



دانشگاه محقق اردبیلی

دانشکده‌ی علوم

گروه آموزشی فیزیک

رساله برای دریافت درجه‌ی دکترای تخصصی
در رشته‌ی فیزیک هسته‌ای

**بررسی تولید رادیونوکلئید ^{124}I برای تصویربرداری PET با استفاده از تارکت
پودری**

اساتید راهنما

دکتر مهدی صادقی

دکتر پرویز اشتری

استاد مشاور

دکتر فرهاد ذوالفقارپور

پژوهشگر

حمید عزیزاکرم

بهار 1397

نام خانوادگی دانشجو: عزیزاکرم	نام: حمید
عنوان رساله: بررسی تولید رادیونوکلئید ^{124}I برای تصویربرداری PET با استفاده از تارگت پودری	
اساتید راهنما: دکتر مهدی صادقی و دکتر پرویز اشتری استاد مشاور: دکتر فرهاد ذوالفقارپور	
مقطع تحصیلی: دکترای تخصصی	رشته: فیزیک
گرایش: هسته‌ای	دانشگاه: محقق اردبیلی
دانشکده: علوم	تاریخ دفاع: 1397/01/22
چکیده:	تعداد صفحات: 133 ص.
<p>رادایویزوتوپ ^{124}I (گسیلنده‌ی پوزیترونی با نیم‌عمر نسبتاً بلند، مناسب برای تصویربرداری گسیل پوزیترونی) از طریق واکنش ^{124}I با بمباران هدف قرصی $^{\text{nat}}\text{Te}(\text{p},\text{xn})$ با شدت جریانهای مختلف باریکه تولید شد. نخست، توابع برانگیختگی واکنشهای مختلف منجر به تولید ^{124}I با کدهای هسته‌ای TALYS-1.6، ALICE/ASH و EMPIRE-3.2.2 مورد ارزیابی قرار گرفت. سپس با محاسبه بهره‌های انتگرالی و دیفرانسیلی، بازهی انرژی بهینه پرتودهی برای هر واکنش به‌گونه‌ای بدست آمد که بیشترین میزان تولید ^{124}I و کمترین ناخالصی را داشته باشیم. در این میان، ^{125}I به عنوان ناخالصی با نیم‌عمر بلند بیشترین نقش را ایفا میکند. فرآیند شبیه‌سازی تولید نیز با کد مونتکارلو MCNPX-2.6 انجام شد. براساس نتایج، واکنش ^{124}I $^{124}\text{Te}(\text{p},\text{n})$ در بازهی انرژی 14 تا 7 MeV بدلیل میزان بسیار کم ناخالصی تولیدی در کنار بهره‌ی تولید کافی ^{124}I، روش پیشنهادی برای تولید ^{124}I است. از طرف دیگر، فرآیند انتقال حرارت سیستم هدف نیز با نرم‌افزار کامسول بررسی شد و بیشینه شدت جریان $100\ \mu\text{A}$ و جریان آب خنک کننده $3\ \text{m/s}$ با هندسه هدف شیاردار پیشنهاد شد. در فاز عملی، بدلیل هزینه‌ی بالای تهیه هدف ایزوتوپی ^{124}Te، تلوریوم طبیعی در بازهی انرژی 19 تا 14 MeV در مدت زمان و شدت جریانهای پروتونی مختلف بمباران شد. از روش تقطیر خشک برای جداسازی رادیویزوتوپهای ید از هدف $^{\text{nat}}\text{TeO}_2$ استفاده شد. در مرحله اول پرتودهی با شدت جریان پرتودهی $13/7\ \mu\text{A}$ بمدت $4/4\ \text{h}$، بدلیل آماده نبودن دستگاه تقطیر جداسازی انجام نشد که در نتیجه‌ی آن بهره تولید $3/33\ \text{MBq}/\mu\text{A}\cdot\text{h}$، یعنی 72% مقدار حاصل از شبیه‌سازی برای ^{124}I بدست آمد. در مرحله دوم پرتودهی با شدت جریان $21/9\ \mu\text{A}$ بمدت $0/7\ \text{h}$، پس از انجام جداسازی به مدت $20\ \text{min}$ در دمای تقطیر $750\ ^\circ\text{C}$، مقدار بهره تولید ^{124}I $2/43\ \text{MBq}/\mu\text{A}\cdot\text{h}$ بدست آمد که در حدود 52% مقدار شبیه‌سازی است. در مرحله آخر پرتودهی نیز که با شدت جریان پروتونی $33/7\ \mu\text{A}$ بمدت $1/5\ \text{h}$ انجام شد، بعد از نیم ساعت جداسازی در دمای تقطیر $750\ ^\circ\text{C}$، $2/04\ \text{MBq}/\mu\text{A}\cdot\text{h}$، یعنی 44% مقدار حاصل از شبیه‌سازی برای ^{124}I بدست آمد. بازده جداسازی به ترتیب 72% و 68% برای مرحله 2 و 3 پرتودهی پس از انجام جداسازی بدست آمد. افزایش شدت جریان پرتودهی نتیجه‌های جز کاهش بهره‌ی تولید ^{124}I در پی نداشت.</p>	
کلید واژه‌ها: بهره تولید، تابع برانگیختگی، تقطیر خشک، رادیویزوتوپ، سیکلوترون، ید-124	

