

脉冲星由夸克集团物质构成？

徐仁新 (Renxin Xu)
 北京大学物理学院天文学系
 中国 北京 100871
 Email: r.x.xu@pku.edu.cn

1 引言：夸克与脉冲星结构

夸克是粒子物理标准模型中一类粒子，与轻子一起作为基本费米子（其间通过交换规范玻色子而相互作用）。粒子物理标准模型成功地帮助我们理解人们熟悉的物质（暗物质、暗能量除外），其框架内的所有62种基本粒子均得了到实验支持（与质量起源相关的Higgs粒子最近亦为LHC所检验）。脉冲星是超新星爆发后残存的致密天体，其强大的引力将普通物质紧密压缩（compressed baryonic matter）。显然，脉冲星的组成及物态依赖于压缩重子物质内夸克之间的相互作用行为。

有两种思潮左右着人们认识脉冲星内部结构。一种认为像中子、质子的强子仍然未被“压碎”；即通常中子星模型。另一种认为强子内的夸克都被“压出来”而形成自由态；即夸克星模型。而我们提出的“夸克集团”态则介于该两极端之间。

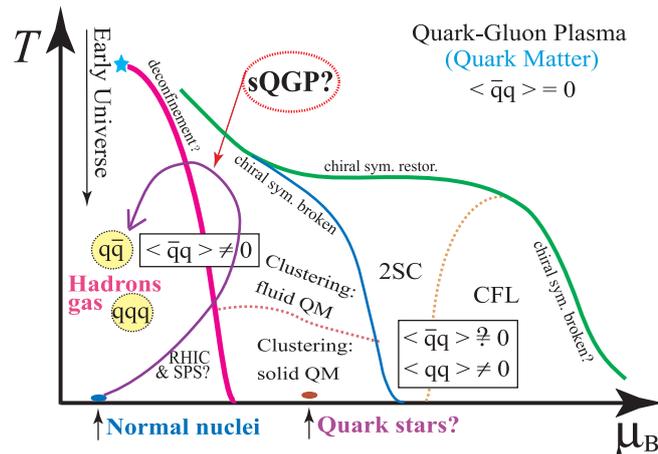


Figure 1: QCD相图；纵坐标为温度，横坐标为重子化学势或重子数密度。在低温和低密时，夸克囚禁在强子内；而足够高温或高密时因渐近自由而形成游离夸克，为夸克物质或夸克胶子等离子体态。在几倍核物质密度下，即现实的致密星内部，夸克之间的耦合可能还很强，从而形成夸克集团。低温夸克集团物质将处于固态。

2 存在夸克集团物质吗？

夸克之间相互作用由强作用主导，描述该作用的基本理论是量子色动力学（QCD）。尽管渐近自由使得微扰QCD成功描述若干高能现象，但低能QCD一直挑战粒子物理学者，其根本解决与“世纪奖金问题”之一（Yang-Mills Theory）相关。一些非微扰QCD模型计算表明几倍核物质密度时强耦合参数 α_s 较大（可能 $1 < \alpha_s < 2$ ），然而这并不意味着夸克一定囚禁在强子内以便夸克自由度可以忽略（原因主要有二：1，奇异夸克此时容易激发，2，QCD原则上允许构成多夸克态）。鉴于此，我们认为在致密星内部可能会形成u、d、s三味的夸克集团（图1），集团内部的夸克数目可以为6、12、18等。夸克集团间还存在着剩余的色相互作用，使得它们可看作经典粒子；当温度足够低于集团间作用能时，将形成固体夸克集团物质。

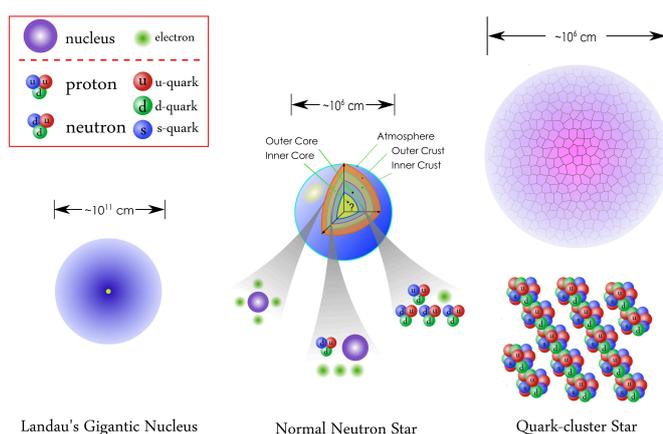


Figure 2: 80年前Landau推测的“中子”星（左）逐渐发展成当今流行的通常中子星（中）；而夸克集团星有别于前两者，是夸克集团的凝聚体（右）。

夸克集团星（图2）物态硬、整体刚性高、表面强自束缚，这些都易于被超新星、伽玛暴、各类脉冲星等甚至宇宙线的观测检验。至今实验未能原则上排除脉冲星类天体为夸克集团星，其与通常中子星间的竞争有望一二十年内被观测裁定。

3 结论

简要评述了脉冲星的结构模型，认为脉冲星其实就是由夸克集团所构成的“大铁球”（只需将铁球晶格点阵上的离子换成夸克集团，并代以色作用主导即可）。

作者致力于发展夸克集团星模型及其观测检验；更多的研究进展请浏览个人主页：<http://www.phy.pku.edu.cn/~xurenxin/index.html>。欢迎您的加盟和参与！