بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه اراک

دانشکده علوم پایه

کارشناسی ارشد فیزیک(هسته ای)

تعیین درجه غلظت تریتیوم در آب سنگین

پژوهشگر:

مهرداد آقامحمدی

استاد راهنما:

دکتر رضا پورایمانی

تابستان ۱۳۹۰

بسم ا... الرحمن الرحیم

تعیین درجه غلظت تریتیوم در آب سنگین

توسط

مهرداد آقامحمدی

پایان نامه

ارائه شده به مدیریت تحصیلات تکمیلی به عنوان بخشی از فعالیت های

تحصیلی لازم برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته فیزیک (گرایش هسته ای)

از

دانشگاه اراک

اراک ایران

ارزیابی و تصویب شده توسط کمیته پایان نامه با نمره ۱۹/۷۵ با درجه عالی

دکتر رضا نورالهی (استاد راهنما) ..... استادیار

دکتر سعید حمیدی (دانشگاه اراک) ..... استادیار

دکتر حسین صادقی (دانشگاه اراک) ..... استادیار

شهریور ۱۳۹۰

تقدیم به:

پدر و مادرم

به پاس تمام زحمت‌هایی که برایم کشیدند

و آنان که در محضرشان آموختم

تشکر و قدردانی

حمد خدای عزّ و وجل بر آنچه انعام فرموده و سپاس او را بر آنچه بر دل الهام کرده و ثنا و ستایش او را بر آنچه از پیش مرحمت فرموده است.

از زحمات استاد بزرگوار جناب آقای دکتر رضا پورایمانی که در تمام مراحل پژوهش از هرگونه کمک و مساعدت دریغ نورزیدند، کمال تشکر و قدردانی را دارم.

از استادان محترم ناظر پایان نامه جناب آقای دکتر حمیدی و جناب آقای دکتر صادقی که زحمت مطالعه پایان نامه و داوری آن را داشتند نهایت تشکر را دارم.

از جناب آقای مهندس عینیان مسئول آزمایشگاه آنالیز پژوهشکده فیزیک ایران که همکاری فراوانی با اینجانب داشتند، تشکر و قدردانی می‌کنم.

از جناب آقای دکتر محمد آقامحمدی- برادر مهربانم - که با راهنمایی‌های ارزشمندشان در تمام مراحل تحقیق من را یاری دادند صمیمانه تشکر می‌نمایم.

در اینجا جا دارد که از پدر و مادر مهربانم و خواهران عزیزم که در تمامی مراحل زندگانی دلسوزانه مرا یاری نمودند تشکر کنم.

از کلیه دوستان خوبم که همواره به اینجانب محبت داشته‌اند قدردانی و برای این عزیزان آرزوی موفقیت دارم.

چکیده :

تریتیوم یکی از ایزوتوپهای ناپایدار هیدروژن با عدد جرمی ۳ است. هسته تریتیوم، تریتون نامیده می شود. نام این ایزوتوپ، از لغت یونانی "tritos" که به معنای سومی می باشد، گرفته شده است. تریتیوم با گسیل ذره بتا، به هلیوم-۳ تبدیل می شود. نیمه عمر آن ۱۲/۲۶ سال و ماکزیمم انرژی بتای تریتیوم ۰/۰۱۸ MeV است. از ترکیب تریتیوم با اکسیژن، آب تریتیوم دار به فرمT_2O و HTO، تشکیل می گردد. تریتیوم یک گسیلنده خالص بتا با انرژی کم است و زمانی که از طریق استنشاق، غذا، آب و یا از طریق پوست وارد بدن شود، تابش خطرناکی است.