فهرست مطالب

شماره و عنوان مطالب	صفحه
فصل اول: مباحثی در تولید رادیوایزوتوپها	
1-1- مقدمه	2
2-1- رادیوایزوتوپها و کاربرد آنها در پزشکی هسته‌ای	2
1-2-1- تاریخچه رادیوایزوتوپها	2
2-2-1- کاربرد رادیوایزوتوپها در پزشکی	3
3-1- ید-124 (^{124}I)، رادیوایزوتوپ نوظهور پت	6
1-3-1- معرفی عنصر ید و اثر آن بر سلامتی	7
2-3-1- ید-124 (^{124}I)	8
3-3-1- ساختار واپاشی رادیونوکلئید ^{124}I	9
4-3-1- روشهای تولید رادیوایزوتوپ ^{124}I	10
5-3-1- موارد کاربرد ^{124}I در پزشکی	13
4-1- هدف از این پژوهش	14

فصل دوم: مدل‌های هسته‌ای و توصیف سیکلوترون

..... مقدمه	1-2-	17
..... مدل‌های هسته‌ای	2-2-	17
..... چگالی ترازهای هسته‌ای	1-2-2-	17
..... واکنش‌های هسته‌ای	2-2-2-	20
..... تولید رادیونوکلیدها	3-2-	23
..... راکتورهای هسته‌ای	1-3-2-	24
..... شتابدهنده‌های ذرات	2-3-2-	24
..... تعریف سیکلوترون	4-2-	25
..... کاربردهای پزشکی سیکلوترون در تولید رادیوایزوتوپها	5-2-	25
..... سیکلوترون کرج	6-2-	26
..... چشمه یونی	1-6-2-	28
..... میدانهای الکتریکی و مغناطیسی	2-6-2-	28
..... سیستم شتابدهی با فرکانس بالا (RF) و میدان مغناطیسی سیکلوترون	3-6-2-	29
..... سیستم برکننده و هدایت پرتوها به خطوط انتقال	4-6-2-	30

..... خطوط انتقال پرتو 5-6-2	31
..... سیستمهای تأمین خلاء، خنک کننده و تأمین فشار هوا 6-6-2	31
..... سیستم کنترل سیکلوترون 7-6-2	32

فصل سوم: تعیین پارامترهای تولید ید-124 (¹²⁴I)

..... مقدمه 1-3	34
..... تعریف مقدار Q واکنش هسته‌های 2-3	34
..... انرژی آستانه واکنش 3-3	35
..... سطح مقطع واکنش هسته‌های 4-3	36
..... معرفی کد محاسباتی آلیس/آش (ALICE/ASH) 1-4-3	38
..... معرفی کد محاسباتی تالیس (TALYS-1.6) 2-4-3	38
..... معرفی کد محاسباتی امپایر (EMPIRE-3.2.2) 3-4-3	39
..... محاسبه توان ایستاندگی و برد 5-3	39
..... تعاریف و روش محاسبه 1-5-3	40
..... معرفی اجمالی کد SRIM 2-5-3	42

