نصب و راه اندازي مگنت خم کننده ۲۷۰ درجه در شتابدهنده رودترون

* علی محمد پورصالح[1]- محمد جواد موسوی
سازمان انرژی اتمی- پژوهشگاه علوم وفنون هسته ای –پژوهشکده کاربرد پرتو ها(یزد)

چکیده

باریکه ذرات باردار را می توان بوسیله میدانهای مغناطیسی در جهات مختلف به دلخواه منحرف کرد در واقع ساخت مگنتهای خم کننده واستفاده آن درشتابدهنده های ذرات باردار نیز بدین منظور صورت می گیرد از میان شتابدهنده های صنعتی الکترون شتابدهنده رودترون یکی از قوی ترین شتابدهندهای صنعتی روز دنیا به شمار می آید که هم اکنون در پژوهشکده کاربرد پرتوها مجتمع یزد در حال کار می باشد دراین شتابدهنده ذره الکترون تحت تاثیرمیدان الکتریکی شتاب گرفته و تحت میدانهای مغناطیسی منحرف می شود در این شتابدهنده باریکه الکترون خروجی شتاب داده شده می بایست به ساختما ن پرتودهی که در طبقه زیرین دستگاه قرار دارد منتقل شود در واقع راستای باریکه خروجی از شتابدهنده بر راستای پرتوهای خروجی از هورن عمود هستند لذا یکی از راههای انتقال باریکه به این ساختمان چرخش ۹۰ درجه ای باریکه بوسیله یک مگنت خم کننده ۹۰ درجه است که شرکت سازنده نیزدر ابتدا از این تکنیک استفاده نموده بود که دارای مشکلات فنی زیادی بود زیرا مگنت ۹۰درجه هرچند عمل چرخش باریکه را انجام می دهد لیکن باعث واگرائی باریکه نیز می گردد که در نتیجه باعث بروز مشکلاتی در هدایت باریکه در خط انتقال حتی با استفاده از وجود لنز مغناطیسی جهت همگرائی مجدد میگردیداما با نصب و راه اندازی مگنت خم کننده ۲۷۰ درجه درخط انتقال شتابدهنده رودترون مشاهده شد که باریکه خروجی از این مگنت کاملاً همگرا است بطوری که هدایت باریکه در خط انتقال بدون استفاده از لنز کمکی همگرا کننده براحتی مسیر گردید در ساخت مگنت خم کننده ۲۷۰درجه از ترکیب دو مگنت خم کننده ۷۰درجه ویک مگنت خم کننده۱۳۰درجه استفاده شده است این طرح که برای اولین بار در کشور اجرا گردید توانست یکی از مشکلات فنی شتابدهنده رودترون موجود در کشور را حل نمائید وهمچنین زمینه ارتقاء و استفاده بهینه از آن را فراهم نماید بگونه ای که ما توانستیم بدون داشتن مشکلات گذشته به راحتی باریکه الکترون با جریان بالا وبداشتن طیف بسیار مناسب را از خط انتقال عبور داده و به پرتوهای الکترون با انرژی 10MeV در هورن یا خروجی خط انتقال شتابدهنده رودترون دست یابیم

واژه های کلیدی:شتابدهنده رودترون- مگنت خم کننده - باریکه الکترون- خط انتقال باریکه- هورن

