

نشریه دانشکده علوم، جلد یازدهم، شماره ۱ و ۲، بهار و تابستان ۱۳۵۸

## مقایسه روش‌های متداول برای اندازه‌گیری

### تریتیم آب دریا

دکتر محمد رضا حمیدیان

گروه فیزیک - دانشکده علوم

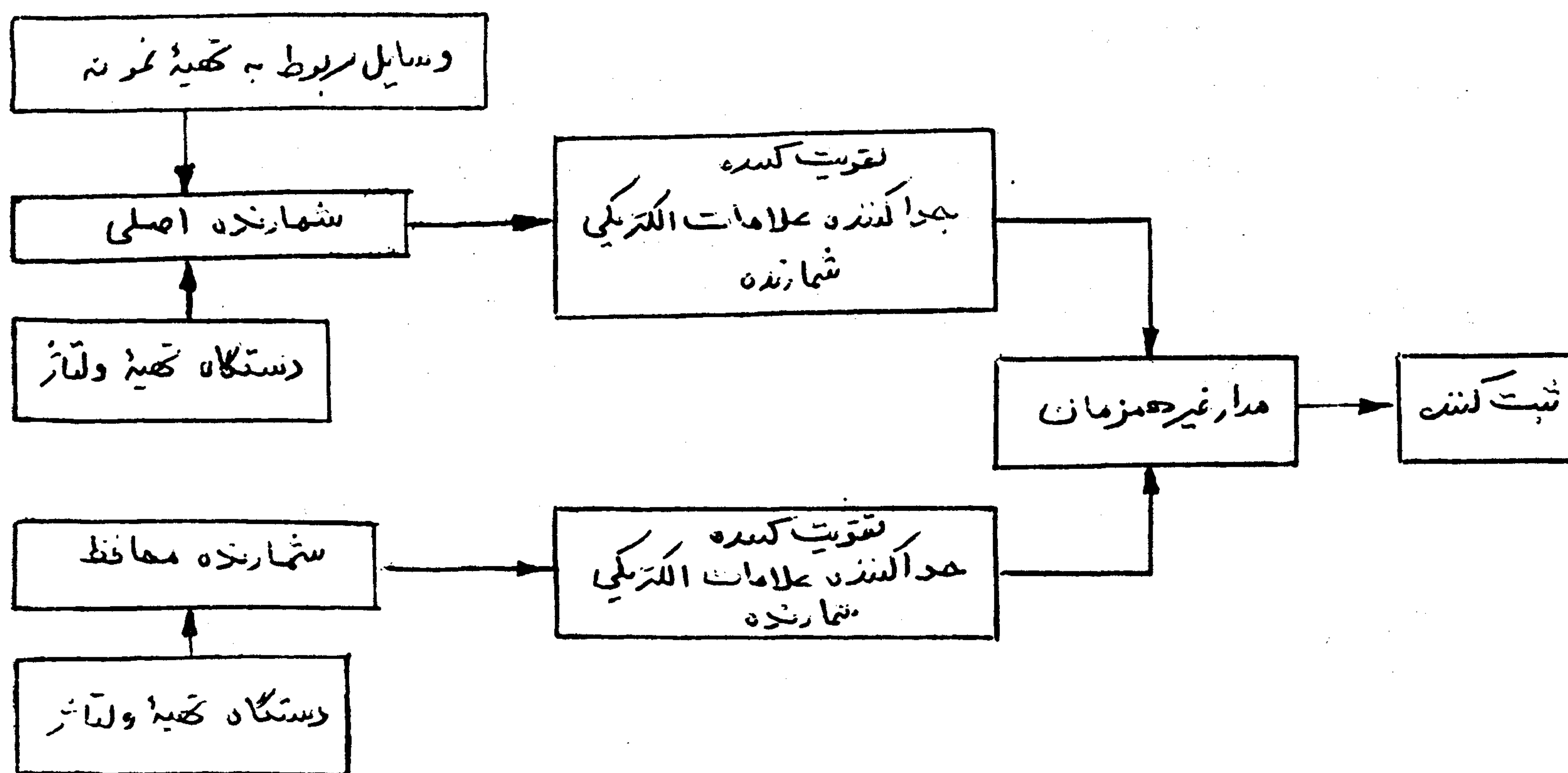
**مقدمه** - تریتیم یک عنصر رادیواکتیو با نیمه عمر ۱۲/۳ سال می‌باشد که بطور مداوم در طبقات بالای اتمسفر زمین بوجود می‌آید. ایجاد تریتیم بطور مصنوعی در نتیجه واکنش‌های هسته‌ای است که تابش‌های کیهانی با اتمسفر زمین دارند،  $^{12}\text{C}(n, t)^{14}\text{N}$  و  $^{14}\text{N}(n, t)^{14}\text{N}$  و  $^{16}\text{O}(n, p)^{15}\text{O}$ .