..... روابط اکتیویته و بهره‌ی تولید	6-3
	42
..... نتایج محاسبات توابع برانگیختگی	7-3
	44
..... واکنش $^{124}\text{Te}(p,n)^{124}\text{I}$	1-7-3
	45
..... واکنش $^{125}\text{Te}(p,2n)^{124}\text{I}$	2-7-3
	47
..... واکنش $^{126}\text{Te}(p,3n)^{124}\text{I}$	3-7-3
	49
..... واکنش $^{\text{nat}}\text{Te}(p,xn)^{124}\text{I}$	4-7-3
	51
..... واکنش $^{123}\text{Te}(d, n)^{124}\text{I}$	5-7-3
	54
..... واکنش $^{124}\text{Te}(d, 2n)^{124}\text{I}$	6-7-3
	55
..... واکنش $^{121}\text{Sb}(\alpha, n)^{124}\text{I}$	7-7-3
	57
..... واکنش $^{123}\text{Sb}(\alpha, 3n)^{124}\text{I}$	8-7-3
	59
..... واکنش $^{\text{nat}}\text{Sb}(\alpha, xn)^{124}\text{I}$	9-7-3
	60
..... نتایج محاسبات بهره‌ی تولید	8-3
	62
..... مقایسه‌ی واکنشهای مختلف تولید ^{124}I	9-3
	67
..... بهره‌ی تولید حاصل از شبیه‌سازی کد MCNPX	10-3
	70

..... MCNPX کد مونته‌کارلوی	1-10-3	71
..... طراحی هندسه‌ی هدف	2-10-3	72
..... محاسبه‌ی ضخامت هدف	3-10-3	72
..... روش محاسبه	4-10-3	73
..... نتایج محاسبات	5-10-3	75
..... محاسبات انتقال حرارت	11-3	76
..... مدلسازی فیزیکی	1-11-3	77
..... نتایج محاسبات	2-11-3	82

فصل چهارم: فاز عملی تولید رادیونوکلئید ^{124}I

..... مقدمه	1-4	87
..... روش تولید	2-4	87
..... آماده‌سازی هدف	3-4	88
..... طراحی هدف در سیکلوترون	1-3-4	88
..... هدفهای Te	2-3-4	89

..... 4-4 پرتودهی هدف	91
..... 5-4 جداسازی رادیوایزوتوپهای ید	96
..... 1-5-4 دستگاه تقطیر خشک	97
..... 2-5-4 فرآیند تقطیر خشک	99
..... 6-4 کنترل کیفی و تعیین بهره تولید محصول نهایی	100

فصل پنجم: بحث، نتیجه‌گیری و پیشنهاد

..... 1-5 بحث و نتیجه‌گیری	108
..... 2-5 پیشنهادات	109

دنباله‌ها

..... مرجعها	112
..... الف پیوست	118
..... ب پیوست	123
..... ج پیوست	124
..... د پیوست	125

.....	ر پیوست	128
.....	ز پیوست	129
.....	و پیوست	132
.....	فهرست مقاله‌های برگرفته از رساله	133

فهرست جدولها

عنوان	صفحه
جدول 1-1 برخی خواص فیزیکی و شیمیایی عنصر ید	7
جدول 2-1 رادیویازوتوپهای ید مورد استفاده در پزشکی هسته‌ای	8
جدول 3-1 انرژی و نسبت گسیلهای گامای حاصل از واپاشی ^{124}I	10
جدول 4-1 انرژی و نسبت گسیلهای پوزیترون حاصل از واپاشی ^{124}I	10
جدول 5-1 انرژی و نسبت گسیلهای الکترون حاصل از واپاشی ^{124}I	10
جدول 6-1 دادههای منتشر شده برای تولید ^{124}I	11
جدول 1-3 واکنشهای هسته‌ای منجر به تولید ^{124}I	45
جدول 2-3 ایزوتوپ های سازنده $^{\text{nat}}\text{Te}$ و کانالهای واکنش پروتونی هریک و ایزوتوپهای ید تولیدشده در هر کانال 51	
جدول 3-3 مقایسه بین کانال مختلف تولید ^{124}I به همراه مقادیر ناخالصیهای ^{123}I ، ^{125}I و ^{126}I در بازه‌های انرژی بهینه پس از 1 h بمباران با باریکه‌ی $1 \mu\text{A}$	68
جدول 4-3 محاسبه ضخامت هدفهای ایزوتوپی ^{123}Te ، ^{124}Te ، ^{125}Te و هدف $^{\text{nat}}\text{TeO}_2$ در برخورد با باریکه‌های پروتون و دوترون توسط کد SRIM	73
جدول 5-3 مقایسه‌ی نتایج بهره‌ی تولید ^{123}I ، ^{124}I و ^{125}I حاصل از شبیه‌سازی کد MCNPX با مقادیر تجربی و نظری موجود واکنشهای مختلف پس از 1 h از	75

