طراحی و شبیه سازی سیستم خط تزریق باریکه از سیکلوترون ۱۴MeV به سیکلوترون قطاع مجزای ۱۰۰MeV با استفاده از کد Trace-3d

خدادادی مهرآبادی،محمد* [۱]– بیگانه،علی[۲] –آفریده،حسین[۳]

[۱و۳] دانشگاه صنعتی امیر کبیر، دانشکده مهندسی انرژی وفیزیک ، گروه کاربرد پرتوها

سازمان انرژی اتمی ایران، پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای، نام پژوهشکده کاربرد پرتوها

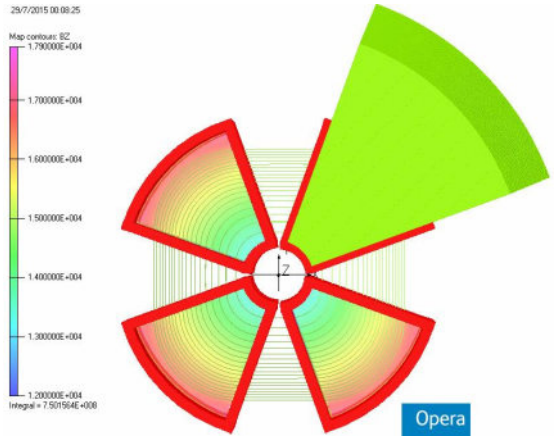
چکیده:

سیستم خط تزریق باریکه از سیکلوترون ۱۴MeV به سیکلوترون قطاع مجزای ۱۰۰MeV با استفاده از کد Trace-3d طراحی و شبیه سازی شده است. در طراحی سیستم خط انتقال، باریکه به صورت شعاعی به شتاب دهنده‌ی اصلی وارد می شود. به منظور تزریق باریکه با کمترین میزان اتلاف، لازم است باریکه به خوبی درون بیضی پذیرش سیکلوترون قرار گیرد. بدین منظور، پارامتر توییس بتا مربوط به باریکه با استفاده از چهار قطبی های مغناطیسی به کمترین مقدار مورد قبول برای دستگاه تقلیل یافته است. در انتها، شبیه سازی چهار قطبی مغناطیسی مورد نیاز در این سیستم با استفاده از نرم افزار CST انجام شده است.

کلمات کلیدی: *سیکلوترون قطاع مجزا، خط تزریق باریکه، کد Trace-3d، نرم افزار CST*

مقدمه :

در حال حاضر پروژه ساخت شتاب‌دهنده سیکلوترون کوچک ۱۰MeV از نوع میدان متغیر سمتی برای تولید ایزوتوپ‌های گسیلنده پوزیترون با نیمه عمر کوتاه در دانشکده مهندسی انرژی و فیزیک دانشگاه صنعتی امیر کبیر در حال انجام است[1]. به عنوان یک گام جدی در طراحی شتاب دهنده‌های سیکلوترون انرژی بالا، در سال ۱۳۸۹ این دانشگاه تصمیم به طراحی سیکلوترون قطاع مجزای ۱۰۰MeV گرفت. در حال حاضر شبیه سازی مگنت های این سیکلوترون پایان یافته است. شکل ۱ شبیه سازی مگنت های این شتاب دهنده به همراه مسیرهای بسته‌ی حرکت باریکه را در نرم افزار Opera-3d نشان می‌دهد[۲]. به دلیل محدودیت در طراحی میدان مغناطیسی، شتاب دادن ذرات از انرژی های پایین تا انرژی های بسیار بالا امکان پذیر نمی باشد. بنابراین در طراحی این شتاب دهنده، از یک سیکلوترون ۱۴ MeV، ساخت شرکت IBA به عنوان پیش شتاب دهنده استفاده شده است و لازم است که باریکه‌ی خروجی از پیش شتاب دهنده با استفاده از یک سیستم خط انتقال به شتاب دهنده‌ی اصلی منتقل و به آن تزریق شود[۳]. در طراحی ارائه شده در این پروژه، باریکه به صورت شعاعی از طریق یکی از دره های سیکلوترون اصلی وارد ناحیه‌ی مرکزی شده و سپس توسط مگنت های خم کننده وارد سیکلوترون قطاع مجزا می شود.