مقدمه

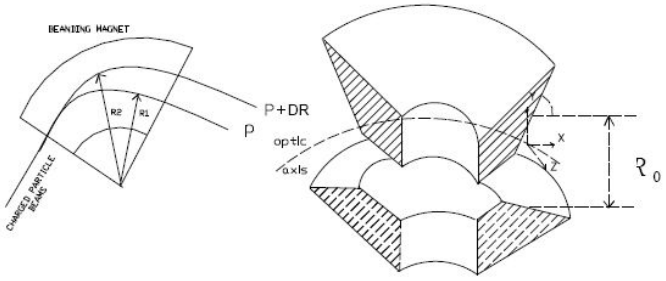
می دانیم توسط میدان الکتریکی می توان ذرات باردار را شتاب داد علاوه بر این توسط میدان های الکتریکی یا مغناطیسی میتوان ذرات باردار را منحرف کرده همگرا یا واگرا نموده در شتاب دهند ه ها عمدتاً میدان الکتریکی وظیفه شتاب ذرات باردار و میدان مغناطیسی وظیفه انحراف و یا همگرائی ذرات باردار را به عهده داردد این مبحث به ابزار ی که انحراف و خم نمودن باریکه ذرات بار دار را انجام می دهد مگنتهای خم کننده می گویند ولذا میدان در مگنت خم کننده یک میدان مغناطیسی استاتیک می باشد که ضمن انحراف می تواند وسیله خوبی برای جداسازی ذرات باردار با تکانه های متفاوت باشد یعنی هنگامی که باریکه ای از ذره باردار با سرعتهای مختلف (انرژیهای مختلف) وارد مگنت خم کننده میشوند در خروج ازآن در مسیرهای مختلف حرکت می کنند

[1] - کیلومتر ۱۵ جاده یزد –تفت –پژوهشکده کاربرد پرتوها(یزد)–صندوق پستی۳۸۹-۸۹۱۷۵

و بدین ترتیب از یکدیگر جدا می شوند در این مگنت نیروی وارد بر ذره یک نیروی مرکزی است که شعاع انحناء همیشه عمود بر مسیر ذره است لذا ذره در داخل میدان یک مسیر منحنی را طی می کند لذا یک مغناطیس خمشی طوری محاسبه و ساخته می شود که شعاع انحناء میدان مغناطیسی برابر شعاع انحناء مسیر ذره باشد.[1]

شکل (۱) که یک مگنت خم کننده می باشد را در نظر می گیریم .اگر دو تا ذره با سرعتهای $V+\Delta V, V$ و در نتیجه با اندازه حرکتها ی $P+\Delta P, P$ وارد یک مگنت خم کننده شوند ، در خروج از مگنت از یکدیگر جدا می شوند و چون میزان انحرافش درمگنت خم کننده یکسان نیست ،دو مسیر مختلف را طی خواهد کرد

بنابراین ما در عبور ذارت باردار از میان مگنت خم کننده یک عدم همگرائی یا یک پاشندگی را مشاهده می کنیم که بعضاً نیز می توان از این خاصیت استفاده نمود نظیر جداسازی ذرات که از این خا صیت بهره می گیرد لیکن در انتقال باریکه ذرات این خاصیت عمدتاً کار را سخت میکند و ما به دنبال روشهائی هستیم تا بتوانیم به یک همگرائی بهتر دست یابیم دو روش برای بهبود همگرائی در مگنت خم کننده وجود دارد یکی از این روشها این است که لبه مغناطیس در دو طرف و یا ازیک طرف با محور اپتیکی زاویه بسازد و روش دیگر استفاده از یک مغناطیس غیر همگن میباشددر این روش مثلا با ساختن مغناطیس به شکل گوه با سطح قطب مخروطی میتوان به همگرائی بهتر دست یافت درشکل(۲) برشی از طرح این گونه مگنتها را مشاهده می نمائید و شکل (۳) یک مگنت ساخته شده به این روش که در شتابدهنده رودترون مورد استفاده قرار گرفته بود را نشان میدهد[3]



