
无需校准的精准测温：气体布里渊散射开启绝对温标新路径

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/39315.html>

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

无需校准的精准测温：气体布里渊散射开启绝对温标新路径。 导读

在科学研究和工程应用中，温度几乎无处不在。然而，当测量对象处于深低温环境，或对外界扰动极其敏感时，传统温度传感器往往力不从心。接触式探头会引入热扰动，红外测温在低温下信号微弱，而常见的光纤温度传感技术不仅灵敏度急剧下降，还高度依赖繁琐的标定过程。

是否存在一种无需接触、无需标定、还能在极端低温下保持高精度的测温方法？

近日，来自瑞士洛桑联邦理工学院（EPFL）与智利费德里科圣玛利亚理工大学的研究团队给出了一个全新的答案：基于气体布里渊散射的绝对温度测量技术。该成果以"Absolute thermometry based on Brillouin scattering in gases"为题发表于Light: Science Applications。洛桑联邦理工学院的杨雨婷是论文的第一作者，Luc Thévenaz教授是论文的通讯作者。

气体，为什么能成为绝对温标？

布里渊散射是一种光与声相互作用的物理过程，基于光纤的布里渊散射则通常被用来进行温度或应变测量。但在传统实芯石英光纤中，这种方法存在一个根本问题——材料本身太复杂：掺杂成分不同，内部残余应力不可控，且在低温下的声学响应关系不再单调。这意味着，基于传统石英光纤的温度测量必须提前标定，且只能测相对变化。因此研究人员将目光转向了气体。

与固体不同，纯气体没有冻结应力、成分单一，其声速与温度之间的关系可以直接由热力学定律精确描述。当激光在充气的空芯光纤中传播时，布里渊散射产生的频移只取决于气体的声速，而声速本身就是温度的函数。这使得温度可以直接从物理定律中算出来，不再需要任何经验标定。

一根空芯光纤，装下一支气体温度计

实验中，研究人员将氩气、氦气、氩气等气体注入空芯光纤，让光与气体在光纤中长距离相互作用，从而获得可靠的布里渊信号。不同气体，各有所长。氩气适合室温至中低温区间，信号强；氦气在约77 K（液氮温区）表现优异；氩气则可将测温范围推进至接近4 K的深低温区域。

