

به یادشدهای هسته‌ای کشور، نسخه الکترونیکی کتاب آموزش کد MCNPX
به صورت رایگان در اختیار پژوهشگران هسته‌ای کشور قرار می‌گیرد



تقدیم به شهدای کراتقدر هسته‌ای به ویژه استاد شهید سید امیر حسین فقهی

این کتاب یکی از پرفروش‌ترین کتاب‌های هسته‌ای کشور است که تاکنون حدود سه هزار نسخه از آن در اختیار محققین و پژوهشگران در حوزه‌های مختلف هسته‌ای قرار گرفته است. این کتاب با سرمایه شخصی مولفین منتشر شده است و اکنون به یاد شهید گرانقدر، استاد سید امیر حسین فقهی، که خود یکی از متخصصین و مروجین موضوع این کتاب بودند، نسخه الکترونیکی آن به صورت رایگان در اختیار آحاد دانشجویان، پژوهشگران و محققین هسته‌ای کشور قرار می‌گیرد؛ باشد که نقشی در توسعه و شتاب فعالیت‌های هسته‌ای کشور داشته باشد.

یاسر کاسه‌ساز - مصطفی حسن‌زاده
مولفین کتاب آموزش کد MCNPX

۲۴ خرداد ماه سال ۱۴۰۴

بسم الله الرحمن الرحيم

آموزش کد MCNPX

سرشناسه	: کاسه ساز، یاسر، ۱۳۵۹
عنوان و نام پدیدآور	: آموزش کد MCNPX /تألیف یاسر کاسه ساز، مصطفی حسن زاده.
مشخصات نشر	: تهران: یاسر کاسه ساز، ۱۳۹۴.
شابک	: ۹۷۸-۶۰۰-۰۴-۳۳۷۵-۸
وضعیت فهرست نویسی	: فیپا
موضوع	: روش مونت کارلو -- داده پردازی
موضوع	: مهندسی هسته ای -- داده پردازی
شناسه افزوده	: حسن زاده، مصطفی، ۱۳۵۴
رده بندی کنگره	: ۱۳۹۴ / ۵۲۸ / QA۲۹۸
رده بندی دیویی	: ۵۱۹/۲۸۲
شماره کتابشناسی ملی	: ۳۹۱۸۵۷۲

مرکز آموزش و توسعه کدهای محاسباتی

نام کتاب: آموزش کد MCNPX

تألیف: یاسر کاسه ساز - مصطفی حسن زاده

ناشر: یاسر کاسه ساز (با حمایت مرکز آموزش و توسعه کدهای محاسباتی)

حروفچینی و صفحه آرایی: مریم احمدی

طراح جلد: مهدی منشی زاده

نوبت و تاریخ چاپ: اول / ۱۳۹۴

قیمت: ۲۰/۰۰۰ تومان

تیراژ: ۱۵۰۰ نسخه

شماره استاندارد بین المللی کتاب (شابک): ۹۷۸-۶۰۰-۰۴-۳۳۷۵-۸

تقدیم به:

استاد شهید دکتر محمد شریاری

پیشگفتار

در عصر حاضر علوم محاسباتی و شبیه‌سازی در گستره وسیعی از پروژه‌های تحقیقاتی، به منظور دستیابی به درک دقیق‌تری از مفاهیم و جزئیات سیستم‌های مورد مطالعه، که امکان بررسی آنها در شرایط تجربی به سادگی فراهم نیست، وارد شده‌اند. این عامل باعث شده است تا تعداد علاقمندان به استفاده از انواع کدهای محاسباتی افزایش یابد. یکی از معتبرترین و پرکاربردترین کدهای محاسباتی کد MCNPX است که در حل اکثر مسائل مرتبط با انواع پرتوها قابل استفاده می‌باشد. این قابلیت باعث شده است که پژوهشگران و دانشجویان تحصیلات تکمیلی در رشته‌های مختلف از جمله فیزیک هسته‌ای، مهندسی راکتور، پرتو پزشکی، کاربرد پرتوها، فیزیک پزشکی و غیره، از این کد در انجام پژوهش‌های خود استفاده نمایند. هر چند که راهنمای اصلی کد به راحتی قابل دسترس است، اما استفاده از آن برای کسانی که هیچگونه آشنایی با کد ندارند، بسیار مشکل است. هدف از تالیف این کتاب شتاب بخشیدن به روند آموزش و توسعه استفاده از این کد در کشور می‌باشد.

این کد نسخه‌های مختلفی دارد که یکی از جدیدترین آنها نسخه X۲/۶ است که مبنای این کتاب می‌باشد. با توجه به تجربه مولفین، مطالبی در کتاب آموزش داده شده است که اساسی بوده و بیشترین کاربرد را دارند، با این وجود در قسمت‌های مختلف به دیگر قابلیت‌های کد نیز اشاره شده است که علاقمندان می‌توانند جهت آشنایی بیشتر با آنها به راهنمای اصلی کد مراجعه نمایند.

برخود لازم می‌دانیم که از کلیه اساتید، دانشجویان، همکاران و کلیه دوستانی که همواره مشوق ما بودند و ما را در تالیف این کتاب یاری نمودند تشکر نماییم.

ادب ایجاب می‌کند تا یادی از استاد شهید دکتر مجید شهریاری نماییم که سهم بسزایی در آموزش و توسعه استفاده از این کد در کشور داشتند. روحش شاد و راهش پر رهرو باد!

مصطفی حسن زاده

یاسر کاسه ساز

اعضای هیئت علمی پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای ایران

تابستان ۹۴

فهرست مطالب

۱	مقدمه.....	۱
۱-۱	معرفی کد.....	۱
۲-۱	کاربردهای کد.....	۲
۳-۱	توصیه‌هایی جهت استفاده از کد.....	۲
۴-۱	محدودیت‌های کد.....	۴
۵-۱	معرفی چند مرجع کاربردی مرتبط با کد.....	۵
۲	ساختار فایل ورودی و نحوه اجرای برنامه.....	۹
۱-۲	ساختار فایل ورودی.....	۹
۲-۲	ساختار عمودی.....	۱۲
۳-۲	آماده‌سازی و اجرای کد.....	۱۲
۴-۲	اجرای کد.....	۱۴
۱-۴-۲	روش اول: استفاده از نرم‌افزار Textpad.....	۱۴
۲-۴-۲	روش دوم: استفاده از بیج فایل.....	۱۵
۵-۲	نامگذاری فایل‌های خروجی.....	۱۵
۶-۲	اجرای چندین برنامه به صورت متوالی.....	۱۵
۷-۲	پردازش موازی.....	۱۶
۸-۲	خواندن و رمزگذاری فایل ورودی.....	۱۸
۳	تعریف هندسه.....	۲۱
۱-۳	تعریف سلول‌ها.....	۲۱
۲-۳	تعریف سطوح.....	۲۶
۱-۲-۳	تعریف سطح با معلوم بودن معادله ریاضی آن.....	۲۶

- ۳-۲-۲ تعریف سطح با استفاده از مختصات نقاط واقع بر روی آن..... ۳۴
- ۳-۲-۳ تعریف سطح با استفاده از کارتهای ماکروبادی..... ۳۹
- ۳-۲-۳-۱ استوانه سر و ته بسته - RCC..... ۳۹
- ۳-۲-۳-۲ جعبه و مکعب - RPP و BOX..... ۴۰
- ۳-۲-۳-۳ استوانه با قاعده شش ضلعی - HEX یا RHP..... ۴۲
- ۳-۲-۳-۴ کره - SPH..... ۴۴
- ۳-۲-۳-۵ استوانه با قاعده بیضی - REC..... ۴۴
- ۳-۲-۳-۶ مخروط ناقص - TRC..... ۴۵
- ۳-۲-۳-۷ بیضی گون - ELL..... ۴۶
- ۳-۲-۳-۸ گوه - Wedge..... ۴۷
- ۳-۲-۳-۹ چند وجهی - ARB..... ۴۸
- ۳-۳ استفاده از سطوح و سلولهای دوران یافته..... ۵۱
- ۳-۴ استفاده از دستور # (به جز) در تعریف هندسه..... ۵۶
- ۳-۵ استفاده از دستور U=n و Fill=n..... ۵۷
- ۳-۶ تعریف هندسههای تکراری..... ۵۹
- ۳-۶-۱ دستور Like n but..... ۵۹
- ۳-۶-۲ دستورهای u, lat و fill..... ۶۳
- ۳-۶-۲-۱ شبکه‌بندی سلول اصلی..... ۶۴
- ۳-۶-۲-۲ پر کردن عناصر شبکه..... ۶۹
- ۳-۶-۲-۳ مدیریت در پر کردن عناصر شبکه..... ۶۹
- ۳-۷ سطوح و سلولهای کمکی در هندسه..... ۷۷
- ۳-۸ نکات پایانی در تعریف هندسه..... ۷۸
- ۳-۹ تمرین..... ۸۱
- ۴ تعریف ماده..... ۸۵
- ۴-۱ تعریف یک ماده معمولی..... ۸۵
- ۴-۲ تعریف آلیاژ..... ۸۷

- ۳-۴ تعریف محلول..... ۸۸
- ۴-۴ در نظر گرفتن درصد غنا در یک ماده..... ۸۹
- ۵-۴ تبدیل درصدهای وزنی و اتمی به یکدیگر..... ۹۰
- ۱-۵-۴ تبدیل درصد وزنی به اتمی..... ۹۰
- ۲-۵-۴ تبدیل درصد اتمی به وزنی..... ۹۰
- ۶-۴ مشخص کردن نوع سطح مقطع و کد شناسایی آن..... ۹۱
- ۷-۴ اثر شبکه و کارت MTn..... ۹۳
- ۸-۴ کارت MXn..... ۹۶
- ۹-۴ اضافه کردن سطح مقطع به کتابخانه کد..... ۹۷
- ۱۰-۴ تمرین..... ۹۹
- ۵ تعریف چشمه..... ۱۰۱
- ۱-۵ چشمه عمومی..... ۱۰۱
- ۲-۵ مقدار دهی به پارامترهای چشمه..... ۱۰۸
- ۱-۲-۵ تعریف یک مقدار مشخص و ثابت..... ۱۰۸
- ۲-۲-۵ تعریف یک تابع توزیع مستقل..... ۱۰۹
- ۱-۲-۲-۵ حالت گسسته..... ۱۰۹
- ۲-۲-۲-۵ حالت پیوسته (هیستوگرام)..... ۱۱۰
- ۳-۲-۲-۵ حالت پیوسته با تعریف تابع توزیع ریاضی..... ۱۱۰
- ۴-۲-۲-۵ حالت پیوسته با معلوم بودن چند نقطه از تابع توزیع..... ۱۱۱
- ۵-۲-۲-۵ تعریف توابع توزیع مختلف برای بازه‌های مختلف یک پارامتر..... ۱۱۲
- ۳-۲-۵ تعریف یک تابع توزیع وابسته..... ۱۱۳
- ۳-۵ تعریف چشمه‌های حجمی با هندسه‌های غیر متعارف..... ۱۱۶
- ۴-۵ تعریف چشمه در هندسه‌های تکراری..... ۱۱۷
- ۵-۵ چشمه محاسبات بحرانی..... ۱۱۹

