

# 各种磁性材料介绍

2025\_nature\_MAGNDATA

当然！根据您提供的论文，以下是 AFM, FM, FIM, PT AFM, Altermagnet, UT AFM 的定义和介绍：

## 1. FM (Ferromagnet, 铁磁体)

- **定义：**论文中提到，对于 **collinear FM materials (共线铁磁材料)**，非平凡的自旋空间群 (non-trivial SSG) GNSS 由  $\text{GNSS} = \{\mathbf{E} | \mathbf{G}\}$  给出，其中  $\mathbf{G}$  是空间群（总共有 230 种）。这些 SSG 也足以描述 **collinear ferrimagnet (共线亚铁磁体)** 的对称性，后者包含多种自旋亚晶格，但它们之间没有任何对称性连接。
- **简单理解：**铁磁体通常指具有自发磁化的材料，即在没有外磁场的情况下，内部也存在磁矩。在论文的上下文中，共线铁磁体指的是自旋排列在同一方向的铁磁性材料。

## 2. FIM (Ferrimagnet, 亚铁磁体)

- **定义：**论文指出，**collinear ferrimagnet (共线亚铁磁体)** 包含多种自旋亚晶格，但这些亚晶格之间没有对称性连接。虽然如此，共线亚铁磁体的对称性仍然可以用与共线铁磁体相同的非平凡自旋空间群  $\text{GNSS} = \{\mathbf{E} | \mathbf{G}\}$  来描述。
- **简单理解：**亚铁磁体也具有自发磁化，但与铁磁体不同的是，亚铁磁体内部存在两个或多个磁性亚晶格，它们的磁矩方向相反，但大小不相等，导致整体仍然表现出净磁矩。论文中强调，在对称性描述方面，共线亚铁磁体与共线铁磁体在一定程度上是相似的。

## 3. AFM (Antiferromagnet, 反铁磁体)

- **定义：**论文采用 Louis Néel 的定义，**AFM (Antiferromagnet, 反铁磁体)** 指的是一种磁有序状态，其净磁矩为零，但内部存在磁性亚晶格，这些亚晶格具有相反的自旋方向并且在晶体学上是等价的。对于具有两个反向自旋亚晶格的共线反铁磁体，GNSS 由  $\text{GNSS} = \{\mathbf{E} | \mathbf{G}_\uparrow\} + \{\mathbf{U}_1(\pi) | \mathbf{A}\mathbf{G}_\downarrow\}$  给出。其中  $\mathbf{G}_\uparrow$  是亚晶格空间群， $\mathbf{G}$  是磁性晶胞的空间群， $\mathbf{A}$  是连接不同磁性亚晶格的空间操作（见论文第一页插图）。
- **简单理解：**反铁磁体内部也存在磁有序，但相邻原子或亚晶格的磁矩方向相反，相互抵消，导致宏观上不显示磁性。论文特别强调了 **共线反铁磁体**，即自旋方向在一条直线上排列的反铁磁材料。

## 4. PT AFM (PT-symmetric Antiferromagnet, PT 对称反铁磁体)

- **定义 (推断)：**论文中提到 "conventional PT-symmetric AFMs (传统的 PT 对称反铁磁体)"，并将它们归类为 **Type II SSGs (II 型自旋空间群)**，其空间操作  $\mathbf{A} = \mathbf{P}$  ( $\mathbf{P}$  代表空间反演)。结合上下文，**PT AFM** 指的是具有空间反演对称性 ( $\mathbf{P}$ ) 的反铁磁体，并且由于时间反演对称性 ( $\mathbf{T}$ ) 和空间反演对称性的结合 (PT 对称性)，它们的能带具有二重自旋简并性。
- **简单理解：**PT AFM 是反铁磁体的一种，其特征在于同时具有空间反演对称性和时间反演对称性。这种对称性组合对材料的能带结构和物理性质有重要影响，例如能带的二重简并。

## 5. Altermagnet (交替磁体)

- **定义：**论文中将 **Altermagnet (交替磁体)** 描述为 "recently emerged altermagnets (最近出现的交替磁体)"，与 AFM 诱导的自旋分裂 (AFM-induced spin splitting) 相关联，并被归类为 **Type III SSGs (III 型自旋空间群)**，其空间操作  $\mathbf{A} = \mathbf{C}, \text{PCn}$  ( $\mathbf{C}$  代表空间旋转， $\text{PCn}$  代表空间旋转反演)。交替磁体显示出反铁磁性秩序，但同时具有类似铁磁体的自旋分裂特性。
- **简单理解：**交替磁体是一种新型的磁性材料，它既具有反铁磁体的零净磁矩特性，又表现出类似铁磁体的自旋分裂现象。这种独特的性质使得交替磁体在自旋电子学领域具有潜在的应用价值。论文中提到，Type III SSGs 自然地将传统的 PT 对称反铁磁体 (Type II SSGs) 与交替磁体区分开来。

6. UT AFM (UT-symmetric Antiferromagnet, UT 对称反铁磁体)

- **定义 (推断):** 论文将 **UT AFM** 归类为 **Type IV SSGs (IV 型自旋空间群)**，其空间操作  $A = \tau$  ( $\tau$  代表分数晶格平移)。结合上下文，**UT AFM** 指的是在分数晶格平移操作和自旋空间对称性结合下具有特定对称性的反铁磁体。Type IV SSGs 的能带结构也表现出双重简并性，类似于 Type II SSGs，但拓扑性质可能有所不同。
- **简单理解:** UT AFM 是另一种类型的反铁磁体，其特征在于分数晶格平移对称性与自旋空间对称性的结合。这种类型的反铁磁体也具有独特的能带结构和物理性质，例如论文中提到的 charge-4 (C-4) octuple magnons (电荷为 4 的八重马格子)。

总结表格:

术语	英文全称	磁性特征	关键 SSG 类型	空间操作 (A)
FM	Ferromagnet	自发磁化，自旋同向排列	Type I	E
FIM	Ferrimagnet	自发磁化，多亚晶格反向磁矩不等	Type I	E
AFM	Antiferromagnet	净磁矩为零，亚晶格反向磁矩相等	Type II, III, IV	P, C/PCn, $\tau$
PT AFM	PT-symmetric Antiferromagnet	反铁磁性，具有 PT 对称性，能带二重简并	Type II	P
Altermagnet	Altermagnet	反铁磁性，具有 AFM 诱导的自旋分裂，类似铁磁体	Type III	C/PCn
UT AFM	UT-symmetric Antiferromagnet	反铁磁性，具有 UT 对称性 ( $U(\pi)$ )		$\tau$ )，能带二重简并，但拓扑性质可能不同

希望这些解释能够帮助您理解论文中提到的这些磁性材料类型。如果您有任何其他问题，请随时提出！