تریتیم پس از بوجود آمدن فوراً بصورت  $\text{H}_2\text{O}$  اکسید گردیده و ضمن مخلوط شدن با مولکولهای آب اتمسفر، در واکنش‌های شیمیایی زمین شرکت می‌نماید. میزان بوجود آمدن و تجزیه تریتیم در اتمسفر متعادل در نظر گرفته می‌شد و بعلت تراکم بسیار ناچیز تریتیم اندازه‌گیری مقدار آن همیشه همرا با اشکال بوده است. با انفجار بمب هسته‌ای در سال ۱۹۵۴ میزان تریتیم بالای اتمسفر چندین برابر افزایش پیدا کرده است و مسلماً انفجارات بعدی منجر به افزایش بیشتر شده و خواهد شد. این عنصر در واکنش‌های هسته‌ای فوزیون و فیسون بوجود می‌آید. نمونه‌هایی از واکنش‌های هسته‌ای مربوط به انفجار بمب  $\text{H}$  و بمب  $A$  که در آنها تریتیم بوجود می‌آید به ترتیب عبارتند  $^2\text{H}(n, \gamma)^3\text{H}$ ،  $^2\text{H}(n, f)^3\text{H}$  و  $^{239}\text{Pu}(n, f)^3\text{H}$  و  $^{235}\text{U}(n, f)^3\text{H}$ . با در نظر گرفتن اینکه نیاز به انرژی الکتریکی از نیروگاههای هسته‌ای روز بروز افزایش پیدا می‌کند و این نیاز را در سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۰ GWe تخمین می‌زنند مسایل مربوط به افزایش رادیواکتیویته محیط زیست نیز روز بروز جدی‌تر خواهد شد. بدلیل اینکه تریتیم دارای نیمه عمر متوسط بوده و یکی از ایزوتوپهای هیدروژن می‌باشد از لحاظ بیولوژیکی دارای اهمیت خاص است و افزایش آن در اتمسفر می‌تواند نتایج وخیمی برای مردم دنیا به‌همراه داشته باشد. اندازه‌گیری تریتیم بجهت اینکه تابش بتای آن دارای انرژی کم ( $E_{\max} = 18\text{Kev}$ ) است مشکل می‌باشد. نسبت  $\frac{T}{H} = 10^{-18}$  را نسبت یا واحد تریتیم (T.R) نامیده و هر واحد تریتیم در یک لیتر آب اکتیویته‌ای برابر با  $\frac{1}{2}$  شمارش در دقیقه دارد. بکار بردن سیستم شمارنده سنتیلاسیون مایع و سیستم شمارنده گازی از روش‌های متداول برای شمارش اکتیویته‌های

کم ترتیم می باشد که در زیر باختصار بشرح آنها می پردازیم .

### سیستم شمارنده گازی

محفظه گاز بشکل استوانه بوده و معمولاً کار آن در ناحیه شمارنده های تناسبی می باشد. مانند تمام اندازه گیری های مربوط به انرژی های پایین در اینجا نیز شمارش داخلی مطرح است یعنی نمونه (آب که اندازه گیری ترتیم آن مورد نظر است) بصورت هیدروژن ، متان و یا اتان در می آید و گاز داخل محفظه شمارنده را تشکیل می دهد. برای کاهش شمارش زمینه مربوط به تابش های کیهانی اطراف محفظه شمارنده را یک محفظه گازی دیگر بنام شمارنده محافظ می پوشاند (گاهی بجای یک محفظه چندین محفظه در اطراف شمارنده اصلی قرار می گیرد). گاز داخل محفظه محافظ مشابه گاز محفظه اصلی ولی فاقد ترتیم است ، شمارنده محافظ نیز در ناحیه تناسبی کار می کند. علامات الکتریکی شمارنده اصلی و شمارنده محافظ به مدار الکترونیکی غیرهم زمان متصل می گردند که بدین ترتیب شمارش زمینه بمقدار قابل توجهی کاهش می یابد. علاوه براین ، اطراف سیستم اندازه گیری باجیوه بسیار خالص و حفاظ سربی پوشانده می شود تا اثرات مربوط به تابش های کیهانی هرچه بیشتر کاهش پیدا نماید. شکل (۱) دیاگرام سیستم شمارنده گازی را نشان می دهد .