تریتیوم در رآکتورهای آب سنگین (HWR) تولید می شود و در طول فرآیند کاری راکتور، مقدار آن افزایش پیدا می کند. متأسفانه، تریتیوم از HWR در طول عملکرد رآکتور نشت می کند. به گونه ای که، سطح تریتیوم در سیستم خنک کننده رآکتور، از ماکزیمم مقدار مجاز تجاوز می کند. پس می بایست در طول عملکرد رآکتورهای هسته ای، بویژه در فرآیند بازیافت سوخت های هسته ای، نشت یا بازیابی تریتیوم بررسی شود. بنابراین، بررسی اثرات رادیو اکتیویته آن در نمونه های محیطی مهم است. فعالیت تریتیوم عموما بر حسب پارامتر واحد تریتیوم(TU)، بیان می شود. یک TU برابر با ۰/۱۱۸ Bq/L می باشد. حد مجاز تریتیوم در آب آشامیدنی، در هر کشور متفاوت است. بعضی از این ارقام در زیر آورده شده اند :

- Canada: 7,000 (Bq/L).
- United States: 740 Bq/L (Safe Drinking Water Act)
- World Health Organization: 10,000 Bq/L.
- European Union: "investigative" limit of 100 Bq/L.

رایج ترین شیوه برای اندازه گیری تریتیوم، استفاده از شمارنده سوسوزن مایع می باشد. اگرچه با تقطیر کردن نمونه قبل از مخلوط کردن کوکتیل با نمونه آب، ناخالصی ها از بین می رود. ولی این تمیزسازی به طور کامل ناخالصی ها را از بین نخواهد برد. در این تحقیق، با استفاده از یک

روش دیگر به جای تقطیر ساده، امکان تعیین غلظت تریتیوم بررسی شد. دریافت شد که، تقطیر آزتروپ می تواند روش جایگزینی برای تقطیر ساده نمونه های آب، قبل از شمارش با سوسوزن مایع باشد. برای شمارش تریتیوم، عاری کردن نمونه آب، از مواد مزاحم و خالص سازی مناسب، لازم است. این روش، بیشتر مواد عامل خاموش سازی را جدا می کند. بنابراین، می توان اندازه گیری تریتیوم موجود در نمونه آب را با صحت بیشتری انجام داد.

نتایج حاصله از اندازه گیری ها در این تحقیق نشان می دهد که مقدار تریتیوم از حالت طبیعی منحرف شده است. یعنی در حالت طبیعی، که طبق اندازه گیری گروههای تحقیقاتی پیشین صورت گرفته، می بایست ۳/۵ TU باشد، در حالی که به طور میانگین در آب سنگین تولید شده در مجتمع آب سنگین خنداب، این مقدار به ۳۵ TU تغییر یافته است (تقریبا ده برابر افزایش). با توجه به اینکه کمترین مقدار حد مجاز قانونی ۱۰۰ Bq/L می باشد و متوسط نتایج حاصـــله از اندازه گیری تریتیوم ۴/۲ Bq/L است، می توان به این نتیجه نهایی رسید که مقدار تریتیوم تولیدی در مجتمع آب سنگین خنداب در حال حاضر، کمتر از حد مجاز می باشد. یعنی خطرات زیست محیطی را با تکیه بر ضوابط کمیته قوانین هسته ای(NRC) و حد مجاز (legal limit) بدنبال ندارد.

واژگان کلیدی:

تریتیوم، اندازه گیری، سم راکتور، شمارنده سوسو زن مایع، آب سنگین و ضریب همبستگی

فهرست مطالب:

فصل اول

تریتیوم : تاریخچه، منابع، کاربرد، ایمنی، خطرات و اهمیت اندازه گیری

۱-۱- مقدمه ۲
۱-۲- تاریخچه ۲
۱-۳- معرفی و خواص تریتیوم ۳
۱-۴- کاربردهای تریتیوم ۴
۱-۴-۱- نوردهی خودبه خودی (رادیو لومینسانس) ۵
۱-۴-۲- تسلیحات هسته ای ۵
۱-۴-۳- چاشنی نوترونی ۶
۱-۴-۴- عامل تشدید کننده انفجار در کلاهکهای هسته ای ۷
۱-۴-۵- سوخت ضروری گداخت های هسته ای تحقیقاتی ۸
۱-۴-۶- تریتیوم در بمب های هیدروژنی ثانویه ۱۰
۱-۴-۷- ردیاب رادیولومینسانس در تحقیقات شیمی تجزیه و بیوشیمی ۱۰
۱-۴-۸- مشخص کردن مسیر گذر(چرخه آب) و سن آبها ۱۱
۱-۴-۹- باتری در موارد اضطراری ۱۱
۱-۴-۱۰- الکترونیک و وسایل الکتریکی ۱۲
۱-۴-۱۱- استفاده علمی- پزشکی ۱۳
۱-۴-۱۲- تریتیوم در فرآیندهای کیهانی ۱۳
۱-۵- منابع تریتیوم ۱۴
۱-۵-۱- طبیعی ۱۴
۱-۵-۱-۱- تابش کیهانی ۱۴
۱-۵-۱-۲- لیتیوم موجود در پوسته زمین ۱۶
۱-۵-۲- مصنوعی ۱۶
۱-۵-۲-۱- کنترل کننده های رآکتور ۱۸
۱-۵-۲-۱-۱- لیتیوم و بور موجود در رآکتور ۱۸
۱-۵-۲-۲- دوتریوم موجود در رآکتور آب سنگین ۲۰
۱-۵-۲-۲-۱- تریتیوم در رآکتور آب سنگین ۲۲
۱-۵-۲-۳- شکافت هسته ای ۲۳
۱-۶- آب تریتیوم دار(آب فوق سنگین) ۲۴
۱-۷- خطرات تریتیوم ۲۵
۱-۷-۱- مقدمه ۲۵

۱-۷-۲- جذب و ابقای تریتیوم..... ۲۶
۱-۷-۳- دفع تریتیوم..... ۲۸
۱-۷-۴- ترکیب با DNA..... ۲۹
۱-۷-۵- تست پزشکی برای وجود تریتیوم..... ۳۰
۱-۸- ایمنی تریتیوم..... ۳۰
۱-۹- اهمیت اندازه گیری تریتیوم..... ۳۱

فصل دوم

مروری بر فعالیتهای انجام گرفته، جهت اندازه گیری تریتیوم

۲-۱- تریتیوم تولیدی در رآکتورها..... ۳۴
۲-۲- تریتیوم آزاد شده از انفجارهای هسته ای..... ۳۶
۲-۳- تریتیوم در خاک..... ۳۶
۲-۴- تریتیوم در اقیانوس ها..... ۳۷
۲-۵- تریتیوم موجود در آبهای سطحی..... ۳۸

فصل سوم

آشکارسازهای پرتو بتا

۳-۱- روشهای اندازه گیری مواد رادیواکتیو..... ۴۴
۳-۲- انواع دتکتورها برای اندازه گیری مواد رادیواکتیو(پرتوهای بتا)..... ۴۴
۳-۲-۱- Gas-Filled Detectors..... ۴۴
۳-۲-۱-۱- Ion Chambers..... ۴۶
۳-۲-۱-۲- Proportional Counters..... ۴۶
۳-۲-۱-۳- Geiger-Mueller Counters..... ۴۷
۳-۳- Semiconductor Detectors..... ۵۰
۳-۴- Scintillation Detectors..... ۵۱
۳-۴-۱- Solid-Scintillation Detectors..... ۵۱
۳-۴-۲- Liquid Scintillation Counter..... ۵۲
۳-۴-۲-۱-Quenching (خاموش سازی)..... ۵۶
۳-۴-۲-۱-۱- Colour Quenching (خاموش سازی رنگی)..... ۵۶
۳-۴-۲-۱-۲- Chemical Quenching (خاموش سازی شیمیایی)..... ۵۷
۳-۴-۲-۱-۳- Point Quenching..... ۵۷
۳-۴-۲-۱-۴- Dilution Quenching..... ۵۷
۳-۵- خلاصه ای از ویژگی دتکتورها..... ۵۸