جدول 3-6 مشخصه‌های حرارتی مواد و ضخامت لایه‌های موجود در سیستم هدف تلوریوم.....	78				
جدول 4-1 مقدار $^{nat}\text{TeO}_2$ مورد استفاده در قرص‌های آلومینیومی با مساحت‌های مختلف حفره، در سه مرحله پرتودهی	91				
جدول 4-2 مشخصات سه مرحله بمباران هدف‌های قرصی تلوریوم اکسید	94				
جدول 4-3 مقایسه بین میزان تولید ^{124}I و نتایج محاسباتی در سه مرحله پرتودهی هدف $^{nat}\text{TeO}_2$ در بازه‌ی انرژی مؤثر	19				
از	قبل	14	MeV	تا	95
جدول 4-4 خلاصه نتایج تولید ^{124}I از طریق واکنش $^{nat}\text{TeO}_2(p,xn)$ ، و مقایسه با نتایج محاسباتی	105				
جدول 4-5 مقایسه نتایج تولید با روش‌های مختلف تولید سیکلوترونی ^{124}I	106				

فهرست شکلها

عنوان	صفحه
شکل 1-1 طرح‌واره‌ای از سازوکار تصویربرداری پت	5
شکل 2-1 طرح‌واره‌ای از سازوکار تصویربرداری اسپکت	5
شکل 1-2 سیکلوترون پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، کرج	27
شکل 1-3 توابع برانگیختگی واکنش $^{124}\text{Te}(p,xn)$ حاصل از کد تالیس برای تولید ^{124}I و ناخالصی‌های همراه آن	46
شکل 2-3 مقایسه‌ی توابع برانگیختگی واکنش $^{124}\text{Te}(p, xn)^{124}\text{I}$ حاصل از سه کد هسته‌ای و نتایج تجربی دیگران	47

- شکل 3-3 توابع برانگیختگی واکنش $^{125}\text{Te}(p, xn)$ حاصل از کد تالیس برای تولید ^{124}I و ناخالصیهای همراه آن
48
- شکل 4-3 مقایسه‌ی توابع برانگیختگی واکنش $^{125}\text{Te}(p, 2n)^{124}\text{I}$ حاصل از سه کد هسته‌ای و نتایج تجربی دیگران
49
- شکل 5-3 توابع برانگیختگی واکنش $^{126}\text{Te}(p, xn)$ حاصل از کد تالیس برای تولید ^{124}I و ناخالصیهای همراه آن
50
- شکل 6-3 مقایسه‌ی توابع برانگیختگی واکنش $^{126}\text{Te}(p, 3n)^{124}\text{I}$ حاصل از سه کد هسته‌ای و نتایج تجربی دیگران
50
- شکل 7-3 توابع برانگیختگی واکنش $^{nat}\text{Te}(p, xn)$ حاصل از کد تالیس برای تولید ^{124}I و ناخالصیهای همراه آن
52
- شکل 8-3 مقایسه‌ی توابع برانگیختگی واکنش $^{nat}\text{Te}(p, xn)^{124}\text{I}$ حاصل از سه کد هسته‌ای و نتایج تجربی دیگران
53
- شکل 9-3 توابع برانگیختگی واکنش $^{123}\text{Te}(d, xn)$ حاصل از کد تالیس برای تولید ^{124}I و ناخالصیهای همراه آن
54
- شکل 10-3 مقایسه‌ی توابع برانگیختگی واکنش $^{123}\text{Te}(d, n)^{124}\text{I}$ حاصل از سه کد هسته‌ای و نتایج تجربی دیگران
55
- شکل 11-3 توابع برانگیختگی واکنش $^{124}\text{Te}(d, xn)$ حاصل از کد تالیس برای تولید ^{124}I و ناخالصیهای همراه آن
56
- شکل 12-3 مقایسه‌ی توابع برانگیختگی واکنش $^{124}\text{Te}(d, 2n)^{124}\text{I}$ حاصل از سه کد هسته‌ای و نتایج تجربی دیگران
56
- شکل 13-3 توابع برانگیختگی واکنش $^{121}\text{Sb}(\alpha, xn)$ حاصل از کد تالیس برای تولید ^{124}I و ناخالصیهای همراه آن
58
- شکل 14-3 مقایسه‌ی توابع برانگیختگی واکنش $^{121}\text{Sb}(\alpha, n)^{124}\text{I}$ حاصل از سه کد هسته‌ای و نتایج تجربی دیگران
58
- شکل 15-3 توابع برانگیختگی واکنش $^{123}\text{Sb}(\alpha, xn)$ حاصل از کد تالیس برای تولید ^{124}I و ناخالصیهای همراه آن
59
- شکل 16-3 مقایسه‌ی توابع برانگیختگی واکنش $^{123}\text{Sb}(\alpha, 3n)^{124}\text{I}$ حاصل از سه کد هسته‌ای و نتایج تجربی دیگران
60

