



لیفن
پرتو نویی

بیستمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و ششمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۸ تا ۱۰ بهمن ماه ۱۳۹۲ - دانشگاه صنعتی شیراز



تأثیر واپاشی رادون اتمسفری بر خطوط مشخصه هدف مس در طیف سنجی فروشکست القایی لیزری

علیرضا موسی خانی^۱، پرویز پروین^{۱,*}، محمد مسعود هاشمی^۲، سیده زهرا مرتضوی^۳ و علی ریحانی^۳

^۱دانشکده مهندسی انرژی و فیزیک، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران

^۲گروه فیزیک، مرکز تحصیلات تکمیلی دانشگاه پیام نور، تهران

^۳گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی، قزوین

چکیده - خطوط نشری مشخصه هدف فلزی مس در حضور رادون با استفاده از روش طیف سنجی فروشکست القا شده توسط لیزر $Q-SW Nd:YAG$ در یک محفظه کنترل شده بر توده‌ی، بررسی شد. با توجه به آزمایشات قبلی خطوط نشری گونه‌های فلزی در مخلوط (رادون + هوا) نسبت به هوا سنتز شده (هوای بدون رادون) قویاً افزایش یافته‌اند. به مرور زمان به علت واپاشی رادون شدت قله‌ها کاهش می‌یابند، به طوری که امکان بالقوه تعیین نیمه عمر واپاشی رادون با روش اپتیکی نیز فراهم می‌گردد. در این مقاله سعی شده است که از روش‌های نوری برای تعیین مشخصه‌های هسته‌ای بهره‌گیری شود.

کلید واژه - طیف‌سنجی فروشکست القایی لیزری، رادون، طیف نشری مشخصه، نیمه عمر واپاشی رادون

The effect of atmospheric Rn trace decay on Cu target characteristic lines in laser induced breakdown spectroscopy

A.Moosakhani¹, P.Parvin^{1,*}, M.M.Hashemi², S.Z.Mortazavi³ and A.Reyhani³

¹Physic Department, Amirkabir University of Technology, Tehran

²Physic Department, Doctorate Technical Center of PNU, Tehran

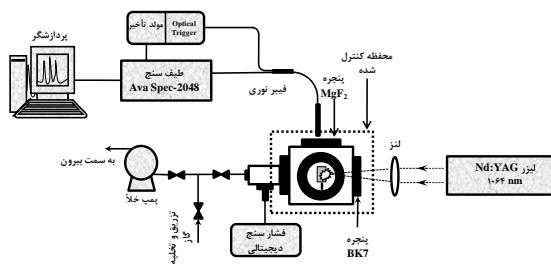
³Physic Department, I.K.I University, Qazvin

Abstract- Several characteristic emission lines due to the metal target (Cu) were investigated in the presence of radon trace in the atmospheric air using Q-SW Nd:YAG laser induced plasma within the irradiation control chamber. Regarding the previous experiments the emission lines of metal species in (Rn+air) are noticeably enhanced respect to those in the synthetic air, while those peak intensities instantaneously decreases due to radon decay, such that the *radon's half-life* can be determined by an optical method too. Here we made an attempt to utilize optical methods in order to determine nuclear characteristics accordingly.

Keywords: Laser Induced Breakdown Spectroscopy, Radon, Characteristic Emission Spectra, Radon's Half-Life.

پردازشگر، فشارسنج و سیستم خلاً و تزریق گاز می باشد. لیزر نئودیمیوم- یاگ (Nd:YAG) سوئیچ Q، با انرژی ۵ Hz پالس ns ۱۰۰ mJ، پهنهای پالس ۱۰ nm، نرخ تکرار ۵ Hz بعنوان چشمی همدوس در طول موج ۱۰۶۴ nm برای ایجاد میکرو پلاسمای در گاز داخل اتاقک کنترل بکار برده شد. از مس به عنوان هدف فلزی استفاده گردید.

به منظور نگهداری خلاً بالا در داخل اتاقک و جلوگیری از فشار جو یک شیر خلاً (Balzer) به اتاقک متصل گردید. همچنین سیستم خلاً و تزریق گاز شامل پمپ خلاً بالا (Leybold ۱۰^{-۳} mbar, ۱۰^{-۳} m³/hr) و فشارسنج دیجیتال (با دقت ۰/۱ mbar) می باشد. به منظور افزایش چگالی توان باریکه ای لیزر ورودی یک عدسی BK₇ (با فاصله کانونی ۱۵۰ mm) جلوی باریکه ای ورودی قرار داده شد. ناحیه ای کانونی طوری تنظیم شده که در سطح هدف فلزی واقع شود. گسیل نور پلاسما توسط یک فیبرنوری جمع آوری می شود. خروجی فیبر به ورودی یک طیف سنج مدل Avantes، تفکیک ۰/۴ nm، زمان ۱۱۰۰ ms جمع آوری ms، تکیه ۱/۱ ms، برای تابش IR به است. سه پنجره ای BK₇، یکی برای ورود تابش IR به اتاقک و دو پنجره ای دیگر برای مشاهده ای توده ای پلاسما بکار برده می شود. یک پنجره MgF₂ برای جمع آوری و گسیل تابش پلاسما بویژه در ناحیه ای فرابنفش- مرئی طیف در قسمت بالای اتاقک قرار داده می شود. یک روزنہ برای تنظیم جهت گیری نگهدارنده هدف و روزنہ ای دیگر برای خروج گاز استفاده می شود.