شکل شماره(۱): شبیه‌سازی مگنت سی‌کلوترون ۱۰۰MeV با استفاده‌از نرم‌افزار Opera-3d

روش کار :

روش انجام این پروژه شامل محاسبه‌ی پارامترهای مورد نیاز باریکه به هنگام تزریق، انطباق باریکه‌ی پیش شتاب دهنده با باریکه‌ی مورد نیاز، طراحی سیستم خط انتقال و تزریق باریکه و شبیه سازی ابزارهای مورد استفاده در خط تزریق می باشد.

محاسبات اولیه

هنگام تزریق باریکه به یک سیکلوترون بسیار مهم است اطمینان پیدا کنیم که باریکه درون بیضی پذیرش سیکلوترون قرار می‌گیرد. در اینصورت حتی ذراتی که دستخوش نوسانات بتاترون بسیار بزرگ می‌شوند، نیز می‌توانند در مدار پایدار شتاب دهی قرار بگیرند. در واقع بیضی پذیرش سیکلوترون، بیشینه‌ی گسیلندگی مجاز باریکه در فضای فاز ذرات را برای جلوگیری از برخورد باریکه با دیواره‌ی محفظه‌ی خلا تعیین می‌کند. همانگونه که در رابطه ی ۱ نشان داده شده است، بزرگی بیضی پذیرش یک سیکلوترون به طور مستقیم با نیم فاصله ی بین قطب های مگنت (d) و پارامتر تویس بتا از تابع ورودی بستگی دارد.

$$A = (\frac{d^2}{\beta})_{\min} \quad (۱)$$

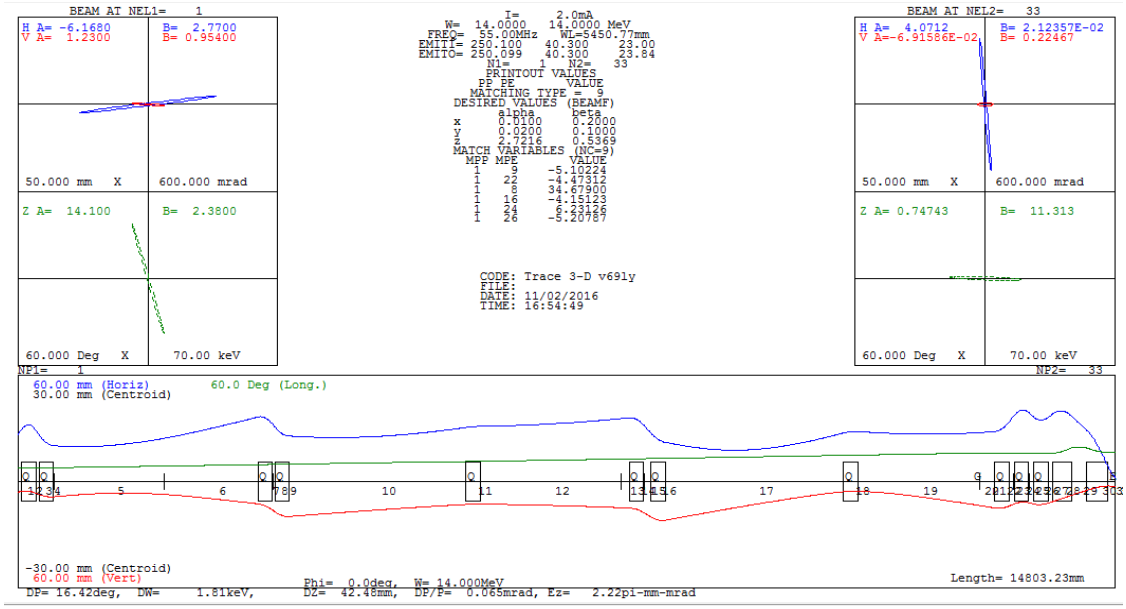
از آن جا که d بر حسب mm و β بر حسب $mm/mrad$ می باشد، بیضی پذیرش نیز مانند گسیلندگی عرضی دارای بعد $\pi mm.mrad$ می باشد. به منظور تزریق باریکه با بازدهی بالا، لازم است که پذیرش سیکلوترون حداقل ۷ برابر بزرگتر از گسیلندگی باریکه باشد[۴]. با توجه به رابطه ی ۱ و مرجع [۳] پارامترهای باریکه‌ی سیکلوترون پیش شتاب دهنده و باریکه‌ی مورد نیاز برای تزریق به سیکلوترون قطاع مجزا در جدول ۱ لیست شده اند. به منظور محاسبه ی بیضی پذیرش سیکلوترون قطاع مجزا، باتوجه به طراحی مگنت های آن در مرجع [۲]، نیم فاصله‌ی بین قطب‌های مگنت ۴۰mm در نظرگرفته شده است. درنهایت با توجه به اینکه بیضی پذیرش، لازم است حداقل ۷ برابر گسیلندگی باشد، حداقل مقدار قابل قبول برای پارامتر تویس بتا محاسبه شد.

