大器SINEOUT接到SINGNALINA/I处，读出此时的.记录.  b）测量样品连线  参照上图，将锁相放大器SINEOUT端接入交流稳流源，交流稳流源接入制冷机内部初级线圈，次级线圈接入锁相放大器SIGNALINA/I接口，进行后续测量  6）数据记录以及后续处理  重复步骤4）再根据公式即可。 2.磁场对磁化率的影响 1）相对样品腔外参考点，确定样品的位置  参考点可选：电磁铁滑轨上的限位块，或冷头外壳；定位方法：  (a)拆掉内外热屏蔽层，漏出样品架，拆卸方法见1.7）；  (b)松开磁铁滑轨上的限位块，将磁铁滑动至样品处于磁极之间，并固定磁铁两侧限位开关；(c)用塑料尺测量并记录限位块在滑轨上的位置，后续加磁场实验，磁铁需滑动至该位置。  (d)用塑料尺测量并记录样品相对磁铁极面的位置1以及低温实验时高斯计实际放置的位置2（见右侧图）；(e)将内层黄铜屏蔽层安装好，安装方法见1.7），再将外层不锈钢屏蔽层用快拆法兰安装好，准备抽真空降温  2）按照1.的1）-5）操作  3）磁场标定：（务必确认高斯计较大的探测面平行于磁铁极面，可在降温过程中标定磁场）  (a)将磁铁沿滑轨移动到样品腔外较远处，注意不要再调整磁极面间距，高斯计放在位置1（样品位置），  电磁铁电源用磁场模式调至1kGs，即下图中“setoutputmode”选择“MODE\_【FIELD】”，“setoutputfield”输入“1”，记录此时电磁铁电源的电流值  4）加上磁场后数据记录和分析  外磁场定标记录  改变不同外磁场，在升温或者降温过程的记录：  输入控制电压：  输入频率：  相位  外部磁场：  ？上面的改成表格，不然不知所云 3.交流磁化率的实部与虚部分离 根据公式可以看出分离实部与虚部的关键是相位差的大小.利用锁相放大器。  在output和signal之间串联一个电阻即可。原因是我们需要知道电流的相位。该相位是稳流源输出的相位，因为稳流源在sine out输出信号之后再从output输出信号，期间可能会有相位差，于是我们需要确定它。串联一个电阻是因为我们不能直接将output接入channel。为了排除电阻R的数值对相位的影响，我们使用的电阻大小跟实验所用的电阻相当即可。 4.超导现象是否与历史相关 步骤已在下面给出。最好还是复制粘贴一下 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | | 专业： |  | 年级： |  | | 姓名： |  | 学号： |  | | 日期： |  |  |  | | 评分： |  | 教师签名： |  |   **实验E1 高温超导实验** 【分析与讨论】[基础内容] 1：先给出R和θ（锁相放大器）的变化（升温）：   |  |  |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | 升温过程 | T/K | R/μV | θ/° | 降温过程 | T/K | R/μV | θ/° | |  | 78.56 | 82.90 | -86.80 |  | 78.50 | 93.16 | -89.09 | |  | 78.97 | 97.38 | -89.84 |  | 79.00 | 113.50 | -91.75 | |  | 79.51 | 111.47 | -91.93 |  | 79.50 | 120.32 | -92.52 | |  | 79.98 | 119.90 | -92.49 |  | 80.00 | 128.45 | -93.10 | |  | 80.50 | 131.67 | -93.33 |  | 80.50 | 133.00 | -93.38 | |  | 81.00 | 131.10 | -93.27 |  | 81.00 | 135.97 | -93.53 | |  | 81.50 | 132.00 | -93.32 |  | 82.00 | 137.79 | -93.52 | |  | 82.00 | 137.80 | -93.54 |  | 83.00 | 137.83 | -93.54 | |  | 83.00 | 138.17 | -93.53 |  | 84.00 | 137.99 | -93.54 | |  | 84.00 | 138.20 | -93.54 |  | 85.00 | 138.01 | -93.56 | |  | 84.96 | 138.47 | -93.59 |  | 86.00 | 138.15 | -93.58 | |  | 86.00 | 138.00 | -93.66 |  | 