



انجمن حفاظت در برابر اشعه ایران

مقاله کنفرانسی



مجله سنجش و ایمنی پرتو، جلد ۱۱، شماره ۴، زمستان (ویژه نامه) ۱۴۰۱، صفحه ۳۷-۴۰

ششمین کنفرانس سنجش و ایمنی پرتوهای یون ساز و غیر یون ساز (مرداد ماه ۱۴۰۰)

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۷/۱۳، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۵/۰۹

اسپالیشن بدنه ایستگاه فضایی بین المللی (ISS) ناشی از چشمه اکسیژن کیهانی

آرزو ریاحی و محمدرضا رضایی راینی نژاد*

گروه مهندسی هسته‌ای، دانشکده علوم و فناوری‌های نوین، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران.

*کرمان، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، دانشکده علوم و فناوری‌های نوین، گروه مهندسی هسته‌ای، کدپستی: ۷۶۳۱۸۱۳۵۶.

پست الکترونیکی: mr.rezaie@kgut.ac.ir

چکیده

ایستگاه فضایی بین‌المللی (ISS) دائماً تحت تشعشعات فضایی قرار دارد. بنابراین بررسی تأثیرات تشعشعات بر بدنه حائز اهمیت است. در این تحقیق به شبیه‌سازی اسپالیشن بدنه ماژول Destiny از ISS توسط چشمه اکسیژن کیهانی از طریق کد MCNP^۲ منطبق بر روش مونت کارلو پرداخته شده است. فراوانی اکسیژن موجود در گاز بین ستاره‌ای معمولاً به‌عنوان ردیاب فلزها در کهکشان‌ها استفاده می‌شود. برای کهکشان‌های نامنظم، میزان اکسیژن با جرم کل کهکشان ارتباط دارد، به این معنا که هر چه جرم کل بیشتر باشد، محتوای عنصر سنگین نیز بیشتر است. هم‌چنین اسپالیشن به واکنش‌های هسته‌ای اطلاق می‌شود که هنگام تعامل ذرات پرانرژی با یک هسته اتمی اتفاق می‌افتد. کد MCNP^۲ یک کد نانو ذره مونت کارلو است که می‌تواند برای انتقال نوترون، فوتون، الکترون و... استفاده شود. بدنه ایستگاه فضایی ISS همواره تحت تشعشعات کیهانی است. پرتوها و ذرات کیهانی با شار بالا می‌تواند باعث تأثیر گذاشتن بر روی انسان و اجزای فضایی شود. این تأثیرات می‌تواند باعث اسپالیشن و تغییر ماده یا باعث توقف ذرات باردار و تولید پرتوهای ثانویه شود. اندازه‌گیری فراوانی رادیونوکلیدهای کیهانی با نیمه عمر طولانی در جو و ذخایر زمینی، ابزاری بسیار مهم را برای مطالعه فرایندهای جوی و تعامل بین مخازن مختلف تشکیل می‌دهد، هدف از این تحقیق محاسبه اسپالیشن چشمه اکسیژن کیهانی از طریق کد MCNP^۲ می‌باشد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که رادیوایزوتوپ‌های مهمی هم‌چون ${}^7\text{Be}$ ، ${}^{10}\text{C}$ ، ${}^{14}\text{Na}$ و ${}^{26}\text{Al}$ در اثر اسپالیشن بدنه ایستگاه فضایی با یون‌های اکسیژن تولید می‌شوند.

کلیدواژه‌گان: ایستگاه فضایی بین‌المللی (ISS)، اسپالیشن، اکسیژن کیهانی، کد MCNP^۲، رادیوایزوتوپ.

۱. مقدمه

فضایی قرار دارد. بنابراین بررسی تأثیرات تشعشعات بر بدنه حائز اهمیت است. در این تحقیق به شبیه‌سازی اسپالیشن بدنه ماژول Destiny از ISS توسط چشمه اکسیژن کیهانی از طریق کد MCNP^۲ منطبق بر روش مونت کارلو پرداخته شده است.