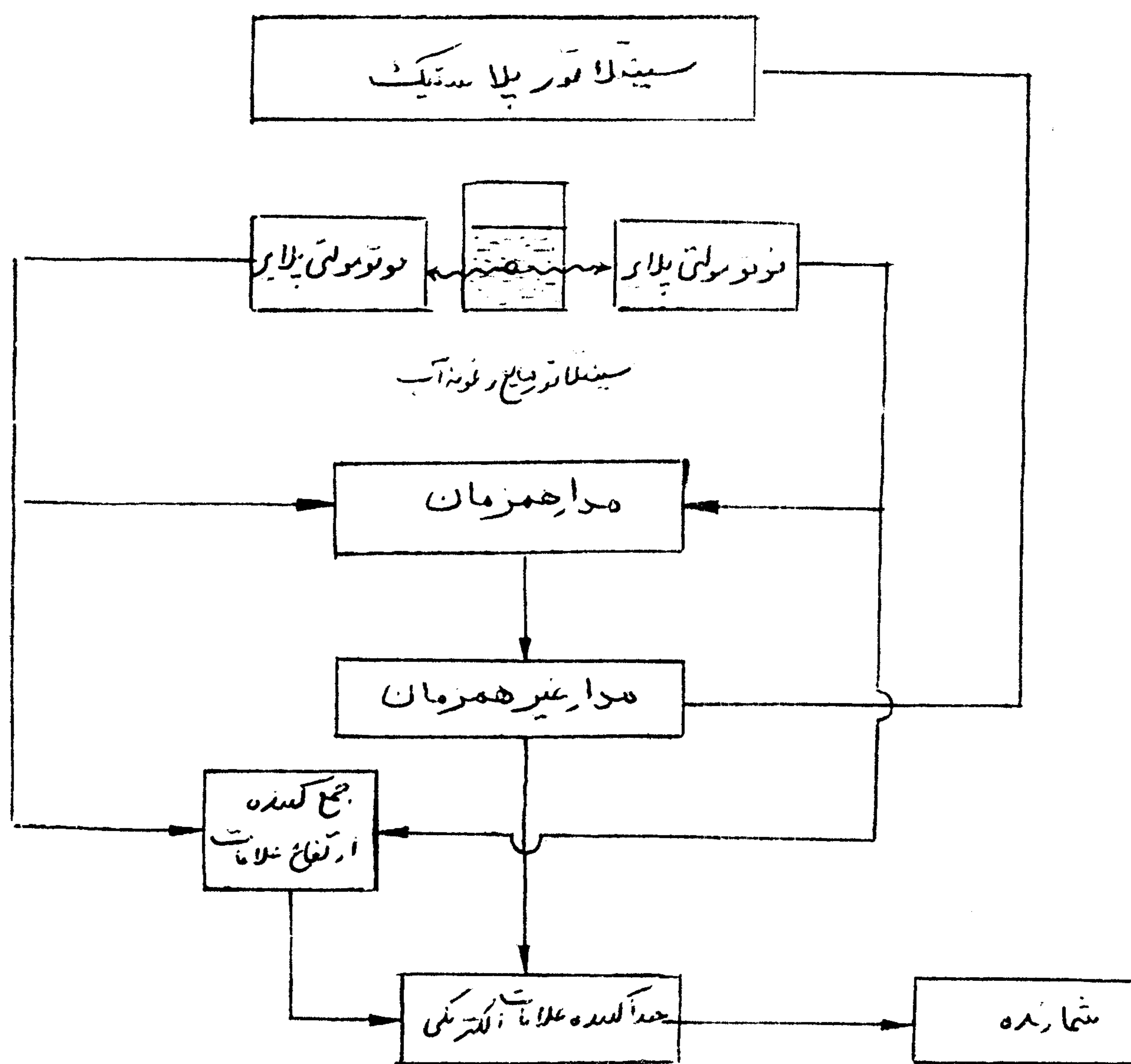


شکل (۱) دیاگرام سیستم شمارنده گازی

### سیستم شمارنده سنتیلاسیون مایع

قسمت های مختلف این سیستم اندازه گیری بوسیله شکل (۲) نشان داده شده است. نمونه آب با سنتیلاتور مایع مخلوط می باشد، در این تجربیات از دو نوع سنتیلاتور مایع استفاده شده است. «Aquazol - 2» ساخته شده توسط «New England Nuclear» و «Dotaito Scintizol - 500» که بوسیله کمپانی ژاپنی «Dojin» ساخته می شود. سنتیلاتور نوع اول دارای ۱٪ راندمان بیشتر و

