

- Acta Physica Sinica, 2019, 68(13): 138501
- [14] Rugar D, Budakian R, Mamin H *et al.* Nature, 2002, 430(6997): 329
- [15] Shang Y X, Hong F, Dai J H *et al.* Chinese Physics Letters, 2019, 36(8): 086201
- [16] Sakar B, Liu Y, Sievers S *et al.* Physical Review B, 2021, 104(21): 214427
- [17] Cox A, Doelland R R, Dalrymple G B. Science, 1964, 144: 1537
- [18] Chen D X. J. Appl. Phys., 2001, 89(6): 3413
- [19] 林其壬, 赵佑民. 磁路设计原理. 北京: 机械工业出版社, 1987
- [20] 王以真. 实用磁路设计. 北京: 国防工业出版社, 2008
- [21] Mallinson J. J. Appl. Phys., 1966, 37(6): 2514
- [22] Fiorillo F. Measurement and Characterization of Magnetic Materials. Elsevier, 2004
- [23] 叶朝辉. 波谱学杂志, 1984, 1(4): 415
- [24] Waldemar N. Introduction to Quantum Metrology-The Revised SI System and Quantum Standards. Springer, 2019
- [25] Josephson B. Physics Letters, 1962, 1(7): 251
- [26] Josephson B. Reviews of Modern Physics, 1974, 46(2): 251
- [27] Klitzing K, Dorda G, Pepper M. Phys. Rev. Lett., 1980, 45(6): 494
- [28] Scherer H, Schumacher H. Annalen der Physik, 2019, 531(5): 1800371
- [29] Deaver B, Fairbank W. Phys. Rev. Lett., 1961, 7(2): 43
- [30] Zeeman P. The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science, 1897, 43(262): 226
- [31] Case W, Harrington R. Journal of Research of The National Bureau of Standards Section C-Engineering and Instrumentation, 1966, 70(4): 255
- [32] Riminucci A, Uhlarz M, De S *et al.* Journal of Applied Physics, 2017, 121(9): 094701
- [33] Fiorillo F. Metrologia, 2010, 47(2): S114
- [34] Application Note 1500-015, Accuracy of Reported Moment: Sample Shape Effects. Quantum Design, 2010
- [35] Application Note 1500-020, Accuracy of Reported Sample Moment: Using the Sample Geometry Simulator. Quantum Design, 2014
- [36] Zhang Z, Xu Z, He J *et al.* IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2022, 71: 1006009



Q: 在三维晶格中, 为什么存在 3 支声学波, $(3n-3)$ 支光学波?

A: 从简单的一维双原子链来看, 每个原胞中有两个原子, 每个原子有一个自由度, 原胞内共有两个自由度。所以其色散关系分成两支: 一支为声学支, 两个原子运动相位相同; 另一只为光学支, 两个原子运动相位相反。

推广到三维晶格内, 考虑一个原胞中有 n 个原子, 由于每个原子有 3 个自由度, 则一个原胞内共有 $3n$ 个自由度。声学支代表同一原胞中各基元整体一致的质心运动, 对于三维情况, 格波沿着某一个方向传播时, 色散关系中会含有三种方向的声学波, 其中与格波方向相同的一个为纵声学支(LA), 垂直于格波方向的两个为横声学支(TA)。除了声学支外, 剩下的 $3n-3$ 个自由度全部归属于光学支。

Q: 在原子中, 当一束光使电子发生了能级跃迁, 原先的光子去哪儿了, 消失了吗?

A: 是的, 就是消失了。光子的能量被电子吸收, 而

光子没有静止质量, 因此只看这个过程的话, 光子数就是不守恒的。不过通常电子在激发态不稳定, 还会再跃迁回基态, 此时会把吸收的光子能量再释放出来。需要注意的是, 目前的物理理论认为, 电子没有内部结构, 不能认为电子吸收了一个光子后内部就多了一个光子, 而是电子吸收了光子的能量, 进而使得自己所处的状态发生了变化。

Q: 在化学上形成共价键的两个电子在实际运动中是绕哪个原子核旋转?

A: 在描述原子核外电子的分布时, 通常用电子密度分布这个概念, 而不是直接描述单个电子的位置。这是由于电子在原子核外不按固定轨迹运动, 导致我们无法准确地描述单个电子的位置, 只能计算它出现在某处的概率, 这也是为什么常常将电子称为电子云。

共价键本质上是一种原子间的静电作用。几个原子通过共用电子对结合起来, 电子对的形成会降低体系能量, 在其中起“胶水”的作用, 让整个分子得以稳定存在。在形成共价键后, 原子核之间的电子密度会明显增大。

可见, 即使形成共价键后, 我们也无法准确描述电子的位置, 电子还是在不同原子核外不按固定轨迹运动, 只是两个原子核之间出现电子的概率会有增加罢了。