**کد رهگیری ثبت پروپوزال: ۱۰۷۲۳۸۰**

**کد رهگیری ثبت پایان نامه:**

بسم الله الرحمن الرحيم

**کلیه امتیازهای این پایان‌نامه به دانشگاه بوعلی سینا تعلق دارد. در صورت استفاده از تمام یا بخشی از مطالب این پایان‌نامه در مجلات، کنفرانس‌ها و یا سخنرانی‌ها، باید نام دانشگاه بوعلی سینا و استاد راهنمای پایان‌نامه و نام دانشجو با ذکر مأخذ و ضمن کسب مجوز کتبی از دفتر تحصیلات تکمیلی دانشگاه ثبت شود. در غیر این صورت مورد پیگرد قانونی قرار خواهد گرفت. درج آدرس‌های ذیل در کلیه مقالات خارجی و داخلی مستخرج از تمام یا بخشی از مطالب این پایان‌نامه در مجلات، کنفرانس‌ها و یا سخنرانی‌ها الزامی می‌باشد.**

مقالات خارجی

……, **Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.**

مقالات داخلی

**.....، گروه .....، دانشکده .....، دانشگاه بوعلی سینا، همدان.**

دانشکدهٔ علوم پایه
گروه آموزشی فیزیک

**پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته فیزیک گرایش هسته‌ای**

**عنوان:**

# معادله حالت ماده‌ی هسته‌ای در دمای معین

**استاد راهنما:**

**دکتر سعیده زریونی**

**استاد مشاور:**

**دکتر محمد ملک جانی**

**نگارش:**

**مرجان ساعتی زارعی**

**۹ دی ۱۳۹۲**

ماحصل آموخته‌هایم را تقدیم می‌کنم به آنان که مهر آسمانی‌شان آرام‌بخش آلام زمینی‌ام است

به استوارترین تکیه‌گاهم، دستان پرمهر پدرم

به سبزترین نگاه زندگیم، چشمان مادرم

که هرچه آموختم در مکتب عشق شما آموختم و هرچه بکوشم قطره‌ای از دریای بیکران مهربانیتان را سپاس نتوانم بگویم.

امروز، هستی‌ام به امید شماست و فردا کلید باغ بهشتم رضای شما

رآوردی گران سنگ‌تر از این ارزان نداشتم تا به خاک پایتان نثار کنم. باشد که حاصل تلاشم نسیم گونه غبار خستگیتان را

بزداید.

بوسه بر دستان پرمهرتان

شکر شایان نثار ایزد منان که توفیق رارفیق راهم ساخت تا این پایان نامه را به پایان برسانم .

با استنان بیکران از مساعدتهای بی شائبه ی سرکار خانم دکتر زریونی به عنوان استاد راهنما و دکتر محمد ملک جانی استاد مشاور که

همواره نگارنده را مورد لطف و محبت خود قرار داده اند کمال تشکر را دارم .

**دانشگاه بوعلی سینا**

**مشخصات رساله/پایان نامه تحصیلی**

**عنوان:**

**معادله حالت ماده‌ی هسته‌ای در دمای معین**

**نام نویسنده: مرجان ساعتی زارعی**

**نام استاد/اساتید راهنما: دکتر سعیده زریونی**

**نام استاد/اساتیدمشاور:دکتر محمد ملک جانی**

| | | |
|---|---|---|
| **دانشکده: علوم پایه** | **گروه آموزشی: فیزیک** | |
| **رشته تحصیلی: فیزیک** | **گرایش تحصیلی: هسته‌ای** | **مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد** |
| **تاریخ تصویب پروپوزال: ۱۳۹۱/۸/۸** | **تاریخ دفاع: ۱۳۹۲/۱۰/۹** | **تعداد صفحات: ۱۱۲** |