- شکل 3-17 توابع برانگیختگی واکنش $^{nat}\text{Sb}(\alpha, xn)$ حاصل از کد تالیس برای تولید ^{124}I و ناخالصیهای همراه آن
61
- شکل 3-18 مقایسه‌ی توابع برانگیختگی واکنش $^{nat}\text{Sb}(\alpha, xn)^{124}\text{I}$ حاصل از سه کد هسته‌ای و نتایج تجربی دیگران
61
- شکل 3-19 بهره‌ی انتگرالی واکنشهای $^{124}\text{Te}(p,n)^{124}\text{I}$ ، $^{125}\text{Te}(p,2n)^{124}\text{I}$ ، $^{126}\text{Te}(p,3n)^{124}\text{I}$ و $^{nat}\text{Te}(p,xn)^{124}\text{I}$
63
- شکل 3-20 بهره‌ی انتگرالی محاسبه شده برای واکنشهای $^{123}\text{Te}(d,n)^{124}\text{I}$ و $^{124}\text{Te}(d,2n)^{124}\text{I}$
63
- شکل 3-21 بهره‌ی انتگرالی محاسبه‌شده برای واکنش $^{121}\text{Sb}(\alpha,n)^{124}\text{I}$
64
- شکل 3-22 بهره‌ی انتگرالی محاسبه شده برای واکنشهای $^{123}\text{Sb}(\alpha,3n)^{124}\text{I}$ و $^{nat}\text{Sb}(\alpha,xn)^{124}\text{I}$
64
- شکل 3-23 بهره‌ی انتگرالی محاسبه شده برای واکنشهای $^{125}\text{Te}(p,n)^{125}\text{I}$ ، $^{126}\text{Te}(p,2n)^{125}\text{I}$ و $^{nat}\text{Te}(p,xn)^{125}\text{I}$
65
- شکل 3-24 بهره‌ی انتگرالی محاسبه شده برای واکنش $^{124}\text{Te}(d,n)^{125}\text{I}$
65
- شکل 3-25 بهره‌ی انتگرالی محاسبه شده برای واکنشهای $^{123}\text{Sb}(\alpha,2n)^{125}\text{I}$ و $^{nat}\text{Sb}(\alpha,xn)^{125}\text{I}$
66
- شکل 3-26 نسبت بهره‌ی دیفرانسیلی $^{125}\text{I}/^{124}\text{I}$ برای واکنشهای $^{125}\text{Te}(p,xn)$ ، $^{126}\text{Te}(p,xn)$ ، $^{nat}\text{Te}(p,xn)$ ، $^{124}\text{Te}(d,xn)$ ، $^{123}\text{Sb}(\alpha,xn)$ و $^{nat}\text{Sb}(\alpha,xn)$. انرژیهای ذرات فرودی هنگام ترک هدف در نمودارها قید شده است
67
- شکل 3-27 مدلسازی سیستم هدف در فرآیند تولید ^{124}I با هدف قرصی تلوریوم، طراحی شده با MCNPX
72
- شکل 3-28 توابع توزیع انرژی بهنجار شده‌ی (a) پروتونها در هدف ^{124}Te (b) پروتونها در هدف ^{125}Te (c) دوترونها در هدف ^{123}Te و (d) دوترونها در هدف ^{124}Te و (e) پروتونها در هدف تلوریوم اکسید طبیعی $(^{nat}\text{TeO}_2)$
74
- شکل 3-29 مدل سازی سیستم هدف Te در کامسول (¶) نمای کلی از سیستم هدف (¶) پایه مسی و باریکه فرودی
77
- شکل 3-30 نمایی ساده از سیستم هدف جامد تلوریوم
79

