

طراحی ناحیه مرکزی سیکلوترون ۱۸ مگاالکترون ولت

فاضل نفت^(۱) - حسین آفریده*^(۱) - محمد مهدی افخمی کرایبی^(۱) - میترا قرقره چی^(۲) - ویکتور
اسمیرنوف^(۳)

^۱ دانشگاه صنعتی امیر کبیر، دانشکده مهندسی انرژی و فیزیک، تهران خ حافظ

^۲ دانشکده مهندسی اطلاعات و ارتباطات دانشگاه Sungkyunkwan، سوان، کره جنوبی

^۳ موسسه تحقیقات هسته‌ای Dubna Joint، روسیه

چکیده:

مطالعه و بررسی بر روی ناحیه مرکزی سیکلوترون ۱۸ مگاالکترون ولت در دانشگاه صنعتی امیر کبیر انجام شده است. این سیکلوترون برای تولید رادیوایزوتوپ فلوتور ۱۸ که برای تصویر برداری PET استفاده می شود طراحی شده است در این مقاله به مطالعه و بررسی بر روی مسیر دوران یون H^- در میدان الکتریکی و مغناطیسی در ناحیه مرکز سیکلوترون پرداخته شده تا از این طریق به شرایط مناسب تزریق باریکه و طراحی میدان الکتریکی و مغناطیسی جهت عملکرد بهینه باریکه در چند دور اول دست یابیم. مسیر باریکه^۱ تکی در دوره‌های اولیه با استفاده از برنامه SNOP محاسبه شده است

کلمات کلیدی: سیکلوترون ۱۸ مگاالکترون ولت، ناحیه مرکزی، برنامه SNOP

مقدمه :

با توجه به افزایش نیاز بازار پزشکان، از سال ۱۹۹۰ به بعد، تعداد تجربه ساخت سیکلوترون‌های تجاری افزایش پیدا کرده است. سیکلوترون‌ها برای تولید رادیوایزوتوپ و پروتون تراپی استفاده می‌شوند تعداد زیادی شرکت مانند JBA، EBCO و GE سیکلوترون‌های کوچک را برای تولید رادیوایزوتوپ ساختند که انرژی بین ۵ تا ۳۰ مگا الکترون ولت را پوشش می‌دهند. ناحیه مرکزی سیکلوترون نیاز به توجه ویژه‌ای دارد زیرا کیفیت باریکه داخلی و فاز قابل قبول به طور عمده در طول تزریق باریکه و چند دور اول در درون ماشین مشخص می‌شود. در این چند دور ابتدایی، باریکه انرژی بسیار کمی دارد از این رو به فاز وابسته به شکاف دی بسیار حساس می‌باشد. هدف از این کار بررسی و مطالعه مسیر دوران یون در میدان مغناطیسی و الکتریکی در مرکز سیکلوترون می‌باشد تا بدان وسیله شرایط تزریق باریکه و طراحی‌های میدان الکتریکی و مغناطیسی تا رسیدن به عملکرد بهینه باریکه انتخاب شود. مطالعه‌های معمول ناحیه‌های مرکزی سیکلوترون که مربوط به ماشین‌های با چشمه‌های یونی داخلی می‌باشد یون با انرژی خیلی کم بین ۱ تا ۱۰ الکترون ولت، شروع می‌شود. سپس توسط پولرهای اولیه ای که در فاصله ای معین از چشمه یونی قرار گرفته است، با ایجاد اختلاف پتانسیل بین این دو نقطه باعث بیرون کشیدن ذرات از چشمه می‌شود و ذرات اولیه شروع به حرکت می‌کنند و انرژی اولیه ذرات از این طریق تامین می‌گردد. پولرهای ثانویه نیز در پتانسیل صفر قرار دارند و باعث ایجاد اختلاف پتانسیل بین پولر اولیه و ثانویه می‌گردد ذراتی که در مرحله اول شتاب گرفته اند و

¹ single beam trajectory

بدون برخورد از پولر اولیه گذشته اند در این قسمت نیز شتاب می گیرند. تعیین هندسه میدان الکتریکی و مغناطیسی ناحیه مرکزی و شرایط اولیه ذره بسیار حائز اهمیت می باشد زیرا تمام دور های بعد از چند دور اول به این ناحیه بستگی دارد و در صورتی که این ناحیه به درستی طراحی نگردد نمی توان انتظار داشت که باریکه ای را در نهایت استخراج کرد. با استفاده از برنامه SNOP [1] که از روش معمول عددی رانگ کوتا استفاده می کند با در نظر گرفتن شرایط اولیه باریکه با توجه به هندسه طراحی شده میدان الکتریکی و مغناطیسی، محاسبات حرکت یک تک ذره را انجام داده ایم.

