

## تأثیر ناخالصی $^3\text{He}$ ناشی از واپاشی بتازا تریتیوم بر دینامیک چرخه میونی در محیط جامد $T_2$

مهدوی، محمد<sup>۱</sup>؛ زنگانه، وحید<sup>[1]</sup>

[1] گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه مازندران، بابلسر، کد پستی ۴۷۴۱۵-۴۱۶

### چکیده :

در فرایند همجوشی به روش کاتالیزور میونی،  $\mu\text{CF}$ ، چسبیدن میون به ذره  $^3\text{He}$  پارامتر مهمی در تداوم چرخه محسوب شده و نقشی موثر بر آهنگ چرخه، ضریب چسبندگی و بازده نوترونی خواهد داشت. در این کار پژوهشی تأثیر هسته  $^3\text{He}$  (ناشی از واپاشی بتازا تریتیوم) بر دینامیک چرخه میونی محیط جامد  $T_2$  مورد بررسی قرار گرفته است. آهنگ چرخه، ضریب چسبندگی موثر و بازده نوترونی به ازاء یک میون محاسبه شده، با نتایج تجربی ارائه شده همخوانی خوبی دارد.

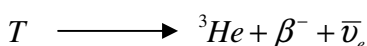
**کلمه کلیدی :** دینامیک چرخه میون، ضریب چسبندگی موثر، بازده نوترونی، تریتیوم

### مقدمه:

در بین ذرات زیراتمی، ذره میون دارای طول عمر کوتاهی است ( $t_{\mu} = 2.2\mu\text{sec}$ )، این ذره باری برابر با بار الکترون دارد ولی جرم آن  $207$  برابر جرم الکترون است، لذا میون می تواند جایگزین الکترون در مدار بوهر اتم هیدروژن شود. شعاع این اتم میوندار  $207$  مرتبه کوچکتر از شعاع اتم معمولی هیدروژن است، هیدروژن میوندار کوچک شده می تواند به حد کافی به هسته دیگر نزدیک شده و در نتیجه احتمال همجوشی افزایش می یابد. بدنبال یک واکنش همجوشی، میون به احتمال زیاد رها می شود و در نتیجه با چسبیدن به هسته هیدروژن دیگر، چرخه کاتالیزور دیگری را تکرار می کند. تکرار این چرخه ها تا قبل از واپاشی میون ادامه می یابد. این فرایند همجوشی، را همجوشی به روش کاتالیزور میونی می نامند.

<sup>1</sup> E-Mail: m.mahdavi@ umz.ac.ir

ارزیابی انرژی آزاد شده از یک واکنش هسته‌ای نسبت به بهای انرژی که سبب آن واکنش می‌گردد در تعیین اهمیت هر سازگار انرژی زای هسته‌ای موضوعی اساسی است. به همین منظور تحقیقات مختلفی در این زمینه انجام گرفته است [۱-۳]. در چند سال اخیر بیشتر تحقیقات در محیط‌های جامد از ایزوتوپهای هیدروژن انجام شده است [۴-۶].



از آنجاکه محصول واپاشی اتم تریتیوم  ${}^3\text{He}$  می‌باشد، این احتمال وجود دارد که میون‌های محیط به هسته‌های هلیوم-۳ ( ${}^3\text{He} \equiv h$ ) تولید شده ناشی از واپاشی بتا بچسبند و یا باعث انتقال میون از اتم میونی  $\mu t$  به هسته‌های اتم  ${}^3\text{He}$  شوند. حضور  $\mu h$  در این چرخه همجوشی سبب تغییری در ضریب چرخه میونی می‌گردد. لذا، به منظور مطالعه دقیق مکانیزم کاتالیزور میونی، باید این فرایند را در چرخه میونی در نظر گرفت. در این کار تحقیقاتی، دینامیک چرخه میونی محیط جامد  $T_2$  را با در نظر گرفتن ناخالصی  ${}^3\text{He}$  (که از واپاشی بتا- تریتیوم بوجود می‌آید) مورد مطالعه قرار داده ایم و در نهایت با حل معادلات دینامیک نقطه‌ای وابسته به زمان برای سیستم مورد نظر، با روش مونت کارلو و با استفاده از کد کامپیوتری "Isode" به نتایج قابل قبولی دست یافته ایم.