فصل چهارم

تکنیکهای اندازه گیری تریتیوم

۴-۱- تکنیکهای اندازه گیری(Measurement Techniques) ۶۰
۴-۱-۱- کلیات ۶۰
۴-۱-۲- Gas Proportional Counting (GPC) ۶۱
۴-۱-۳- Ionization Chambers ۶۳
۴-۱-۴- Mass Spectrometry ۶۴
۴-۱-۵- Gas Chromatography ۶۵
۴-۱-۶- Avalanche Semiconductor Radiation Detectors ۶۵
۴-۱-۷- Measurement of Bremsstrahlung ۶۶
۴-۱-۸- Electron Multipliers ۶۶
۴-۱-۹- Film Dosimetry ۶۷
۴-۱-۱۰- Thermally Stimulated Exoelectron Emission ۶۷
۴-۱-۱۱- Liquid Scintillation Counting (LSC) ۶۸
۴-۲- مقایسه بین روش های اندازه گیری ۶۸

فصل پنجم

نتایج اندازه گیری و تجزیه و تحلیل داده ها

۵-۱- دستگاهها ۷۲
۵-۱-۱- شمارشگر سوسوزن مایع ۷۲
۵-۱-۲- دستگاه طیف سنج UV-Vis ۷۳
۵-۱-۳- دستگاه فلورسانس ۷۳
۵-۱-۴- ترازوی دیجیتال ۷۴
۵-۱-۵- سیستم تقطیر آزتروپ ۷۵
۵-۲- ابزار آلات مورد استفاده ۷۶
۵-۳- مواد و معرف های به کار رفته ۷۶
۵-۴- تهیه نمونه ۷۷
۵-۵- آماده سازی نمونه ۷۸
۵-۵-۱- Direct Addition ۷۹
۵-۵-۲- Electrolytic Enrichment ۸۰
۵-۵-۳- Benzene Synthesis ۸۱
۵-۶- جمع بندی و ارائه روش پیشنهادی در این پایان نامه ۸۱
۵-۷- تقطیر آزتروپ (Azeotropic Distillation) ۸۲
۵-۸- روش کار (Procedure) ۸۳

۵-۹- آنالیز نمونه ها ۸۴
۵-۱۰- محاسبات ۸۸
۵-۱۰-۱- تعیین راندمان شمارش(ε) و عدم قطعیت آن u(ε) ۸۸
۵-۱۰-۲- فاکتور تصحیح بازده (F) ۸۹
۵-۱۰-۳- فعالیت تریتیوم نمونه های آب سنگین(AC) و عدم قطعیت آن ۸۹
۵-۱۰-۴- تعیین کمترین مقدار قابل اندازه گیری تریتیوم(MDC) ۹۰
۵-۱۰-۵- ضریب شایستگی(FOM) ۹۱
۵-۱۱- نتیجه گیری ۹۲
۵-۱۲- پیشنهادات ۹۵

فصل ششم

مراجع

References ۹۷

فهرست جداول:

جدول(۱-۱) ایزوتوپ های هیدروژن و برخی ویژگی آنها ۳
جدول(۱-۲) خصوصیات تریتیوم ۴
جدول(۱-۳) خواص فیزیکی و شیمیایی آب سبک و سنگین ۲۱
جدول(۱-۴) بهره تولید تریتیوم در واکنش های شکافت سه گانه ۲۳
جدول(۱-۵) مقایسه برخی از خصوصیات آبهای رادیواکتیو ۲۴
جدول(۲-۱) محتوای تریتیوم در رآکتور LWR و رآکتور LMFBR ۳۴
جدول(۲-۲) راندمان انرژی و راندمان تریتیوم تخمین زده شده از تست سلاحهای هسته ای در سال های بین ۱۹۶۲-۱۹۴۵ ..... ۳۶
جدول(۲-۳) غلظت تریتیوم آب های سطحی و اتمسفریک در زمین و اقیانوس در عرض های جغرافیایی مختلف ۳۷
جدول(۳-۱) خصوصیات شمارنده های گازی ۴۹
جدول(۳-۲) خلاصه ای از ویژگی دتکتورها ۵۸
جدول(۴-۱) اندازه گیری تریتیوم در مایعات و سطوح ۶۹
جدول(۴-۲) اندازه گیری تریتیوم در گاز ۷۰