- ۵-۶ چشمه‌های سطحی پیشرفته (کارت‌های SSR و SSW)..... ۱۲۱
- ۵-۷ بررسی تعریف چشمه در فایل خروجی..... ۱۲۳
- ۵-۸ چند مثال..... ۱۲۴
- ۵-۹ تمرین..... ۱۳۱
- ۶ تعریف انواع خروجی..... ۱۳۳
- ۶-۱ خروجی‌های استاندارد یا تالی‌ها..... ۱۳۳
- ۶-۱-۱ تالی جریان سطحی..... ۱۳۵
- ۶-۱-۲ تالی شار سطحی..... ۱۳۶
- ۶-۱-۳ تالی شار حجمی..... ۱۳۷
- ۶-۱-۴ تالی شار نقطه‌ای..... ۱۳۸
- ۶-۱-۵ تالی انرژی..... ۱۳۹
- ۶-۱-۶ تالی نوع هشت..... ۱۴۰
- ۶-۲ نکاتی در مورد تالی‌ها..... ۱۴۰
- ۶-۳ تعریف خروجی در هندسه‌های تکراری..... ۱۴۱
- ۶-۳-۱ هندسه‌های شامل Like n But..... ۱۴۱
- ۶-۳-۲ هندسه‌های شامل lat, fill, u..... ۱۴۳
- ۶-۴ مش تالی..... ۱۴۶
- ۶-۴-۱ نحوه تعریف مش تالی..... ۱۴۶
- ۶-۴-۲ انواع مش تالی..... ۱۴۸
- ۶-۴-۳ کارت‌های جانبی در مش تالی..... ۱۵۰
- ۶-۴-۴ خروجی مش تالی..... ۱۵۱
- ۶-۴-۵ تبدیل فایل mdata با استفاده از کد gridconv..... ۱۵۱
- ۶-۵ تالی رادیوگرافی..... ۱۵۴
- ۶-۵-۱ تالی PIn..... ۱۵۴
- ۶-۵-۲ تالی TIRn یا TICn..... ۱۵۵
- ۶-۵-۳ خروجی تالی رادیوگرافی..... ۱۵۶

۱۵۶.....	۶-۶ کارت BURN.....
۱۶۵.....	۷ کارت‌های جانبی مفید.....
۱۶۵.....	۱-۷ کارت‌های مربوط به تالی‌ها.....
۱۶۵.....	۱-۱-۷ کارت En.....
۱۶۶.....	۲-۱-۷ کارت EMn.....
۱۶۶.....	۳-۱-۷ کارت FMn.....
۱۷۱.....	۴-۱-۷ کارت Cn.....
۱۷۲.....	۵-۱-۷ کارت CMn.....
۱۷۲.....	۶-۱-۷ کارت SDn.....
۱۷۳.....	۷-۱-۷ کارت FCn.....
۱۷۳.....	۸-۱-۷ کارت FQn.....
۱۷۶.....	۹-۱-۷ کارت DFn و DEn.....
۱۷۸.....	۱۰-۱-۷ کارت FTn.....
۱۷۹.....	۱-۱۰-۱-۷ متغیر FRV.....
۱۷۹.....	۲-۱۰-۱-۷ متغیر GEB.....
۱۸۰.....	۳-۱۰-۱-۷ متغیر RES.....
۱۸۰.....	۱۱-۱-۷ کارت PERTn.....
۱۸۲.....	۱۲-۱-۷ کارت‌های CFn و SFn.....
۱۸۳.....	۱۳-۱-۷ کارت FSn.....
۱۸۶.....	۱۴-۱-۷ کارت prdmp.....
۱۸۸.....	۲-۷ کارت داده‌های مربوط به مواد.....
۱۸۸.....	۱-۲-۷ کارت‌های TOTNU و NONU.....
۱۸۸.....	۲-۲-۷ کارت AWTAB.....
۱۸۹.....	۳-۲-۷ کارت VOID.....
۱۹۰.....	۳-۷ کارت داده‌های مربوط به فیزیک.....
۱۹۰.....	۱-۳-۷ کارت‌های THTME و TMP.....
۱۹۱.....	۲-۳-۷ کارت PHYS.....
۱۹۱.....	۱-۲-۳-۷ کارت فیزیک نوترون.....
۱۹۴.....	۲-۲-۳-۷ کارت فیزیک فوتون.....

- ۱۹۶..... کارت فیزیک الکترون ۳-۲-۳-۷
- ۱۹۹..... کارت فیزیک پروتون ۴-۲-۳-۷
- ۲۰۱..... کارت فیزیک ذرات دیگر ۵-۲-۳-۷
- ۲۰۳..... ۸ اجرای برنامه و فایل خروجی
- ۲۰۳..... ۱-۸ داده‌های ضروری برای اجرای برنامه
- ۲۰۳..... ۱-۱-۸ کارت Mode
- ۲۰۴..... ۲-۱-۸ کارت Imp
- ۲۰۵..... ۳-۱-۸ کارت‌های NPS، CTME و STOP
- ۲۰۷..... ۲-۸ اجرای برنامه
- ۲۱۱..... ۳-۸ حل یک مسئله نمونه و معرفی فایل خروجی
- ۲۲۳..... ۴-۸ چگونه از دقت و صحت نتایج محاسبات مطمئن شویم؟
- ۲۲۴..... ۱-۴-۸ خطای نسبی
- ۲۲۶..... ۲-۴-۸ ضریب شایستگی (FOM)
- ۲۲۷..... ۳-۴-۸ واریانس در واریانس (VOV)
- ۲۲۸..... ۵-۸ ادامه اجرای یک برنامه
- ۲۲۸..... ۶-۸ پیام‌ها و خطاها
- ۲۲۹..... ۱-۶-۸ خطاهای مرسوم
- ۲۳۲..... ۲-۶-۸ برخی دیگر از پیام‌ها و خطاها
- ۲۳۴..... ۳-۶-۸ توصیه‌هایی جهت کاهش خطا در فایل ورودی
- ۲۳۵..... ۷-۸ بهنجار کردن نتایج محاسبات
- ۲۳۵..... ۱-۷-۸ شدت چشمه در یک راکتور هسته‌ای
- ۲۳۶..... ۲-۷-۸ شدت چشمه در یک شتاب دهنده
- ۲۳۶..... ۳-۷-۸ شدت چشمه در یک چشمه رادیواکتیو
- ۲۳۷..... ۹ روش‌های کاهش واریانس
- ۲۳۷..... ۱-۹ مقدمه

- ۲-۹ مفهوم وزن و رد ذرات در کد ۲۳۸
- ۳-۹ روش‌های برشی ۲۳۹
- ۱-۳-۹ کارت CUT ۲۳۹
- ۲-۳-۹ کارت ELPT ۲۴۰
- ۴-۹ روش‌های مبتنی بر کنترل جمعیت آماری ۲۴۱
- ۱-۴-۹ تکثیر و رولت روسی برای هندسه ۲۴۱
- ۲-۴-۹ تکثیر و رولت روسی برای انرژی ۲۴۵
- ۳-۴-۹ کارت‌های پنجره وزنی ۲۴۵
- ۱-۳-۴-۹ کارت مولد پنجره وزنی (WWG) ۲۴۷
- ۲-۳-۴-۹ کارت مولد انرژی پنجره وزنی (WWGE) ۲۴۸
- ۳-۳-۴-۹ کارت مولد زمانی پنجره وزنی (WWGT) ۲۴۸
- ۴-۳-۴-۹ کارت پارامترهای پنجره وزنی (WWP) ۲۴۹
- ۵-۳-۴-۹ کارت مرزهای پنجره وزنی (WWN) ۲۴۹
- ۶-۳-۴-۹ کارت انرژی‌های پنجره وزنی (WWE) ۲۵۰
- ۷-۳-۴-۹ کارت زمانی پنجره وزنی (WWT) ۲۵۰
- ۸-۳-۴-۹ کارت وزنی فوتون (PWT) ۲۵۱
- ۵-۹ روش‌های مبتنی بر نمونه‌برداری اصلاح شده ۲۵۱
- ۱-۵-۹ کارت EXT (انتقال نمایی) ۲۵۱
- ۲-۵-۹ کارت FCL (برخورد اجباری) ۲۵۲
- ۳-۵-۹ جذب مجازی ۲۵۳
- ۴-۵-۹ کارت SBn ۲۵۴
- ۶-۹ روش‌های شبه قطعی ۲۵۵
- ۱-۶-۹ کارت DXT ۲۵۵
- ۷-۹ برخی توصیه‌های مهم جهت استفاده از روش‌های کاهش واریانس ۲۵۶
- ۸-۹ حل یک مسئله نمونه با استفاده از روش‌های کارهش واریانس ۲۵۶
- ۱۰ کاربرد کد در محاسبات فیزیک راکتور ۲۶۷
- ۱-۱۰ محاسبه ضریب تکثیر موثر ۲۶۷

- ۲۷۰..... ۱۰-۲ محاسبه ضریب تکثیر بی‌نهایت
- ۲۷۱..... ۱۰-۳ محاسبه ضریب آلودگی
- ۲۷۳..... ۱۰-۴ پارامتر سطح مقطع شکافت
- ۲۷۴..... ۱۰-۵ محاسبه تعداد نوترون‌های تولیدی به ازای هر شکافت
- ۲۷۴..... ۱۰-۶ محاسبه راکتیویته
- ۲۷۵..... ۱۰-۷ محاسبه ارزش میله کنترل
- ۲۷۶..... ۱۰-۸ محاسبه راکتیویته اضافی
- ۲۷۶..... ۱۰-۹ محاسبه حاشیه خاموش‌سازی یا راکتیویته ایمن
- ۲۷۶..... ۱۰-۱۰ محاسبه شار و یا توان
- ۲۷۷..... ۱۰-۱۱ محاسبه ضرایب پیک توان‌های شعاعی و محوری
- ۲۷۸..... ۱۰-۱۲ محاسبه کسر نوتون‌های تاخیری و موثر
- ۲۷۹..... ۱۰-۱۳ پارامتر فیدبک‌های دمایی و خلاء
- ۲۸۰..... ۱۰-۱۴ پارامتر چهار فاکتوره
- ۲۸۱..... ۱۰-۱۵ محاسبه طول عمر نوترون آنی
- ۲۸۴..... ۱۰-۱۶ محاسبه میزان مصرف سوخت (برناپ)
- ۲۸۹..... ۱۰-۱۷ تمرین
- ۲۹۱..... ۱۱ چند مثال کاربردی
- ۲۹۷..... ۱۱-۱ تمرین
- ۲۹۹..... ۱۲ دستورهای رسم
- ۲۹۹..... ۱۲-۱ رسم با استفاده از رابط گرافیکی
- ۳۰۰..... ۱۲-۲ رسم بدون استفاده از رابط گرافیکی