**چکیده:**

**در این پایان‌نامه معادله حالت ماده‌ی هسته‌ای را در دمای معین با استفاده از روش وردشی پایین‌ترین مرتبه قید و به کمک برهم‌کنش $AV_{18}$ به دست آورده‌ایم. این روش مبتنی بر نظریه بسط خوشه‌ای است. نمودار انرژی آزاد را بر حسب چگالی برای دماهای مختلف رسم کرده‌ایم. در هر چگالی معین انرژی آزاد با افزایش دما کاهش می‌یابد. نمودار فشار را نیز بر حسب چگالی برای دماهای مختلف رسم کرده‌ایم. نمودارها گذار فاز مایع -گاز را نشان می‌دهند. نتایج به دست‌آمده با سایر پتانسیل‌ها و روش‌ها سازگاری خوبی را نشان می‌دهد.**

**واژه‌های کلیدی: ماده‌ی هسته‌ای، انرژی آزاد**

**فهرست جداول:**

جدول(۱- ۱) پارامترهای نیروهای مختلف اسکرم .....۱۸

جدول(۴- ۱) مقادیر تراکم‌ناپذیری .....۶۸

**فهرست اشکال**

شکل(۱-۱):نمودارپتانسیل یوکاوا..... ۱۵

شکل(۴-۱): نمودار انرژی ماده‌ی هسته‌ای نامتقارن برای ضرایب مختلف در دمای T=0 .....۶۹

شکل(۴-۲): نمودار انرژی آزاد ماده‌ی هسته‌ای نامتقارن برای ضرایب مختلف در دمای T=0 .....۷۰

شکل(۴-۳): نمودار انرژی آزاد ماده‌ی هسته‌ای نامتقارن برای ضرایب مختلف در دمای T=10 .....۷۱

شکل(۴-۴): نمودار انرژی آزاد ماده‌ی هسته‌ای نامتقارن برای ضرایب مختلف در دمای T=15 .....۷۲

شکل(۴-۵): نمودار انرژی آزاد ماده‌ی هسته‌ای نامتقارن برای ضرایب مختلف در دمای T=20 .....۷۳

شکل(۴-۶):نمودار انرژی آزاد ماده‌ی هسته‌ای متقارن در دماهای مختلف به ازای r=1.....۷٤

شکل(۴-۷): نمودار انرژی آزاد ماده‌ی هسته‌ای نامتقارن در دماهای مختلف به ازای r=0.2 .....۷۵

شکل(۴-۸): نمودار انرژی آزاد ماده‌ی هسته‌ای نامتقارن در دماهای مختلف به ازای r=0.4 .....۷۶

شکل(۴-۹): نمودار انرژی آزاد ماده‌ی هسته‌ای نامتقارن در دماهای مختلف به ازای r=0.6 .....۷۷

شکل(۴-۱۰): نمودار انرژی آزاد ماده‌ی هسته‌ای نامتقارن در دماهای مختلف به ازای r=0.8 .....۷۸

شکل(۴-۱۱):نمودار فشار بر حسب چگالی ماده‌ی هسته‌ای نامتقارن در دماهای مختلف به ازای r=0.2 .....۷۹

شکل(۴-۱۲): نمودار فشار بر حسب چگالی ماده‌ی هسته‌ای نامتقارن در دماهای مختلف به ازای r=0.4 .....۸۰

شکل(۴-۱۳): نمودار فشار بر حسب چگالی ماده‌ی هسته‌ای نامتقارن در دماهای مختلف به ازای r=0.6 .....۸۱

شکل(۴-۱۴): نمودار فشار بر حسب چگالی ماده‌ی هسته‌ای متقارن در دماهای مختلف به ازای r=1 .....۸۲

شکل (۴-۱۵):نمودار فشار بر حسب چگالی ماده‌ی هسته‌ای نامتقارن در دمای T=0 و ضرایب مختلف r.....۸۳

