

宇宙創成物理学概論 第 10 回 レポート

C3SM2016 木村佑斗

2023 年 8 月 1 日

このレポートでは「Q7. Are there new state of matter at ultrahigh temperature and densities?」の「高密度」に焦点を当てて議論する。

1 中性子星の内部コア

地球上で最も高密度なものは原子核である。原子核は核力によって陽子・中性子が集まることで構成されている。しかし、核力には硬い斥力芯があるので、通常原子核の密度を超えることはできない。宇宙に目を向ける。現在のこの宇宙に存在するもので最も密度の高い物体は(ブラックホールを除けば)中性子星である。その中心部(内部コア)の密度は、原子核密度の5~7倍である[1]。しかし、実際に内部コアがどのような物質の状態なのかは解明されていない。候補は(1)ハイペロン相、(2) π^- 中間子凝縮相、(3) K^- 中間子凝縮相、(4)非閉じ込めクォーク物質相などがある[2]。もちろんこれ以外にもあるだろうが、ここで言いたいのは、通常の原子核だけでは作ることができないような高密度状態が宇宙には存在するということだ。

2 \bar{K} 中間子束縛状態

私が参加している E80(E15) 実験のグループは \bar{K} 中間子束縛状態の研究をしている。具体的には、 K^- 中間子を重水素や ^3He などに当てると、 \bar{K} が核子と反応して $\Lambda(1405)$ のような中間状態を形成する。その後崩壊して核子や π 中間子を出す。その終状態の invariant mass を調べて中間状態の束縛エネルギーや幅を調べようとしている。また、過去には K^-pp 束縛状態の半径を、光学ポテンシャルを家畜して理論的な計算で評価している論文もある。その中では、 K^-pp 束縛状態における pp 間距離は 1.90fm であり、重水素の pn 間距離 3.90fm よりもかなり小さいことを指摘している[3]。このように、 K 中間子によって原子核の斥力芯を超えることが可能かもしれない。 K 中間子を使うことで、実験室レベルで中性子星の内部ほどの高密度状態を再現できる可能性もある。最も興味深いのはこのような高密度状態では、核子たちが斥力芯を超えて接近してしまうことである。このような状態で核子たちの identity はどうなるのか、そもそも核子という概念はなくなり、クォークの非閉じ込め状態になるのか今後の研究で解明されていくだろう。

3 私の興味

紙面が余ってしまったので、私の個人的な実験してみたいことを書きます(理論的にもできるのかどうかかわからないです。ご了承ください。)。上で述べたような高密度を安定化するには、中性子星のように重力で抑えなければならぬ。このような環境では s クォークを含むコンポーネント(ハイペロン)は実効的に寿命が延びていると考えられるだろう。通常はハイペロンはピコ秒ほどで崩壊して核子だけになってしまう。では、重力で押さえつける以外に、ハイペロンの(実効的な)寿命を伸ばすことはできないのだろうか。私は「量子 zeno 効果」を利用できないかと考えた。実際、不安定系における崩壊現象に対する量子 Zeno 効果も観測されている[4]。

参考文献

- [1] 高密度な中性子物質の硬さの測定に初めて成功 - 中性子星内の状態を実験室で再現 - 理化学研究所 (研究成果 2021) https://www.riken.jp/press/2021/20210511_2/
- [2] 相対論と宇宙の事典 安東正樹・白水徹也 編集幹事 朝倉書店
- [3] T. Yamazaki and Y. Akaishi Phys. Lett. B535 (2002) 70.
- [4] M. C. Fischer, B. Guti' errez-Medina, and M. G. Raizen, Phys. Rev. Lett. 87, 040402 (2001).