### دینامیک چرخه میون :

میونی که وارد محیط جامد  $T_2$ ، با غلظت نسبی بسیار کم  ${}^3\text{He}$  ( $C_h = 10^{-2}$ ) می‌شود، با احتمال  $\lambda_{h0}$  واپاشی می‌کند یا اینکه در اثر برخورد با اتم‌های محیط کند شده و با احتمال  $\lambda_{ht}$  اتم میونی  $\mu t$  تشکیل می‌دهد. اتم‌های  $\mu t$  تولید شده می‌توانند به تریتیوم‌های محیط برخورد کنند و با آهنگ  $\lambda_{\mu tt}$  مولکول میونی  $\mu tt$  تولید نمایند یا به هسته‌های  ${}^3\text{He}$ ‌هایی که از واپاشی بتا تریتیوم بوجود آمده اند برخورد کنند و طی فرایند انتقال ایزوتوپی، اتم‌های میونی  $\mu h$  با آهنگ  $\lambda_{\mu h}$  تولید شوند. همچنین اتم‌های  $\mu h$  در برخورد با

اتمهای  $h$  می‌توانند با آهنگ  $\lambda_{\mu hh}$  تشکیل مولکول میونی  $\mu hh$  بدهند و یا به تریتیوم های محیط برخورد کرده و مولکول میونی  $\mu th$  را با آهنگ  $\lambda_{\mu th}$  تولید کنند. پس از همجوشی مولکولهای میونی  $\mu th$ ،  $\mu hh$  و  $\mu th$  می‌تواند با احتمالی آزاد می‌شود و فرایند همجوشی دی‌گری را کاتالیز می‌کند و یا با یک احتمال کوچکتر ممکن است به یکی از محصولات ناشی از همجوشی بچسبد که در این صورت دیگر نمی‌تواند در چرخه همجوشی شرکت کند (شکل ۱). به منظور مطالعه اثر  ${}^3\text{He}$  بر چرخه میونی، معادلات دینامیکی وابسته به زمان را می‌توانیم بصورت زیر بنویسیم:

$$\begin{aligned} \frac{dN_{\mu}(t)}{dt} &= s_{\mu} - (\lambda_0 + \phi\lambda_a)N_{\mu}(t) + (1-w_{tt})\lambda_{\mu tt}^f N_{\mu tt}(t) \\ &\quad + (1-w_{th})\lambda_{\mu th}^f N_{\mu th}(t) + (1-w_{hh})\lambda_{\mu hh}^f N_{\mu hh}(t) \\ \frac{dN_{\mu t}(t)}{dt} &= -(\lambda_0 + \phi c_t \lambda_{\mu t} + \phi c_h \lambda_{th})N_{\mu t}(t) + \phi c_t \lambda_a N_{\mu}(t) \\ \frac{dN_{\mu h}(t)}{dt} &= -(\lambda_0 + \phi c_h \lambda_{\mu h} + \phi c_t \lambda_{th})N_{\mu h}(t) + \phi c_h \lambda_{th} N_{\mu t}(t) \\ \frac{dN_{\mu tt}(t)}{dt} &= -(\lambda_0 + \lambda_{\mu tt}^f)N_{\mu tt}(t) + \phi c_t \lambda_{\mu t} N_{\mu t}(t) \\ \frac{dN_{\mu th}(t)}{dt} &= -(\lambda_0 + \lambda_{\mu th}^f)N_{\mu th}(t) + \phi c_t \lambda_{\mu t} N_{\mu t}(t) \\ \frac{dN_{\mu hh}(t)}{dt} &= -(\lambda_0 + \lambda_{\mu hh}^f)N_{\mu hh}(t) + \phi c_h \lambda_{\mu h} N_{\mu h}(t) \\ \frac{d\chi_{\mu}(t)}{dt} &= \lambda_{\mu tt}^f N_{\mu tt}(t) + \lambda_{\mu th}^f N_{\mu th}(t) + \lambda_{\mu hh}^f N_{\mu hh}(t) \end{aligned}$$

و ضریب چسبندگی موثر برای سی‌ستم از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$w^{eff} = \frac{\phi c_t \lambda_{\mu tt} w_{tt}}{\lambda_0 + \phi c_t \lambda_{\mu t} w_{tt} + \phi c_h \lambda_{th}} + \frac{\phi c_t \lambda_{\mu th} w_{th} + \phi c_h \lambda_{\mu hh} w_{hh}}{\lambda_0 + \phi c_h \lambda_{\mu h} + \phi c_t \lambda_{\mu th}}$$

