

## اندازه گیری تریتیم موجود در هوای تهران

مینو اکبر زاده لیل آبادی

فیلم یک بیداشت دفتر بسمانداری، هسته‌ای، - سازمان اندیشه، اتم، ابدان»

صندوق پستی ۱۱۳۶۵، تبران-ایران

حکایت

یکی از موادر رادیو اکتیو موجود در طبیعت گاز تریتیم است که یک ماده پرتوزای گسیننده بتا می باشد. با توجه به اهمیت اندازه گیری مواد پرتوزا در محیط و مطلع بودن از مقدار آنها در محیط به منظور محاسبه مقدار پرتو گیری افراد جامعه، در این کار پژوهشی اقدام به اندازه گیری مقدار گاز تریتیم موجود در یک نقطه از هوای تهران گردید، تا مقدار حاصلبا، با استانداردهای جهانی مقاسه گردد.

**واژه های کلیدی:** پرتوزائی طبیعی - تریتیم - اندازه گیری - غلظت - هوا - تهران

# **Measurement tritium concentration in air of Tehran-Iran**

*Health physic of waste management department,AEOI,Tehran*

## Abstract:

*Tritium Gas is one of radioactive material in natural and it's beta emmitter. With attention to value in order dimension of measurement radioactive materials in environment and known it's to natural exposure monitoring for public,in this research work we adventurism for measurement tritium in air of Tehran until can compare this value with international standard limits.*

**Keywords:** tritium-nutral radioactive-measurement-concentration-air-

## مقدمة:

اولین عنصر شیمیایی جدول تناوبی هیدروژن است که گازی بی رنگ و بی مزه بوده و با نماد H نشان داده می شود. هیدروژن دارای ۳ ایزوتوپ می باشد: (ایزوتوپ به ویژه هسته هایی گفته می شود که دارای عدد اتمی، یکسان بوده ولی، در تعداد نوترونها با هم فرق دارند)

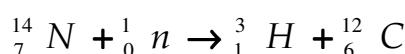
۱. هیدروژن با نماد H و جرم اتمی یک که  $98\% / 99$  این عنصر را تشکیل می دهد.
  ۲. دوتریم با نماد D و جرم اتمی دو، دومین ایزوتوپ عنصر هیدروژن می باشد که  $0.02\% / 0.00$  فراوانی دارد.

۳. تریتیم با نماد  $T$  و جرم اتمی سه، تنها ایزوتوپ رادیو اکتیو هیدروژن است که در حالت طبیعی بسیار کم بوده، اما بطور مصنوعی از طریق واکنشهای مختلف هسته‌ای در شتابدهنده‌ها و راکتورها تولید می‌شود که علت تهیه آن کاربردهای وسیع آن می‌باشد. تریتیم مانند هیدروژن بصورت دو مولکولی یعنی  $T_2$  می‌باشد و در شرایط عادی گازی شکل است. تفاوت‌های  $T_2$  و  $H_2$  در جدول زیر نمایش داده شده است:

| $T_2$    | $H_2$    | خواص  |
|----------|----------|---|
| - ۲۵۲/۵۴ | - ۲۵۹/۲۰ | نقطه ذوب ( $^{\circ}\text{C}$ )                   |
| - ۲۴۸/۱۲ | - ۲۵۲/۷۷ | نقطه جوش در فشار یک اتمسفر ( $^{\circ}\text{C}$ ) |
| ۳۳۳      | ۲۱۶      | گرمای بخار (cal/mol)                              |
| ۳۹۳      | ۲۴۷      | گرمای تصفید (cal/mol)                             |

از نظر شیمیایی، تریتیم مشابه هیدروژن عمل می‌کند، اما از آنجاییکه تریتیم جرم بزرگتری دارد، در بسیاری از واکنشها، خیلی کندتر از هیدروژن جایگزین می‌شود. با توجه به اینکه تریتیم یک رادیوایزوتوپ است (رادیوایزوتوپ به ایزوتوپهایی از عناصر گفته می‌شود که به علت ناپایدار بودن ساختار هسته‌ای از خود فوتون و ذرات مختلف گسیل می‌کنند) لذا با ساطع نمودن پرتوهای بتای منفی (تبديل یک نوترون به پروتون) به  $\text{He}^3$  تبدیل می‌شود و در این فرآیند به هیچ وجه نشر اشعه گاما رخ نمی‌دهد. تریتیم ساطع کننده پرتو  $\beta$  با ماکزیمم انرژی 18 keV (کیلو الکترون ولت = mm) است که این ذرات  $\beta$  توسط لایه‌ای از هوا با ضخامت 7mm یا کاغذی با ضخامت 0.01 کاملاً متوقف می‌شوند. نیمه عمر فیزیکی تریتیم 12/3 سال می‌باشد.

