

مقاله نامه بیست و دومین کنفرانس بهاره فیزیک (۳۱-۳۰ اردیبهشت ۱۳۹۴)

بررسی خواص ترمودینامیکی پلاسمای کوآرک-گلوئون

در آستانه هسته‌سازی در جهان اولیه

محمد قناعتیان^۱، ایمان بهزادی^۲

^۱ دانشگاه پیام نور مرکز جهرم، گروه فیزیک

چکیده

در این مقاله، با استفاده از مدل شبه-کوآرکی در یک محیط پلاسمای کوآرک-گلوئونی و ارائه نگاهی جدید به هسته به بررسی خواص ترمودینامیکی این پلاسمای کوآرک-گلوئونی در آستانه هسته‌سازی در جهان اولیه می‌پردازیم. بدین منظور با محاسبه انرژی کشش سطحی، انرژی کولنی و انرژی بوزونی این محیط پلاسمای، می‌توان دما و آنتروپی محیط را در آستانه تشکیل هسته‌ها بدست آورد.

مقدمه

در مدل پلاسمای کوآرک-گلوئونی ارائه شده [۱-۵] دیدگاه جدیدی برای هسته ارائه شده است. در این دیدگاه، هسته شامل پلاسمایی سوپ مانند از کوآرکها و گلوئونها می‌باشد که می‌توان خواص هسته‌ها و شرایط تشکیل هسته‌ها را با توجه به کوآرکهای محتوایی به جای نوکلئونها بدست آورد. اگر به پلاسمایی که بوسیله لیزرهای پر قدرت تولید شده نگاه کنیم، درون آن شامل الکترون‌ها و یون‌هاست که با هم دمای مساوی دارند. این ذرات باردار می‌خواهند محیط پلاسمای را ترک کرده و به سوی خلا فرار کنند. اما الکترون‌هایی که سبکتر از یونها هستند و سرعت بالاتری نسبت به یونها دارند، زودتر از یونها پلاسمای را ترک می‌کنند. این عامل باعث بوجود آمدن یک اختلاف پتانسیل جزئی در سطح پلاسمای که به طور جزئی مثبت شده، می‌شود. این پتانسیل در سطح پلاسمای با ضخامت طول دبی، یک میدان الکتریکی ایجاد کرده که الکترون‌های در حال فرار را به محیط پلاسمای برمی‌گرداند. انرژی حاصل از این میدان یک کشش سطحی را به ما می‌دهد. مشابه این کشش سطحی در فلزات هم وجود دارد [۶-۱۰]. در مدل شبه-کوآرکی ارائه شده در این مقاله کشش سطحی را به محیطی که در آن هسته‌سازی انجام می‌شود (پلاسمای کوآرک-گلوئونی)، تعمیم داده‌ایم. به منظور تشکیل هسته از پلاسمای کوآرک-گلوئونی انرژی کشش سطحی، انرژی کولنی و انرژی بوزونی را بعنوان انرژیهای تاثیر گذار بصورت زیر تعریف می‌کنیم:

$$E_S = 0.27 \frac{[3A(4\pi)^{1/2}]^{2/3} 3^{1/2} E_F^{3/2}}{\pi^{1/2} 2^{5/2} n^{1/6} e} \quad (1)$$

$$E_{BE} = \left(\frac{8}{15}\right) (\pi^5) (KT)^4 (h)^{-3} (V) \quad (2)$$

مقاله نامه بیست و دومین کنفرانس بهاره فیزیک (۳۱-۳۰ اردیبهشت ۱۳۹۴)

$$E_C = \frac{4\pi R^5 \rho_0^2}{15\epsilon_0} \quad (۳)$$

که در رابطه (۱) عبارت E_F انرژی فرمی، n چگالی نوکلئونی و A عدد جرمی است. در رابطه (۲)، T دما و V حجم پلاسما و در رابطه (۳)، R شعاع پلاسما می باشد.

خواص ترمودینامیکی

زمانی که هسته در حال شکل گیری است باید کشش سطحی E_S به عنوان نیروی جاذبه و نیروی حاصل از انرژی کولونی E_C و بوزون ها E_{BE} به صورت نیروی دافعه در تعادل باشند که با رعایت این شرط می توان دما را در لحظه هسته سازی محاسبه نمود. نمونه ای از محاسبات در جدول (۱) گردآوری شده است. در محاسبات خود کره ای را در نظر گرفته ایم که شامل ذرات هسته ساز است و این کره را در آستانه شکل گیری یک هسته داریم. فرمیون هایی که برای هسته سازی در نظر گرفته ایم در آستانه تشکیل یک هسته، درون این کره جمع می شوند.

جدول ۱: نمونه محاسبات برای بدست آوردن شرایط دمایی لازم در لحظه هسته سازی با استفاده از فرمول های ارائه شده.