جدول شماره (۱): پارامترهای باریکه‌ی سیکلوترون پیش شتاب دهنده در فضای فاز.

پارامتر	واحد	افقی	عمودی
گسیلندگی باریکه	$\pi mm.mrad$	۲۵۰/۱	۴۰/۳
تویسس آلفا	-	-۶/۱۶۸	۱/۱۲۳
توییس بتا (پیش شتاب دهنده)	$mm/mrad$	۲/۷۷	۰/۹۵۴
توییس گاما	$mrad/mm$	۱۴/۱	۲/۳۸
توییس بتا (مورد نیاز)	$mm/mrad$	۰/۰۷	۰/۴۵

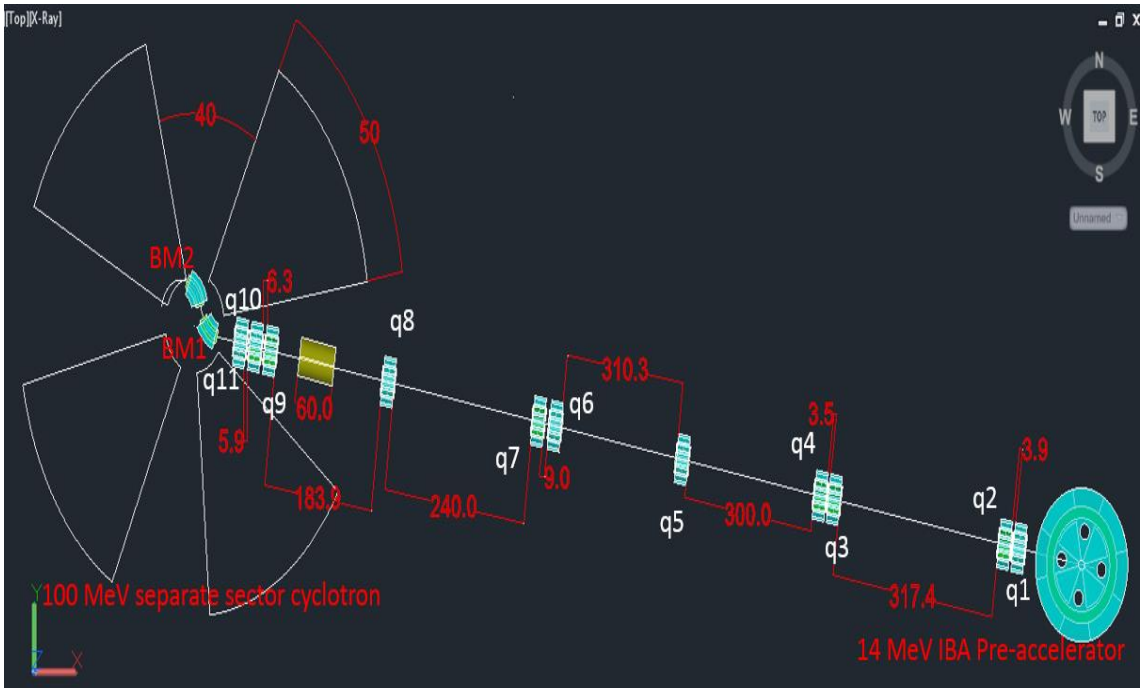
شبیه سازی سیستم خط تزریق باریکه با استفاده از کد Trace-3d

در این قسمت شبیه سازی خط تزریق باریکه به طول ۱۴/۸mبرای انتقال باریکه از سیکلوترون ۱۴MeV به سیکلوترون ۱۰۰MeV و انطباق باریکه‌ی پیش شتاب دهنده با سیکلوترون اصلی، با استفاده از کد Trace-3d انجام شده است[۵]. بدین منظور، یک فرآیند تکرار شونده به منظور انتقال بدون افت باریکه، بهینه سازی تعداد و گرادیان چهار قطبی‌های مغناطیسی و کمینه کردن پارامتر توییس بتا به هنگام خروج از خط تزریق باریکه، انجام شده است. شکل ۲ شبیه سازی خط تزریق باریکه را در این کد نشان می دهد.