شکل (۴-۱۶):نمودار فشار بر حسب چگالی مادهی هستهای نامتقارن در دمای T=10 و ضرایب مختلفr.....۸٤
شکل (۴-۱۷):نمودار فشار بر حسب چگالی مادهی هستهای نامتقارن در دمایT=15 و ضرایب مختلفr .....۸٥
شکل (۴-۱۸):نمودار فشار بر حسب چگالی مادهی هستهای نامتقارن در دمایT=20 و ضرایب مختلفr .....۸٦
شکل (۴-۱۹):نمودار عملگر همبسگی $f_1$ برای کانال $^1S_0$ در دماهای مختلف به ازایρ=0.2 .....۸۷
شکل (۴-۲۰):نمودار عملگر همبستگی $f_1$ برای کانال$^1P_1$ در دماهای مختلف به ازایρ=0.1 .....۸۸
شکل (۴-۲۱):نمودار عملگر همبستگی $f_1$ برای کانال $^3D_2$ در دماهای مختلف به ازایρ=0.1 .....۸۹
شکل (۴-۲۲):نمودار عملگر همبستگی $f_1$ برای کانال$^3P_0$ در دماهای مختلف به ازایρ=0.1 .....۹۰
شکل (۴-۲۳):نمودار عملگر همبستگی $f_1$ برای کانال$^3P_1$ در دماهای مختلف به ازایρ=0.1 .....۹۱
شکل (۴-۲۴):نمودار عملگر همبستگی $f_۱$ برای کانال$^1D_2$ در دماهای مختلف به ازای ρ=0.1.....۹۲
شکل (۴-۲۵):نمودار عملگر همبستگی $f_2$-$f_3$ برای کانال $^3S_1$- $^3D_1$ در دماهای مختلف به ازای ρ=0.1.....۹۳
شگل (۴-۲۶):نمودار عملگر همبستگی $f_2$-$f_3$ برای کانال $^3P_2$ - $^3F_2$ در دماهای مختلف به ازای ρ=0.1.....۹٤
شکل(۴-۲۷):نمودار عملگر همبستگی $f_1$ مادهی هستهای متقارن برای کانالهای مختلف ρ=0.1,T=0.....۹٥
شکل(۴-۲۸):نمودار عملگرهمبستگی$f_2$-$f_3$ مادهی هستهای متقارن برای کانالهای مختلف ρ=0.1,T=0.....۹٦
شکل (۴-۲۹):نمودار عملگر همبستگی $f_1$ مادهی هستهای متقارن برای کانالهای مختلف ρ=0.1,T=10.....۹۷
شکل (۴-۳۰):نمودار عملگرهمبستگی$f_2$-$f_3$ مادهیهستهای متقارن برای کانالهای مختلف ρ=0.1,T=10.....۹۸

شکل (۴-۳۱):نمودار عملگر همبستگی $f_1$ ماده‌ی هسته‌ای متقارن برای کانالهای مختلف $\rho=0.1,T=15$ ..... ۹۹
شکل (۴-۳۲):نمودار عملگرهمبستگی$f_2$-$f_3$ ماده‌ی‌هسته‌ای متقارن برای کانالهای مختلف $\rho=0.1,T=15$ ..... ۱۰۰
شکل (۴-۳۳):نمودار عملگر همبستگی $f_1$ ماده‌ی هسته‌ای متقارن برای کانالهای مختلف $\rho=0.1,T=20$ ..... ۱۰۱
شکل (۴-۳۴):نمودار عملگر همبستگی $f_2 - f_3$ ماده‌ی هسته‌ای متقارن برای کانالهای مختلف $\rho=0.1,T=20$ ..... ۱۰۲

