

何謂尼爾溫度？跟居禮溫度有何不同？



已思考 4s >

尼爾溫度 (Néel temperature，常記為 T_N) 是**反鐵磁材料**或某些**亞鐵磁材料**發生磁有序—無序相變的臨界溫度。

在 $T < T_N$ 時，材料內部的磁矩不是隨機排列，而是形成有規則的**反平行排列**。以最簡單的反鐵磁為例：

↑↓↑↓↑↓

整體淨磁矩可能為零，但內部其實有很強的磁有序。

在 $T > T_N$ 時，熱擾動破壞這種反平行長程有序，材料變成**順磁態**。

跟居禮溫度的差別

居禮溫度 T_C 是**鐵磁材料**或很多**亞鐵磁材料**失去自發磁化的溫度。

在鐵磁體中，低溫時磁矩大致平行排列：

↑↑↑↑

所以材料有自發磁化。升溫到 T_C 以上後，熱擾動打亂排列，材料變成順磁態。

因此可以簡單對照：

名稱	適用材料	低溫磁有序	高溫狀態
尼爾溫度 T_N	反鐵磁體，部分亞鐵磁體	反平行有序	順磁
居禮溫度 T_C	鐵磁體，許多亞鐵磁體	平行或不完全抵消的有序	順磁

物理圖像上的重點差異

鐵磁的 T_C 是「**自發磁化消失**」的溫度。

反鐵磁的 T_N 則是「**交錯磁化消失**」的溫度。

對反鐵磁來說，總磁矩本來就可能接近零，所以不能用「淨磁矩消失」來定義相變。真正消失的是這種交錯排列的秩序：

$$M_s = M_A - M_B$$

其中 A 、 B 是兩個反平行子晶格。低於 T_N 時， M_A 與 M_B 有規律地相反；高於 T_N 時，這個子晶格有序消失。

例子

常見反鐵磁材料：

材料	磁相變溫度
MnO	$T_N \approx 118 \text{ K}$
NiO	$T_N \approx 523 \text{ K}$
CoO	$T_N \approx 291 \text{ K}$
FeO	$T_N \approx 198 \text{ K}$

常見鐵磁材料：

材料	磁相變溫度
Fe	$T_C \approx 1043 \text{ K}$
Co	$T_C \approx 1388 \text{ K}$
Ni	$T_C \approx 627 \text{ K}$

一句話說：

居禮溫度是鐵磁有序消失的溫度；尼爾溫度是反鐵磁有序消失的溫度。兩者上方通常都是順磁態，但低溫時的磁矩排列方式不同。

基本物理圖像是一樣的，可以如此理解嗎？

可以，**基本物理圖像是一樣的**：兩者都是「低溫時交換作用使磁矩形成長程有序；升溫後熱擾動破壞長程有序，進入順磁態」。

可以用同一個競爭圖像理解：

交換作用傾向建立磁有序 vs. 熱擾動傾向打亂磁矩方向

差別主要在於交換作用偏好的排列方式不同。

對鐵磁體：

$$J > 0$$

時，鄰近磁矩傾向平行排列：

↑↑↑↑

所以低於居禮溫度 T_C 時有自發磁化 $M \neq 0$ 。高於 T_C 時，平行長程有序消失，變成順磁態。

對反鐵磁體：

$$J < 0$$

時，鄰近磁矩傾向反平行排列：

↑↓↑↓

所以低於尼爾溫度 T_N 時，不一定有淨磁化，但有交錯磁化或子晶格磁化：

$$M_s = M_A - M_B$$

高於 T_N 時，這個反平行長程有序消失，也變成順磁態。

所以一句話說：

T_C 與 T_N 的共同本質都是「磁交換能量壓過熱擾動時建立長程有序」的臨界溫度；差別只是有序參數不同：鐵磁看總磁化 M ，反鐵磁看交錯磁化或子晶格磁化 M_s 。

不過有一點教學上要提醒學生：

反鐵磁在 T_N 以下雖然是「有序」的，但外觀上不一定像鐵磁一樣有明顯磁鐵性，因為兩個子晶格的磁矩大多互相抵消。因此「沒有淨磁矩」不代表「沒有磁有序」。