جدول(۵-۱) نمونه های آنالیز شده ۸۴
جدول(۵-۲) نتایج توزین نمونه ها ۸۶
جدول(۵-۳) نتایج حاصل شده از شمارش نمونه ها ۸۸
جدول(۵-۴) نتایج فعالیت تریتیوم نمونه های آب سنگین و عدم قطعیت تعیین غلظت ۹۰
جدول(۵-۵) کمترین مقدار قابل اندازه گیری ۹۱
جدول(۵-۶) مقدار احتمال پیدا شدن تریتیوم ودوتریوم با فراوانی طبیعی در یک مولکول آب ۹۳

فهرست شکل ها:

شکل۱-۱- نمونه ای از pit پلوتونیوم ۷
شکل۱-۲- واکنش ذرات موجود در اتمسفر با پرتوهای کیهانی ۱۴
شکل۱-۳- شماتیک سیستم مرسوم تبدیل انرژی هسته ای به برق ۱۷
شکل۲-۱- منحنی غلظت تریتیوم در عمق های مختلف اقیانوس آرام ۳۸
شکل۲-۲- شماتیکی از دتکتور تریتیوم در آب ۳۹
شکل۳-۱- شماتیکی از یک دتکتور پر شده با گاز ۴۵
شکل۳-۲- شماتیکی از یک شمارنده تناسبی ۴۷
شکل۳-۳- ارتفاع تپ های ایجاد شده توسط شمارنده های گازی مختلف بر حسب ولتاژ اعمال شده برای دو دسته ذرات تابشی که انرژی آنها با ضریب ۲ با هم متفاوت است ۴۹
شکل۳-۴- شماتیکی از یک دتکتور نیم رسانا ۵۰
شکل۳-۵- نمای آشکار ساز سوسوزن جامد ۵۲
شکل ۳-۶- چگونگی عملکرد کوکتیل در LSC ۵۴
شکل۳-۷- نمایش عملکرد کوکتیل در LSC به صورت ماکروسکوپی ۵۵
شکل۳-۸- قرار گرفتن PMT ها به صورت انطباقی در مقابل نمونه ۵۶
شکل۵-۱- تصویری از دستگاه سوسوزن مایع ۷۲

شکل۵-۲- تصویری از دستگاه طیف سنج UV-Vis ۷۳
شکل۵-۳- تصویری از دستگاه فلورسانس ۷۴
شکل۵-۴- تصویری از ترازوی دیجیتال ۷۴
شکل۵-۵- شماتیکی از سیستم تقطیر آزتروپ ۷۵
شکل۵-۶- یک Vial نمونه ۷۶
شکل۵-۷- نمونه ای از یک کوکتیل با مارک تجاری Ultima Gold ۷۷
شکل۵-۸- طیف جذبی در ناحیه ماوراء بنفش- مرئی، نمونه تقطیر شده ۸۵
شکل۵-۹- طیف فلورسانسی(نشری) در ناحیه مرئی، نمونه تقطیر شده ۸۶
شکل۵-۱۰- طیف ارتفاع پالس(انرژی) ذرات بتای رادیونوکلئیدها ۸۷
شکل۵-۱۱- غلظت تریتیوم در آب سنگین بر حسب درصد دوتریوم موجود در آب ۹۲
شکل۵-۱۲- احتمال یافتن تریتیوم در حالت طبیعی در مولکول آب ۹۴