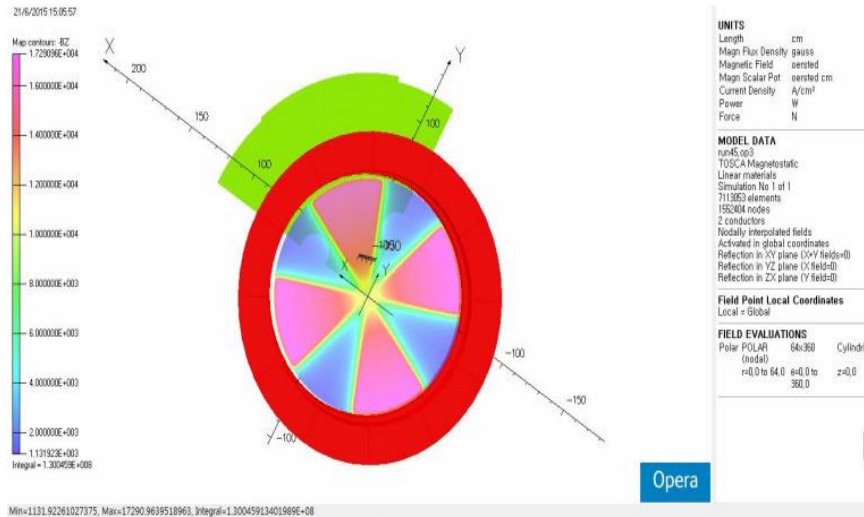
روش کار :

برای طراحی ناحیه مرکزی با یک چشمه یونی داخلی یک کار سخت که محاسبات عددی دقیق سختی را نیاز دارد و اغلب تکرار زیادی قبل از به دست آمدن بهترین باریکه و تمرکز عمودی، را نیاز دارد. برای طراحی ناحیه مرکزی مراحل زیر را انجام می دهیم:

- ۱- خلق ساختار مگنت و ناحیه مرکزی در اتوکد
 - ۲- محاسبه میدان های الکترومغناطیسی در کد TOSCA [2].
 - ۳- استفاده از برنامه SNOP برای محاسبه مسیر باریکه
 - ۴- مقایسه مسیر باریکه و ساختار ناحیه مرکزی
 - ۵- تغییر ساختار
- مراحل بالا را برای رسیدن به بهترین مسیر باریکه تکرار می کنیم [3], [4].
- جدول شماره (۱)

ردیف	پارامترها	مقدار
۱	انرژی اولیه ذره در نقطه شروع	3 ev
	مختصات اولیه ذره در مختصات کارتیزین (R, Θ , z)	(22.38, 107.35, 0)mm
۲	زاویه دی ^۱	۴۴ درجه
۳	تعداد قطاع ها	۴
۴	فرکانس RF	۶۴.۳ MHz
۵	زاویه تپه	۴۶ درجه
۶	میدان مرکز	۱/۰۴ T

مشخصات اولیه شروع حرکت ذره و ناحیه مرکزی سیکلوترون ۱۰ مگالکترون ولت دانشگاه صنعتی امیر کبیر در جدول شماره ۱ نشان داده شده است.

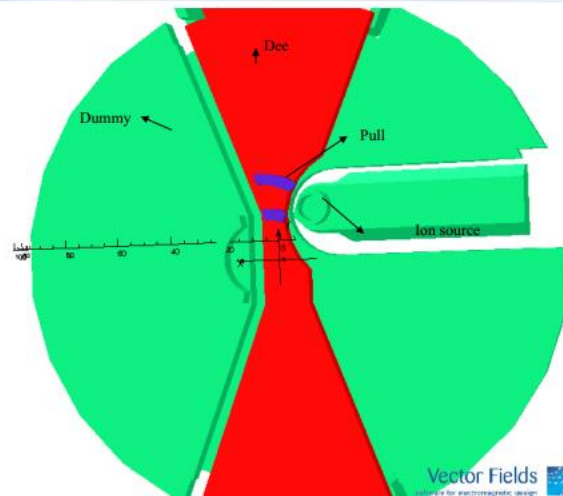


شکل شماره (۱) نقشه میدان مغناطیسی در صفحه میانی سیکلوترون [۲]