شکل ۱. چیدمان LIBS برای تشخیص رادون در هوای داخل یک اتاقک کنترل [۳]

چشمی رادون شامل رادیوم خشک سنتز شده در خاک داخل یک محفظه ای بسته می باشد و دستگاه تهویه برای انتقال دهنده و کانونی کننده، آشکارساز، طیف سنج،

رادون گاز نادر بی رنگ، بی بو و بدون طعم پرتوزا می باشد که پایدارترین ایزوتوپ آن Rn²²² با نیمه عمر ۳/۸ روز است. غلظت رادون محیط تابعی از زمان و شرایط آب و هوایی است. معلوم شده غلظت رادون از ۰/۱ Bq/m³ در بالای اقیانوسها یا نواحی قطب جنوب تا ۱۰^۶ Bq/m³ در معدن تهویه نشده ای اورانیوم متغیر می باشد. آشکارسازی رادون مورد توجه ویژه می باشد زیرا رادون بطور طبیعی گاز پرتوزای ناشی از زنجیره ای واپاشی اورانیوم یا توریوم، و شاخصی برای اکتشاف معدن اورانیوم و عنصر مفیدی برای پیش بینی زمین لرزه است.

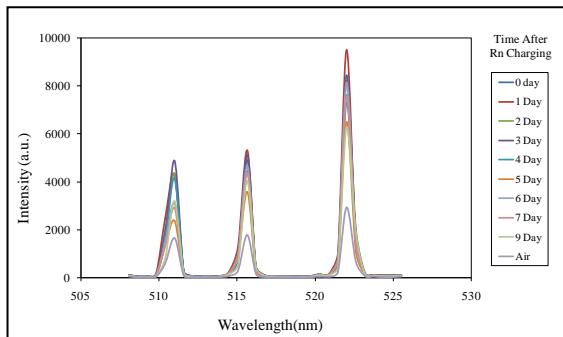
فناوری طیف سنجی فروشکست القایی لیزری (LIBS) کاربرد وسیعی در آنالیز عنصری مواد پیدا کرده است. برخلاف روش‌های طیف نمایی دیگر، LIBS نیازی به آماده سازی نمونه ندارد و مقدار کمی ماده (حدود ۰.۱ μg) برای آنالیز نیاز می باشد. استفاده از روش LIBS به تشخیص گازهای تک اتمی مانند گازهای نادر که می توانند به عنوان گاز واسطه بکار برده شوند محدود می شود [۱]. در میان آنها، آرگون گاز بسیار رایجی در فرایندهای کندگی لیزری می باشد که اثر آن همچنین اثر نئون و هلیوم بررسی شده اند [۲]. آشکارسازی غلظت رد هلیوم و آرگون در اتاقک کنترل با لیزر Nd:YAG سوئیچ-Q نیز پیشتر انجام شده است.

علاوه بر ایزوتوپهای پایدار، روش LIBS مزایای شناخته شده ای برای تشخیص مواد رادیواکتیو مانند تعیین غلظت اورانیوم در نمونه‌ی کانه، آشکارسازی اورانیوم در محلول، شناسایی عناصر آزاد شده از پاره‌های شکافت و تعیین نسبت ایزوتوپهای پلوتونیوم بکار برده شده است. در اینجا، LIBS با هدف فلزی بکار برده شد تا دامنه‌ی خطوط مشخصه ای مس (Cu) در محیط‌های (هوای + رادون) و هوای اتمسفری با یکدیگر مقایسه شود و تغییرات زمانی افت دامنه‌ی قله‌های مشخصه فلز پایش گردند.