قیمت دوبرابر نسبت به نوع دوم می باشد. بطوریکه از شکل (۲) ملاحظه می شود اتصال علامات الکتریکی از دو لاسپ فتومولتی پلایر به مدار هم زمان از یکطرف و اتصال علامات الکتریکی مدار هم زمان و علامات الکتریکی حاصل از سنتیلاتور پلاستیک به مدار غیر هم زمان، از طرف دیگر، منجر به کاهش شمارش زنبه می گردد. علاوه بر این در اینجا نیز سیستم اندازه گیری از سرب با ضخامت نسبتاً زیاد پوشانده می شود. اندازه گیری های مربوط به این گزارش با شمارنده سنتیلاتور مایع اجرا گردید. در این اندازه گیریها مقدار تریتم ۱ ع نمونه آب دریای اطراف جزیره کیوشو تعیین گردید\*.



شکل ۲- دیاگرام سیستم شمارنده سنتیلاتور مایع

اینک نتایج بدست آمده را با نتایج مربوط به یک شمارنده گازی، که در نوع خود پیشرفته می باشد و اندازه گیریهای آن قبلاً در همین دپارتمان اجرا گردیده است (1) از جنبه های مختلف مورد مقایسه قرار می دهیم.

\* این اندازه گیری در دپارتمان رادیوشیمی دانشکده علوم دانشگاه کیوشو - ژاپن انجام گرفت، در اینجا لازم میدانم از امکاناتی که این دپارتمان در اختیارم قرار داده قدردانی نمایم.