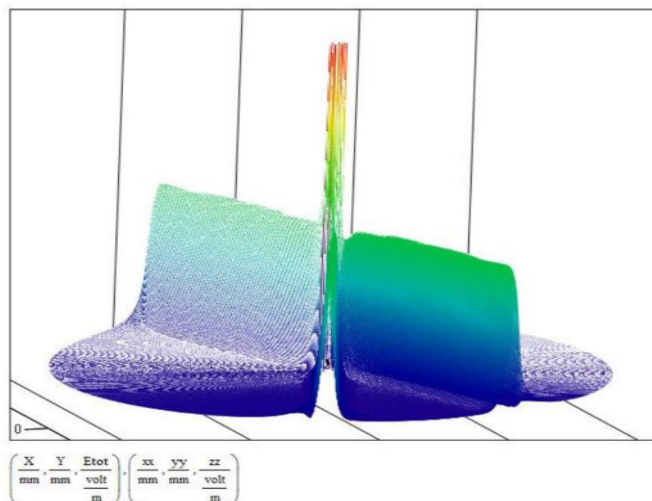
ذره پس از حرکت در هر ناحیه ای که قرار دارد میدان الکتریکی و مغناطیسی مربوط به آن موقعیت تعیین می گردد و وارد محاسبات می گردد.

در شکل ۱ هندسه میدان مغناطیسی سیکلوترون و میدان مغناطیسی صفحه میانی در کد توسکا نشان داده شده است.

در شکل ۲ هندسه میدان الکتریکی و اجزای موثر برای تشکیل میدان الکتریکی نشان داده شده است. اجزای موثر در میدان الکتریکی ناحیه مرکزی شامل چشمه یونی، پولرهای اولیه، پولر ثانویه، بخش مرکزی دی و Dummy می باشد. پتانسیل مربوط به پولرهای اولیه و بخش مرکزی دی 40 kv و بقیه اجزای ناحیه مرکزی پتانسیل صفر دارند. این هندسه وارد برنامه سه بعدی توسکا شده است و با استفاده از حل کننده الکترواستاتیکی این نرم افزار میدان الکتریکی محاسبه شده است. داده های الکترومغناطیسی وارد برنامه SNOB شده و در آنجا میدان الکتریکی محاسبه شده است. نقشه میدان الکتریکی مربوط به این هندسه در شکل ۴ نشان داده شده است.



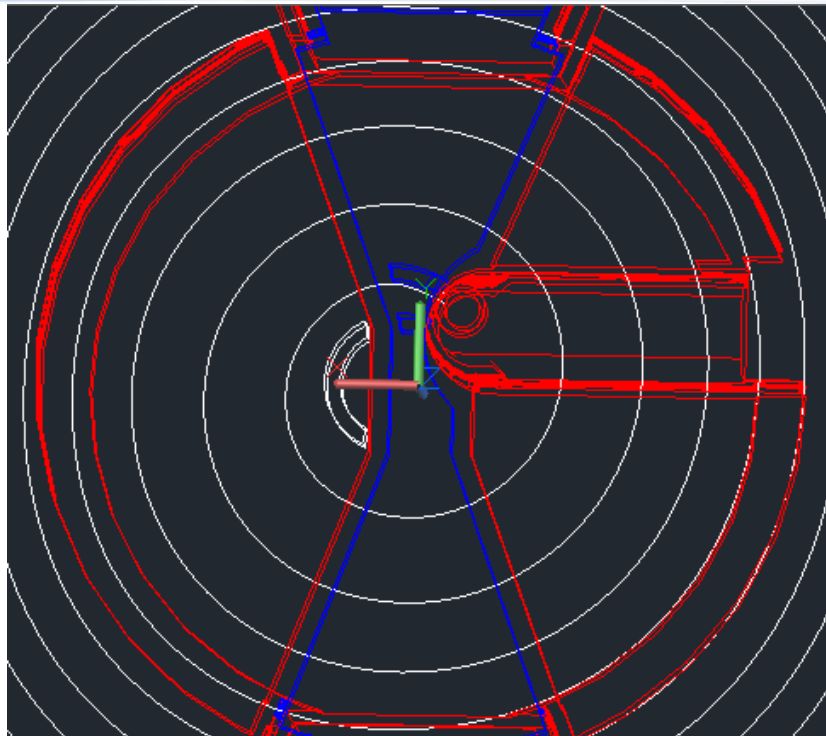
شکل شماره (۲) هندسه میدان الکتریکی ناحیه مرکزی