فهرست مطالب

مقدمه ..... ۳

فصل اول: پتانسیل های دونوکلئونی

۱-۱-خواص پتانسیل‌های هسته‌ای ..... ۹

۱-۲-انواع پتانسیل‌های هسته‌ای ..... ۱۰

۱-۲-۱- پتانسیل‌های حقیقی دو نوکلئونی ..... ۱۰

۱-۲-۲- پتانسیل‌های دونوکلئونی پدیده‌شناختی ..... ۱۳

فصل دوم : مکانیک آماری

مقدمه ..... ۲۷

۲-۱-مکانیک آماری ..... ۲۷

۲-۲-مکانیک آماری کوانتومی ..... ۳۰

۲-۳-آمار فرمی- دیراک ..... ۳۲

۲-۴-آمار بوز-انیشتین ..... ۳۳

۲-۵-چگالش بوز-انیشتین ..... ۳۴

۲-۶-مکانیک آماری و روابط ترمودینامیکی ..... ۳۵

فصل سوم : نظریه بسط خوشه ای

مقدمه ..... ۳۹

۳-۱-نظریه بسط خوشه ای ..... ۳۹

۳-۲-تابع همبستگی جسترو ..... ۴۵

فصل چهارم : محاسبه معادله حالت ماده ی هسته ای به روش LOCV

مقدمه ..... ۵۳

۴-۱-پتانسیل $AV_{18}$ ..... ۵۳
۴-۲-انرژی خوشه‌های دو ذره‌ای ..... ۵۵
۴-۳-محاسبه انرژی با پتانسیل $AV_{18}$ ..... ۵۹
۴-۳-معادله حالت ماده‌ی هسته‌ای ..... ۶۵
۴-۳-۱-ماده‌ی هسته‌ای متقارن ..... ۶۵
۴-۳-۲-ماده‌ی هسته‌ای نامتقارن ..... ۶۵
۴-۳-۳-ماده‌ی نوترونی ..... ۶۷
بحث و نتیجه‌گیری ..... ۱۰۴
منابع ..... ۱۰۹

# مقدمه

**مقدمه**

معادله حالت ماده‌ی هسته‌ای در اختر فیزیک در دماهای بالا تعیین جرم و شعاع بحرانی ستاره‌های نوترونی[۱] ، ماده‌ی پایدار در برابر واپاشی بتا[۲] ، انفجار ابرنواختران و نیز در درک برخورد یون‌های سنگین با انرژی‌های بالا[۳] نقش مهمی ایفا می‌کند. ماده‌ی هسته‌ای یک دستگاه فرضی نامحدود با چگالی یکنواخت از نوکلئون‌ها است که از بی‌نهایت نوکلئون (پروتون و نوترون) تشکیل شده است که هیچگونه برهم‌کنش کولنی میان پروتون‌های آن در نظر گرفته نمی‌شود. نوکلئون‌ها تنها با نیروهای هسته‌ای با هم برهم‌کنش دارند. مثال واقعی از ماده‌ی هسته‌ای را می توان ماده موجود در مرکز هسته‌های سنگین در نظر گرفت. هدف از مطالعه‌ی ماده‌ی هسته‌ای محاسبه معادله حالت آن است. بررسی ویژگی‌های ماده‌ی هسته‌ای موضوع تحقیقات گسترده‌ای در فیزیک هسته‌ای به ویژه در سال‌های اخیر بوده است[۴].

اگر چگالی پروتون‌ها و نوترون‌ها در ماده‌ی هسته‌ای یکسان باشند، ماده‌ی هسته‌ای متقارن و اگر چگالی پروتون‌ها و نوترون‌ها برابر نباشند، ماده‌ی هسته‌ای پادمتقارن خواهیم داشت. از این‌رو پارامتر عدم تقارن به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$r = \frac{\rho_p}{\rho_n} \qquad (م-۱)$$

اگر $r = 1$ باشد ماده‌ی هسته‌ای متقارن و اگر $r = 0$ باشد، ماده نوترونی خواهیم داشت.