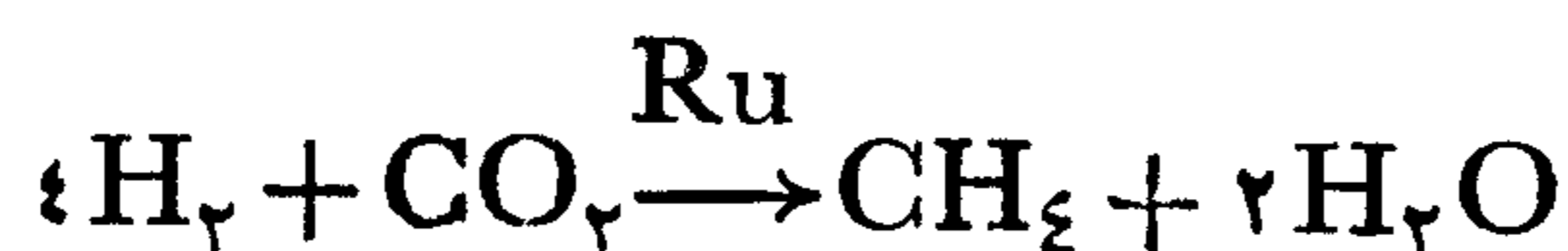


## ۱- میزان توانائی سیستم اندازه گیری (FM)

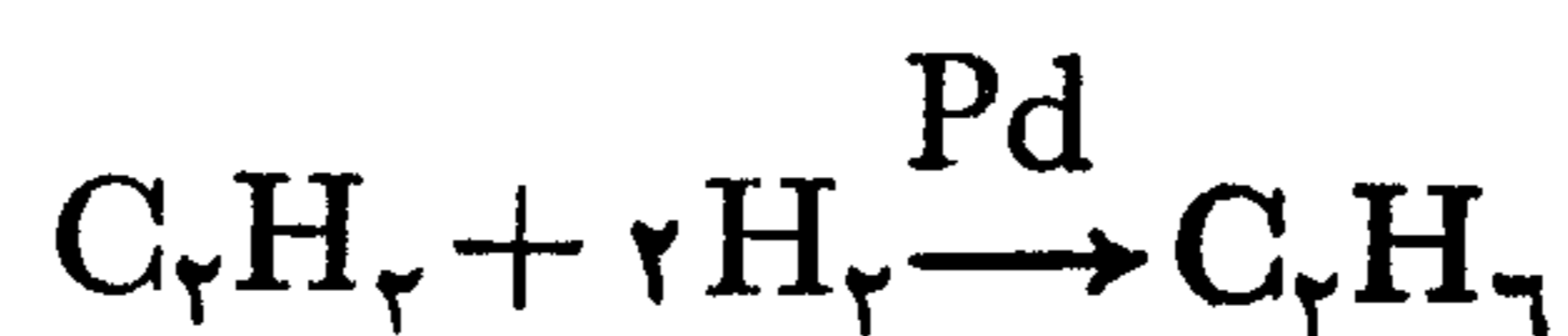
میزان توانائی وسیله اندازه گیری با رابطه  $FM = \frac{(EV)^2}{B}$  داده می شود که E برابر راندمان، V حجم نمونه و B شمارش زمینه می باشد. معمولاً میزان توانائی شمارنده های گازی برای اندازه گیری تریتم آب بزرگتر از شمارنده های سنتیلاسیون مایع در نظر گرفته می شود، ولی بطوریکه از بحث زیر نتیجه خواهد شد می توان گفت که میزان توانائی در سیستم های اندازه گیری جدید سنتیلاسیون مایع قابل مقایسه با سیستم های گازی است. اگر حجم استوانه شمارنده گازی دو لیتر و از گاز هیدروژن با فشار یک اتمسفر پر شده باشد تعداد مولکولهای هیدروژن برابر خواهد بود با :

$$n = \frac{PV}{RT} = \frac{1 \times 2}{0.082 \times 290} = 0.084 \text{ (مولکول گرم)}$$

و حجم نمونه آبی که این مقدار هیدروژن از آن بدست می آید برابر است با ( میلی لیتر )  $0.084 \times 18 = 1.5$  در صورتیکه شمارنده از گاز  $CH_4$  یا  $C_2H_2$  پر شود حجم نمونه آب که برای تهیه دو لیتر گاز بکار می رود را با توجه به واکنش شیمیائی زیر بدست می آوریم



که بدین ترتیب باید مولکولهای آب و واکنش را به  $CH_4$  تبدیل نمائیم که کار نسبتاً دشواری است. حجم نمونه آب در این حالت برابر است با : ( میلی لیتر )  $3 = 0.2 \times 1.5$  برای تهیه اتان واکنش شیمیائی عبارتست :



بطوریکه ملاحظه می شود در هر دو واکنش ابتدا نمونه آب باید به هیدروژن تبدیل گردد. یادآوری می شود که از ۴ اتم هیدروژن در اتان فقط ۲ اتم آن مربوط به نمونه آب است، بنابراین حجم آب مانند حالت متان برابر ۳ میلی لیتر می باشد. ضمناً در حالت اخیر تهیه  $C_2H_2$  بدون تریتم خالی از اشکال نیست. با در نظر گرفتن اینکه راندمان شمارنده های گازی برای تریتم نزدیک به ۱۰۰٪ و شمارش زمینه یک شماره در دقیقه می باشد می توان مقدار FM را برای گازهای هیدروژن، متان و اتان محاسبه نمود :

$$(FM)_{H_2} = 22000 \text{ و } (FM)_{CH_4} \approx (FM)_{C_2H_2} = 90000$$

در مورد شمارنده سنتیلاسیون مایع که در این تجربیات مورد استفاده قرار گرفت، حجم نمونه آب ۰ میلی لیتر ( ۱۰۰ میلی لیتر حجم محفظه = ۰ میلی لیتر حجم نمونه آب + ۰ میلی لیتر حجم سنتیلاسیون مایع ) ، راندمان ۱۰٪ و شمارش زمینه ۳/۰ در دقیقه می باشد بنابراین  $FM = 71400$

## ۲- زمان اندازه گیری ودقت

یکی از فاکتورهای مهم در شمارش مربوط به انرژی های کم رسیدن به دقت آماری مورد نظر می باشد. زمان اندازه گیری هر نمونه با توجه به میزان تریتم نمونه، مقدار نمونه در شمارنده و شمارش