ایستگاه فضایی بین‌المللی (ISS^۱)، یک مرکز تحقیقاتی مداری و تنها ایستگاه موجود در فضا است که توسط مأموران فضانورد در مأموریت‌های طولانی مدت و خدمه شاتل فضایی در بازدیدهای کوتاه‌تر اداره می‌شود [۱]. این ایستگاه دائماً تحت تشعشعات

^۲ Monte Carlo N-Particle

^۱ International Space Station

شود. انواع کاربرد آن شامل حفاظت در برابر اشعه و دزیمتری، رادیوگرافی، فیزیک پزشکی و... است [۴].

۲. روش انجام تحقیق

برای انجام اسپالیشن ناشی از اکسیژن کیهانی ابتدا بایستی مازول Destiny از ایستگاه فضایی ISS که از عناصر با چگالی متفاوت تشکیل شده، تعریف گردد [۵].

ترتیب قرارگرفتن فلزات در بدنه ایستگاه در شکل ۱ آورده شده است [۶]. سپس طیف انرژی چشمه‌ی اکسیژن کیهانی در کارت داده تعریف می‌گردد و از طریق تالی f_8 و f_8 اسپالیشن محاسبه می‌گردد. برهم‌کنش ذرات پرنرژی با هسته‌های هدف باعث تولید بسیاری از هسته‌های باقیمانده می‌شود. هسته‌های باقیمانده تولید شده را می‌توان در صورت استفاده از دستور FT8، از طریق تالی F_8 ثبت کرد [۷]

کهکشان‌های مختلف با سرعت‌های مختلف از نظر شیمیایی تکامل می‌یابند، همین باعث ایجاد پراکندگی زیاد در کهکشان‌ها می‌شود. بادهای کهکشانی با بازدهی متفاوت نیز می‌توانند سهم قابل توجهی در پراکندگی فلزات در کهکشان‌های نامنظم داشته باشند. فراوانی اکسیژن موجود در گاز بین ستاره‌ای معمولاً به‌عنوان ردیاب فلزها در کهکشان‌ها استفاده می‌شود. برای کهکشان‌های نامنظم، میزان اکسیژن با جرم کل کهکشان ارتباط دارد، به این معنا که هرچه جرم کل بیشتر باشد، محتوای عنصر سنگین نیز بیشتر است. فراوانی اکسیژن نیز تحت تأثیر تبادل جرم بین کهکشان و محیط آن است [۲]. هم‌چنین اسپالیشن به واکنش‌های هسته‌ای اطلاق می‌شود که هنگام تعامل ذرات پرنرژی با یک هسته اتمی اتفاق می‌افتد [۳]. کد MCNP یک کد نانو ذره مونت‌کارلو است که می‌تواند برای انتقال نوترون، فوتون، الکترون یا جفت شدن نوترون/ فوتون/ الکترون استفاده

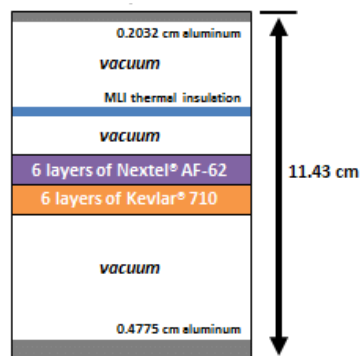
جدول (۱): اسپالیشن بدنه با چشمه اکسیژن کیهانی.