فصل اول

تریتیوم:
تاریخچه، منابع،
کاربرد، ایمنی،
خطرات و
اهمیت اندازه گیری

۱-۱- مقدمه

۱-۲- تاریخچه

تریتیوم در اواخر دهه ۱۹۲۰ توسط جدول تناوبی مارپیچی[1] Walter Russell پیشگویی شد[1]. سپس در سال ۱۹۳۴ توسط فیزیکدانانی به نام های Ernest Rutherford، Paul Harteck وMark Oliphant زمانی که دوتریوم (ایزوتوپ هیدروژن که دارای عدد جرمی ۲ می باشد) را با دوترون های دارای انرژی بالا (هسته اتم های دوتریوم) بمباران کردند، کشف شد. این گروه قادر به جداسازی تریتیوم نبودند. این کار توسط Luis Alvarez و Robert Cornog در سال ۱۹۳۹ انجام شد، در ضمن این تیم به خاصیت رادیواکتیویته تریتیوم نیز پی بردند[2]. در سال

1-spiral periodic table

۱۹۵۳ Willard Libby متوجه شد که تریتیوم می تواند بعنوان بهترین ردیاب برای تعیین عمر آب زیرزمینی به کار رود[3].

۱-۳- معرفی و خواص تریتیوم:

تریتیوم، یکی از ایزوتوپ های ناپایدار هیدروژن است که با علامت T یا ^{3}H شـــناخته می شود. به هسته تریتیوم اغلب تریتون[1] می گویند، که شامل یک پروتون و دو نوترون می باشد در حالیکه هسته پروتیوم[2] (فراوانترین ایزوتوپ هیدروژن) تنها شامل یک پروتون است. در جدول (۱-۱) ایزوتوپ های هیدروژن به همراه برخی از ویژگی های شان، نمایش داده شده اند.

1						
H -259.34° -252.87° -240.18° +1-1 1.00794 91.0%	H1 1/2+ 99.985	H2 1+ 0.015	H3 12.33 y 1/2+ β-	H4 2-	H5	H6

جدول۱-۱- ایزوتوپ های هیدروژن و برخی ویژگی آنها

تریتیوم در حالت طبیعی بر اثر برهمکنش اتمسفر با پرتوهای کیهانی بوجود می آید و به مقدار خیلی ناچیزی در سطح زمین یافت می شود. نام این ایزوتوپ، از لغت یونانی "tritos" که به معنای سومی می باشد، گرفته شده است. در جدول (۱-۲) برخی از مهمترین خصوصیات تریتیوم ارائه شده است :

جدول۱-۲- خصوصیات تریتیوم

عمومی

---

1 - triton
2 - protium

نام و نشانه	تریتیوم، تریتون و ^3H
نوترون	2
پروتون	1
داده های هسته ای	
فراوانی طبیعی	ناچیز (trace)
نیمه عمر	12.33 سال
نیمه عمر بیولوژیکی	7 تا 14 روز
محصول واپاشی	^3He
جرم ایزوتوپی	3.0160492 u
اسپین	$^1/_2^+$
انرژی پیوندی	8,481.821± 0.004 keV
ثابت واپاشی برسال	0.056
اطلاعات واپاشی	
شیوه واپاشی	نشر β
انرژی واپاشی	0.018590 MeV
متوسط انرژی واپاشی	5.685 keV
فعالیت ویژه	9.7×10^3 Ci/g
ماکزیمم نفوذ در آب	6.0 µm
ماکزیمم نفوذ در هوا	5 mm

۱-۴- کاربردهای تریتیوم:

تریتیوم در زمینه های مختلف کاربرد دارد، در ذیل به طور خلاصه برخی از این کاربردها را ذکر می کنیم:

۱-۴-۱- نوردهی خودبه خودی(رادیو لومینسانس)

از گاز تریتیوم بعنوان عامل ایجاد نورمرئی در چراغانی (ایجاد روشنایی) [1] در برخی وسایل مثل ساعت مچی، ساعت های صنعتی بویژه ساعت های-LCD (مقدار قابل ملاحظه ای، تقریبا

---

1 - self-powered lighting

۰/۰۱TBq/watch، مورد نیاز است)، جا سوئیچی، منورها، جنگ افزارهای دید در شب، هفت تیر نیمه اتوماتیک در ارتش، علامت شمارنده گیج، چشمک زن های اضطراری، نورهای ناوگان دریایی، علائم روشن شده در نقشه و... استفاده می شود. در این وسایل، برهمکنش ذرات بتای گسیل شده از تریتیوم با مواد فلورسانس یا فسفرسانس، باعث ایجاد نور مرئی می شود که به این فرآیند رادیولومینسانس[1] می گویند. در ضمن، این منابع را GTLS(Gaseous Tritium Light Sources) و یا betalights نیز می نامند[4]. در این پروسه، از آنجا که تریتیوم به طور خود به خودی بتا نشر می کند، نیازی به انرژی الکتریکی برای روشنایی نیست. لذا این مزیت، باعث کاربردهای وسیع تر آن به جای مواد فوتولومینسانس شده است. البته در گذشته از رادیوم در ساخت وسایل فوق استفاده می شد که بدلیل ایجاد سرطان استخوان[2] در دهه های اخیر، کاربرد آن در بیشتر کشورها ممنوع شد. از این رو، سالانه بالغ بر ۴۰۰ گرم تریتیوم به ارزش هر گرم ۳۰۰۰۰ دلار در صنعت مورد استفاده قرار می گیرد[5-6].

۱-۴-۲- تسلیحات هسته ای

بیشترین کسر تریتیوم تولید شده در جهان، صرف ساخت سلاح های هسته ای می شود. در بمب های هیدروژنی از ترکیب ^{6}LiD (دوترید لیتیوم) استفاده می کنند که دمای لازم برای شروع واکنش گداخت به کمک یک چاشنی نظیر: U یا Pu که اساس کار بمب های شکافت است، فراهم می شود. تریتیوم مورد نیاز برای گداخت دوتریوم- تریتیوم، در بمب بوسیله واکنش زیر تولید می شود:

$$^{6}Li + n \rightarrow {}^{4}He + T + 4.8MeV$$

واکنش گداخت، طبق واکنش زیر پیش می رود :

---

1 - radioluminescence
2 - bone cancer

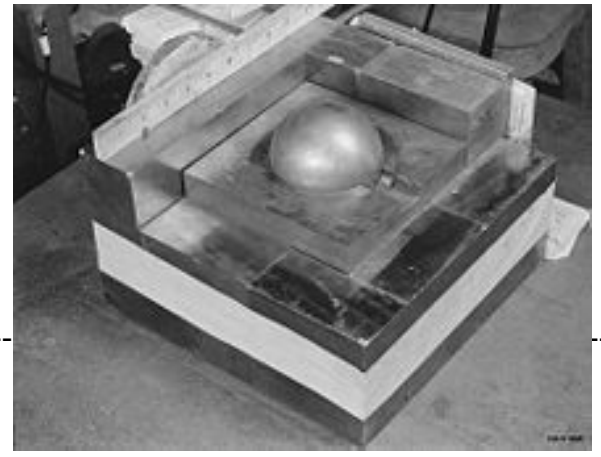
$$D + T \rightarrow {}^4He + n + 17.6MeV$$

در حال حاضر، یک سری تغییرات اعمال شده است بگونه ای که، تریتیوم را به طور مستقیم یا در فرم "هیدرید" مخلوط شده نظیر Li_2DT^6، مورد استفاده قرار می دهند. بمب هیدروژنی اگر چه کنترل شده نیست، اما برای نمایش تجربی و یافتن شرایط گداخت گرما هسته ای روی زمین، اهمیت دارد[7] .