尤为重要的是，气体布里渊测温在低温下灵敏度反而显著提升，而传统石英光纤传感器在约80 K

附近几乎失明。

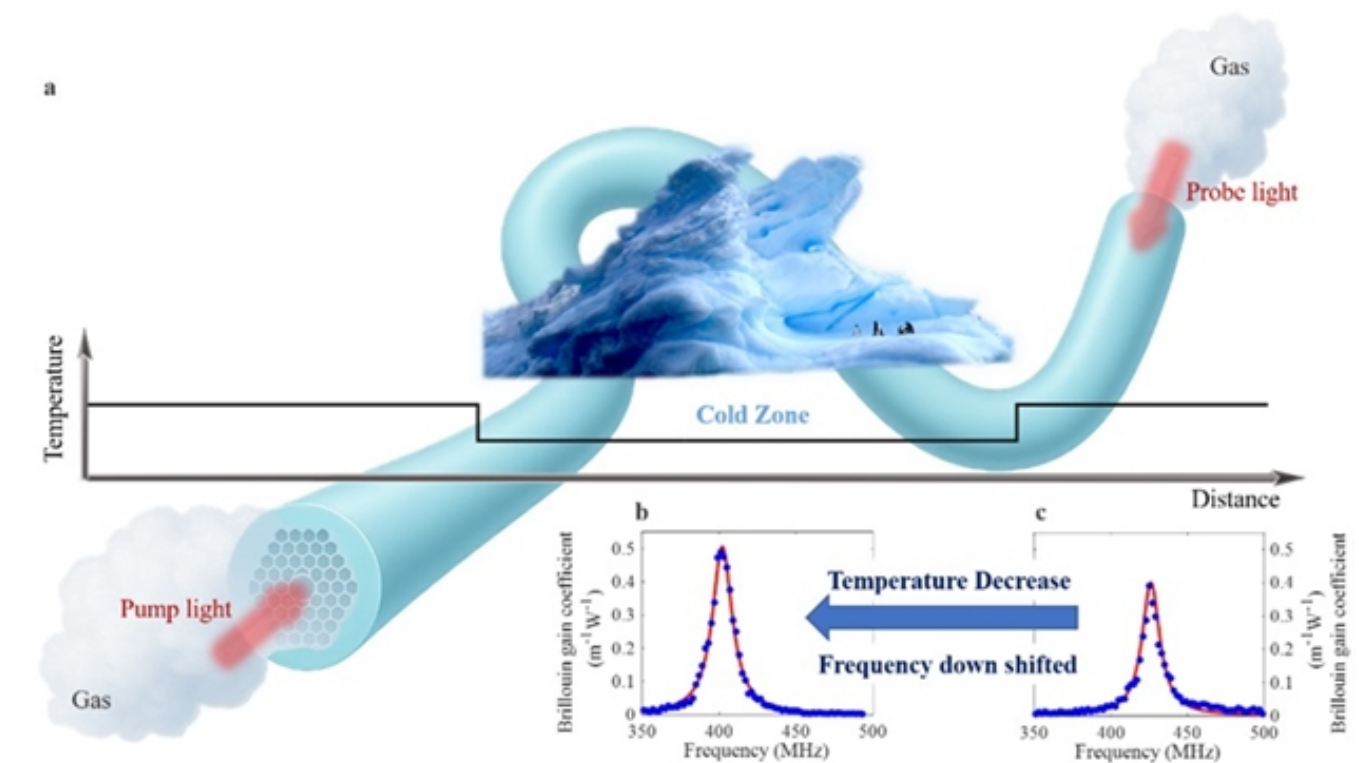


图1：基于空心光纤的气体布里渊测温示例图。(a)相向传播的泵浦光束和探测光束在充气光纤芯中通过受激布里渊散射产生声波。局部低温处的布里渊光谱向低频移动。图中展示了30 bar氩气在(b) 0 °C和(c) 23.5 °C时的光谱变化。坐标轴：光频差（横轴），布里渊增益（纵轴）

研究团队进一步展示了分布式测温能力。在一根约18.5米长、充入气体的空芯光纤中，研究者们成功重构了沿光纤方向的温度分布，首次实现了在极低温度下（~77 K）的高精度（低温区测温不确定度~0.05 K），高分辨率（~45厘米）温度测量，全过程无需任何经验标定。证明了气体布里渊散射可以被用来测量整条线上每一点的绝对温度。

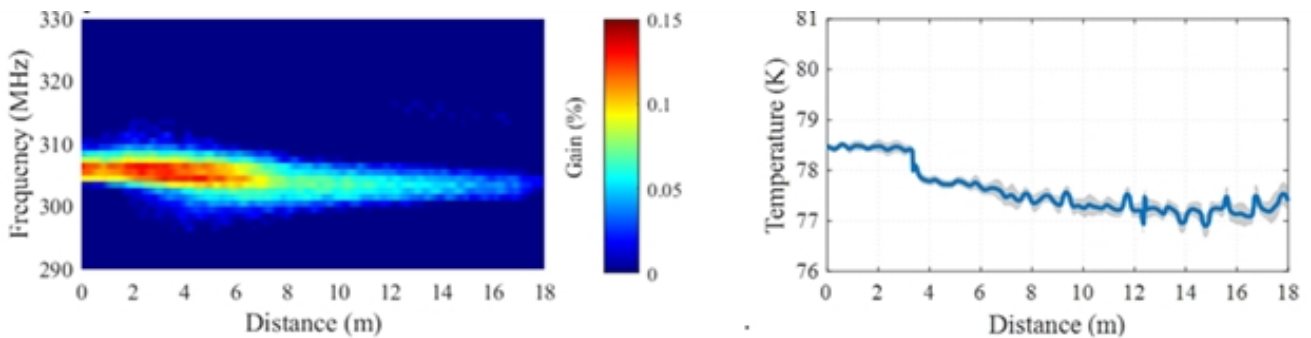


图2. 基于受激布里渊散射过程，使用充氩气（27 bar，~77 K）的空芯光纤进行分布式测温。（左图）布里渊增益谱。（右图）温度分布图（分辨率75厘米）。在光纤起始端附近可见一端3米长的高温区

前景展望：不止于光纤，真正零接触的温度测量

研究人员指出，该方法并不局限于光纤结构。由于布里渊散射本身可以在自由空间中发生，这一原理未来有望拓展为完全非接触式的光学温度计，特别适用于超导与量子器件，极低温物理实验，空间探测与航天器热控，以及其他对热扰动极度敏感的精密系统。值得注意的是，该非接触式测温过程引入的热量极低，经计算为纳瓦（nW）量级，远低于多数现有技术。

结语

从需要标定到源于物理定律，从相对测量到绝对温标，这项研究为温度测量提供了一种全新的、可溯源的物理路径。

正如研究团队所言，气体热力学的可预测性，使布里渊散射成为构建新一代绝对温度传感器的理想基础。（来源：中国光学微信公众号）

相关论文信息：<https://doi.org/10.1038/s41377-025-02168-3>

作者：Luc Thévenaz 来源：《光：科学与应用》

更多 科学进展 请访问 <https://www.iikx.com/news/progress/>

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，[爱科学iikx.com](https://www.iikx.com)转发