..... شکل 31-3 میزان نفوذ پروتونها در ^{124}Te و سایر مواد مورد استفاده در مدلسازی بر حسب انرژی ذره	82
..... شکل 32-3 خروجی پروفایل دمایی لایه ^{124}Te در جریان باریکه $100\ \mu\text{A}$ و نرخ آب خنککننده $2\ \text{m/s}$	82
..... شکل 33-3 نمودار تغییرات T_{ave} ، T_{min} و T_{max} لایه هدف ^{124}Te به ازای مواد مختلف زیرلایه در شدت جریان باریکه $100\ \mu\text{A}$ و نرخ آب خنک کننده $2\ \text{m/s}$	83
..... شکل 34-3 نمای سطح مقطعی و سهبعدی سیستم هدف جامد شیاردار مدلسازی شده با کامسول	84
..... شکل 35-3 نمودار تغییرات T_{ave} ، T_{min} و T_{max} لایه هدف Te برای جریان باریکه $100\ \mu\text{A}$ و جریانهای مختلف آب	84
..... شکل 36-3 نمودار تغییرات T_{ave} ، T_{min} و T_{max} لایه هدف تلوریوم برای نرخ آب خنک کننده ثابت ($3\ \text{m/s}$) و جریانهای باریکه‌ی مختلف از $50\ \mu\text{A}$ تا $100\ \mu\text{A}$	85
..... شکل 4-1 هدف تلوریوم آماده شده به روش تفجوشی برای تولید ^{124}I	89
..... شکل 4-2 هدف تلوریوم آماده شده به روش آبکاری برای تولید ^{124}I	90
..... شکل 4-3 طرحواره‌های از سیستم هدف پرتودهی قرص $^{nat}\text{TeO}_2$ با جریان آب در پشت و مقابل آن	92
..... شکل 4-4 میزان نفوذ پروتونها در آلومینیوم و آب بر حسب انرژی، حاصل از کد سریم	93
..... شکل 4-5 پروفایل انرژی باریکه‌ی پروتونی در هنگام عبور از لایه‌های پیشرو در سیستم هدف سیکلوترون	94
..... شکل 4-6 تصویر واقعی و طرحوار از دستگاه تقطیر خشک برای جداسازی رادیوایزوتوپهای ید از هدف $^{nat}\text{TeO}_2$	97
..... شکل 4-7 طیف گامای محلول جداسازی شده‌ی حاوی رادیوایزوتوپهای ید پس از گذشت 4 روز از بمباران	103

شکل 4-8 طیف گامای محلول جداسازی شده‌ی حاوی رادیوایزوتوپهای ید پس از گذشت 8 روز از بمباران

104

شکل 5-1 طرحواره‌ای از دستگاه تقطیر کوارتز رایج در جداسازی رادیوایزوتوپهای ید از هدفهای تلوریوم جامد

110

فصل اول

مباحثی در تولید رادیوایزوتوپها

1- مباحثی در تولید رادیوایزوتوپها

1-1- مقدمه

امروزه رادیوایزوتوپها نقش مهمی در زندگی بشر ایفا میکنند و کاربرد وسیعی در بسیاری از رشتهها و زمینهها دارند. رادیوایزوتوپها بطور گسترده در پزشکی، صنعت، کشاورزی و تحقیقات علمی استفاده شده و کاربردهای نوین آنها پیوسته در حال توسعه است. در بسیاری از موارد، جایگزینی برای آنها وجود ندارد و در اکثر کاربردها نسبت به دیگر روشهای رایج، مؤثرتر و ارزانتر هستند.

بیش از هشتاد سال از اولین آزمایش پزشکی هستهای با رادیوایزوتوپ طبیعی رادیوم-226 در سال 1927 میلادی میگذرد. اما، تنها در چند دهه اخیر است که پزشکی هستهای به عنوان یک تخصص پزشکی شناخته میشود. گئورگ دی هوسی¹ در سال 1923 میلادی اولین کسی بود که از رادیوایزوتوپها به عنوان یک رادیاب در فرآیندهای تصویربرداری استفاده کرد (کرین، 1981). پیشرفتهای اخیر در زمینهی تولید رادیو داروهای شیمیایی از یک سو و گسترش و توسعهی روشهای تصویربرداری از سوی دیگر باعث استفاده روزافزون از این فناوری در تشخیص و درمان انواع بیماریها شده است. در ادامه، ضمن مروری کوتاه بر تاریخچهی تولید و پیدایش رادیوایزوتوپها، نگاهی به کاربردهای آنها در بخشهای مختلف پزشکی هستهای یعنی، فرآیندهای تشخیصی و درمانی، میاندازیم. همچنین، بطور خاص به معرفی و بیان ویژگیها، کاربردها و روشهای تولید رادیونوکلید¹²⁴I پرداخته و در پایان نیز اهداف مدنظر در این پژوهش را خاطر نشان میسازیم.