همانطور که بیان شد، تریتیوم به طور گسترده در واکنشهای زنجیره ای تولید بمبهای هیدروژنی، برای تشدید[1] انفجار اولیه در شکافت بمب هسته ای حرارتی[2] استفاده می شود. علاوه بر این، تریتیوم به طور مشابه به عنوان چاشنی اولیه نوترونهای خروجی در سایر بمبهای شکافتی نیز، به کار می رود.

۱-۴-۳- چاشنی نوترونی

با تحریک توسط سوئیچ فوق سریع نظیر یک کریترون[3]، شتابدهندهای کوچک ذرات، یونهای تریتیوم و دوتریم را شتاب داده تا به انرژی جنبشی بالاتر از keV ۱۵ برسند (لازمه گداخت دوتریم-تریتیوم). سپس این یونهای شتاب گرفته را به هدف فلزی برخورد داده تا بر اثر جذب در فلز، تولید هیدرید کنند. نوترونهای با انرژی بالای ناشی از گداخـــــــت، در تمام جهات ساطع می شوند که برخی از این نوترونها با هسته های اورانیوم یا پلوتونیوم موجود در گودال (pit) شکل (۱-۱) برخورد کرده و منجر به آغاز واکنش های زنجیره ای هسته ای می شوند.



1 - boosting
2 - thermonuclear
3- krytron

شکل ۱-۱- نمونه ای از pit پلوتونیوم

۱-۴-۴- عامل تشدید کننده انفجار در کلاهکهای هسته ای

کلاهک، قسمتی از جنگ افزار است که حاوی مواد منفجره یا چاشنی بوده و در موشک، راکت و اژدر به کار می رود. در کلاهک هسته ای، از هسته های اورانیوم یا پلوتونیوم شکافت پذیر بهمراه چند گرم گاز تریتیوم-دوتریم بعنوان تشدید کننده انفجار[1] استفاده می شود. تریتیوم موجود درکلاهک های هسته ای به طور مداوم تحت تاثیر واپاشی رادیو اکتیو قرار می گیرد. از اینرو، برای گداخت در دسترس نیست. از طرف دیگر، اگر هلیوم-۳ واپاشی شده از تریتیوم در معرض نوترونهای گسیل شده ناشی از شکافت هسته ای قرار بگیرد، آنها را جذب می کند. در صورتی که میزان ^3He ناشی از واپاشی تریتیوم خیلی زیاد باشد، به طور بالقوه اثرات تریتیوم را در تولید نوترون های آزاد و تشدید کننده انفجار، معکوس می کند. لذا لازم است که تریتیوم موجود در کلاهک هسته ای به طور دوره ای تجدید شود (مجدد پر شود). تخمین زده می شود که مقدار تریتیوم مورد نیاز در هر کلاهک ۴ گرم می باشد[5]. به منظور ثابت نگهداشتن سطح تریتیوم موجود در کلاهک، به طور تقریبی سالیانه ۰/۲ گرم تریتیوم به بمب هسته ای تزریق می شود.بعنوان مثال، کلاهکهای بمب هسته ای، حاوی یک مول گاز دوتریم- تریتیوم (حاوی ۳ گرم تریـــــتیوم و ۲ گرم دوتریم) با ۲۰ مول پلوتونیوم-۲۳۹ (۴/۵ کیلوگرم) می باشند.

۱-۴-۵- سوخت ضروری گداخت های هسته ای تحقیقاتی

هدف از پیشروی گداخت هسته ای تحقیقاتی، تولید تجهیزاتی است که با کمک گداخت گرما هسته ای در حال کنترل هسته های سبک، انرژی الکتریکی تولید کند. آسانترین واکنش

1- boosting