- ۳-۱۲ قابلیت‌های رسم ۳۰۱
- ۱-۳-۱۲ رسم هندسه ۳۰۱
- ۲-۳-۱۲ رسم سطح مقطع واکنش‌ها ۳۰۳
- ۳-۳-۱۲ رسم تالی‌های معمولی ۳۰۴
- ۱-۳-۳-۱۲ رسم خروجی همزمان با اجرای برنامه ۳۰۵
- ۲-۳-۳-۱۲ رسم خروجی با متوقف کردن موقت برنامه ۳۰۶
- ۳-۱-۳-۱۲ رسم خروجی پس از اجرای کامل برنامه ۳۰۷
- ۴-۳-۱۲ رسم مش تالی ۳۰۷
- ۵-۳-۱۲ رسم تالی رادیوگرافی ۳۰۸
- ۶-۳-۱۲ رسم kcode ۳۱۰
- ۷-۳-۱۲ رسم پارامترهای آماری TFC ۳۱۰
- ۱۳ مراجع ۳۱۲
- ۱۴ نمایه ۳۱۳

فهرست جداول

جدول ۱-۱	حدافل و حداکثر انرژی ذرات در کد.....	۵
جدول ۱-۲	یکای کمیت‌های مختلف در کد.....	۱۳
جدول ۱-۳	صفحه تخت.....	۲۷
جدول ۲-۳	سطوح کروی.....	۲۸
جدول ۳-۳	سطوح استوانه‌ای.....	۲۸
جدول ۴-۳	سطوح مخروطی.....	۲۹
جدول ۵-۳	سطوح عمومی درجه دو (بیضی‌گون، هذلولی‌گون و ...).....	۲۹
جدول ۶-۳	چنبره با مقطع دایره یا بیضی.....	۳۰
جدول ۱-۴	پارامتر MTn برای مواد تعریف شده و نام فایل کتابخانه مربوطه.....	۹۳
جدول ۱-۵	پارامترهای قابل تعریف برای یک چشمه عمومی.....	۱۰۲
جدول ۲-۵	ذرات قابل ترابرد در کد.....	۱۰۶
جدول ۳-۵	انواع توابع توزیع قابل تعریف در کد.....	۱۱۱
جدول ۱-۶	انواع تالی‌های قابل تعریف در کد.....	۱۳۴
جدول ۲-۶	یکای تالی‌های مختلف.....	۱۳۴
جدول ۳-۶	رده-۱ ایزوتوپ‌های غیر آکتنید.....	۱۵۷
جدول ۴-۶	رده-۲ ایزوتوپ‌های غیر آکتنید.....	۱۵۸
جدول ۵-۶	رده-۳ ایزوتوپ‌های غیر آکتنید.....	۱۵۹
جدول ۱-۷	شماره برخی واکنش‌ها.....	۱۶۸
جدول ۲-۷	ایزوتوپ‌های تعریف شده در کتابخانه lah150h.....	۱۶۹
جدول ۳-۷	توابع دز استاندارد.....	۱۷۸
جدول ۱-۸	مقدار عدد π به ازای N و N_0 های مختلف.....	۲۰۷
جدول ۲-۸	اطلاعات جدول‌های خروجی.....	۲۰۹
جدول ۱-۱۲	دستورهای رسم مشترک.....	۳۰۴
جدول ۲-۱۲	برخی مقادیر مختلف x در کارت Mplot.....	۳۰۵

۱ مقدمه

۱-۱ معرفی کد

کد MCNPX یکی از قویترین کدهای محاسباتی هسته‌ای است که بر اساس روش مونت کارلو کار می‌کند. این کد در طراحی نوترونی راکتورهای هسته‌ای و بررسی ایمنی آنها، محاسبات مصرف سوخت، طراحی حفاظ، طراحی آشکارسازها، چاه پیمایی هسته‌ای، طراحی هدف در شتاب دهنده‌ها، پرتو پزشکی و کاربردهای بسیاری دارد. این کد برای اولین بار در سال ۱۹۶۳ در آزمایشگاه لوس آلاموس، تحت عنوان MCS، تهیه شد و در سال ۱۹۷۷ برای اولین بار با نام MCNP ارائه گردید و در ادامه نسخه‌های ۴A و ۴B، که تنها ذرات نوترون و فوتون را در نظر می‌گرفت، ارائه شد. در سال ۲۰۰۰ ذره الکترون به نسخه قبلی آن اضافه گردید و با نام MCNP۴C به بازار آمد. بعد از آن نسخه‌های X، ۵ و ۶ ارائه گردید که دارای قابلیت‌های فراوانی می‌باشند، از جمله اینکه می‌توان حداقل ۳۵ نوع ذره مختلف را در آنها در نظر گرفت. مطالب این کتاب بیشتر بر اساس نسخه X۲/۶ می‌باشد که در سال ۲۰۰۸ ارائه شده است. برای استفاده از این کد بایستی یک فایل ورودی با ساختار مشخص شامل اطلاعات مسئله شامل هندسه، مواد، چشمه، نوع خروجی و غیره تهیه گردد. کد با در نظر گرفتن

آموزش کد MCNPX ۲

اطلاعات فایل ورودی و استفاده از کتابخانه سطح مقطع‌ها، مسئله را حل و نتایج را در یک فایل خروجی تولید می‌کند.

۲-۱ کاربردهای کد

این کد تقریباً در تمام مسائلی که به نوعی با انواع پرتوها سر و کار دارند، کاربرد دارد مانند:

۱. طراحی نوترونی راکتورهای هسته‌ای
 ۲. پرتو پزشکی
 ۳. فیزیک پزشکی
 ۴. طراحی حفاظ
 ۵. طراحی هدف در شتاب دهنده‌ها
 ۶. سیستم‌های گداخت هسته‌ای
 ۷. طراحی آشکارسازها
 ۸. چاه پیمایی هسته‌ای
 ۹. رادیوگرافی
 ۱۰. طراحی حفاظ برای سفینه‌های فضایی و ماهواره‌ها
 ۱۱. محاسبات مصرف سوخت
 ۱۲. ایمنی و بحرانیت هسته‌ای
 ۱۳. ردیابی مواد هسته‌ای
- و غیره. جستجویی ساده در پایگاه‌های علمی، گستردگی کاربردهای این کد در حوزه‌های مختلف را نشان می‌دهد.

۳-۱ توصیه‌هایی جهت استفاده از کد

کد MCNPX قابلیت‌های بسیار زیادی دارد و در واقع یک ماشین حساب بزرگ و قدرتمند در محاسبات هسته‌ای است، ولی اکیداً توصیه می‌شود که از آن فقط به عنوان یک ماشین حساب استفاده نکنید، بلکه نسبت به نحوه انجام محاسبات و اصول و قوانین

۳ مقدمه

فیزیک حاکم بر آن دید کافی داشته باشید. مثلاً اگر یک مسئله نوترونی را حل می‌کنید لازم است تا از نوع کتابخانه سطح مقطع‌ها، انواع برهمکنش‌هایی که کد در نظر می‌گیرد، نحوه نمونه برداری از پارامترهای چشمه و غیره آگاهی کافی داشته باشید. توصیه می‌شود که جهت آشنایی با این موارد فصل دوم مرجع [۱] را مطالعه نمایید.

همچنین باید بتوانید نسبت به منطقی بودن نتایج خروجی اطمینان حاصل کنید. این مسئله به خصوص در راستای انجام پایان نامه‌های دانشجویی اهمیت زیادی دارد. اکثر دانشجویان دید مناسبی نسبت به کد ندارند و به همین حد که می‌توانند هندسه مسئله را با جزئیات کامل شبیه‌سازی کنند، اکتفا می‌کنند.

توصیه‌های دیگر مربوط به نحوه نوشتن برنامه است:

۱- در تعریف یک مسئله، ابتدا هندسه را تعریف کنید و سپس بخش‌های مختلف برنامه را یکی یکی اضافه نمایید و هر بار از درستی تعریف خود مطمئن شوید.

۲- در تعریف هندسه به صورت گام به گام هندسه را تعریف و در هر گام درستی آن را چک کنید.

۳- سعی کنید از سطوح و سلول‌های ساده استفاده کنید.

۴- در تعریف چشمه دقت کنید. جدول ۱۱۰ را در فایل خروجی چک کنید تا مطمئن شوید که چشمه به درستی تعریف شده است (این جدول شامل مشخصات ۵۰ ذره اول تولیدی در چشمه می‌باشد).

۵- قبل از اجرای اصلی برنامه، آن را به ازای تاریخچه‌های کم اجرا کنید.

۶- پیغام‌هایی که در پنجره اجرای کد ظاهر می‌شود را بخوانید و مفهوم آنها را درک کنید.

۷- فایل‌های خروجی runtpe و یا srctp جهت ادامه دادن اجرای برنامه، رسم تالی، تعریف چشمه بحرانیت و غیره مورد نیاز می‌باشند، آنها را پاک نکنید.

۸- در نام‌گذاری فایل‌های ورودی و خروجی از یک شیوه مناسب استفاده کنید.

آموزش کد MCNPX ۴

۹- در فایل ورودی توضیحاتی در مورد بخش‌های مختلف برنامه بنویسید.
۱۰- پس از تکمیل هندسه، با استفاده از کارت VOID سلول‌ها را خالی کنید و برنامه را اجرا نمایید (بخش ۷-۲-۳ را ببینید). چون با استفاده از این کارت هیچ برهمکنشی رخ نخواهد داد، لذا ذرات به سرعت بخش‌های مختلف هندسه را طی می‌کنند و خطاهای احتمالی مشخص می‌شوند.