هدف از مطالعه‌ی ماده‌ی هسته‌ای محاسبه انرژی به صورت تابعی از چگالی آن است. بنابراین، در بسیاری از موارد که با ساختار هسته‌ای ماده سروکار داریم، باید معادله مستقل از زمان شرودینگر را حل نماییم. در یک سیستم هسته‌ای که از $A$ نوکلئون تشکیل شده است، هامیلتونی به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$H = \sum_{i=1}^{A} T(i) + \sum_{i<j}^{A} V(i,j) \qquad (م-۲)$$

که در آن $T(i)=-\frac{\hbar^2}{2m}\nabla_i^2$ عملگر انرژی جنبشی تک ذره، $m$ جرم نوکلئون و$V(i,j)$ پتانسیل برهم‌کنش بین دو نوکلئون است که به صورت پدیده‌شناختی یا حقیقی وارد می‌شود. برای محاسبه انرژی این سیستم باید معادله شرودینگر را حل کنیم:

$$H\psi(1,2,...,A)=E\psi(1,2,...,A) \qquad (۳-م)$$

که $\psi(1,2,...,A)$ تابع موج سیستم و $E$ انرژی سیستم $A$ ذره‌ای می‌باشد. اگر تعداد ذرات کم باشد، می‌توانیم معادله شرودینگر را به طور دقیق حل کنیم و انرژی سیستم وتابع موج آن را به‌دست آوریم. اما حل دقیق معادله شرودینگر برای سیستم‌های بس ذره‌ای پیچیده است و باید از روش‌های تقریبی مانند روش بسط خوشه‌ای استفاده کنیم[۵]. یکی از این روش‌های مبتنی بر نظریه بسط خوشه‌ای روش وردشی پایین‌ترین مرتبه قید LOCV[1] است. این روش برای دستگاه‌هایی که درآن ذرات تحت تاثیر اندرکنش‌های کوتاه برد و قوی هسته‌ای هستند مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این نوع دستگاه یک پتانسیل برهم‌کنشی ویژه برای اندرکنش ذره‌ها پیشنهاد می‌شود و انرژی سیستم به صورت تابعی از چگالی محاسبه می‌گردد.

هر نظریه موفق برای رفتار ماده‌ی هسته‌ای باید بتواند تابع انرژی را بر حسب چگالی برای هر پتانسیل داده شده خاص، محاسبه نماید. نقطه‌ی کمینه انرژی $E(\rho_0)$ و چگالی اشباع $\rho_0$ که به ازای آن انرژی کمینه شود در دمای صفر با دقت خوبی شناخته شده است [۴]. از برونیابی فرمول نیمه تجربی جرم، تجزیه و تحلیل داده‌های پراکندگی داریم[۶]:

$$\begin{aligned}&\rho_0=0.16\pm0.02fm^{-3}\\&E(\rho_0)=-16\pm1MeV\\&k=210MeV\end{aligned} \qquad (۴-م)$$

[1] Lowest order constrained variational

در این پایان نامه ما سعی کرده‌ایم انرژی ماده هسته‌ای را در دمای معین با پتانسیل$AV_{18}$ با استفاده از روش پایین‌ترین مرتبه قید به دست آوریم و تابع انرژی را برحسب چگالی سیستم تعیین نمائیم.

بنابراین در این پایان نامه:

- در فصل اول ، خواص پتانسیل‌های هسته‌ای و انواع پتانسیل‌های هسته‌ای را توضیح می‌دهیم.
- در فصل دوم مختصری در مورد مکانیک آماری در دمای معین صحبت می‌کنیم.
- در فصل سوم نظریه بسط خوشه‌ای را به تفصیل شرح خواهیم داد.
- در فصل چهارم، معادله حالت ماده هسته‌ای را در دماهای مختلف برای گستره وسیعی از چگالی‌ها با استفاده از پتانسیل$AV_{18}$ به کمک روش وردشی پایین‌ترین مرتبه قید به‌دست می‌آوریم.

در این پایان نامه از زبان برنامه‌نویسی فرترن و نرم افزارهای $Excel, TC$ استفاده نموده‌ایم.