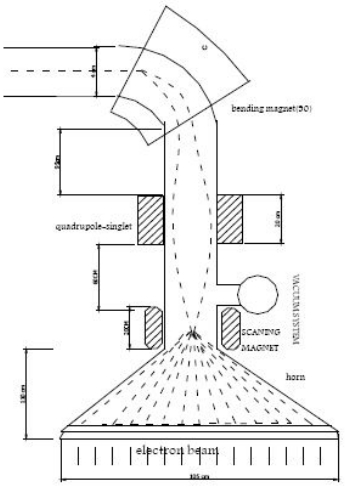
شکل (۱)
چرخش باریکه در مگنت خم کننده

شکل(۲)
طرح مغناطیس شعاعی غیر همگن

شکل(۳)
مگنت خم کننده ۹۰ درجه

دراینجا ما اگربخواهیم برای شتابدهنده رودترون مگنت خم کننده ای طراحی کنیم که زوایه خمش آن به گونه ای باشد که راستای بیم خروجی از هورن نسبت به راستای باریکه خروجی از شتابدهنده عمود باشد باریکه الکترون خارج شده ازرودترون می بایست تحت زاویه ۹۰درجه یا ۲۷۰ درجه نسبت به دیوار ساختمانی که در آن دستگاه شتابدهنده وقسمتی از المانهای خط انتقال قرار دارند واردساختمان پرتودهی شود حال اگر فرض کنیم که بخواهیم باریکه الکترون پس از اینکه از خط انتقال بیم عبور کرد آن را توسط یک مگنت خم کننده به

اندازه۹۰درجه منحرف می کنیم با استفاده از محاسبات کامپیوتری براساس فرمولهای مربوط به این مگنت و همچنین داده ها مورد نیاز نظیر شعاع انتخابی مگنت بر اساس فضای مکانی و انرژی باریکه اطلاعاتی از قبیل میدان مغناطیسی مورد نیاز جهت چرخش ۹۰ درجه ای باریکه و همچنین محل واگرائی باریکه پس از عبور از مگنت ۹۰ درجه به دست می آید که ما می بایست در این محل همگرائی مجدد انجام دهیم که این کار تاحدودی توسط یک عدسی همگرا کننده نظیر یک چهار قطبی مغناطیسی انجام می گیرد شکل(۴) نحوه عبور باریکه در یک خط انتقال با استفاده از یک مگنت خم کننده۹۰ درجه را نشان می دهد دراین شکل مشاهده می شود که باریکه الکترون پس از عبور ازمگنت ۹۰ درجه واگرا شده وجهت ادامه مسیر توسط یک مگنت چهارقطبی همگرا می گرددو در نهایت توسط مگنت اسکنینگ در طول یک متر اسکن می گردد در این روش کوچکترین تغییری در میدان مغناطیسی مگنت ۹۰ درجه یا تغییر مکانی جزئی در باریکه ورودی به این مگنت میتواند باعث بروز مشکلاتی ازقبیل برخورد باریکه به بدنه خط انتقال و تخریب آن گردد در شکل(۵) خط انتقال با استفاده از مگنت ۹۰درجه که قبلاً بر روی شتابدهنده نصب بود را مشاهده می کنید



شکل(۵) خط انتقال با مگنت۹۰ درجه شکل(۴) نحوه عبور باریکه الکترون از مگنت ۹۰درجه

اما در مگنت ۲۷۰ درجه که از ترکیب چند مگنت خم کننده ساخته میشود هر چند واگرائی باریکه رادر برخی از مراحل خمش داریم ولی مجموع مراحل خمش باریکه این واگرائی را خنثی می نمایند بطوری که در نهایت باریکه خروجی از مگنت ۲۷۰ درجه کاملاً همگرا بوده وبه راحتی در راستای خط انتقال حرکت کرده ودر خروجی با بهترین کیفیت قابل دسترس است[2]

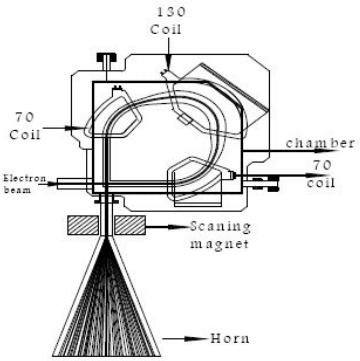
روش کار

مگنت خم کننده ۲۷۰ درجه را عموماً به وسیله چند مگنت خم کننده کوچکتر می سازند لذادر این طرح ما برای ساخت این مگنت از دو مگنت ۷۰ درجه خم کننده و یک مگنت ۱۳۰ درجه خم کننده استفاده نموده ایم هر مگنت از دو کویل تشکیل شده است و مشخصات فنی هر کویل مطابق جدول شماره(۱)می باشدهمچنین با توجه به این جدول جهت راه اندازی این مگنت نیاز به یک منبع تغذیه سوئیچینگ با جریان دهی ۲۰۰آمپرو ولتاژ نامی ۱۵ولت نیاز داریم که مطابق شکل (۶)می بایست آنرا به مگنت وصل نمائیم