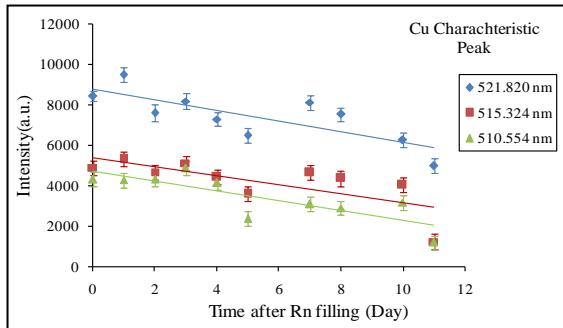
۲- روش آزمایش

همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده، چیدمان آزمایش شامل یک چشمی ای همدوس فروسرخ (IR)، وسایل نوری انتقال دهنده و کانونی کننده، آشکارساز، طیف سنج،

شکل ۳ گسیل های مشخصه (I) Cu را در ۵۱۰/۵۵۴، ۵۱۵/۳۲۴ و ۵۲۱/۸۲۰ نانومتر در محیط (هوای رادون) اتمسفری برحسب زمان نشان می دهد.



شکل ۲: خطوط مشخصه ای لحظه ای Cu(I) در ۵۱۵/۳۲۴، ۵۱۰/۵۵۴ و ۵۲۱/۸۲۰ نانومتر در محیط (رادون + هوای رادون) در فشار اتمسفری بعد از پر کردن اتاق کنترلی با (رادون + هوای رادون)، و قله های مشخصه در محیط هوای بدون رادون



شکل ۳: شدت های گسیل مشخصه ای Cu(I) در ۵۱۰/۵۵۴، ۵۱۵/۳۲۴ و ۵۲۱/۸۲۰ نانومتر در محیط (رادون + هوای رادون) در فشار اتمسفری برحسب زمان بعد از پر کردن اتاق کنترلی با رادون و هوای رادون (روز)

۳-۲-پارامترهای پلاسمای

تقربی تعادل گرمایی موضعی (LTE)، دمای برانگیزش الکترونی با استفاده از روش ترسیم بولتزمن که در معادله (۳) آمده بست آورده شد [۳]:

$$\ln \left[\frac{I_{ij}}{A_{ij} g_i} \right] = \ln \left[\frac{F}{U^s(T)} n^s \right] - \frac{1}{kT} E_i \quad (3)$$

در اینجا I_{ij} ، n^s ، E_i ، A_{ij} ، g_i و $U^s(T)$ به ترتیب شدت خط متناظر با گذار بین دو تراز انرژی E_i و E_j ، غلظت گونه های s (منظور از گونه، حالت اتمی یا یونی یک عنصر است)، احتمال گذار از حالت i به j ، انرژی گذار حالت انرژی بالایی i وزن آماری تراز بالایی j ، ثابت

تخلیه ای رادون در یک محیط ایمن بکار برده می شود. به منظور پر کردن اتاق کنترل با رادون، ابتدا اتاق با پمپ گردان تا 10^{-3} mbar تخلیه گردید، سپس اجازه داده شد هوای مقداری گاز رادون در حد 27 kBq/m^3 در فشار اتمسفری به داخل اتاق جریان یابد.

اتاق طوری قرار گرفته است که باریکه ای لیزر از میان عدسی BK7 عبور کرده و به هدف فلزی برخورد نموده MgF_2 تولید پلاسمای نماید. تارنوری در مقابل پنجره ای قرار داده شد تا گسیل های پلاسمای ایجاد شده را جمع آوری نماید. به منظور حفظ شرایط یکسان در طی آزمایشات گرفتن طیفهای گسیل، تارنوری در جای مناسبی ثابت گردید. تعدادی طیف گسیل در فشارهای متفاوت با استفاده از فشارسنج دیجیتال با دقیق 0.1 mbar بدست آورده شد. خطوط مشخصه با استفاده از نرم افزار AvanteSoft 7.6 طیف سنج مشخص گردید. افزایش گسیل مشخصه مس در محیط (هوای رادون) نسبت به هوای رادون لحظه ای آن مورد بررسی قرار گرفت.

۳- نتایج و مباحث

۳-۱- ۳- طیف گسیل

اکتیویته ای رادون پرتوزا در زمان t توسط رابطه زیر داده می شود [۴]:

$$A = A_0 e^{-\lambda t} \quad (1)$$

که A_0 فعالیت اولیه ای رادون برای $t=0$ (در اینجا ^{222}Rn) و λ ثابت واپاشی است که برای ^{222}Rn بصورت زیر نوشته می شود:

$$\lambda = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} = \frac{0.693}{3.8} = 0.182 \text{ d}^{-1} \quad (2)$$

در اینجا نیمه عمر $t_{1/2}$ زمانی است که فعالیت رادون به نصف مقدار اولیه اش می رسد.

شکل ۲ قله های مشخصه ای گونه های مس در محیط (هوای رادون) در زمانهای متفاوت بعد از پر کردن اتاق، و قله های مشخصه در محیط هوای بدون رادون را نشان می دهد. مشاهده می شود که گسیل های لحظه ای با زمان بطور قابل توجهی کاهش می یابد.