87.00 | 138.22 | -93.60 | |  | 87.00 | 138.00 | -93.56 |  | 88.00 | 138.28 | -93.60 | |  | 88.12 | 138.89 | -93.61 |  | 89.00 | 138.42 | -93.64 | |  | 89.00 | 138.50 | -93.60 |  | 90.00 | 138.42 | -93.63 | |  | 90.00 | 138.90 | -93.61 |  | 91.00 | 138.58 | -93.66 | |  | 91.00 | 138.90 | -93.64 |  | 92.00 | 138.56 | -93.65 | |  | 92.00 | 139.07 | -93.65 |  | 93.00 | 138.07 | -93.69 | |  | 93.00 | 139.20 | -93.67 |  | 94.00 | 138.74 | -93.69 | |  | 94.00 | 139.20 | -93.62 |  | 95.00 | 138.83 | -93.72 | |  | 95.00 | 139.60 | -93.67 |  | 96.00 | 138.83 | -93.73 | |  | 96.00 | 139.46 | -93.21 |  |  |  |  | |  | 97.00 | 139.23 | -93.75 |  |  |  |  |   分析：我们可以看到R和θ的陡降，同时能在图中看出升温过程曲线和降温过程曲线之间存在一定的差异，这是由于样品纯度达不到1，本身具有铁磁相，内部磁场产生了热滞留，改变了升温过程和降温过程的电阻率。实验时我们应当尽量的缓慢升降温，在温度稳定后过一段时间再进行测量能减轻热滞现象。 [进阶内容]1）交流磁化率的实部与虚部分离 （注：由于降温困难，于是我们最终的结果在数据上显示的效果可能并不是很好。）  [实验步骤]  磁化率公式  （其中为常数，我们的频率为1003Hz。由于我们使用的实验仪器无法拆开，我们无法对其进行温度定标以及磁场定标。经王凯老师指导，我们只需要对其图像进行分析即可，具体数值不做要求）  于是，我们需要知道.实验步骤具体如下：  1.如图接入稳流源，锁相放大器以及薄膜电阻：  2.由于上面初始测量已经判断是否反接，下面就是直接测量一系列数值。  [实验数据]   |  |  |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | T/K | R/Ω | V\_0/mV | θ\_I | V\_2/mV | θ | Re(χ) | Im(χ) | | 78.99 | 242.2 | 17.46 | -63.68 | 65.6 | -125.3 | 3.5177101 | -1.319834 | | 79.30 | 243.0 | 17.48 | -63.6 | 65.9 | -125.3 | 3.4126295 | -1.602196 | | 80.33 | 247.3 | 17.48 | -63.6 | 67.3 | -125.2 | 3.6310681 | -1.280127 | | 81.23 | 250.6 | 17.49 | -63.7 | 68.0 | -125.0 | 3.8849882 | -0.151371 | | 82.39 | 255.6 | 17.51 | -63.7 | 68.3 | -124.9 | 3.8944999 | 0.2380814 |   我们将实验数据带入，并且令K=1（K为常数），去研究图像的趋势变化，有：  （其中实部和虚部分别是）  [实验分析]  我们可以看到，交流磁化率在82K前有了一个比较明显的变化，但是由于数据点的不足，我们无法精确判断超导的转变温度。不过在大约81.5K后，交流磁化率的实部已经非常平缓。可以判断实部应该基本没有太大变化了。但是交流磁化率的虚部仍未平缓。  磁化率的实部随着温度增加有一个转变点，这个转变点大约为83K。这一点我们的实验结果与之相符合。但是在小于这个温度时，样品的磁化率和磁场反相。  而对于虚部，出现了两个峰。经查阅资料，高温峰对应的是晶粒损耗，低温峰则时耦合产生的损耗。低温峰的出现对应的实部的转折变化点。  对于我们实部的实验数据，我们并没有出现与磁场相反方向的磁化率。这里的原因是材料的不同，材料的磁性质导致其并不足以使其产生与外部磁场相反的磁化率。由于我们的79K是降温测得，样品性质的变化跟不上温度变化，出现了热滞留现象，于是79K的磁化率值反倒要比79.5K大！