| عنصر تولیدشده | بهره تولید | عنصر تولیدشده | بهره تولید | عنصر تولیدشده | بهره تولید | عنصر تولیدشده | بهره تولید |
|------------------|------------|------------------|------------|------------------|------------|------------------|------------|
| 2H | $7.90E-09$ | ${}^{12}C$ | $3.94E-03$ | ${}^{15}F$ | $3.25E-06$ | ${}^{26}Na$ | $1.62E-06$ |
| 6He | $8.54E-04$ | ${}^{13}C$ | $1.94E-03$ | ${}^{16}F$ | $3.25E-06$ | ${}^{25}Na$ | $1.62E-06$ |
| 8He | $6.82E-05$ | ${}^{14}C$ | $1.16E-03$ | ${}^{17}F$ | $4.06E-05$ | ${}^{20}Mg$ | $1.14E-05$ |
| 6Li | $5.93E-03$ | ${}^{15}C$ | $3.25E-06$ | ${}^{18}F$ | $6.01E-04$ | ${}^{21}Mg$ | $1.14E-05$ |
| 7Li | $3.11E-03$ | ${}^{16}C$ | $4.87E-06$ | ${}^{19}F$ | $4.48E-04$ | ${}^{22}Mg$ | $3.74E-05$ |
| 8Li | $4.77E-04$ | ${}^{12}N$ | $3.09E-05$ | ${}^{20}F$ | $1.45E-04$ | ${}^{23}Mg$ | $1.66E-04$ |
| 9Li | $1.02E-04$ | ${}^{13}N$ | $1.08E-03$ | ${}^{21}F$ | $6.01E-05$ | ${}^{24}Mg$ | $1.48E-03$ |
| ${}^{11}Li$ | $3.25E-06$ | ${}^{14}N$ | $3.61E-03$ | ${}^{22}F$ | $1.46E-05$ | ${}^{25}Mg$ | $2.01E-03$ |
| 7Be | $3.60E-03$ | ${}^{15}N$ | $8.05E-03$ | ${}^{23}F$ | $6.50E-06$ | ${}^{26}Mg$ | $4.37E-03$ |
| 8Be | $3.90E-05$ | ${}^{16}N$ | $3.31E-05$ | ${}^{17}Ne$ | $9.74E-06$ | ${}^{27}Mg$ | $8.84E-05$ |
| 9Be | $8.21E-04$ | ${}^{17}N$ | $2.11E-05$ | ${}^{18}Ne$ | $9.74E-06$ | ${}^{22}Al$ | $9.74E-06$ |
| ${}^{10}Be$ | $4.01E-04$ | ${}^{18}N$ | $3.25E-06$ | ${}^{19}Ne$ | $1.59E-04$ | ${}^{23}Al$ | $1.95E-05$ |
| ${}^{11}Be$ | $8.12E-06$ | ${}^{19}N$ | $8.12E-06$ | ${}^{20}Ne$ | $1.00E-03$ | ${}^{24}Al$ | $1.79E-05$ |
| ${}^{14}Be$ | $4.87E-06$ | ${}^{20}N$ | $1.62E-06$ | ${}^{21}Ne$ | $6.63E-04$ | ${}^{25}Al$ | $3.12E-04$ |
| 8B | $7.60E-04$ | ${}^{13}O$ | $7.47E-05$ | ${}^{22}Ne$ | $5.83E-04$ | ${}^{26}Al$ | $3.69E-03$ |
| 9B | $4.87E-06$ | ${}^{14}O$ | $1.16E-03$ | ${}^{23}Ne$ | $1.15E-04$ | ${}^{27}Al$ | $3.47E-03$ |
| ${}^{10}B$ | $1.54E-03$ | ${}^{15}O$ | $7.77E-03$ | ${}^{24}Ne$ | $3.74E-05$ | ${}^{28}Al$ | $1.07E-06$ |
| ${}^{11}B$ | $2.12E-03$ | ${}^{16}O$ | $1.45E-03$ | ${}^{19}Na$ | $8.12E-06$ | ${}^{25}Si$ | $4.87E-06$ |
| ${}^{12}B$ | $1.01E-04$ | ${}^{17}O$ | $2.27E-04$ | ${}^{20}Na$ | $2.76E-05$ | ${}^{26}Si$ | $2.44E-05$ |
| ${}^{13}B$ | $1.10E-04$ | ${}^{18}O$ | $1.01E-04$ | ${}^{21}Na$ | $7.96E-05$ | ${}^{27}Si$ | $2.92E-05$ |
| ${}^{14}B$ | $1.62E-06$ | ${}^{19}O$ | $2.11E-05$ | ${}^{22}Na$ | $5.83E-04$ | ${}^{28}Si$ | $1.14E-05$ |
| 9C | $1.40E-04$ | ${}^{20}O$ | $1.79E-05$ | ${}^{23}Na$ | $8.28E-04$ | | |
| ${}^{10}C$ | $1.49E-04$ | ${}^{21}O$ | $1.62E-05$ | ${}^{24}Na$ | $3.98E-04$ | | |
| ${}^{11}C$ | $1.43E-03$ | ${}^{22}O$ | $3.25E-06$ | ${}^{25}Na$ | $3.74E-04$ | | |