هسته های انتخابی	عدد اتمی Z	عدد جرمی A	انرژی سطحی E_S(MeV)	انرژی بوزون E_{BE}(MeV)	چگالی n(cm⁻³)	شعاع کره ذرات هسته ساز R(fm)	دمای تشکیل T(K)
H	1	2	0.13	0.10	1.83E+34	29.69	2.12E+10
H	1	3	0.27	0.24	3.12E+34	28.43	2.69E+10
He	2	3	0.67	0.49	9.34E+34	19.72	4.25E+10
He	2	4	0.67	0.53	7.30E+34	23.56	3.77E+10
Li	3	6	1.73	1.36	1.64E+35	20.58	5.29E+10
Co	27	59	320.22	257.64	1.39E+37	10.06	3.36E+11
Ni	28	58	328.38	259.72	1.45E+37	9.86	3.42E+11
Ni	28	60	340.52	272.24	1.47E+37	9.91	3.45E+11
Cu	29	63	375.61	301.63	1.59E+37	9.81	3.56E+11
U	92	235	7169.37	6066.88	1.93E+38	6.63	1.01E+12
U	92	238	7348.35	6243.03	1.97E+38	6.61	1.02E+12
Pu	94	240	7531.78	6372.65	2.01E+38	6.58	1.03E+12
Cm	96	248	8093.21	6872.86	2.14E+38	6.52	1.06E+12

با محاسبه شعاع لازم برای هسته سازی، می توان آنتروپی محیط پلاسما کوآرک-گلوئونی را در آستانه هسته سازی از فرمول هاوکینگ-بکنشتین بدست آورد:

$$S = \frac{\pi AKC^3}{2hG} \quad (۴)$$

مقاله نامه بیست و دومین کنفرانس بهاره فیزیک (۳۱-۳۰ اردیبهشت ۱۳۹۴)

که A مساحت کره هسته‌ساز، c سرعت نور، K ثابت بولتزمن، G ثابت نیوتن و h ثابت پلانک می‌باشد. با در نظر گرفتن شکل کروی برای تشکیل هسته‌ها، میانگین عددی آنتروپی لازم برای تشکیل هسته‌ها در آستانه هسته‌سازی عبارتست از: $S_{ave} = 5.81 \times 10^{19} (J/Kmol)$.

نتیجه گیری

با توجه به نتایج بدست آمده در این روش شبه-کوآرکی در محیط پلاسمای کوآرک-گلوئونی [۱-۵] در این مقاله به بررسی خواص ترمودینامیکی و محاسبه دما و آنتروپی در لحظه تشکیل هسته‌ها پرداختیم. اگر شرایط ترمودینامیکی مذکور فراهم شود که این شرایط می‌تواند یا درون ابرنواختر باشد یا درون ستاره‌های سنگین یا چند ثانیه اول مه‌بانگ یا درون ستاره‌های نوترونی و سیاهچاله‌ها و یا اینکه درون رآکتور گداخت و بطور کلی هر جا این شرایط دمایی و آنتروپی باشد، می‌توان گفت که از واکنش‌های انرژی‌زا یا انرژی‌خواه، تمام هسته‌های موجود پایدار و غیر پایدار تولید می‌شوند.

مرجع‌ها

- [۱] N. Ghahramany, H. Hora, G. H. Miley, M. Ghanaatian, M. Hooshmand, K. Philberth, F. Osman, *PHYSICS ESSAYS* **21**, 3 (2008) 200.
- [۲] N. Ghahramany, M. Ghanaatian, M. Hooshmand, *Iranian Physical Journal*, **1-2** (2007) 35.
- [۳] N. Ghahramany, M. Ghanaatian, H. Hora, *Iranian Physical Journal*, **1-3** (2007) 21.
- [۴] N. Ghahramany, S. Gharaati and M. Ghanaatian, *Physics of Particles and Nuclei Letters*, **8-2** (2011) 97.
- [۵] N. Ghahramany, S. Gharaati, M. Ghanaatian and H. Hora, *Iranian Journal of Science and Technology* **A3** (2011) 201.
- [۶] F. Osman, N. Ghahramany, H. Hora, *Laser Part. Beams* **23** (2005) 461.
- [۷] H. Hora, G. H. Miley, F. Osman, *Astrophys. Space Sci.* **298** (2005) 247.
- [۸] H. Hora, P. Lalousis and S. Eliezer, *Phys. Rev. Letters* **53** (1984) 1650.
- [۹] S. Eliezer and H. Hora, *Physics Reports* **172** (1989) 339.
- [۱۰] H. Hora et al, *On Surface Tension in Plasmas*, IEEE Trans. Plasma Sc. PS-17, 284-289, 1989.