1-2- رادیوایزوتوپها و کاربرد آنها در پزشکی هستهای

1-2-1- تاریخچهی رادیوایزوتوپها

1. رادیواکتیویتهی طبیعی در سال 1896 میلادی توسط هنری بکرل² کشف شد. او که در حال بررسی ارتباط بین پدیدهی فلورسانس و اشعهی ایکس کشف شده توسط رونتگن³ بود، راز باریکهی گسیل شده از اورانیوم و پرتوزایی آن را کشف کرد. ماری کوری⁴ دانشجوی دکتری هنری بکرل با توجه به این کشف و تحقیقات، پدیده مذکور را که در واقع فعالیت یک نمونه از هسته

Title of Thesis: Investigation of ¹²⁴I radionuclide production for PET imaging by using a

¹ George de Hevesy

² Henri Becquerel

³ Roentgen

⁴ Marie Curie

powder target	
Supervisors: Dr. Mahdi Sadeghi & Dr. Parviz Ashtari Advisors: Dr. Farhad Zolfagharpour	
Graduate Degree Ph. D	
Major: Physics	Specialty: Nuclear
University: Mohaghegh Ardabili	Faculty: Science
Graduation date: 11 april 2018	Number of pages: 133
<p>Abstract:</p> <p>The aim of this research is cyclotron production of ^{124}I radioisotope (Long-lived positron emitter, suitable for PET imaging) and investigation of its various production methods and calculating the production prerequisites of ^{124}I radioisotope. In this context, cross-section data for the production of medically important radionuclide ^{124}I via major proton, deuteron and alpha induced reactions on Te and Sb targets for the production of ^{124}I were evaluated. The nuclear model codes, TALYS, ALICE and EMPIRE, were used for consistency checks of the experimental data. Therefrom, the integral and differential yields were calculated. This data were utilized to optimize the production processes, involves the choice of an energy range, which maximize the ^{124}I yield and minimize the yield of the impurity ^{125}I. Moreover, the production process was simulated by the MCNPX Monte-Carlo code. On the other hand, the heat transfer on the Te target has been simulated by the COMSOL multiphysics software for the thermal behavior of the target during the irradiation and under the different beam currents, cooling flow rates and target designing. The radioiodine ^{124}I was produced by irradiation of powder $^{\text{nat}}\text{TeO}_2$. The target was irradiated up to with 19 MeV protons at different currents and times. Separation of radioiodine from irradiated tellurium oxide target was investigated by the dry distillation method. According to the obtained results, by some adjustments in the nuclear model parameters, generally good agreement was achieved between calculated and measured excitation functions, for major of investigated reactions. The recommended data should be useful for optimization of various routes for the production of ^{124}I at cyclotrons. At the first irradiation for about 4.4 h at 13.7 μA without separation, 3.33 MBq/$\mu\text{A}\cdot\text{h}$, i.e. 72% of simulation yield was achieved. At the second and third irradiations for 0.7 h at 21.9 μA and 1.5 h at 33.7 μA, the yield of ^{124}I amounted to 2.43 MBq/$\mu\text{A}\cdot\text{h}$ and 2.04 MBq/$\mu\text{A}\cdot\text{h}$, respectively, after separation at the EOB. The separation yields were about 72% and 68%, respectively. We have demonstrated that when distilling ^{124}I from $^{\text{nat}}\text{Te}$, it is sufficient to distil at 750 °C for 20 min. In the best conditions, i.e. 0.7 h irradiation at the current of 21.9 μA, after separation, 1 mCi of radioiodine was achieved and the separation yield was 72%.</p>	
Keywords: Cyclotron; Dry distillation; Excitation function; 124-Iodine; Production yield; Radioisotope	



University of Mohaghegh Ardabili

Faculty of Science

Department of Physics

**Thesis submitted in partial fulfilment of the requirements for the
degree of Ph. D in Nuclear Physics**

**Investigation of ^{124}I radionuclide production for PET imaging by using a
powder target**

Supervisors

Dr. Mahdi Sadeghi

Dr. Parviz Ashtari

Advisors

Dr. Farhad Zolfagharpour

By

Hamid Azizakram

April 2018