۴-۱ محدودیت‌های کد

با اینکه این کد دارای قابلیت‌های فراوانی می‌باشد، اما محدودیت‌هایی نیز در آن وجود دارد که به برخی از آنها اشاره می‌شود:

۱. از نوترون‌های تاخیری حاصل از فوتون‌ها در این نسخه چشم پوشی شده است.
 ۲. قابلیت تعریف میدان‌های الکترومغناطیسی در آن وجود ندارد.
 ۳. امکان تعریف محیط پلاسما در کد وجود ندارد.
 ۴. برهمکنش‌های گداخت DD و DT در آن تعریف نشده است.
- محدودیت‌های دیگر مربوط به نوشتن فایل ورودی است:
۵. حداکثر تعداد سلول، سطح و ماده قابل تعریف، هر یک برابر ۹۹۹۹۹ عدد می‌باشد.
 ۶. حداکثر تعداد کارت‌های TRn، TRCL، SIn قابل تعریف، هر یک برابر ۹۹۹ عدد می‌باشد.
 ۷. حداکثر تعداد کارت‌های TMP و THTME قابل تعریف، هر یک برابر ۹۹ عدد می‌باشد.
 ۸. حداکثر تعداد تالی آشکارساز قابل تعریف برابر ۲۰ عدد می‌باشد.
 ۹. حداکثر تعداد کل تالی قابل تعریف برابر ۱۰۰ عدد می‌باشد.
 ۱۰. حداکثر مقدار تاریخچه یا NPS قابل تعریف، برابر دو میلیارد ذره می‌باشد.

مقدمه ۵

۱۱. در صورت استفاده از کارت CTME، هر چند حدی برای آن وجود ندارد اما محاسبات حداکثر برای دو میلیارد ذره انجام می‌شود.
۱۲. تعداد پارامترهای کارت‌های WWGE و WWGT بایستی کمتر از مقدار ۱۵ باشد.
۱۳. تعداد پارامترهای کارت‌های WWE و WWT بایستی کمتر از مقدار ۹۹ باشد.
۱۴. بیشینه تعداد کره‌های DXTRAN برابر ۵ عدد می‌باشد.
۱۵. تعداد پارامترهای کارت‌های ESPLT بایستی کمتر از مقدار ۲۰ باشد.
۱۶. حداکثر تعداد کارکترها برای توصیف یک سلول برابر ۲۰۰۰ کارکتر می‌باشد.
۱۷. تعداد لایه‌های تو در تو، در هندسه‌های تکراری، حداکثر ۱۰ لایه است.
۱۸. حداقل و حداکثر انرژی قابل تعریف و ردگیری در کد برای ذرات مختلف در جدول ۱-۱ آمده است.

جدول ۱-۱ حداقل و حداکثر انرژی ذرات در کد

نوع ذره	حداقل انرژی (MeV)	حداکثر انرژی (GeV)
نوترون	۰	۰/۱۵۰
الکترون و فوتون	۰/۰۰۱	۱
پروتون	۱	۳
دوترون	۲	۳
تریتون	۳	۳
آلفا	۴	۳

۵-۱ معرفی چند مرجع کاربردی مرتبط با کد

۱. خلاصه‌ای پر محتوا در مورد آموزش کد:
Shultis, J. Kenneth, and Richard E. Faw. "An MCNP primer." Dept. of Mechanical and Nuclear (2011).
۲. گزارشی از کاربرد کد در محاسبات راکتور:

آموزش کد MCNPX ۶

Goorley, Tim. "Criticality calculations with MCNP5: A primer." Los Alamos National Laboratory, X-5 (2004).

۳. گزارشی از کاربرد کد در فیزیک پزشکی:

Alexis, D. L. Medical Physics calculation With MCNP: A Primer. Diss. Thesis Master of Science. Texas: A&M University, 2006.

۴. کتابی در مورد کاربرد کد در جنبه‌های نوترونی گداخت:

Wasastjerna, Frej. Using MCNP for fusion neutronics. VTT, 2008.

۵. گزارشی از استفاده از روش‌های کاهش واریانس در یک مثال کاربردی:

Booth, Thomas Edward. Sample problem for variance reduction in MCNP. No. LA-10363-MS. Los Alamos National Lab., NM (USA), 1985.

۶. کتابی در مورد مشخصات مواد مختلف و کاربردی:

Williams III, R. G., Christopher J. Gesh, and Richard T. Pagh. "Compendium of material composition data for radiation transport modeling." Pacific Northwest National Laboratory (2006): 14-18.

۷. سایت دانلود کتابخانه سطح مقطع‌های هسته‌ای به فرمت کد MCNP:

<https://www-nds.iaea.org/ads/adsace.html>

۸. سایت دانلود کتابخانه سطح مقطع‌های هسته‌ای ارزیابی شده (ENDF) به صورت عددی:

<https://www-nds.iaea.org/exfor/endl.htm>

۹. سایت نرم‌افزار تحت وب JANIS شامل سطح مقطع واکنش‌های مختلف نوترون، فوتون، پروتون و غیره:

<http://www.oecd-neo.org/janis/book/>

۱۰. سایت محاسبه توان توقف و ASTAR برد پروتون، الکترون و آلفا:

<http://physics.nist.gov/PhysRefData/Star/Text/PSTAR.html>

<http://physics.nist.gov/PhysRefData/Star/Text/ESTAR.html>

<http://physics.nist.gov/PhysRefData/Star/Text/.html>

۱۱. سایت آموزش کد MCNP:

www.MCNP.ir

۱۲. سایت نرم افزار رابط گرافیکی کد:

<http://www.mcnpvised.com>

۱۳. سایت دانلود ضرایب تضعیف پرتو x در مواد مختلف:

<http://www.nist.gov/pml/data/xraycoef/index.cfm>

۱۴. دانلود فایل ورودی انواع فانتوم های پزشکی استاندارد:

<http://mcnp.ir/Show.php?SID=78>

۲ ساختار فایل ورودی و نحوه اجرای برنامه

۱-۲ ساختار فایل ورودی

برای استفاده از این کد باید یک فایل ورودی، شامل اطلاعات مسئله از جمله هندسه، مواد، چشمه پرتو، خروجی‌های مورد نظر و... تهیه شود. این فایل، یک فایل متنی است که می‌تواند با استفاده از هر نرم‌افزار ویرایش فایل‌های متنی نظیر Textpad, WordPad, NotePad و ... نوشته شود.

هر فایل ورودی شامل سه قسمت اصلی است که هر قسمت با یک خط خالی^۱ از قسمت قبلی و بعدی جدا می‌شود. خط اول فایل ورودی می‌تواند خالی باشد و یا عنوان برنامه در آن نوشته شود. اولین قسمت اصلی، بخشی است که شامل تعریف سلول‌های مسئله می‌باشد. منظور از سلول، هر ناحیه‌ای از فضا است که توسط سطح یا سطوحی محدود شده است. مثلاً، فضای درون یک کره، یک سلول است که توسط یک سطح کروی محدود شده است و یا فضای داخل یک جعبه که توسط شش سطح تخت محدود شده است. یکی از سطوح محدود کننده یک سلول می‌تواند در بی‌نهایت قرار گرفته

^۱ Blank Line

۱۰ آموزش کد MCNPX

باشد (مانند فضای خارج از یک کره). بعد از تعریف سلول‌ها یک خط خالی درج می‌شود.

دومین قسمت فایل ورودی، شامل تعریف سطوحی است که در مسئله استفاده شده است. از این سطوح در تعریف سلول‌ها استفاده می‌شود و یا در تعریف تالی‌ها به کار می‌روند.

سومین و آخرین قسمت اصلی فایل ورودی شامل داده‌های مسئله مثل، چشمه، مواد، نوع خروجی و ... می‌باشد.

در پایان برنامه نیز می‌توان یک خط خالی درج نمود. در مجموع چهار خط خالی در برنامه وجود دارد که بخش‌های مختلف برنامه را از هم جدا می‌کنند. به طور کلی ساختار فایل ورودی به صورت زیر می‌باشد:

Title Card or Blank Line

Cell Cards

Blank Line

Surface Cards

Blank Line

Data Cards

Blank Line (optional)

در نوشتن فایل ورودی باید موارد زیر را در نظر گرفت:

۱. به جز این چهار خط خالی، هیچ خط خالی دیگری نباید در برنامه وجود داشته باشد.
۲. طول هر خط نباید از ۸۰ ستون تجاوز کند. اگر طول یک خط بیشتر از ۸۰ ستون است، می‌توان از علامت & در انتهای آن خط استفاده کرد و ادامه آن را در خط بعدی نوشت و یا اینکه بدون استفاده از علامت &، ادامه یک خط را در خط بعدی و از ستون ششم به بعد نوشت (پنج ستون اول هر خط برای شماره سطح، سلول و اطلاعات دیگر در نظر گرفته می‌شود).

ساختار فایل ورودی و نحوه اجرای برنامه ۱۱

۳. اگر در ابتدای یک خط، حرف C به همراه یک فاصله^۱ درج شود، محتوای آن خط خوانده نمی‌شود. از این می‌توان برای جدا کردن بخش‌های مختلف و یا نوشتن توضیحات استفاده کرد.

۴. اگر بخواهیم بعد از نوشتن یک خط، توضیحی در همان خط بنویسیم، باید علامت \$ را در ادامه آن خط درج کنیم و توضیحات را بعد از آن بنویسیم.

۵. در فایل ورودی نباید کارکتر تب^۲ وجود داشته باشد. این کارکتر معمولاً بعد از کپی کردن اطلاعات از یک فایل دیگر (مثلاً از اکسل^۳) و درج آن در فایل ورودی به وجود می‌آید. در صورت وجود این کارکتر، اجرای برنامه با نمایش پیام زیر متوقف می‌شود:

```
bad trouble in subroutine ckchar of imcn
bad character, probably a control character, in column 6
```

عدد شش شماره ستونی است که این کارکتر در آنجا وجود دارد. پس از بررسی فایل ورودی، کارکتر تب را حذف می‌کنیم.

۶. هر گونه اطلاعاتی که پس از آخرین خط خالی موجود در انتهای برنامه نوشته شود، توسط کد خوانده نمی‌شود.

۷. در نوشتن فایل ورودی کوچکی و بزرگی حروف اهمیت ندارد.

۸. به جز در مورد استفاده از کارت BURN (بخش ۶-۶) در هر یک از بخش‌های اصلی، نوشتن خطوط برنامه ترتیب خاصی ندارد.

