



IMT Atlantique
Bretagne-Pays de la Loire
École Mines-Télécom

Calcul de la dérivée de l'entropie par rapport à la température dans la matière quarkyonique

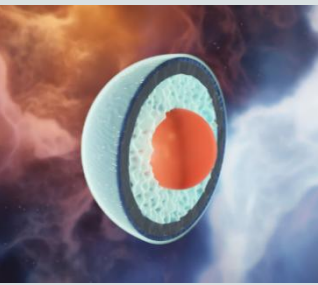
De l'approche théorique au calcul numérique

Etudiant

ALBERT Louis

Encadrante

NAHRGANG Marlene
(Subatech)



Représentation artistique d'une étoile à neutron
Source : Jyrki Hokkanen, CSC – IT Center for Science Ltd., Finlande

Références bibliographiques



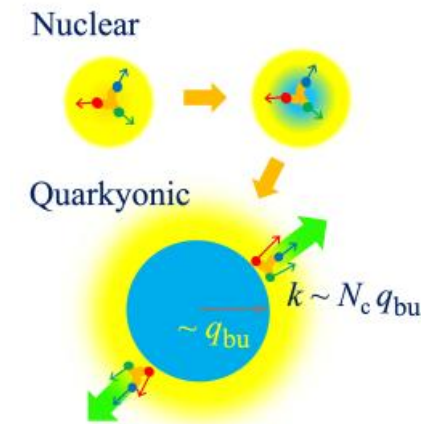
Article sur lequel se base le projet de recherche : *Validity of a finite temperature expansion for dense nuclear matter*



Modèle fondateur du régime quarkyonique : *Momentum Shell in Quarkyonic Matter from Explicit Duality: A Dual Model for Cold, Dense QCD*

Contact

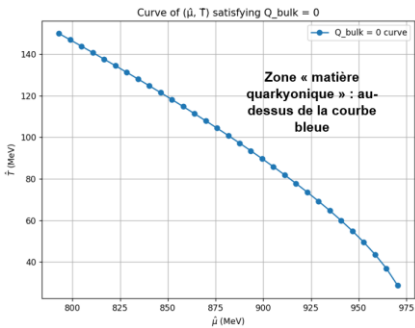
louis.albert@imt-atlantique.net



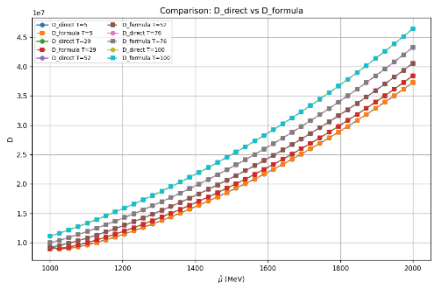
Evolution du régime nucléaire au régime quarkyonique
Source : Momentum Shell in Quarkyonic Matter from Explicit Duality: A Dual Model for Cold, Dense QCD

$$\lim_{V \rightarrow \infty} \frac{1}{V} \sum_i f(\vec{k}_i) \rightarrow \int \frac{d^3k}{(2\pi)^3} f(\vec{k})$$

Passage d'un système discret à un système continue



T en fonction de mu pour mettre en évidence la limite de la matière quarkyonique.
Source : Mon code Python



Tracé du paramètre D (apparaissant dans l'expression finale de $(\frac{\partial S}{\partial T})_{\mu_B}$) en fonction de mu

Introduction : la matière quarkyonique au cœur des étoiles à neutrons

- ▶ Phase dense de la QCD reliant la matière nucléaire et quarks déconfinés. Au cœur des étoiles à neutrons apparaît la matière quarkyonique : le confinement des quarks subsiste mais leur dynamique domine la thermodynamique.
- ▶ Objectif du projet : reproduire numériquement la dérivée d'entropie $(\frac{\partial S}{\partial T})_{\mu_B}$ issue d'un article de référence “*Validity of a finite temperature expansion for dense nuclear matter*”.
- ▶ Modèle construit à partir d'articles récents (Fujimoto, Kojo, McLerran).
- ▶ Approche en deux étapes : dérivation analytique puis calcul numérique.

Approche analytique

- ▶ Point de départ : modèle de Fermi relativiste.
- ▶ Passage des niveaux discrets aux états continus.
- ▶ Écriture des grandeurs thermodynamiques : énergie libre puis l'entropie .
- ▶ Expression de $S = S(\hat{T}, \hat{\mu}, k_{bulk})$.
- ▶ Dérivation symbolique de l'entropie.
- ▶ Obtention d'une équation complexe nécessitant une résolution numérique.

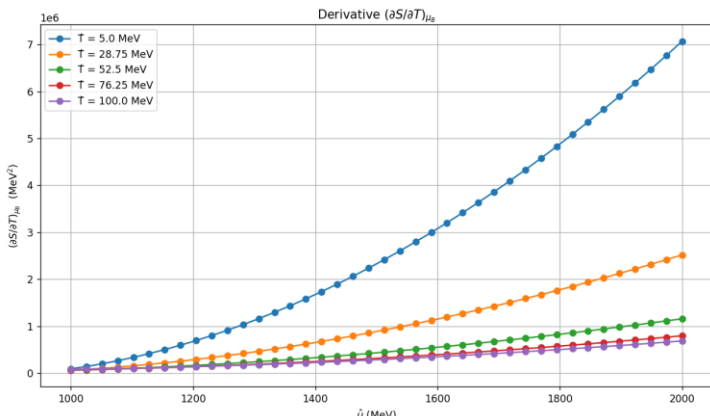
$$\left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_{\mu_B} = \frac{\partial(S, \mu_B)}{\partial(T, \mu_B)} = \frac{\left(\frac{\partial S}{\partial \hat{T}}\right)_{\hat{\mu}} \left(\frac{\partial \mu_B}{\partial \hat{\mu}}\right)_{\hat{T}} - \left(\frac{\partial S}{\partial \hat{\mu}}\right)_{\hat{T}} \left(\frac{\partial \mu_B}{\partial \hat{T}}\right)_{\hat{\mu}}}{\left(\frac{\partial T}{\partial \hat{T}}\right)_{\hat{\mu}} \left(\frac{\partial \mu_B}{\partial \hat{\mu}}\right)_{\hat{T}} - \left(\frac{\partial T}{\partial \hat{\mu}}\right)_{\hat{T}} \left(\frac{\partial \mu_B}{\partial \hat{T}}\right)_{\hat{\mu}}}$$

Approche numérique

- ▶ Traduction des équations analytiques en fonctions Python.
- ▶ Utilisation de NumPy/SciPy/Matplotlib pour calculer et tracer $(\frac{\partial S}{\partial T})_{\mu_B}$ pour différents couples $(\hat{T}, \hat{\mu})$.
- ▶ Traçage des courbes pour comparer avec le modèle de la littérature.

Résultats et perspectives

- ▶ La forme générale de la dérivée correspond à celle de l'article de référence.
- ▶ Quelques écarts subsistent dans certaines zones paramétriques, indiquant la nécessité d'un ajustement plus fin du calcul.
- ▶ Estimer la dérivée seconde de l'entropie par rapport à la température.
- ▶ Trouver une expression mathématique simplifiée de $(\frac{\partial S}{\partial T})_{\mu_B}$.



Tracé final de $(\frac{\partial S}{\partial T})_{\mu_B}$ en fonction de mu