مواد معدنی کوارتز و همچنین تولید آن‌ها در اتمسفر فوقانی به دلیل برهم‌کنش بین پرتوهای کیهانی ورودی و جو زمین است. از ^{10}Be برای تعیین سن مواد قرار گرفته در معرض سطح و همچنین فرسایش و دفن استفاده می‌شود [۱۰] و ^{26}Al با نیمه‌عمر ۷۳۴ هزار سال برای تهیه سوابق شدت ژئومغناطیسی و همچنین تاریخ بارش به همراه تغییرات اقلیمی استفاده می‌شود [۱۱، ۱۰]. نوکلئید رادیواکتیو ^{14}C با نیمه‌عمر طولانی (حدود ۵۷۳۰ سال) است که بیشتر توسط اشعه کیهانی در جو زمین تولید می‌شود. بلافاصله پس از تولید، به $^{14}\text{CO}_2$ اکسید می‌شود و به شکل گازی در چرخه کربن جهانی پیچیده شرکت می‌کند و به شکل گازی در چرخه کربن جهانی پیچیده شرکت می‌کند [۱۲]. استفاده از ^{10}Be به عنوان ردیاب جوی برای مطالعه پدیده‌های محیطی یا کوتاه‌مدت به علت نیمه‌عمر بالا کاملاً عملی نیست. به عنوان جایگزینی برای ^{10}Be ، از ^{22}Na با نیمه‌عمر ۲۷/۶۰۲۷ سال استفاده می‌شود [۱۳]. ^{7}Be با نیمه‌عمر ۵۳/۳ روز بیشتر در استراتوسفر توسط اسپالیشن اشعه کیهانی نیتروژن و اکسیژن تولید می‌شود و توسط فرآیندهای گردش جوی وارد تروپوسفر پایین می‌شود [۱۵، ۱۴].

به‌علت این‌که بدنه ایستگاه فضایی به‌طور مداوم در معرض بمباران ذرات اکسیژن کیهانی می‌باشد، میزان تولید این هسته‌ها با گذشت زمان افزایش می‌یابد و برای بحث حفاظت در برابر پرتو بایستی تجمع این هسته‌ها نیز لحاظ شود. بنابراین با در نظر گرفتن اسپالیشن اکسیژن می‌توان نتیجه گرفت که بدنه ایستگاه فضایی که عمدتاً از جنس آلومینیوم است؛ در معرض تغییر مواد و رادیواکتیو شدن قرار دارد و از این طریق می‌تواند بر عملکرد قطعات الکترونیک ایستگاه فضایی اثر بگذارد.

در قسمت کارت سطوح هندسه به‌صورت برشی از ماژول Destiny از ایستگاه ISS در راستای Z تعریف می‌گردد [۸].



شکل (۱): ترتیب قرار گرفتن فلزات در بدنه ایستگاه فضایی ISS.

تعریف چشمه در کارت داده: برای هر دو چشمه یک صفحه به مساحت 1×1 سانتی‌متر مربع به‌صورت پرتوهای موازی تعریف می‌شود که سطح چشمه روبروی برش ماژول Destiny باشد و پرتوها به‌صورت یکنواخت به ماژول برخورد کند. محدوده انرژی چشمه اکسیژن کیهانی از ۲۵ مگاالکترون‌ولت تا ۴۵۰۰ گیگا الکترون‌ولت است [۹].

۳. نتایج و بحث

عناصر تولیدشده در اثر برهم‌کنش اکسیژن با اجزای ایستگاه فضایی مورد مطالعه دقیق قرار گرفت. در برهم‌کنش مواد با نوترون در انرژی‌های کم و زیاد فرآیند اسپالیشن اکسیژن مشاهده شد. نتایج اسپالیشن بدنه با چشمه اکسیژن کیهانی در جدول ۱ آورده شده است. هرکدام از این رادیوایزوتوپ‌ها با یک بهره خاص تولید می‌شوند که از طریق این بهره می‌توان جرم تولیدی رادیوایزوتوپ را نسبت به جرم مواد تحت تابش تعیین کرد. رادیوایزوتوپ ^{15}N دارای بیشترین بهره تولیدی است.