^۱ Space

^۲ Tab

^۳ Excel

آموزش کد MCNPX ۱۲

۲-۲ ساختار عمودی

کارت داده‌ها را می‌توان به صورت عمودی نوشت. برای این کار از علامت # استفاده می‌کنیم. این علامت باید در محدوده ستون ۱ تا ۵ درج شود. به عنوان مثال می‌خواهیم اهمیت ذره در هر سلول را با ساختار عمودی تعریف کنیم:

```
#   imp:n   imp:p
      1       1
      1       1
      1       1
      .       .
      .       .
      .       .
```

یا مثلاً در تعریف توزیع احتمال در کارت چشمه:

```
#       SPn       SIn
          x1       p1
          x2       p2
          .         .
          .         .
          .         .
```

و یا تعریف DEn و DFn:

```
#       DEn       DFn
          E1       F1
          E2       F2
          .         .
          .         .
          .         .
```

۳-۲ آماده‌سازی و اجرای کد

درون پوشه MCNPX (در شاخه اصلی) یک پوشه به نام LIB یا XS (و یا هر نام دیگری) که فایل‌های کتابخانه‌ای در آن قرار دارند، یک فایل اجرایی (.exe) به نام MCNPX و یک فایل متنی بدون پسوند به نام xsdir وجود دارد.

برای آماده‌سازی کد ابتدا فایل xsdir را باز و خط اول آن را بررسی کنید:

اگر خط اول آن به صورت زیر باشد:

Datapath=D:\MCNPX\LIB

۱۳ ساختار فایل ورودی و نحوه اجرای برنامه

باید آدرس کتابخانه روی سیستم خود را پس از علامت = درج کنید. اگر خط اول خالی باشد، باید تمام محتویات پوشه را از آن خارج کرده و در شاخه اصلی بریزید که این کار مناسب نیست، زیرا شاخه اصلی را شلوغ می‌کند، پس در صورتی که خط اول خالی است آن را به صورت نمونه بالا اصلاح کنید.

پس از انجام این تنظیمات اکنون کد آماده اجراست. فایل ورودی خود را با یک نام دلخواه در شاخه اصلی کد ذخیره کنید. بهتر است فایل ورودی را با پسوند (i) ذخیره نمایید، مثلاً، BNCT.i. در نسخه ۴C نام فایل ورودی به همراه پسوند آن نباید از ۸ کارکتر بیشتر باشد. نام BNCT.i شامل شش کارکتر است. اما این محدودیت در نسخه X حذف شده است، به نحوی که می‌توان از نام‌های با بیش از ۸ کارکتر نیز استفاده نمود.

یکای کمیت‌های مختلف تعریف شده در کد، در جدول ۱-۲ آورده شده است. برای نوشتن فایل ورودی باید این یکاها در نظر گرفته شود.

جدول ۱-۲ یکای کمیت‌های مختلف در کد

یکای	کمیت
cm	طول
MeV	انرژی
shakes (10^{-8} sec)	زمان
MeV (kT)	دما
atom/barn-cm	چگالی اتمی
g/cm^3	چگالی جرمی
barn	سطح مقطع

آموزش کد MCNPX ۱۴

۲-۴ اجرای کد

چند روش برای اجرای برنامه^۱ وجود دارد که در اینجا به دو روش اصلی آن اشاره می‌کنیم:

۱. استفاده از نرم‌افزار TextPad

۲. استفاده از بیچ فایل^۲

۲-۴-۱ روش اول: استفاده از نرم‌افزار Textpad

۱- فایل ورودی را که در شاخه اصلی کد ذخیره کرده‌اید را با TextPad باز کنید.

۲- در منوی Tools پنجره Run را باز کنید.

۳- در پنجره باز شده سه فیلد خالی وجود دارد، در فیلد Command کلیک کرده و سپس Browse را کلیک نمایید.

۴- از پنجره باز شده فایل MCNPX.exe را انتخاب کنید (این تنظیمات فقط یکبار انجام می‌شود).

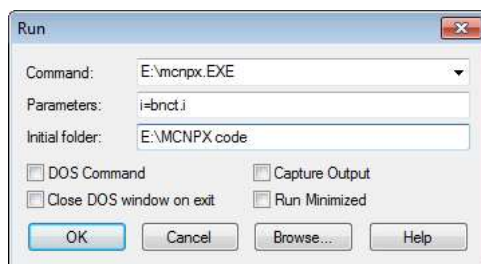
۵- دستورات اجرا در فیلد Parameters نوشته می‌شوند. برای اجرای برنامه، دستور زیر را در آنجا می‌نویسیم:

i=filename

مثلاً:

i=bnct.i

i=core.i



^۱ Run

^۲ Batch

۲-۴-۲ روش دوم: استفاده از بچ فایل

یک فایل متنی خالی ایجاد کنید و دستور زیر را در خط اول آن بنویسید:

```
mcnp i=filename
```

سپس فایل را با پسوند bat. در شاخه اصلی ذخیره کنید. اکنون با دابل کلیک کردن روی این فایل، برنامه اجرا می‌شود. پس از تولید این فایل برای اجرای برنامه‌های دیگر تنها کافی است که نام فایل ورودی را در بچ فایل تغییر دهیم و نیازی به تولید مجدد آن نمی‌باشد. دقت شود که ممکن است بچ فایل با پسوند txt.bat. ذخیره می‌شود که باید آن را اصلاح نمود.

نکته: اگر برنامه به هر دلیلی مشکل داشته باشد و نتواند اجرا شود، پنجره اجرای برنامه به صورت لحظه‌های باز و به سرعت بسته می‌شود و لذا کاربر نمی‌تواند پیام سیستم را مشاهده نماید. جهت باز نگهداشتن پنجره اجرای برنامه، دستور pause را در خط بعدی در بچ فایل بنویسید؛ با این کار پنجره باز باقی می‌ماند:

```
mcnp i=filename  
pause
```

۲-۵ اجرای چندین برنامه به صورت متوالی

گاهی لازم است که چندین برنامه را به صورت متوالی اجرا کنیم. به این منظور کافی است که در بچ فایل اجرای برنامه، دستور اجرای تک تک برنامه‌ها را به ترتیب مورد نظر بنویسیم. با اجرای بچ فایل، برنامه‌ها یکی پس از دیگری اجرا می‌شوند.

توصیه می‌شود که برای فایل‌های خروجی هر برنامه، نام مناسب انتخاب شود تا در هنگام بررسی نتایج سردرگم نشوید. به این منظور بهتر است که برنامه‌ها را با دستور n=filename اجرا کنیم تا فایل‌های خروجی هم نام فایل‌های ورودی تولید شوند (بخش ۲-۵ را ببینید). در مثال زیر دستور اجرای پنج برنامه به صورت متوالی در بچ فایل نشان داده شده است:

```
MCNPX n=B1.i
```

آموزش کد MCNPX ۱۶

MCNPX n=B2.i
MCNPX n=B3.i
MCNPX n=B4.i
MCNPX n=B5.i

۶-۲ پردازش موازی

هنگامی که یک برنامه را اجرا می‌کنیم تنها از یکی از هسته‌ها یا پردازنده‌های رایانه استفاده می‌شود. در پردازش موازی می‌توان از تمام یا تعداد خاصی از هسته‌ها برای اجرای برنامه استفاده نمود که این کار باعث افزایش سرعت اجرای برنامه می‌گردد. به این منظور باید:

۱. نرم‌افزار MPI به صورت جداگانه نصب گردد که وظیفه آن موازی کردن هسته‌های رایانه است (این نرم‌افزار را از وبسایت MCNP.ir دریافت کنید).
۲. از نسخه MCNPX که با نرم‌افزار MPI سازگار شده است، استفاده گردد. در واقع باید فایل MCNPX.exe جدید را جایگزین فایل قبلی کنید. توصیه می‌شود که فایل قبلی را پاک نکنید.
۳. برای اجرا برنامه از بیج فایل با دستور زیر استفاده شود (عدد ۷ در این دستور، تعداد هسته‌های موازی شده بعلاوه یک است که به دلخواه کاربر تعیین می‌شود):

```
mpiexec -n 7 mcnpx i=filename
```

پس از نصب MPI به شاخه C:\Program Files\MPICH2\bin بروید و دو فایل اجرایی درون پوشه را به شاخه اصلی کد منتقل کنید. توجه کنید که برای استفاده از این قابلیت باید حتماً به صورت مدیر^۱ و با استفاده از نام کاربری^۲ و کلیدواژه وارد رایانه خود شوید و برنامه را نصب و اجرا کنید. پس از اجرای بیج فایل، پنجره داس^۳ باز می‌شود و از شما می‌خواهد که نام کاربری و کلیدواژه خود را وارد نمایید. دقت کنید که هنگام وارد کردن کلیدواژه، چیزی نمایش داده نمی‌شود. پس از وارد نمودن کلیدواژه، برنامه اجرا می‌شود.

^۱ Administrator

^۲ User account

^۳ Dos

ساختار فایل ورودی و نحوه اجرای برنامه ۱۷

نکته (۱): در صورتی که پنجره به صورت لحظه‌های باز و بسته شد، دستور pause را در خط بعدی در بچ فایل بنویسید تا پنجره باز بماند و بتوانید پیام‌ها و خطاهای احتمالی را مشاهده نمایید.

نکته (۲): این روش جهت پردازش موازی برای سیستم عامل ویندوز ۳۲ بیتی کاربرد ندارد.

۷-۲ نامگذاری فایل‌های خروجی

هنگامی که برنامه را با دستور رسم اجرا می‌کنیم، دو فایل خروجی با نام‌های پیش فرض outp و comout در شاخه اصلی تولید می‌شود. اگر برنامه را برای گرفتن تالی اجرا کنیم، فایل‌های خروجی outp و runtpe تولید می‌شوند. اگر مسئله دارای چشمه بحرانی باشد، یک فایل خروجی دیگر به نام srctp نیز تولید می‌شود. اگر این فایل‌ها قبلاً با همین نام‌ها در شاخه اصلی وجود داشته باشند، فایل‌های جدید با نام‌های جدید تولید می‌شوند. نام‌گذاری‌های جدید فقط حرف آخر نام فایل را به ترتیب حروف الفبا تغییر می‌دهد. مثلاً اگر فایل outp موجود باشد، فایل outq تولید می‌شود و اگر فایل outq وجود داشته باشد، فایل outr تولید می‌شود و الی آخر. به سه روش می‌توانیم نام فایل‌های تولیدی را به یک نام دلخواه تغییر دهیم:

روش اول: اگر به جای `i=filename` از `n=filename` در اجرای برنامه استفاده کنیم، نام تمام فایل‌های خروجی هم نام فایل ورودی می‌شوند و یک حرف به آخر آن نام اضافه می‌گردد که نشان دهنده نوع آن فایل است:

```

outp    → BNCT.io
n=BNCT.i → runtpe → BNCT.ir
          srctp  → BNCT.is

```

اگر این نام‌ها قبلاً درون شاخه اصلی وجود داشته باشند، کد قادر به تولید آنها نخواهد بود و برنامه با خطا متوقف می‌شود. اگر با بچ فایل برنامه را اجرا کنیم، می‌توانیم

آموزش کد MCNPX ۱۸

با نوشتن دستورهای زیر در بچ فایل، ابتدا فایل‌های قبلی را از شاخه پاک کرده و سپس برنامه را اجرا کنیم:

```
del BNCT.io
del BNCT.ir
del BNCT.is
MCNPX n=BNCT.i
```

این کار در هنگام تعریف هندسه بسیار مناسب است، زیرا در تعریف هندسه به دفعات برنامه را برای دیدن هندسه اجرا می‌کنیم و هر بار فایل‌های خروجی outp و comout با نام‌های جدید تولید شده و باعث شلوغی شاخه اصلی کد می‌شود، ولی با این روش فایل‌های خروجی با فایل‌های موجود قبلی جایگزین می‌شود.