شکل شماره (۲):شبیه سازی خط تزریق باریکه در کد Trace-3d.

همانگونه که در شکل ۳ نشان داده شده است، این خط تزریق شامل ۱۱ عدد چهار قطبی مغناطیسی با بیشینه گرادیان $\frac{T}{m}$ ۱۰/۵ و دو عدد مگنت خم کننده برای قرار دهی باریکه بر روی اولین شعاع پایدار چرخش می باشد. مهمترین ویژگی های این خط تزریق در جدول ۲ لیست شده اند.



شکل شماره(۳): نمای‌ش اجزای سی‌ستم تزری‌ق باری‌که.

جدول شماره (۲): ویژگی های اساسی سیستم تزریق باریکه.

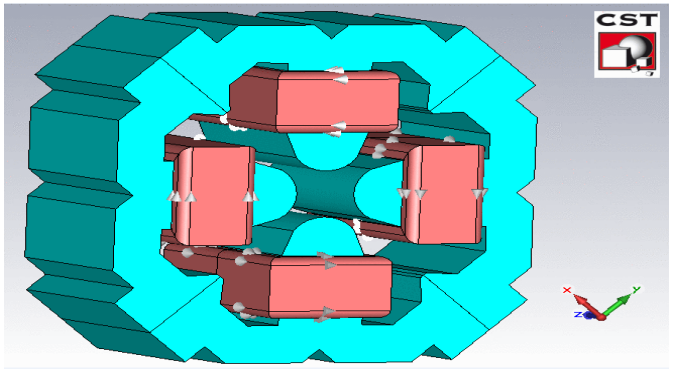
پارامتر	مقدار
طول خط تزریق	۱۴/۸متر
تعداد چهار قطبی	۱۱
تعداد مگنت های خم کننده	۲
بیشینه ی گرادیان چهار قطبی مغناطیسی	۱۰/۵ تسلا بر متر
β_x (انتهای خط تزریق)	۰/۰۲ $mm/mrad$
β_y (انتهای خط تزریق)	۰/۲۲ $mrad/mm$

همانگونه که در جدول ۲ نشان داده شده است، تابع بتا در هر دو راستای افقی و عمودی بـه کمتـر از مقـدار مطلوب ذکر شده در جدول ۱ برای تزریق باریکه، تقلیل یافته است و بنابراین گسـیلندگی باریکـه بـه خـوبی درون بیضی پذیرش سیکلوترون قرارمی گیرد.

شبیه سازی چهار قطبی مغناطیسی

پس از تعیین گرادیان میدان مغناطیسی و طول مغناطیسی مورد نیاز برای متمرکز کردن باریکه، سطح مقطع اولیه چهار قطبی با استفاده از کد POISSON بهینه شد و نقشه‌ی اولیه‌ی مدل با استفاده از نرم افزار AutoCAD ترسیم و فایل انتقال این نقشه به نرم افزار CST نوشته شد. در این مرحله استیل ۱۰۱۰ به عنوان ماده‌ی مگنت تعیین گردید. با توجه به انطباق مدل با مش بندی ۶ وجهی، از این نوع مش بندی برای حل مساله استفاده شده است[۶]. یک فرآیند پی در پی به منظور دست یابی به گرادیان میدان مغناطیسی مورد نیاز با در نظر گرفتن شرایط اشباع ماده‌ی مگنت انجام شد. در این فرآیند هندسه‌ی مدل به ویژه سطح قطب‌ها گام به گام در نرم افزار AutoCAD تغییر کرد و نتیجه‌ی تغییر در نرم افزار CST تحلیل گردید. شکل ۴ مدل نهایی چهار قطبی شبیه سازی شده را نشان می دهد. اندازه‌ی میدان مغناطیسی شبیه سازی شده از مرکز چهار قطبی مغناطیسی تا روی سطح قطب مگنت در نمودار شکل ۵ نشان داده شده است. با توجه به این نمودار، گرادیان میدان مغناطیسی شبیه سازی شده در ناحیه‌ی متمرکز کنندگی برابر با ۲۹ تسلا بر متر می باشد.

