**磁单极子探测中的信噪比优化设计**

**1. 引言**

* 磁单极子探测的科学意义与技术挑战
* SCEP 项目需求概述：单个探测模块信噪比 (SNR) > 4.5
* 感应线圈的热噪声作为 SNR 的主要限制因素
* 信号读出方式简介：
  + 直接电压放大器
  + 高精度量子磁力仪

**2. 空气芯线圈的优化设计**

* 空气芯线圈交流电阻的理论建模
* 参数优化设计：
  + 线圈半径
  + 线径
  + 匝数
  + 层数
* 优化结果分析：效果不理想，难以满足 SNR 要求的原因

**3. 磁芯线圈的优化设计**

* 磁芯线圈模型构建：基于空气芯模型，引入磁芯复磁导率
* 参数优化设计：
  + 线圈半径
  + 线径
  + 匝数
  + 层数
* 优化结果：
  + 显著提升 SNR 的能力
  + 大探测面积感应线圈原型的实现

**4. 后端读出系统的信噪比优化**

**4.1 直接电压读出方案**

* 运算放大器输入电压噪声对 SNR 的限制
* 电路结构优化：并联若干 JFET 管
* 优化成果：输入电压噪声降至 0.568 nV/√Hz @ 1 kHz，显著优于商业运放

**4.2 量子磁力仪读出方案**

* 磁场转化线圈的优化设计
* 基于空气芯线圈模型的参数优化方法
* 优化后对 SNR 的提升效果

**5. 结论**

* 感应线圈与后端读出优化的综合成果
* 满足 SCEP 项目需求：SNR > 4.5、大探测面积及小载荷发射要求
* 未来工作展望：进一步提升探测性能的应用前景