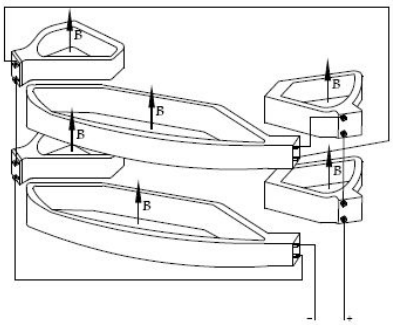
جدول شماره (۱) مشخصات فنی کویلهای بکار رفته در مگنت ۲۷۰درجه

مشخصات	کویل ۷۰ درجه	کویل ۱۳۰ درجه
جریان	198 A	198 A
ولتاژ	1.6 V	2.36 V
مقاومت	7.51Ω	11.03 Ω
تعداددور	20 turns	20 turns
طول متوسط	775 mm	1138 mm
وزن	100 kg	125 kg
نوع عایق بندی	EPOXY	EPOXY
دمای آب خنک کننده	17 c°	17 c°
دبی آب خنک کننده	3 l/min	3 l/min
فشار آب خنک کننده	5 bar	5 bar

در اینجا با در دست داشتن کویل مگنتها با مشخصات جدول شماره(۱) نسبت به مونتاژ و نصب آنها بر یک بدنه آلومینیومی اقدام می نمائیم روش قرار گیری مگنتها بد ین صورت است که ابتدا اولین مگنت ۷۰ درجه سپس مکنت ۱۳۰ درجه و در نهایت دومین مگنت ۷۰ درجه را قرار می دهیم شکل(۶)نحوه چیدمان کویلها جهت میدانهای مغناطیسی ومسیر سیم کشی این مگنت را نشان می دهد در میان این کویلها محفظه توخالی مستطیل شکل(چمبر) به ابعاد ۱۰×۷۰×۸۰سانتیمتر قرار می دهیم تا چرخش باریکه الکترون تحت تاثیر میدانهای مغناطیسی کویل ها صورت بگیرد و بتوانیم مسیر عبور باریکه را به سیستم خلاء متصل نمایم شکل (۷)اجزای مگنت ۲۷۰ درجه ساخته شده ونحوه چرخش باریکه در خط انتقال را نشان می دهد



شکل(۷) مگنت ۲۷۰ درجه در خط انتقال



شکل(۶)ترکیب کویل هادر مگنت ۲۷۰ درجه

پس از مونتاژ کویل مگنتها می بایست آن را با ساخت یک پایه مناسب بر روی خط انتقال باریکه سوار کنیم به گونه ای که باریکه الکترون از داخل لوله ها ی فلزی نصب شده در خط انتقال و هم چنین چمبر قرار گرفته در داخل مگنتها عبور کنددر این مرحله از کار چنانچه در شکلهای (۵)و(۸) ملاحظه می کنید ابتدا تجهیزات نصب شده در خط انتقال باریکه با استفاده از مگنت ۹۰ درجه را باز نموده و سپس مطابق شکل (۸) تجهیزات جدیدخط انتقال را با استفاده از مگنت خم کننده ۲۷۰ درجه نصب نمودیم