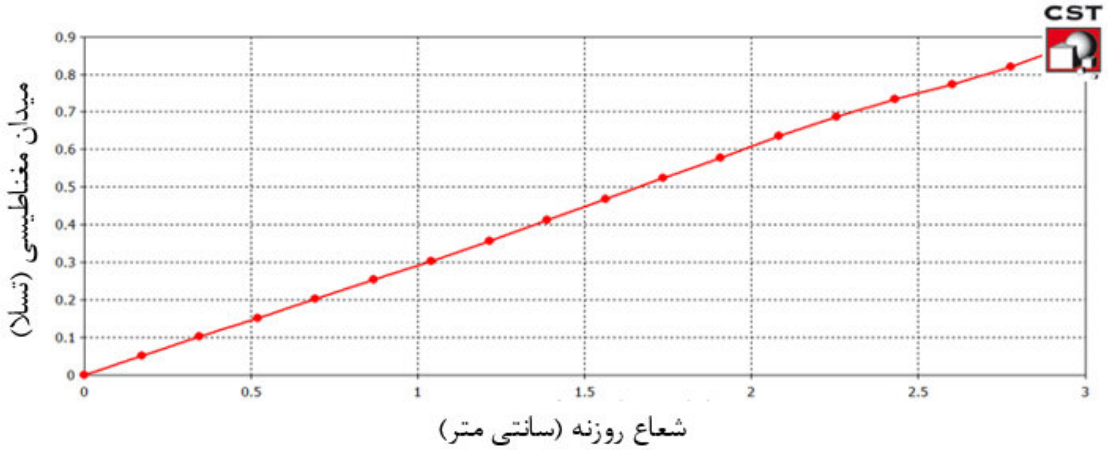
پارامترهای اصلی چهار قطبی شبیه سازی شده در جدول ۳ لیست شده اند.



شکل شماره(۴): چهارقطبی شبی‌ه‌سازی شده در نرم‌افزارCST.

جدول شماره (۳): پارامترهای اساسی چهارقطبی شبیه سازی شده در نرم افزار CST.

پارامتر	مقدار
بیشینه ی گرادیان میدان مغناطیسی	۲۹ تسلا برمتر
شعاع روزنه	۳۰ میلیمتر
شعاع پایداری میدان مغناطیسی	۲۰ میلیمتر
طول موثر مغناطیسی	۲۰ سانتی متر
تعداد آمپر- دور سیم پیچ ها	۱۲ کیلوآمپر- دور
مساحت مقطع سیم پیچ	۸۰□۲۰ میلیمتر مربع
تعداد دورسیم پیچ ها	۶۴ دور



شکل شماره (۵):اندازه‌ی میدان مغناطیسی از مرکز تا سطح قطب چهارقطبی مغناطیسی.

بحث ونتیجه گیری :

شبیه سازی سیستم خط تزریق باریکه از سیکلوترون ۱۴MeV به سیکلوترون قطاع مجزای ۱۰۰MeV با استفاده از کد Trace-3d انجام شد. به منظور قرارگیری باریکه درون بیضی پذیرش سیکلوترون، پارامتر توییس بتا کمینه گردید. پس از تعیین ویژگی های چهار قطبی مغناطیسی مورد نیاز برای خط تزریق باریکه، این چهار قطبی با استفاده از نرم افزار CST شبیه سازی شد.

مراجع :

[1]"Cyclotron Accelerator for Medical Purposes,"[Online].Available: www.CAMP.aut.ac.ir.

[۲] بیگانه، علی، طراحی و شبیه سازی مگنت شتاب دهنده‌ی سیکلوترون قطاع مجزای ۱۰۰ مگاالکترون ولتی با استفاده از نرم افزار TOSCA ، پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد مهندسی هسته‌ای گرایش کاربرد پرتوها، دانشکده‌ی مهندسی انرژی و فیزیک، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران،۱۳۹۴.

[3] W. Kleeven, "The IBA self extracting cyclotron project," in *NUKLEONIKA*, Louvain-La-Neuve, Belgium, 2003.

[4] K. Wille, "The physics of particle accelerators," in An introduction, Dortmund, Oxford University Press, 1996, pp. 83-84.

[5] k.R.Crandall, Trace-3d documentation, Los Alamos National Laboratory: Los Alamos, New Mexico 87545, 1997.

[6] Computer Simulation Technology, CST EM studio manuall, Germany, http://www.cst.de.