آهنگ چرخه میون بصورت

$$\lambda_c = \frac{\lambda_0}{\phi} \left( \frac{\chi_\mu}{1 - \chi_\mu w^{eff}} \right)$$

محاسبه می شود. بطوریکه  $N_{\mu h}, N_{\mu}, N_{\mu t}$  و  $N_{\mu h h}, N_{\mu h}, N_{\mu t t}$  به ترتیب چگالی میونی، چگالی اتمهای میونی و چگالی مولکولهای میونی می باشند.  $\lambda$  و  $\lambda^f$  به ترتیب بیانگر آهنگ تشکیل و آهنگ همجوشی می باشند. همچنین  $\Phi$  نشانگر چگالی نسبی محیط،  $\chi_\mu$  ضریب چرخه میون و  $w^{eff}$  ضریب چسبندگی موثر سیستم می باشند. بازده نوترونی به ازاء هر میون از رابطه  $Y_n = \frac{\phi \lambda_c}{\lambda_n}$  بدست می آید که آهنگ نابودی نوترون ( $\lambda_n$ ) برابر است؛  $\lambda_0 + w^{eff} \phi \lambda_c$ . به منظور مطالعه اثر  ${}^3\text{He}$  بر آهنگ چرخه و ضریب چرخه، معادلات دینامیک نقطه ای وابسته به زمان نوشته شده بوسیله کد کامپیوتری "Lsode" در شرایط فیزیکی  $\phi = 1.46LHD$  ( $1LHD = 4.25 \times 10^{22} \text{ cm}^{-3}$ ) حل شده است. مقادیر پارامترهای همجوشی در شرایط فیزیکی معین در مرجع ۷ داده شده است. تغییرات چگالی نسبی میون، اتم میونی و مولکول میونی نسبت به زمان در شکل‌های (۲-۴) نشان داده شده، و آهنگ چرخه میون و ضریب چرخه میون محاسبه شده است.

### نتیجه گیری:

با در نظر گرفتن دینامیک چرخه میونی در محیط جامد  $T_2$ ، اثر  ${}^3\text{He}$  (ناشی از واپاشی بتا ترازیوم) بر آهنگ چرخه، ضریب چرخه، ضریب چسبندگی و بازده نوترونی در شرایط فیزیکی  $\phi = 1.46LHD$  محاسبه شده است. برای سیستم مورد مطالعه، شکل‌های (۲-۴) نشان می دهد میونی که وارد محیط جامد  $T_2$  می شود، در مدت زمان خیلی کوتاه (از مرتبه نانو ثانیه) کند شده و اتم میونی و مولکول میونی تشکیل می دهد. با حل معادلات دینامیک نقطه ای وابسته به زمان حاکم بر سیستم، آهنگ چرخه میون  $\lambda_c = 3.38 \mu\text{sec}^{-1}$ ، ضریب چسبندگی موثر ( $w^{eff} = 0.13\%$ ) و همچنین بازده نوترونی به ازاء هر میون ( $Y_n = 9.1$ ) بدست آمده است. نتایج حاصل از محاسبات انجام شده با نتایج حاصل از گروه مرکز تحقیقات PSI و REIKEN-

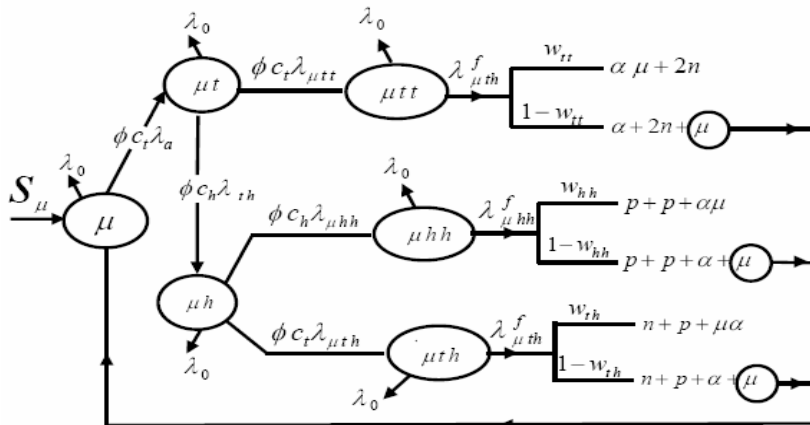
Ral در جدول ۱ ارائه شده است. مشاهده می شود که با اعمال اثر  $^3He$  در معادلات دینامیکی، بازده نوترونی و آهنگ چرخه میون کاهش می یابد. این کاهش ناشی از ربایش میونها توسط ناخالصی هلیوم-۳ می باشد.