از بین رادیوایزوتوپ‌های تولید شده توسط چشمه اکسیژن کیهانی نوکلیدهای متداول مورد استفاده مانند ^{10}Be و ^{26}Al در

۴. مراجع

1. T. Ersmark, P. Carlson, E. Daly, C. Fuglesang, I. Gudowska, B. Lund-Jensen, P. Nieminen, M. Pearce, G. Santin. Geant4 Monte Carlo Simulations of the Galactic Cosmic Ray Radiation Environment On-Board the International Space Station/ Columbus. *IEEE Trans. Nucl. Sci.* 54 (5) (2007) 1854-1862.
2. L. S. Pilyugin, T. X. Thuan, J. M. Vilchez, On the maximum value of the cosmic abundance of oxygen and the oxygen yield. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* 376 (1) (2007) 353-360.
3. G. J. Russell. Spallation physics-an overview. *Proc. ICANS-XI, Tsukuba, 1990, KEK-Rep.* 90-25 (1991) 291-299.
4. Los Alamos National Laboratory: MCNP Home Page. <https://mcnp.lanl.gov/>.
5. NASA Ames Space Settlement Contest, Constantinescu Mihaela, Cosma Bianca-Maria, 2018.
6. J. Fogel, M. Thangavelu, N. Turner, A Proposed Photoelasticity-Based Enhanced Visual Inspection Tool for Astronaut EVA. *Space Debris* 1 (2015) p.1.
7. J. S. Hendricks, G. W. McKinney, L. S. Waters, T. L. Roberts, H. W. Egdorf, J. P. Finch, H. R. Trelue, E. J. Pitche, D. R. Mayo, M. T. Swinhoe, S. J. Tobin, J. W. Durkee. MCNPX EXTENSIONS, VERSION 2.5.0. Technical Report LA-UR-05-2675, Los Alamos National Lab. (2005) p. 65.
8. NASA, International Space Station User's Guide – Release.2.0, <http://www.spaceref.com/iss/ops/ISS.User.Guide.R2.pdf>, accessed October 6, 2019.
9. S. El-Jaby, R. B. Richardson. Monte Carlo simulations of the secondary neutron ambient and effective dose equivalent rates from surface to suborbital altitudes and low Earth orbit. *Life Sci. Space Res.* 6 (2015) 1-9.
10. Y. Yokoyama, M. Yamane, A. Nakamura, Y. Miyairi, K. Horiuchi, T. Aze, H. Matsuzaki, Y. Shirahama, Y. Ando. In-situ and meteoric ¹⁰Be and ²⁶Al measurements: Improved preparation and application at the University of Tokyo. *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. Sect. B Beam Interact. Mater. At.* 455 (2019) 260-264.
11. R. K. Smither, L. R. Greenwood. Measurement of the ²⁷Al(n,2n) ²⁶Al reaction cross section for fusion reactor applications. *J. Nucl. Mat.* 123 (1-3) (1984) 1071-1077.
12. G. A. Kovaltsov, A. Mishev, I. G. Usoskin. A new model of cosmogenic production of radiocarbon ¹⁴C in the atmosphere. *Earth Planet. Sci. Lett.* 337-338, (2012) 114-120.
13. I. Hoffman, B. Lewis, P. Chan. Circulation of cosmogenic ²²Na using the global monitoring network of the Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty Organization (CTBTO). *J. Environ. Radioact.* 187 (2018) 8-15.
14. R. T. Salisbury, J. Cartwright. Cosmogenic ⁷Be deposition in North Wales: ⁷Be concentrations in sheep faeces in relation to altitude and precipitation. *J. Environ. Radioact.* 78 (3) (2005) 353-361.
15. What are ¹⁰Be, ⁹Be and ⁷Be? / About Isotopes / Cosmogenic Isotope and Radiochemistry Laboratory / Laboratories & Facilities / Services / Home - GNS Science.