روش دوم: روش دیگر تغییر نام فایل‌های تولیدی، تعریف نام جدید برای آنها در هنگام اجرای برنامه است. به این منظور برنامه را با دستور زیر اجرا می‌کنیم:

```
i=filename o=myout r=myruntpe s=mysrctp
```

روش سوم: یک روش دیگر برای تغییر نام فایل‌های تولیدی، تعریف نام جدید در فایل ورودی با استفاده از کارت message است. این کارت در خط اول برنامه نوشته می‌شود و بعد از آن یک خط خالی درج می‌شود، خط بعدی نیز خط مربوط به عنوان برنامه است (که می‌تواند خالی باشد):

```
message: o=myout r=myruntpe s=mysrctp
(Balnk Line)
Title (or Balnk Line)
cell cards
```

۸-۲ خواندن و رمز گذاری فایل ورودی

یکی از قابلیت‌های مهم نسخه X امکان رمز گذاری روی فایل ورودی و نیز خواندن بخشی از فایل ورودی از یک فایل دیگر است.

جهت خواندن بخشی از فایل ورودی از یک فایل دیگر از کارت READ در فایل ورودی و در محل مورد نظر به صورت زیر استفاده می‌کنیم:

ساختار فایل ورودی و نحوه اجرای برنامه ۱۹

```
read file=filename noecho
```

پس از علامت (=) نام فایلی را که محتوی اطلاعات مورد نظر است، می‌نویسیم. دستور noecho در ادامه خط باعث می‌شود که محتویات فایل خوانده شده، در فایل خروجی چاپ نشود.

مثال ۱-۲) در این مثال سه خط از فایل ورودی، از فایل pas.i خوانده می‌شود:

```
132 3      -2.6          -142  149 -205
133 4      -11.4         -149  616 -204
read file=pas.i noecho
137 21     -11.4         -6156 -204 195 216
138 19     -0.00129      -224
```

محتویات فایل pas.i:

```
134 17     -1.7          -114  -181 180
135 17     -1.7          -114  -182 181
136 17     -1.7          -114  182
```

رمز گذاری روی فایل کمکی صورت می‌گیرد و سپس به کمک همان رمز، فایل کمکی خوانده می‌شود. جهت رمز گذاری روی فایل کمکی از دستور زیر استفاده می‌کنیم:

```
read encode password file=filename
```

سپس برنامه را اجرا می‌کنیم. پس از اجرای برنامه فایل کمکی با یک نام مشابه و ساختار ویژه، تولید می‌شود. برای اجرای برنامه به صورت رمز گذاری شده، این فایل جدید با دستور زیر فراخوانی می‌شود:

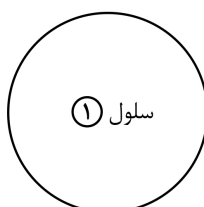
```
read decode password file=newfilename
```


۳ تعریف هندسه

۳-۱ تعریف سلول‌ها

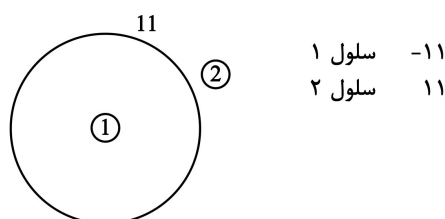
برای شبیه‌سازی توسط کد، هندسه سیستم باید به طور دقیق با ابعاد واقعی، برحسب سانتی‌متر، در فایل ورودی تعریف شود. تعریف هندسه توسط تعریف سلول‌ها و سطوح صورت می‌گیرد. منظور از سلول هر ناحیه‌ای از فضا است که توسط سطح یا سطوحی محدود شده باشد. مثلاً در شکل زیر فضای درون کره، یک سلول است که توسط یک سطح کروی محدود شده است (سلول ۱). یکی از سطوح محدود کننده یک سلول می‌تواند در بی‌نهایت قرار گرفته باشد (سلول ۲). به طور کلی هر سطح فضا را به دو سلول تقسیم می‌کند، مثلاً یک سطح کروی فضا را به دو سلول درون و بیرون کره تقسیم می‌کند.

سلول ۲

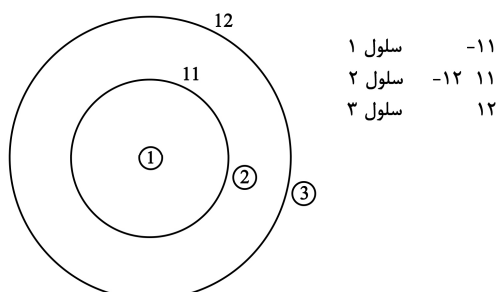


آموزش کد MCNPX ۲۲

اگر معادله ریاضی یک سطح به صورت $S=F(x,y,z)=0$ معلوم باشد، آنگاه برای هر نقطه خارج این سطح، S یا مثبت است و یا منفی. مثلاً، S برای نقاط درون کره منفی و برای نقاط بیرون کره مثبت است. برای تعریف یک سلول به هر سطح در فایل ورودی یک عدد نسبت می‌دهیم و به کمک آن عدد با علامت مثبت یا منفی، سلول مورد نظر را تعریف می‌کنیم. در این تعریف باید از همه سطوحی که سلول مورد نظر را محدود کرده‌اند با علامت مناسب استفاده کنیم. در شکل زیر سلول‌های ۱ (درون کره) و ۲ (بیرون کره) هر دو تنها توسط سطح ۱۱ محدود شده‌اند (توجه کنید که فضای بیرون کره تا بی‌نهایت ادامه دارد). عددی که کنار سطح نوشته شده، شماره آن سطح و عددی که داخل دایره نوشته شده، شماره سلول را نشان می‌دهد.



اکنون مطابق شکل زیر دو کره هم مرکز را در نظر بگیرید. در اینجا سه سلول وجود دارد. سلول ۱ تنها با سطح ۱۱ و سلول ۳ تنها با سطح ۱۲ تعریف می‌شوند، ولی سلول ۲ توسط دو سطح محدود شده است. این سلول حاصل اشتراک تمام نواحی خارج سطح ۱۱ و داخل سطح ۱۲ است. درج فاصله بین شماره سطوح در تعریف یک سلول مفهوم اشتراک دارد، لذا سلول شماره ۲ به صورت زیر تعریف می‌شود:



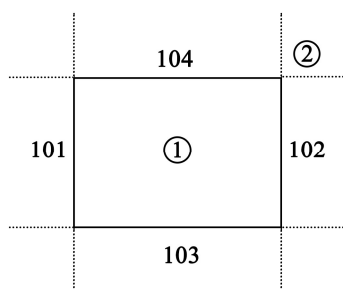
تعریف هندسه ۲۲

اکنون یک مکعب را در نظر بگیرید که با شش سطح تخت تعریف می‌شود. سلولی که داخل مکعب را تعریف می‌کند حاصل اشتراک نواحی مختلف نسبت به تک تک سطوح است، یعنی:

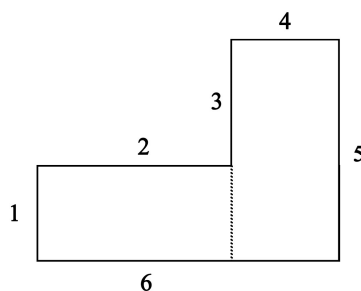
101 - 102 103 - 104 105 - 106

اما بیرون مکعب حاصل اجتماع نواحی مختلف است، یعنی تمام فضای سمت چپ سطح ۱۰۱، بعلاوه تمام فضای بالای سطح ۱۰۴، بعلاوه تمام فضای سمت راست سطح ۱۰۲ و الی آخر. درج علامت : (دو نقطه) بین شماره سطوح در تعریف یک سلول، مفهوم اجتماع دارد. به این ترتیب برای تعریف فضای داخل مکعب داریم:

-101:102:-103:104:-105:106



گاهی لازم است که از ترکیب اجتماع و اشتراک نواحی مختلف برای تعریف یک سلول استفاده کنیم، به این منظور می‌توان از علامت پرانتز استفاده کرد. به عنوان مثال شکل زیر را در نظر بگیرید:

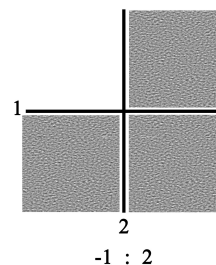
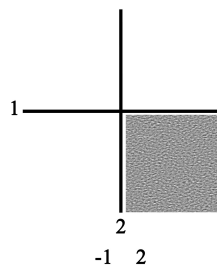
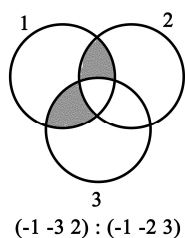
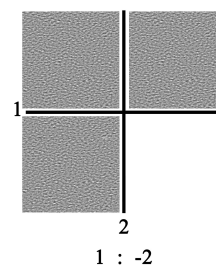
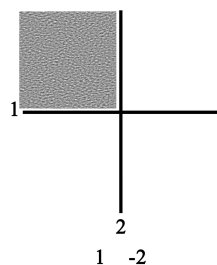
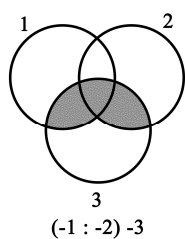
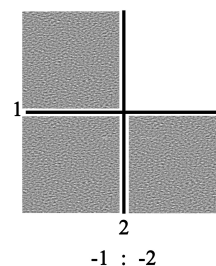
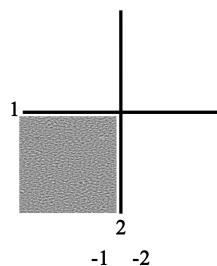
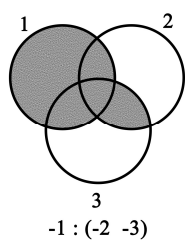
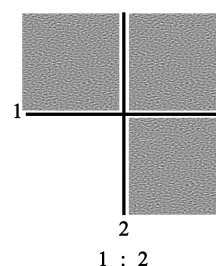
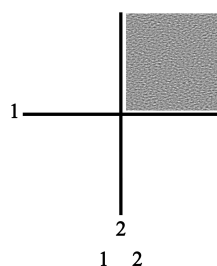
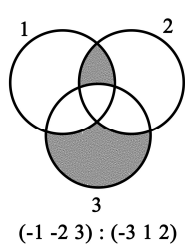


برای تعریف سلول ۱ (داخل شکل) داریم:

(1 - 2 - 3 6): (3 - 4 - 5 6)

آموزش کد MCNPX ۲۴

جهت درک بهتر مفهوم اجتماع، اشتراک و پرانتز، شکل‌های زیر را بررسی کنید. شکل‌های سمت راست، مفهوم اجتماع، شکل‌های وسط، مفهوم اشتراک و شکل‌های سمت چپ کاربرد پرانتز را نشان می‌دهند. ناحیه‌هاشور خورده در هر شکل، ناحیه‌ای است که در زیر شکل تعریف شده است.