گاز تریتیم بطور طبیعی در هوا وجود دارد در حالت طبیعی بصورت گاز(بخار) بوده و قابلیت حل در آب را نیز دارد و به ازای هر  $10^{18}$  اتم هیدروژن یک اتم تریتیم در اتمسفر وجود دارد که منشاء تهیی طبیعی آن بطور عمده از بمباران نیتروژن در قسمتهای فوکانی اتمسفر توسط نوترون و پروتون حاصل از اشعه‌های کیهانی مانند واکنش ذیل منشاء می‌گیرد:



البته تریتیم عمدتاً به شکل بخار ترکیباتی از اکسیژن (DTO,HTO,...) در هوا وجود دارد. بعد از شروع آزمایشات سلاحهای هسته‌ای در سال ۱۹۵۴ غلظت این گاز رادیواکتیو در اتمسفر افزایش یافت بطوری که قبل از شروع این آزمایشات آب باران تقریباً شامل  $10^{-1}$  اتم تریتیم در  $10^{18}$  اتم هیدروژن بود که این مقدار اکنون به حدود ۵۰۰ اتم تریتیم به ازای  $10^{18}$  اتم هیدروژن افزایش یافته است. به علت کاربردهای وسیع این ماده رادیواکتیو برای تهیه آن از شتابدهنده‌ها و راکتورها از طریق واکنشهای مختلف استفاده می‌کنند.

اندازه گیری تریتیم موجود در هوا و تریتیم موجود در آب از لحاظ مسائل پرتوگیری و محاسبه میزان آلودگیهای رادیواکتیو که از مهمترین عوامل مضراین مواد هستند بسیار حائز اهمیت می‌باشد و بسیاری از سازمانهای بین‌المللی که مرتبط با سلامتی افراد و محیط زیست و مواد رادیواکتیو هستند برای اندازه گیری آن اقدام می‌کنند و قوانین بسیار زیادی را برای تمام مواد رادیواکتیو از لحاظ حد مجاز آنها در محیط (هواء آب و خاک و غیره) وضع کرده‌اند. بررسی، تهیه و کاربردهای تریتیم، خواص تریتیم، سمیت تریتیم و اثرات آن (شامل اثرات بیولوژیکی و ژنتیکی) و ... بسیار گسترده و وسیع و خارج از موضوع این بحث است. البته بر روی این موارد تحقیقات بسیار وسیع در سطح بین‌المللی صورت گرفته که نتایج آنها موجود است. روش‌های مختلف اندازه گیری تریتیم موجود در هوا و آب و اثار مختلف تریتیم نیز بصورت تئوری و کاربردی در سطح دنیا موجود است که از آنها استفاده می‌شود. امروزه برای اندازه گیری گاز تریتیم در محیط وبخصوص در اطراف نیروگاهها که غلظت این گاز نسبتاً زیاد است و ممکن است برای پرسنل نیروگاهها خطرناک باشد دستگاههای پیشرفته‌ای وجود دارد که با استفاده از آنها در ظرف چند دقیقه مقدار غلظت این گاز در محیط مشخص می‌شود. اما اساس کار تمام این دستگاه بصورت مراحل مذکور است.

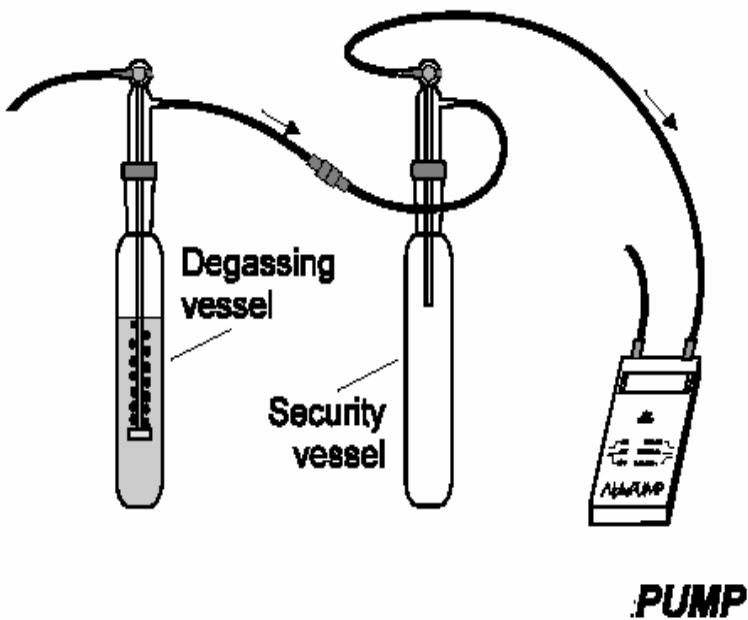
### روش کار:

با توجه به مقدمه فوق و اهمیت اندازه گیری مواد رادیواکتیو موجود در تمام محیط‌ها شامل هوا و آب و خاک و ... یک سری آزمایشات برای اندازه گیری مقدار گاز تریتیم موجود در هوا صورت گرفت که البته با توجه به خطای نسبتاً زیاد این روش ولی در عین حال نتیجه قابل قبول آن، به شرح آن می‌پردازیم:

اساس این اندازه گیری بر مبنای مکش و سپس حل گاز تریتیم موجود در هوای (که اغلب به صورت DTO,HTO,... آب است) در داخل آب و استفاده از روش‌های متداول برای تعیین غلظت تریتیم موجود در آب است.

همانگونه که قبلاً نیز اشاره شد چون اغلب تریتیم موجود در هوای به صورت ترکیباتی مشابه بخار آب در هوا می‌باشند لذا این ترکیبات که اساساً هم خانواده با آب  $H_2O$  می‌باشند در اثر عبور از آب در داخل آن حل می‌شوند. در

واقع اگر به هر طریق دیگری هم بتوانیم بخار موجود در هوای را بصورت مایع در آوریم باید انتظار داشته باشیم که مقدار تریتیم موجود در هوای از این طریق هم بتوانیم اندازه بگیریم. شیوه انجام اندازه گیری بدین صورت است که در ابتدا با برقرار نمودن یک سیستم آزمایشگاهی شامل دو بابلر (bubler) و یک پمپ، شرایط مکش هوا به



داخل آب فراهم شد. بابلر اول که Degassing Vessel (ظرف حباب ساز) نام دارد دیک ظرف شیشه‌ای استوانه‌ای شکل کاملاً بسته با حجم 200 cc و شامل یک مسیر ورودی در بالا که هوا ورودی را مستقیماً به انتهای ظرف هدایت و مسیر خروجی در کناره بالائی آن که هوا خارج شده از آب را به طرف پمپ هدایت می‌کند. در انتهای لوله ورودی ظرف اول یک فیلتر شیشه‌ای (glass filter) قرار دارد که جهت ایجاد حباب بکار می‌رود. هرچقدر که مش فیلتر (تعداد روزنه‌ها در واحد سطح) بیشتر باشد حباب‌های ریزتری ایجاد می‌شود که در نتیجه گازهای (و بخارهای) موجود در هوا در هنگام عبور از داخل آب بهتر حل می‌شوند به عبارتی احتمال حل شدن آنها افزایش می‌یابد. بابلر دوم که Security vessel (ظرف ایمنی) نام دارد نیز یک ظرف شیشه‌ای مشابه ظرف

اول اما با طول لوله ورودی کوتاهتر و بدون فیلتر شیشه‌ای است که به منظور این سازی سیستم به کار می‌رود. چنانچه در اثر مکش پمپ رطوبت یا آبی از ظرف اول خارج شود در داخل آن به دام می‌افتد و مانع آسیب رسیدن به پمپ می‌شود. مسیر ورود هوا با روشن شدن پمپ در شکل فوق نمایش داده شده است. پمپ مورد استفاده در این آزمایش یک پمپ کوچک مکش با فلوی (مقدار مکش هوا در واحد زمان) حداکثر  $1 \text{ lit/min}$  است.

پس از برقراری سیستم فوق ابتدا در داخل ظرف اول مقدار  $100 \text{ cc}$  آب مقطر می‌ریزیم. سپس پمپ را در فلوی  $0.5 \text{ lit/min}$  تنظیم نموده آن را روشن می‌کنیم و همزمان با روشن کردن زمان را نیز یادداشت می‌کنیم. هر چه مدت زمان مکش بیشتر شود حجم بیشتری از هوا از داخل آب عبور می‌کند که در نتیجه دقت آزمایش بیشتر می‌شود. البته رنج این مدت زمان باید در حدود چند روز به طور پیوسته باشد که از جمله عوامل خطا در این آزمایش گستته و کم بودن زمان به علت محدودیت زمان کاری بوده است. پس از خاموش کردن پمپ می‌توان اظهار داشت که در حال حاضر آب مقطر داخل ظرف Degassing Vessel موجود است حاوی گازها و ذرات معلق مختلف موجود در هوا با ضرایب حلایت مختلف در آب، باشند.