شکل(۹) نصب مگنت ۲۷۰ درجه بطور کامل

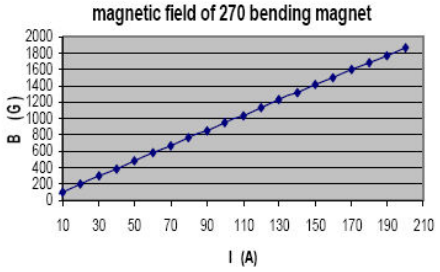
شکل(۸) خط انتقال پس از برداشتن مگنت ۹۰درجه

پس از مونتاژ ونصب کامل مگنت ۲۷۰درجه سایر تجهیز ات مورد نیاز در خط انتقال باریکه شامل پمپهای خلا ء وسنسورهای اندازه گیری خلاءوجریان باریکه همچنین لوله های انتقال باریکه وچمبر عبور باریکه از میان مگنت ۲۷۰ درجه ومگنت اسکنینگ باید به گو نه ای مناسب با دقت زیاد وصرف وقت نصب وتنظیم گردد تا ضمن حفظ خلا مورد نیاز در حدود $10^{-7}\,mbar$برای کلیه مسیرهای عبوری بتوانیم باریکه الکترون رادرخط انتقال هدایت کرده ودر خروجی با کیفیت مناسب آشکار سازیم

نتایج:

در اندازه گیری میدانهای مغناطیسی ایجاد شده توسط مگنت ۲۷۰ درجه با توجه به افزایش جریان منبع تغذیه مشاهده گردید که این میدانها مطابق نمودارشماره(۱) تغییر میکند که با توجه به اندازه گیری صورت گرفته و آشکارسازی باریکه الکترون در خروجی در صورتی که جریان منبع تغذیه روی ۱۷۹ آمپر تنظیم شود باریکه الکترون ضمن چرخش ۲۷۰ درجه ای با کیفیت مناسب در خروجی آشکار می شودالبته دراینجا باریکه الکترون در عبور از اولین مگنت ۷۰ درجه ضمن رساندن خود به مگنت ۱۳۰درجه کمی واگرا میشود ولی چون فضای چمبر بزرگ است برای ما هیچ مشکلی را ایجاد نمی کند وهمچنین این واگرائی های مقطعی در طول مسیر عبور از میدانهای مغناطیسی ایجاد شده توسط کویلهای دیگر اصلاح می گردد بطوری که درنهایت به باریکه ای کاملا" همگرا دست می یابیم سطح مقطع باریکه الکترون آشکار شده درهورن که باریکه الکترون در خط مستقیم و بدون استفاده از هیچ لنز همگرا کننده کمکی پس ازطی مسا فت ۳ متر از مگنت ۲۷۰ درجه آشکار شده است رادر شکل(۱۰) ملاحظه می کنید که از نظر کیفیت و همگرائی با توجه به مسیر طی شده بسیار مناسب است

شکل(۱۰)باریکه آشکار شده درخروجی



نمودار(۱)تغییرات میدان با جریان در مگنت ۲۷۰درجه

بحث ونتیجه گیری:

با توجه به نتایج بدست آمده پس از گذشت سه ماه از نصب مگنت ۲۷۰ درجه در خط انتقال باریکه در شتابدهنده رودترون می توان گفت که کار اپراتوری وپرتودهی نسبت به قبل به مراتب سهل تر وراندمان کار بهینه گردیده است و در حال حاضر مشکلاتی از قبیل تنظیمات مکررو وقت گیر جهت هدایت باریکه و بعضا" برخورد باریکه به بدنه و بروز خسارت به خط انتقال رفع گردیده و علاوه بر ارتقاء سیستم موجود راه را برای افزایش جریان باریکه هموار ساخته است هرچند این طرح برای اولین بار در کشور اجرا گردید لیکن امید است در آینده نزدیک با تکمیل این گونه طرحها به دانش کامل ساخت شتابدهنده دست یابیم

مراجع:

1-k.l brown, transport code,Stanford linear accelerator center(page: 136 – 144 *)*
2-alexander w.chao,accelerator physics and technology,ocpa accelerator school(page: 534 – 536*)*
3-f. martin.iba technical documentation(page: 2 – 11*)*