تعریف هندسه ۲۵

اکنون آماده‌ایم تا نحوه تعریف یک سلول در فایل ورودی را بیان کنیم. برای تعریف هر سلول به آن یک عدد حداکثر پنج رقمی نسبت می‌دهیم که در ستون‌های یک تا پنج در فایل ورودی نوشته می‌شود. اگر درون سلول ماده‌ای وجود نداشته باشد، بعد از شماره سلول و درج حداقل یک فاصله، عدد صفر را می‌نویسیم و بعد از آن شماره سطوحی که سلول را ساخته‌اند را با علامت مناسب درج می‌کنیم. به عنوان مثال:

1001 0 -1 2 -14
197 0 (-11 23 -14): (20 -8)
99999 0 -3 -9

در مثال فوق سلول‌های ۱۰۰۱، ۱۹۷ و ۹۹۹۹۹ که خالی از ماده هستند توسط سطوح مورد نظر تعریف شده‌اند.

اگر سلول با ماده‌ای پر شده باشد، بعد از شماره سلول و درج حداقل یک فاصله، شماره ماده و چگالی آن را، با درج حداقل یک فاصله بین آنها، می‌نویسیم و در ادامه شماره سطوح با علامت مناسب نوشته می‌شود. شماره ماده در قسمت کارت داده‌ها تعریف می‌شود (فصل ۴ را ببینید). اگر چگالی جرمی (g/cm^3) نوشته شود آن را با علامت منفی و اگر چگالی اتمی (atom/barn.cm) نوشته شود آن را با علامت مثبت درج می‌کنیم، به عنوان مثال:

1001 1 -11.6 -1 2 -14
197 10 0.003 (-11 23 -14): (20 -8)
99999 4 -2.7 -3 -9

در مثال فوق سلول ۱۰۰۱ با ماده شماره ۱ که چگالی جرمی آن برابر $11/6 (\text{g/cm}^3)$ است پر شده است. همچنین سلول ۱۹۷ با ماده شماره ۱۰ با چگالی اتمی (atom/barn.cm) ۰/۰۰۳ پر شده است.

چند پارامتر دیگر را نیز می‌توان برای هر سلول در خط تعریف آن سلول وارد کرد. یکی حجم سلول بر حسب سانتی‌متر مکعب است که با دستور $\text{Vol}=V$ نوشته می‌شود. پارامتر دیگر اهمیت ذره در آن سلول است. اهمیت یک ذره به طور کلی به صورت صفر و یک فرض می‌شود. اگر ذره وارد سلولی شود که اهمیت ذره در آن سلول صفر باشد،

آموزش کد MCNPX ۲۶

ردگیری ذره متوقف می‌شود. برای تعریف اهمیت ذره در یک سلول از دستور imp به صورت زیر استفاده می‌شود (بخش ۸-۱-۲ را ببینید):

imp:n=1 یا imp:n,p=1

اهمیت ذره در تک تک سلول‌های موجود در مسئله باید در فایل ورودی مشخص شود. به این منظور می‌توان هنگام تعریف هر سلول، اهمیت ذره در آن سلول را نیز مشخص نمود. نکته: دقت شود که اهمیت ذره در سلولی با ابعاد بی‌نهایت را باید برابر صفر قرار دهیم. پارامتر دیگر دمای سلول است که با دستور $TMP=T$ داده می‌شود (بخش ۷-۳-۱ را ببینید)، که T دمای سلول بر حسب MeV است. این پارامتر را نیز می‌توان در خط تعریف هر سلول، مشخص نمود.

۲-۲ تعریف سطوح

به هر سطح یک عدد حداکثر پنج رقمی نسبت می‌دهیم که در ستون یک تا پنج درج می‌شود. سطوح مختلفی در کد قابل تعریف هستند، از جمله کره، استوانه، بیضی‌گون، صفحه تخت و غیره. هر سطح را می‌توان به یکی از سه روش زیر تعریف نمود:

- ۱- تعریف سطح با معلوم بودن معادله ریاضی آن
- ۲- تعریف سطح با استفاده از مختصات نقاط واقع روی آن
- ۳- تعریف سطح با استفاده از کارت‌های ماکروبادی^۱

۳-۲-۱ تعریف سطح با معلوم بودن معادله ریاضی آن

هر نوع سطح با یک علامت مخصوص مشخص می‌شود. مثلاً، کره‌ای که در مبدا مختصات قرار دارد با علامت SO مشخص می‌شود که با مشخص کردن شعاع آن، سطح کره تعریف می‌شود. به عنوان مثال:

^۱ Macrobody

تعریف هندسه ۲۷

۱. کره‌ای به شعاع ۱۰ سانتی‌متر در مبداء مختصات، به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$99 \quad S_0 \quad 10$$

عدد ۹۹ شماره سطح است که در تعریف سلول‌ها از آن استفاده می‌شود.

۲. صفحه‌ای که مثلاً در نقطه $x=3$ بر محور X عمود شده است، به صورت px تعریف می‌شود:

$$21 \quad px \quad 3$$

۳. سطح جانبی استوانه‌ای که محور آن روی محور Z هاست و شعاع آن مثلاً ۴ سانتی‌متر است به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$23 \quad CZ \quad 4$$

۴. سطح جانبی استوانه‌ای که محور آن موازی با محور Z هاست و شعاع آن مثلاً $3/5$ سانتی‌متر و مرکز آن در $(x,y)=(-1,1)$ است به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$1001 \quad C/Z \quad -1 \quad 1 \quad 3.5$$

سطوح مختلفی که در کد قابل تعریف هستند به همراه معادله ریاضی و پارامترهای ورودی آنها در جدول‌های ۱-۳ تا ۶ آمده است.

با استفاده مناسب از همین سطوح و دقت در تعریف سلول‌ها، می‌توان حجم‌های با شکل‌های مختلف و پیچیده را تعریف نمود. به عنوان مثال، در فانتوم تمام بدن میرد^۱ اعضای داخلی بدن انسان، مانند قلب، شش‌ها، کلیه‌ها و ... توسط سطوح SQ و غیره به شیوه جالبی تعریف شده است (فایل ورودی این فانتوم و دیگر فانتوم‌ها در وبسایت MCNP.ir قابل دسترسی است).

جدول ۱-۳ صفحه تخت

پارامترهای ورودی	معادله	توضیح	علامت
A, B, C, D	$Ax + By + Cz - D = 0$	عمومی	P
D	$x - D = 0$	عمود بر محور X	PX
D	$y - D = 0$	عمود بر محور Y	PY
D	$z - D = 0$	عمود بر محور Z	PZ

^۱ MIRD

آموزش کد MCNPX ۲۸

جدول ۲-۳ سطوح کروی

علامت	توضیح	معادله	پارامترهای ورودی
SO	مرکز در مبدا	$x^2 + y^2 + z^2 - R^2 = 0$	R
S	عمومی	$(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2 - R^2 = 0$	x_0, y_0, z_0, R
SX	مرکز روی محور X	$(x - x_0)^2 + y^2 + z^2 - R^2 = 0$	x_0, R
SY	مرکز روی محور Y	$x^2 + (y - y_0)^2 + z^2 - R^2 = 0$	y_0, R
SZ	مرکز روی محور Z	$x^2 + y^2 + (z - z_0)^2 - R^2 = 0$	z_0, R

جدول ۳-۳ سطوح استوانه‌ای

علامت	توضیح	معادله	پارامترهای ورودی
C/X	موازی محور X	$(y - y_0)^2 + (z - z_0)^2 - R^2 = 0$	y_0, z_0, R
C/Y	موازی محور Y	$(x - x_0)^2 + (z - z_0)^2 - R^2 = 0$	x_0, z_0, R
C/Z	موازی محور Z	$(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 - R^2 = 0$	x_0, y_0, R
CX	روی محور X	$y^2 + z^2 - R^2 = 0$	R
CY	روی محور Y	$x^2 + z^2 - R^2 = 0$	R
CZ	روی محور Z	$x^2 + y^2 - R^2 = 0$	R

جدول ۳-۴ سطوح مخروطی

علامت	توضیح	معادله	پارامترهای ورودی
K/X	موازی محور X	$\left[(y-y_0)^2 + (z-z_0)^2 \right]^{\frac{1}{2}} - t(x-x_0) = 0$	$x_0, y_0, z_0, t^2, \pm 1$
K/Y	موازی محور Y	$\left[(x-x_0)^2 + (z-z_0)^2 \right]^{\frac{1}{2}} - t(y-y_0) = 0$	$x_0, y_0, z_0, t^2, \pm 1$
K/Z	موازی محور Z	$\left[(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2 \right]^{\frac{1}{2}} - t(z-z_0) = 0$	$x_0, y_0, z_0, t^2, \pm 1$
KX	روی محور X	$\left[y^2 + z^2 \right]^{\frac{1}{2}} - t(x-x_0) = 0$	$x_0, t^2, \pm 1$
KY	روی محور Y	$\left[x^2 + z^2 \right]^{\frac{1}{2}} - t(y-y_0) = 0$	$y_0, t^2, \pm 1$
KZ	روی محور Z	$\left[x^2 + y^2 \right]^{\frac{1}{2}} - t(z-z_0) = 0$	$z_0, t^2, \pm 1$

جدول ۳-۵ سطوح عمومی درجه دو (بیضی گون، هذلولی گون و ...)