زمینه شمارنده معین می‌شود. در شمارنده‌ای که شمارش در دقیقه‌ای برابر C از نمونه می‌دهد و شمارش زمینه آن B است، انحراف آماری استاندارد در میزان شمارش خالص نمونه در طول زمان t برابر است (5) با :

$$\sigma^2_C = \sigma^2_{C+B} + \sigma^2_B = \frac{(C+B)}{t} + \frac{B}{t_B}$$

اگر P مقدار درصد انحراف آماری استاندارد نسبی در شمارش خالص نمونه C، فرض شود می‌توان نوشت

$$P^2 = \frac{10^4 \sigma^2_C}{C^2} = \frac{10^4}{C^2} \left( \frac{C+B}{t} + B \right)$$

در این رابطه B شمارش زمینه در واحد زمان می‌باشد و از آن :

$$t = 10^4 (C+B) / (P^2 C^2 - 10^4 \sigma^2_B)$$

برای شمارنده‌ای که F شمارش بازا هر T.R می‌دهد زمان لازم برای رسیدن به مقدار درصد نسبی P در مورد نمونه‌ای با اکتیویته N مرتبه از T.R برابر است با :

$$t = 10^4 (FN + B) / (P^2 F^2 N^2 - 10^4 \sigma^2_B)$$

تغییرات شمارش زمینه در ضمن اندازه‌گیری‌ها ناچیز بوده است، بنابراین می‌توان  $\sigma_B$  را ناچیز در نظر گرفت و زمان اندازه‌گیری را با استفاده از رابطه زیر بدست آورد.

$$t = 10^4 (FN + B) / P^2 F^2 N^2$$

نمونه‌هایی که با شمارنده سنتیلاتور مایع اندازه‌گیری شدند بطور متوسط اکتیویته‌ای برابر با ۲۰ T.R داشتند، با انتخاب  $P = 1\%$  زمان اندازه‌گیری برابر ۸۱۴ دقیقه بدست می‌آید. در یک شمارنده گازی بسیار خوب\*،  $B = 1$  شمارش در دقیقه و  $F = 2\%$  (یک شمارش در دقیقه بازا T.R) و برای نمونه‌ای با اکتیویته حدود ۲۰ T.R، زمان اندازه‌گیری تقریباً برابر با زمان اندازه‌گیری در مورد شمارنده سنتیلاتور مایع خواهد بود.

### ۳- آماده نمودن نمونه برای اندازه‌گیری

در شمارنده‌های گازی نمونه‌های آب بعد از تقطیر بصورت گاز ( $H_2$ ,  $CH_4$ ,  $C_2H_6$ ...) در می‌آید و این گاز وارد حجم شمارنده می‌گردد. بطور متوسط برای تبدیل هر نمونه به صورت گاز شمارنده، نصف روز وقت لازم است. در صورتیکه در مورد شمارنده سنتیلاتور مایع کافی است نمونه آب را بعد از تقطیر با سنتیلاتور مایع مخلوط نمود و برای اندازه‌گیری در دستگا قرار داد.

### نتیجه‌گیری :

بطوریکه از آزمایشهای فوق نتیجه می‌شود برای اندازه‌گیری تریتم نمونه‌های آب که اکتیویته کم دارند، شمارنده‌های جدید سنتیلاتور مایع با شمارش زمینه کم دارای توانائی قابل ستایسه با بهترین شم رنده‌های گازی برای اینکار می‌باشند. بعلاوه با در نظر گرفتن اشکالات مربوط به تبدیل نمونه آب به گاز و اینکه زمان آماده نمودن نمونه برای اندازه‌گیری در شمارنده‌های گازی طولانی‌تر است شمارنده‌های سنتیلاتور مایع ارجحیت دارند. یادآوری می‌شود در شمارنده سنتیلاتور مایع که در تهیه این گزارش مورد استفاده قرار گرفت می‌توان پانزده نمونه را هم‌زمان در دستگاه قرار داد.

---

\* مشخصات مربوط به یکی از بهترین شمارنده‌های گازی که در آزمایشگاه متعلق به آژانس بین‌المللی انرژی اتمی کار می‌کند، برای مقایسه در این گزارش انتخاب گردیده است.

REFERENCES

- 1- Yoshimasa Takashima and Noriyuki Momoshima Measurement of low-level Tritium by gas-counting metho" June 1977, Bult. of Kyushu university.
- 2- M.Kawakami and K.Shimura, *ibid*, 23, 81 (1974).
- 3- W.E.Bradley and G.E. Stout, *Tellus*, 22, 699 (1970).
- 4- Lieberman and A.A.Moghissi, *ibid*, 21, 319 (1970).
- 5- "Radioactive dating and methods of low leve counting IAEA, Stpt, 543, 73 (1967).