الکترونی پلاسما کاسته می شود. به عبارت دیگر، سهم انرژی کمتری به انرژی جنبشی الکترونی داده می شود.

۴- نتیجه

رادون پرتوزا ذرات آلفای با انرژی $5/48 \text{ MeV}$ گسیل می نماید که تعدادی زوج الکترون- یون در اتفاق کنترل تولید می کنند. این باعث افزایش میزان الکترون های اولیه با تابع توزیع انرژی الکترون (EEDF) مناسب در اتفاق می شود، که به نوبه ای خود تولید پلاسما را آسان می نماید. در پلاسمای القایی لیزری، این واقعیت به جمعیت دار کردن بیشتر گذارهای اتمی کمک کرده و باعث ایجاد پروفایل گسیل مشخصه ای شدیدتر می شود.

با گذشت زمان رادون واپاشی نموده و از آنجایی که دخترهایش ($^{218}_{84}\text{Po}$ و $^{214}_{84}\text{Po}$) نیز گسیلنده ای آلفا با نیمه عمرهای کوتاه هستند(به ترتیب، ۳ دقیقه و ۱۶۴ میکرو ثانیه)، پس به مرور زمان اثر برهم کنش آلفا با اتم ها ای پلاسما، یعنی تولید الکترون های اولیه ای اضافی، کاهش یافته منجر به کاهش شدت های گسیل می شود.

۵- مراجع

- [1] D. A. Cremers, L. J. Radziemski, Handbook of Laser-Induced Breakdown Spectroscopy John Wiley and Sons Ltd., West Sussex, England, 2006.
- [2] W. Sdorra and K. Niemax, Basic investigations for Laser Microanalysis : III. Application of different buffer gases for laser-produced sample plumes , Mikrochimica Acta, 1992, 107, 319-327.
- [3] S. Z. Shoursheini, B. Sajad, P. Parvin, Determination of gold fineness by laser induced breakdown spectroscopy with the simultaneous use of CW-CO₂ and Q-SW Nd:YAG lasers, Optics and Lasers in Engineering, 2010, 48, 89-95.
- [4] K. S. Krane, Introductory Nuclear Physics, John Wiley & Sons, 1988.

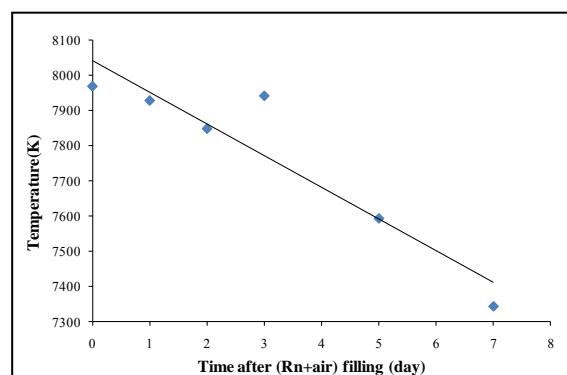
بولتزمون وتابع تقسیم گونه های s در دمای برانگیزش T می باشند [۳].

دمای پلاسما که با استفاده از شش خط مشخصه ای Cu(I) در $427/0.85$ ، $464/5.43$ ، $509/9.91$ ، $514/6.39$ و $521/1.607$ نانومتر محاسبه گردیدند، برای رادون در هوا در فشار اتمسفری با هدف مسی، و برای زمان های مختلف در جدول ۱ خلاصه شده اند.

جدول ۱: دمای پلاسما برای هدف مس در محیط (هوا + رادون) در زمان های متفاوت

زمان بعد از تزریق (هوا + رادون) (روز)	دما (K)
.	۷۹۷۰
۱	۷۹۳۰
۲	۷۸۵۰
۳	۷۹۴۳
۵	۷۵۹۵
۷	۷۳۴۵

علاوه، شکل ۴ دمای پلاسما را در هدف مسی بر حسب زمان نشان می دهد. ملاحظه می شود که وقتی شرایط آزمایشگاهی یکسان نگه داشته شود، دمای T پلاسما در (هوا + رادون) با گذشت زمان و کاهش اکتیویته (یا غلظت) رادون ناشی از واپاشی آلفا اندکی کاهش می یابد.



شکل ۴ . دمای پلاسما بر حسب زمان بعد از تزریق (هوا + رادون) (روز)

در واقع با کاهش رادون ناشی از واپاشی در طول چند روز از میزان بارفاضایی در محیط گازی اتفاق که میزان قابل توجهی کاسته می شود و لذا تولید پلاسمای لیزری نیاز به یونش بیشتر توسط باریکه لیزری داشته و لذا از دمای