جدول ۱: مقادیر آهنگ چرخه میون  $\lambda_c$ ، ضریب چسبندگی موثر  $w^{eff}$  و بازده نوترونی  $Y_n$  محاسبه شده.

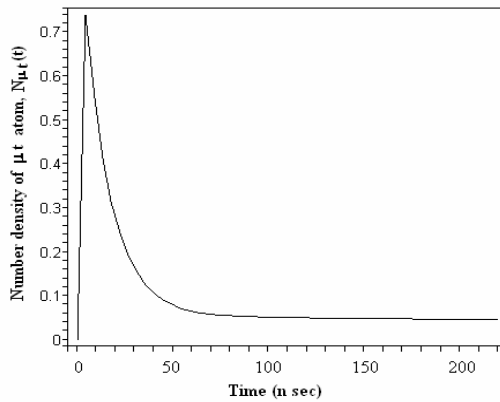
Parameter	This work	Re f [8]	Re f [9]
$\lambda_c$	$3.38 \mu\text{sec}^{-1}$	$(3.3 \pm 0.7) \mu\text{sec}^{-1}$	
$w^{eff}$	0.13%	$(8.7 \pm 1.93)\%$	$(14 + 3)\%$
$Y_n$	9.1	$11.2 \pm 2.2$	

مراجع:

- [1] Yu. V. Petrov. Nature, vol, 285, 466(1980)
- [2] V. N. Sosnin, A, A. Harms, Kertechnik 57, No.۵, 332(1992)
- [3] L. I. Ponomarov, contemp. Phys.31, 219(1990)
- [4] T. Matsuzaki, et al., phy. Lett. B 527, 43(2002)
- [5] A. M. Frdov, Phys. Lett. A291, 274(2001)
- [6] T. Matsuzaki, et al., hyp. Int.118, 229(1999)
- [7] M.R. Eskandari, M. Mahdavi and L. Rezaie, IJMPE, 14, 1033(2005)
- [8] W. H. Breunlich, et al., Muon catal. Fusion 1, 121(1987)
- [9] T. Matsuzaki et al., Hyp Int, 138, 295(2001)

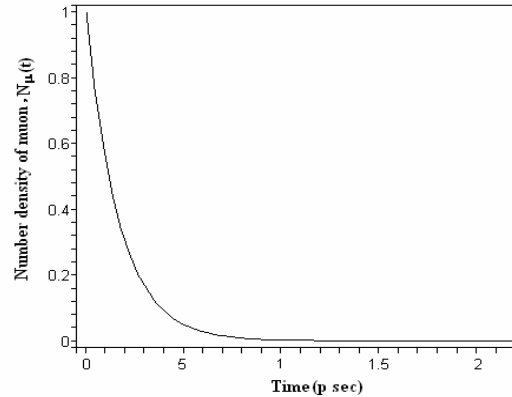


شکل ۱: شبکه واکنش جامع چرخه

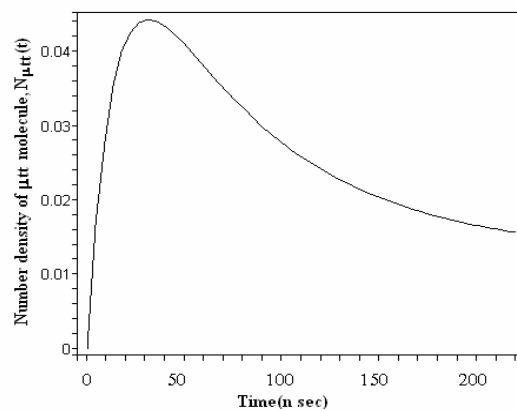


شکل ۳: تعداد اتم های میونی  $\mu t$  نسبت به زمان

برای سیستم جامد  $T_2$



شکل ۲: تعداد میونها نسبت به زمان برای سیستم جامد  $T_2$



شکل ۴: تعداد مولکولهای میونی  $\mu tt$  نسبت به زمان برای سیستم جامد  $T_2$