شکل شماره (۳) نقشه میدان الکتریکی تولید شده از اجزا میدان الکتریکی

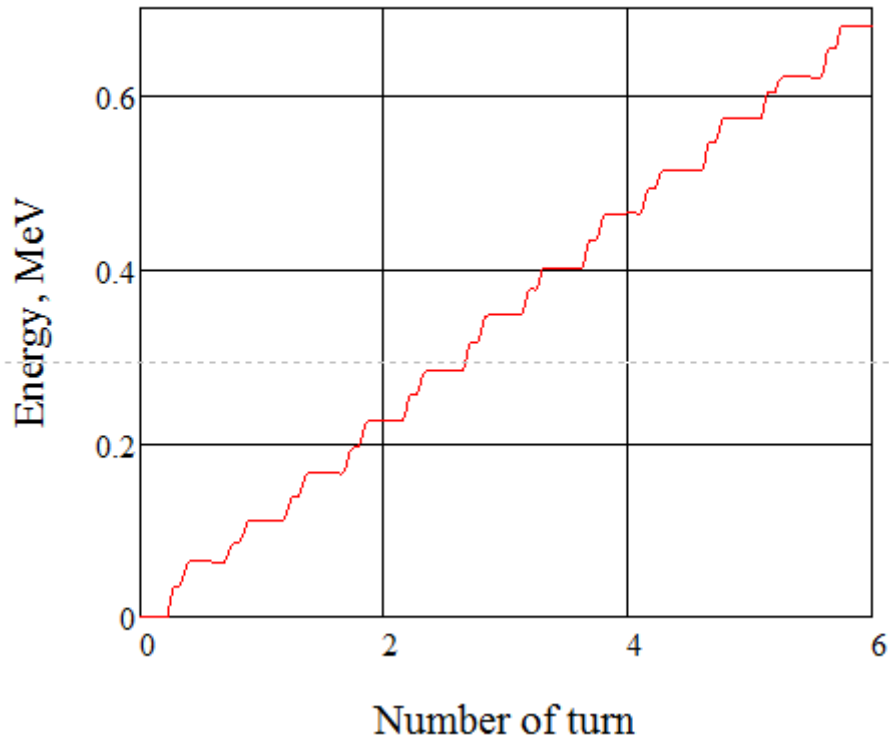
نتایج :

پس از وارد کردن داده های میدان مغناطیسی و پتانسیل الکتریکی به برنامه و انجام دادن محاسبات توسط آن، با تغییر زیاد در شرایط اولیه ذره ورودی مسیر باریکه را در فاز های مختلف مشاهده می کنیم و در صورتی که مسیر باریکه ای مناسب دریافت نکردیم هندسه میدان



شکل شماره (۴) مسیر افقی باریکه در ناحیه مرکزی سیکلوترون

الکتریکی را تغییر می دهیم. میدان مغناطیسی [5] در مورد آزمایش قرار گرفته است و تا حد امکان تنها هندسه اجزای میدان الکتریکی رو تغییر می دهیم تا به حالت بهینه برسیم. در نهایت با بدست آوردن هندسه و شرایط اولیه بهینه مسیر باریکه در راستای افقی را بدست آوردیم. مسیر افقی ذره در شکل ۴ نشان داده شده است.. در شکل ۵ انرژی ذره را پس از 6 دور اول در ناحیه مرکزی نمایش داده ایم. که ذره پس از ۶ دور دارای انرژی ۶۸۰ کیلو الکترون ولت می باشد.



شکل شماره (۶) مسیر افقی باریکه در ناحیه مرکزی سیکلوترون

بحث و نتیجه گیری :

طراحی ناحیه مرکزی بسیار حائز اهمیت می باشد زیرا در صورتی که این ناحیه به درستی طراحی نگردد نمی توان انتظار داشت که در ادامه مسیر باریکه ای داشته باشیم و آن را استخراج کنیم. برای به دست آوردن میدان الکترومغناطیسی خوب یابد از مش بندی مناسب استفاده کرد. در این مقاله ما مسیر باریکه را در ناحیه مرکزی تا رسیدن به انرژی ۶۸۰ مگا الکترون ولت در شعاع ۱۱ سانتی متر بررسی کردیم.

مراجع :

- V.L. Smirnov, S.B. Vorozhtsov, SNOP—beam dynamics analysis code for compact cyclotrons, in: Proc. of the XXI Russian Accelerator Conference, RuPAC'2012, St.Petersburg, Russia, 2012 [۱]
- Cobham CTS Ltd Vector Fields Software. United Kingdom: Network House, Langford Locks, Kidlington, Oxfordshire, OX5 1LH [۲]
- Afkhami Kharaei M.m, R Solhju, H. Afarideh, M. Ghergherehchi, J. S. Chai, S azizporian “calculation of beam dynamic of 10 MeV cyclotron with cyclone software” iranpac 2015 [۳]
- Wiel Kleeven “Injection and extraction for cyclotrons” Ion Beam Applications (IBA), Louvain-la-Neuve, Belgium , 2006 [۴]
- توسط کد توسکا، دانشگاه 18 MeV شتابدهنده سیکلوترون magnet رحیم پور، نسترن، طراحی و شبیه سازی صنعتی امیر کبیر، تهران، ۱۳۹۵ [۵]