با عرض سلام و خسته نباشید خدمت داور محترم.

ضمن تشکر از جناب عالی به خاطر ارائه نظرات ارزشمندتان که حتما در بالابردن کیفیت مقاله موثر بوده است، در این متن تلاش شده است تا به سوالات شما نقطه به نقطه پاسخ داده شود. امید است که مورد توجه حضرتعالی قرار گیرد.

از زحمات شما کمال تشکر و امتنان را دارم.

زیر نویس کلیه ی شکل ها و جداول به همراه غلط های نگارشی تصحیح گردیدند.

از آن جا که امکان ارایه ی فاصله ی بین اجزای سیستم انتقال باریکه در جدول به دلیل محدودیت در صفحات مقاله وجود نداشت، نقشه ی سیستم با استفاده از نرم افزار Auto CAD طراحی گردید و فواصل بر روی این نقشه قرار داده شد.

محاسبات مربوط به پذیرندگی دارای ایراد هست باید اصلاح شود.

پاسخ :

جزییات محاسبه ی بیضی پذیرش عرضی سیکلوترون قطاع مجزای ۱۰۰MeV در زیر ارایه گردیده است.

بیضی پذیرش شتاب دهنده ی قطاع مجزای ۱۰۰ مگا الکترون ولت به ۲ پارامتر مهم بستگی دارد. اولین پارامتر، فاصله‌ی بین قطب های مگنت است که این فاصله در مگنت طراحی شده در شعاع

تزریق باریکه برابر با ۴۰ میلیمتر می باشد (نیم گاف ۲۰ میلیمتری). پارامتر دوم مربوط به تابع بتا در دو راستای عرضی و طولی است که ویژگی های باریکه ی ورودی آن را تعیین می کند. از طرفی به منظور تزریق ذره با بازدهی بالا طبق مرجع ذکر شده، لازم است که بیضی پذیرش حداقل ۷ برابر گسیلندگی باریکه باشد. از آنجا که سیکلوترون ۱۴ مگا الکترون ولتی ساخت شرکت IBA به عنوان تزریق کننده برای سیکلوترون اصلی در نظر گرفته شده است، توابع بتا مربوط به این سیکلوترون، برای محاسبه ی بیضی پذیرش مورد استفاده قرار می گیرد. پارامترهای توییس مربوط به این سیکلوترون در جدول زیر لیست شده اند:

پارامترهای اساسی سیکلوترون ۱۴ مگا الکترون ولت ساخت شرکت IBA.

پارامتر	واحد	افقی	عمودی
گسیلندگی عرضی باریکه	$\pi mm.mrad$	۲۵۰/۱	۴۰/۳
تویسس آلفا	-	-۶/۱۶۸	۱/۱۲۳
توییس بتا	$mm/mrad$	۲/۷۷	۰/۹۵۴
توییس گاما	$mrad/mm$	۱۴/۱	۲/۳۸

با توجه به جدول بالا و رابطه ی بیضی پذیرش، کمینه ی مقدار قابل قبول برای تابع بتا به صورت زیر محاسبه می شود:

$$\varepsilon_x = 250.1\pi mm.mrad$$

$$A_x = 7\varepsilon_x \Rightarrow A_x = 1750.7\pi mm.mrad$$

$$A_x = \frac{(d - D(\mathrm{s}))^2}{\beta_x} \xrightarrow{D(\mathrm{s})=0} (\beta_x)_{\min} = \frac{d^2}{A_x} = \frac{400mm^2}{1750.7\pi mm.mrad} = 0.07\frac{mm}{mrad}$$

در این رابطه تابع D بیانگر مقدار پاشیدگی است که برای یک خط انتقال ایده آل برابر با صفر درنظر گرفته می شود (طراحی سیستم انتقال بایستی به نحوی انجام شود که در انتهای خط تابع پاشیدگی کمینه گردد و این موضوع در پروژه با استفاده از مگنت های خم کننده انجام شده است ولی با توجه به تعداد صفحات مقاله، امکان ارایه آن وجود ندارد).