اما با توجه به اینکه تنها گاز رادیو اکتیو بتا زا موجود در هوا تریتیم است لذا اندازه گیری آن مسیر مشخص خود را دارد و وجود احتمالی سایر موارد تاثیری بر اندازه گیری تریتیم ندارد.

در مرحله بعد از نمونه فوق به مقدار  $2 \text{ cc}$  به عنوان نمونه (ویال شماره ۱) برداشته شده و در داخل یک ویال (ظرفهای استوانه‌ای شکل پلی اتیلنی با در پوش که جهت قرار دادن نمونه‌های مایع



مواد شیمیایی به کار می‌رود) با حجم  $20 \text{ cc}$  ریخته می‌شود. چون قرار است نمونه فوق با یک آشکارساز مخصوص شمارش بتا شمارش شود لذا  $18 \text{ cc}$  از مایع سنتیلاسیون (Liquid Scintillation) به آن اضافه می‌کنیم. مایع سنتیلاسیون مایعی است که

از مولکولهای بزرگ آلی شامل حلقه‌های فنیل و نفتالین و ... تشکیل شده است. این مایع غیر اکتیو است و کار آن به علت ساختار شیمیایی جذب ذرات بتای گسیل شده از نمونه محلول در آن و در

مقابل ساطع کردن فوتونهایی در ناحیه مرئی می باشد. علت انتخاب  $CC_{18}$  مایع سنتیلاسیون و  $CC_2$  نمونه استفاده از نتایج تحقیقات در این زمینه بوده است که با چنین نسبتی بهترین نتایج بدست آمده است.

پس از مخلوط کردن و بهم زدن کامل نمونه و مایع سنتیلاسیون ویال به مدت سه ساعت در تاریکی قرار داده شده و سپس توسط شمارنده فوق شمارش می شود. به جهت محاسبه مقدار خطای مراحل شمارش در یک ویال دیگر (ویال شماره 2) و  $CC_2$  از نمونه فوق به همراه  $CC_{18}$  مایع سنتیلاسیون و  $0.1 CC$  از نمونه استاندارد مایع رادیواکتیو تریتیم (tracer) را که اکتیویته آن مشخص است اضافه می کنیم و پس از بهم زدن کامل و قرار دادن به مدت سه ساعت در تاریکی ان راشمارش می کنیم که با این کار می توان مقدار خطای دستگاه شمارنده را با یک تناسب ساده از اختلاف نتایج نمونه های شماره 1 و 2 بدست آورد:

## شمارش در واحد زمان 2 نمونه شماره 1 - شمارش در واحد زمان نمونه شماره

$$\epsilon = \frac{\text{اکتیویته نمونه استاندارد (بر حسب بکرل)}}{\text{اکتیویته نمونه شماره 1}} =$$

همچنین به منظور لحاظ کردن شمارش زمینه در ویال شماره (3) و  $CC_2$  آب مقطر را به همراه و  $CC_{18}$  مایع سنتیلاسیون قرار می دهیم و شمارش حاصل از این نمونه را به عنوان شمارش زمینه از مقدارشمارش نمونه شماره (1) کم می کنیم. پس از تهیه نمونه های فوق آنها را در داخل آشکارساز شمارنده بتا قرار داده و هر نمونه ۳ بار و هر بار به مدت ۰.۶ ثانیه شمارش می شود تا با میانگین گیری برای هر نمونه تعداد شمارش در ثانیه محاسبه شود. با بدست آمدن نتایج میتوان غلظت تریتیم موجود در هوا را از رابطه زیر محاسبه کرد:

$$C_{tr} = (A - B) \times V / u D t \epsilon \pm E$$

که در آن:

$$C_{tr} = Bq / Lit \quad \text{غلظت تریتیم موجود در هوا بر حسب}$$

A= اکتیویته نمونه بر حسب  $Bq$  (تعداد شمارش های انجام شده در یک ثانیه)

B= شمارش زمینه در یک ثانیه

V= حجم کل نمونه آب مقطر بر حسب CC

u= حجم نمونه برداشته شده جهت اندازه گیری (CC)

t= مدت زمان مکش پمپ بر حسب دقیقه

D= lit/min فلوی پمپ (مکش پمپ) بر حسب

E= راندمان دستگاه شمارنده بتا ( $\beta$ )