对于实部的分析，就是当高于转变温度的时候，材料的磁性质趋于稳定。  我们测得的虚部是从负数转变为正数，结合虚部的物理含义，我们可以分析出，当环境的温度高于转变温度的时候（excel图像画出的曲线刚好经过81.5K，实际应该在81.5K左右，设其为），材料吸收外加交变磁场的能量，而当温度小于时，交流磁化率是负数。  磁性物质具有自发性的磁偶极（Magnetic dipole），在外加磁场下，物质中的磁偶极方向会因外界磁场作用而倾向沿着外加磁场方向。而当外加磁场是交变磁场且交流频率不太高时（一般在微波频率以下），磁偶极的方向可随着此外加交变磁场，做来回周期性振荡，此即交流磁化率的物理原因。  交流磁化率虚部的物理含义：  虚部与样品的能量衰减成比例，是该磁性材料对外加交变磁场能量的吸收；虚部愈大，表示该磁性材料愈会吸收外加磁场的能量。 [科学问题]1. 高温超导体基本性质： a) 超导现象是否历史相关？  答：否，实验步骤如下：  [实验步骤]  1.选定两个态，在这里我们选定的态为（85K，0kGs）和（79K，2kGs）。然后分别沿着两条路径，从第一个态转变到第二个态。  路径一：先从85K转变到79K，然后再增加磁场到2kGs。温度的步进是1K，然后磁场的步进是0.5kGs。  路径二：在85K下，先增加磁场到2kGs，然后再逐步降温到79K。步进同上。  我们想要验证的是，无论沿着哪一条路径，样品最终抵达的态的参数（R，θ）是相同的。也就是说，我们要验证的态是热力学态，因为热力学态的转变与路径无关。  这样的话我们能够以近平衡态的图像展示出锁相放大器R的转变。（当然也可以顺带阐述一下θ的转变）  2.实验数据如下：   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | PATH1 | R/Ω | R/μV | θ | T/K | B/kGs | PATH2 | R/Ω | R/μV | θ | T/K | B/kGs | |  | 265.6 | 28.2 | -94 | 85.00 | 0.00 |  | 265.3 | 28.1 | -95 | 85.00 | 0.00 | |  | 261.5 | 28.1 | -94 | 84.00 | 0.00 |  | 265.3 | 27.9 | -94 | 85.00 | 0.50 | |  | 257.8 | 28.0 | -94 | 83.00 | 0.00 |  | 265.5 | 27.9 | -95 | 85.00 | 1.00 | |  | 253.7 | 26.9 | -94 | 82.01 | 0.00 |  | 265.5 | 28 | -94 | 85.00 | 1.50 | |  | 249.8 | 24.3 | -93 | 81.01 | 0.00 |  | 265.5 | 28.1 | -94 | 85.00 | 2.00 | |  | 245.6 | 19.0 | -90 | 80.00 | 0.00 |  | 261.7 | 28.3 | -94 | 84.01 | 2.00 | |  | 241.4 | 11.2 | -77 | 79.05 | 0.00 |  | 258.5 | 28.1 | -94 | 83.00 | 2.00 | |  | 241.7 | 15.0 | -88 | 79.00 | 0.50 |  | 254.4 | 27.9 | -95 | 82.01 | 2.00 | |  | 241.6 | 16.2 | -90 | 79.00 | 1.00 |  | 249.9 | 27 | -94 | 81.01 | 2.00 | |  | 241.8 | 17.6 | -90 | 79.00 | 1.50 |  | 246.1 | 24.3 | -93 | 80.00 | 2.00 | |  | 241.7 | 18.3 | -92 | 79.00 | 2.00 |  | 242.7 | 19.9 | -92 | 79.05 | 2.00 |   将R的图像画出，有：  （数据中记录了样品的电阻是因为电阻才是真正反映了样品的温度，由于控温仪探测温度的探针并不是直接探测样品的温度，所以控温仪的温度显示并不是样品的温度。只有当样品的电阻稳定了，并且对照了电阻和温度的关系表，我们才能确定样品的温度确实是到了设置温度！）  将θ的图像画出，有：  其中最后抵达的点均为两曲线几乎重合的，在图像最左边的点。结合R与θ的图像，我们可以说，该态是一个热力学态，因为我们以近平衡态的方式，沿着两条路径分别改变态，最终得到了相同的态参数。  【实验思考题】 |