به همین صورت برای تابع بتا در راستای y داریم:

$$\varepsilon_y = 40.3\pi mm.mrad$$

$$A_y = 7\varepsilon_y \Rightarrow A_y = 282.1\pi mm.mrad$$

$$A_y = \frac{d^2}{\beta_y} \Rightarrow (\beta_y)_{\min} = \frac{d^2}{A_y} = \frac{400mm^2}{282.1\pi mm.mrad} = 0.45\frac{mm}{mrad}$$

بنابراین برای اینکه باریکه در بیضی پذیرش سیکلوترون قطاع مجزا قرار بگیرد لازم است تابع بتای باریکه در انتهای خط انتقال کوچکتر و یا مساوی مقادیر محاسبه شده در بالا باشد. این دو قید مهمترین قیدها در طراحی سیستم می باشند و به طور مستقیم با تزریق بدون افت باریکه در ارتباط هستند.

با توجه به فضای در دسترس برای نگارش مقاله، امکان وارد کردن این محاسبات در مقاله وجود ندارد اما در مورد نحوه ی انجام آن ها به روشنی بحث شده است.

به منظور تزریق باریکه با بازدهی بالا، لازم است که پذیرش سیکلوترون حداقل ۷ برابر بزرگتر از گسیلندگی باریکه باشد. این حد برای شتاب دهنده ی الکترون مطرح شده است آیا برای باریکه ی پروتون نیز قابل قبول است؟

پاسخ: بیضی پذیرش در واقع فضای در دسترس برای باریکه ی ورودی را در فضای فاز تعیین می کند. در حال حاضر پروتکل خاصی برای تعیین این مساله که گسیلندگی باریکه ی ورودی به ماشین دقیقا چند برابر کوچکتر از بیضی پذیرش آن باشد، وجود ندارد. در این رابطه، در بسیاری از کارهای مشابه ، تنها به الزام کوچک بودن گسیلندگی باریکه از بیضی پذیرش شده است.

اما در مرجع نوشته شده، که یک مرجع معتبر در دینامیک باریکه است، به صراحت بیان شده است که در صورتی که بیضی پذیرش ۷ مرتبه بزرگتر از گسیلندگی باریکه باشد، تزریق با بازدهی بالا انجام می شود. اگرچه در این مرجع موضوع اصلی شتاب دهنده ی سینکروترون و باریکه ی الکترونی است اما تغییر نوع باریکه نمی تواند تاثیری روی مساله بگذارد چون فضای در در دسترس باریکه را گسیلندگی باریکه و پذیرش دستگاه مشخص می کنند نه نوع باریکه.

در مرجع زیر تزریق باریکه از یک شتاب دهنده ی وان دوگراف به یک سیکلوترون قطاع مجزا انجام شده است. نویسنده اشاره کرده است که با توجه به اینکه گسیلندگی باریکه ۶π mm.mrad می باشد، سیستم تزریق باریکه به گونه ای طراحی شده است که با اثر بر روی تابع بتا، پذیرش باریکه را به مقداری بیش از گسیلندگی باریکه (۱۰π mm.mrad) افزایش دهد.

w.joho, in *seventh international conference on cyclotron and their applications*, zurich,switzerland, swiss institute of nuclear research, 1975, p. 71.

هنگام شروع این پروژه مقالات زیادی بررسی شد که هیچ کدام اشاره به پروتکل خاصی در ارتباط به این موضوع نکرده بودند. بنابراین تصمیم گرفته شد که حد اطمینان ارائه شده در این مرجع مبنای طراحی قرار بگیرد.

توابع بتاترون سیکلوترون ۱۰۰ MeV با توجه به پذیرندگی پیش شتابدهنده محاسبه شده است و در عمل نقش خط انتقال که می توانست هر تابع اپتیکی را در انتها و ابتدا تطبیق دهد نادیده گرفته شده است. به عبارت دیگر شتابدهنده ۱۰۰ MeV می تواند اپتیک مستقل خود را داشته باشد و توابع

اپتیکی خط انتقال را با آن تطبیق داد. از انجا که در حال حاضر این شتابدهنده هنوز طراحی نشده می توان خط انتقال را برای پارامترهای اپتیکی مختلف احتمالی طراحی کرد.

پاسخ: تابع بتا خروجی از سیکلوترون پیش شتاب دهنده با استفاده از سیستم خط انتقال به گونه ای کمینه شده است که با توجه به گسیلندگی باریکه، بتوان به بیضی پذیرش مناسب برای تزریق دست پیدا کرد. چون با توجه به قضیه ی اشتروم لیوویل گسیلندگی باریکه یک پارامتر ثابت است و لازم است که بیضی پذیرش دستگاه متناسب با آن تعیین گردد.