مقدار خطای اندازه گیری

E=

در موارد فوق همانگونه که در تشریح عملکرد آمد مقدار V را 100 cc، مقدار u را 2 و cc مدت زمان را 24 ساعت قرار داده ایم که همانگونه که بیان شد این مدت زمان گستره وکوتاه بود. مقدار (D) فلوی پمپ یعنی مقدار هوایی که در واحد زمان مکش می کند را نیز ۰/۵ lit/min تنظیم کردیم. مقدار E راندمان دستگاه از مشخصات دستگاه شمارنده است که از قبل تعیین شده است و برای دستگاه مورد استفاده در این آزمایش ۵۸/۳۹٪ می باشد و E نیز باید مجموع تمام خطاهای موجود در آزمایش باشد که خطای گفته شده در مقدار شمارش یکی از موارد آنست و از سایر موارد چشمپوشی شده است که در محاسبات دقیقتر باید همه موارد لحاظ شوند همچنین با توجه به اینکه بیشتر تریتیم موجود در هوا بصورت بخار ... DTO, HTO,... است لذا با عبور این ترکیبات از داخل

آب فرض شده است که تمام این مولکولها در آب حل می شوند که در واقع نیز به همین گونه است البته ممکن است تمام تریتیم موجود در هوای عبوری از آب (بویژه  $T_2$ ) در داخل آن حل نشود و قسمتی از آن از آب خارج می شود.

رابطه فوق در واقع بر اساس پارامترهای موجود در این آزمایش نوشته شده است و ممکن است رابطه کا ملی نباشد اما سعی براین است که تمام پارامترهای درگیر در آزمایش وارد شوند. همانگونه که گفته شد چون این روش اندازه گیری به نوعی ابتکاری بوده است لذا انتظار می رود مقدار خطای حاصل نیز زیاد باشد.

#### نتیجه:

نتایج اندازه گیریهای پیاپی و میانگین گیری از آنها مقدار غلظت تریتیم موجود در هوای این آزمایشگاه را که به نوعی قسمتی از هوای (شهر تهران) است حدود  $8/2 \times 10^{-5} \text{ Bq/mL}$  نشان داده است. دارای خطای نسبتاً زیادی می باشد. براساس استاندارد ردهای

جهانی (EPA, DOE (U.S.A), ICRP) ما کزیم حد مجاز گاز تریتیم در هوای می تواند مقدار  $3/7 \times 10^{-3} \text{ Bq/mL}$  باشد که مقدار فوق کمتر از این است بنابراین می توان گفت هوای این محیط از لحاظ آلودگی به گاز تریتیم یک هوای تمیز است.

نتایج بررسی مقدار گاز تریتیم در نقاط مختلف کشورهای جهان موجود است که اکثر آنها در هوای عادی شهرهایشان که به دور از نقاط مختلف آلودگیری های هسته ای باشد بطور میانگین اعدادی در رنج  $1/6 \pm 0.05 \times 10^{-7} \text{ Bq/mL}$  را بدست آورده اند که این عدد با نتیجه بدست آمده از این اندازه گیری قابل مقایسه است. همچنین بر اساس استاندارد

(Department Of Energy) DOE که مربوط به قوانین حفاظت هسته ای آمریکا می باشد مقدار غلظت توصیه شده (DCG) Derived Concentration Guides) این گاز در هوای می باشد. نتایج اندازه گیریها در ایالات متحده نشان می دهد که حداقل غلظت این گاز در نواحی مختلف این ایالت در حدود  $1 \times 10^{-4} \text{ mCi/L}$   $3/7 \times 10^{-3} \text{ Bq/mL}$   $(2.6 \times 10^{-7} \text{ Bq/mL of air})$   $\mu\text{Ci/mL}$   $6 \times 10^{-12}$  می باشد.



انجمن هسته‌ای ایران



اصفهان، دانشگاه اصفهان، ۱۶ و ۱۷ اسفندماه



دانشگاه اصفهان

## References:

- 1) Summary of results for the third quarter of 2002.the U.S. Department of Energy (DOE) and regulatory standards established by the U.S. Environmental Protection Agency (EPA) for protection of the public)
- 2) ICRP 1979, International Commission on Radiological Protection, Limits for Intake of Radionuclides by Workers, Publication 30, Part 1, Pergamon Press, Vol. 2, No. 3.
- 3)LLNL Environmental Report for 1996