در واقع شتاب دهنده ی ۱۰۰MeV نمی تواند اپتیک مستقل خود را داشته باشد. در حقیقت بیضی پذیرش این سیکلوترون بستگی زیادی به پارامتر توییس بتا باریکه ی ورودی به آن دارد.

در عمل نقش خط انتقال که می توانست هر تابع اپتیکی را در انتها و ابتدا تطبیق دهد نادیده گرفته شده است؟

پاسخ:

خط انتقال در واقع وظیفه‌ی انطباق پارامترهای باریکه ی ورودی به خط را بر پارامترهای باریکه ی مورد نظر بر عهده دارد. بنابراین به هنگام شروع طراحی، نه تنها اثر کلیه ی اجزای سیستم خط انتقال بر تابع بتا به خوبی شناخته شده است، بلکه کلیه ی اجزا به گونه ای در خط قرار گرفته اند که در نهایت بتوان به تابع بتا مورد نظر دست پیدا کرد.

با توجه به اینکه حد اشباع در چهار قطبی کمتر از ۲۰ تسلا بر متر می باشد چرا گرادیان میدان مغناطیسی چهار قطبی ارائه شده ۲۹ تسلا بر متر است؟

لازم به ذکر است که در حال حاضر با استفاده از آهن کم کربن امکان طراحی چهار قطبی مغناطیسی تا محدوده ی ۵۰ تسلا بر متر وجود دارد. در این پروژه از AISI-1010 به عنوان ماده ی یاک مگنت استفاده شده است و امکان دست یابی به میدانی در محدوده ی ۳۰ تسلا بر متر با استفاده از این ماده وجود دارد.

برای رفع ابهام از این موضوع مقاله ی زیر ارایه می شود. در این مقاله، نویسنده با استفاده از نرم افزار OPERA-3D چهار قطبی مغناطیسی با گرادیان میدان ۴۶/۹ تسلا بر متر را شبیه سازی کرده است.

Yingshun, "magnetic field design of BAPS high precision quadrupole magnet," in *proceeding of IPAC 2013* , Shanghai,China, 2013.

حداکثر گرادیان میدان مغناطیسی مورد نیاز در سیستم خط انتقال برابر با ۱۰/۵ تسلا بر متر می باشد. چرا چهار قطبی مغناطیسی شبیه سازی شده دارای گرادیان میدان مغناطیسی ۲۹ تسلا بر متر می باشد؟

پاسخ: عموما به هنگام طراحی چهارقطبی مغناطیسی لازم است یاک چهارقطبی مغناطیسی به گونه ای طراحی شود که با تغییر در جریان سیم پیچ های مگنت بتوان گرادیان میدان مغناطیسی را در محدوده ی گسترده ای، از چهارقطبی دریافت کرد. به همین دلیل اغلب در کنار چهار قطبی ها یک نمودار جریان بر حسب گرادیان میدان ارایه می شود تا کاربر بتواند بر اساس گرادیان میدان مورد نیاز جریان سیم پیچ ها را تنظیم کند. به عنوان مثال با مراجعه به سایت www.danfysik.com که سایت یک شرکت طراحی ابزارهای مربوط به شتاب دهنده ها است، می توانید کاتالوگ چهارقطبی های تجاری را ملاحظه بفرمایید.

در ویژگی های مشخصه ی چهارقطبی ها گرادیان میدان مغناطیسی در یک بازه ی گسترده ارایه شده است و این به آن معناست که شما می توانید با خرید یک چهارقطبی و با تغییر در جریان سیم پیچ ها در یک بازه ی مشخص بر اساس کاتالوگ، به گرادیان های مختلفی دست پیدا کنید.

طراحی چهارقطبی با گرادیان در یک بازه ی مشخص، امکان انعطاف پذیری بیشتر برای سیستم را فراهم می کند. به عنوان مثال در پروژه ی LINAC3 بخشی از سیستم خط انتقال از شتاب دهنده ی انرژی متوسط جمع آوری شده و شتاب دهنده ی جدیدی تحت عنوان LINAC4 ارایه شده است در حالی که عناصر سیستم خط انتقال مجددا با تغییرات اندکی به کارگیری شده اند.

بنابراین برخلاف مگنت های خم کننده که برای یک هدف خاص با یک میدان مشخص طراحی می شوند، لازم است چهارقطبی های مغناطیسی با قابلیت انعطاف بالاتری ساخته شوند.