علامت	توضیح	معادله	پارامترهای ورودی
SQ	محورها موازی یکی از محوره های مختصات	$A(x-x_0)^2 + B(y-y_0)^2 + C(z-z_0)^2 + 2D(x-x_0) + 2E(y-y_0) + 2F(z-z_0) + G = 0$	$A, B, C, D, E, F, G, x_0, y_0, z_0$
GQ	محورها غیر موازی یکی از محورها های مختصات	$Ax^2 + By^2 + Cz^2 + Dxy + Eyz + Fzx + Gz + Hy + Jz + K = 0$	$A, B, C, D, E, F, G, H, J, K$

۳۰ آموزش کد MCNPX

جدول ۳-۶ چنبره^۱ با مقطع دایره یا بیضی

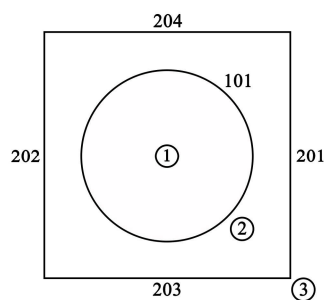
علامت	معادله	پارامترهای ورودی
TX	$\frac{(x-x_0)^2}{B^2} + \frac{\left[(y-y_0)^2 + (z-z_0)^2 \right]^{\frac{1}{2}} - A^2}{C^2} - 1 = 0$	$x_0, y_0, z_0,$ A, B, C
TY	$\frac{(y-y_0)^2}{B^2} + \frac{\left[(x-x_0)^2 + (z-z_0)^2 \right]^{\frac{1}{2}} - A^2}{C^2} - 1 = 0$	$x_0, y_0, z_0,$ A, B, C
TZ	$\frac{(z-z_0)^2}{B^2} + \frac{\left[(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2 \right] - A^2}{C^2} - 1 = 0$	$x_0, y_0, z_0,$ A, B, C

مثال (۳-۱) کره‌ای به شعاع ۳ سانتی‌متر در مرکز یک مکعب به ضلع ۱۰ سانتی‌متر تعریف کنید.

مبداء را در مرکز کره و مکعب و وجوه مکعب را عمود بر محورهای مختصات در نظر می‌گیریم:

```
c ----- Cells Cards ----
1  0 -101
2  0 101 -201 202 -203 204 -205 206
3  0 201:-202:203:-204:205:-206
```

```
c ----- Surface Cards ---
101 SO 3
201 PX 5
202 PX -5
203 PY 5
204 PY -5
205 PZ 5
206 PZ -5
```



¹ Torus

تعریف هندسه ۳۱

مثال (۲-۳) استوانه‌ای به شعاع ۱۰ و ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر تعریف کنید.

این مسئله شامل سه سطح است. سطح جانبی استوانه و دو سطح تخت در قاعده‌ها.

c ----- Cells Card --

1 0 -100 101 -102

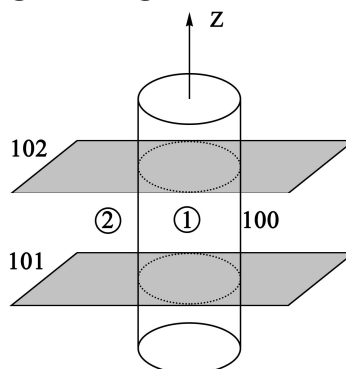
2 0 100:-101:102

c ----- Surface Card --

100 CZ 10

101 PZ 0

102 PZ 20



مثال (۳-۳) یک مخروط ناقص به طول ۲۰ سانتی‌متر و قاعده‌های به شعاع ۵ و ۱۰

سانتی‌متر تعریف کنید.

در این مسئله نیز سه سطح وجود دارد: سطح جانبی مخروط و دو سطح تخت در

قاعده‌ها. معادله ریاضی مخروطی که محور آن منطبق بر محور Z است عبارت است از:

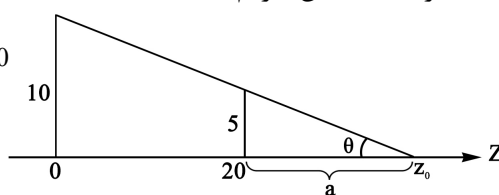
$$\sqrt{x^2 + y^2} - t(z - z_0) = 0$$

z_0 مختصات رأس و t تانژانت زاویه رأس مخروط است. با توجه به شکل زیر و با

استفاده از قضیه تالس داریم:

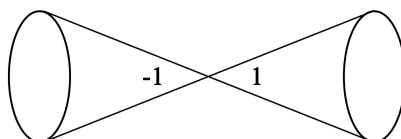
$$\frac{5}{10} = \frac{a}{a+20} \Rightarrow a = 20 \Rightarrow z_0 = 40$$

$$t = \tan \theta = \frac{5}{a} = \frac{1}{4} = 0.25$$



مطابق شکل زیر، هر سطح مخروطی دو قسمت دارد. با درج علامت ± 1 در تعریف

سطح، مشخص می‌کنیم که کدام قسمت مخروط مورد نظر است:



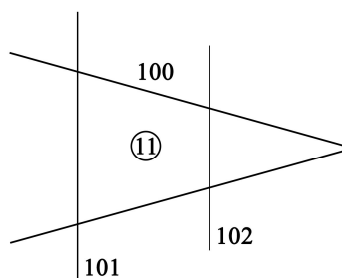
۳۲ آموزش کد MCNPX

در اینجا باید از علامت ۱- استفاده کنیم. به این ترتیب فایل ورودی برنامه به شکل

زیر خواهد بود:

```
c ----- Cells Card --
11 0 -100 101 -102
12 0 100:-101:102
```

```
c ----- Surface Card --
100 KZ 40 0.0625 -1
101 PZ 0
102 PZ 20
```



مثال ۳-۴) در فانتوم استاندارد اشنايدر^۱، سر بیمار توسط سه لایه بیضی گون با

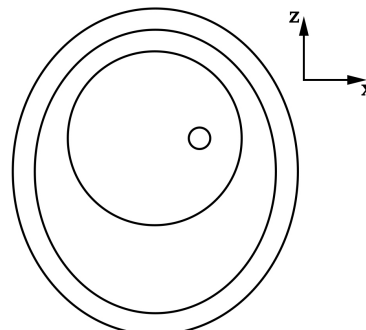
معادلات زیر تعریف می شود. توموری به شکل کره به شعاع ۱ cm روی محور Xها و در

نقطه $x=3$ در نظر بگیرید و هندسه فانتوم به همراه تومور را بنویسید.

$$\left(\frac{x}{6}\right)^2 + \left(\frac{y}{9}\right)^2 + \left(\frac{z-1}{6.5}\right)^2 = 1 \quad (\text{مغز})$$

$$\left(\frac{x}{6.8}\right)^2 + \left(\frac{y}{9.8}\right)^2 + \left(\frac{z}{8.3}\right)^2 = 1 \quad (\text{جمجمه})$$

$$\left(\frac{x}{7.3}\right)^2 + \left(\frac{y}{10.3}\right)^2 + \left(\frac{z}{8.8}\right)^2 = 1 \quad (\text{پوست})$$



برای تعریف سطح بیضی گون از سطح SQ با معادله زیر استفاده می کنیم:

$$A(x-x_0)^2 + B(y-y_0)^2 + C(z-z_0)^2 + 2D(x-x_0) + 2E(y-y_0) + 2F(z-z_0) + G = 0$$

با توجه به معادلات داده شده ضرائب D و E و F برابر صفر می باشد. برای مغز داریم:

$$\frac{1}{36}x^2 + \frac{1}{81}y^2 + \frac{1}{42.25}(z-1)^2 - 1 = 0$$

¹ Snyder

تعریف هندسه ۳۳

$$A = \frac{1}{36} = 0.027778$$

$$B = \frac{1}{81} = 0.012345$$

$$C = \frac{1}{42.25} = 0.0236686$$

$$G = -1$$

c ----- Cells Card -----

```
1 0 -10 40 $ Brain
2 0 10 -20 $ Skul
3 0 20 -30 $ Skin
4 0 30 $ out of head
5 0 -40 $ Tumor
```

c ----- Surface Card -----

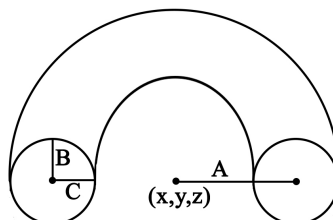
```
10 SQ 0.027778 0.012346 0.023669 0 0 0 -1 0 0 1
20 SQ 0.021626 0.010412 0.014516 0 0 0 -1 0 0 0
30 SQ 0.018765 0.009426 0.012913 0 0 0 -1 0 0 0
40 SX 3 1
```

مثال ۳-۵) یک چنبره با مقطع دایره‌ای به شعاع ۵ cm که محورش بر محور Z واقع است و شعاع آن ۱۵ cm است تعریف کنید (چنین هندسه‌هایی در راکتورهای گداخت توکامک کاربرد دارد).

با در نظر گرفتن شکل زیر و مقادیر داده شده، داریم:

```
1 0 -10
2 0 10
```

```
10 TZ 0 0 0 15 5 5
```



۲-۲-۳ تعریف سطح با استفاده از مختصات نقاط واقع بر روی آن

برای تعریف برخی سطوح می‌توان به جای استفاده از معادله آنها از مختصات نقاط واقع بر آنها استفاده نمود. یکی از این سطوح، صفحه تخت است که می‌توان آن را مطابق زیر به کمک مختصات سه نقطه واقع بر آن تعریف نمود:

$$j \quad P \quad x_1 \quad y_1 \quad z_1 \quad x_2 \quad y_2 \quad z_2 \quad x_3 \quad y_3 \quad z_3$$

در این صورت جهت تعیین علامت فضای اطراف صفحه، به مبداء مختصات توجه می‌کنیم. فضایی که مبداء در آن واقع است نسبت به صفحه مورد نظر دارای علامت منفی است.

اگر صفحه مورد نظر از مبداء مختصات عبور می‌کند سه حالت متصور است:

$$Ax+By+Cz-D=0$$

۱. اگر $D=0$ باشد، آنگاه نقطه $(0, 0, \infty)$ نسبت به سطح دارای علامت مثبت است.

۲. اگر $D=C=0$ باشد، آنگاه نقطه $(0, \infty, 0)$ نسبت به سطح دارای علامت مثبت است.

۳. اگر $D=C=B=0$ باشد، آنگاه نقطه $(\infty, 0, 0)$ نسبت به سطح دارای علامت مثبت است.

نوعی دیگر از سطوحی که با مختصات نقاط واقع بر آنها قابل تعریف هستند، سطوح درجه یک و دویی هستند که حول یکی از محورهای مختصات دارای تقارن می‌باشند. مثلاً فرض کنید که سطح مورد نظر حول محور X متقارن است. این سطح را می‌توان به طور کلی به شکل زیر تعریف نمود:

$$j \quad X \quad x_1 \quad r_1 \quad x_2 \quad r_2 \quad x_3 \quad r_3$$

که r_i فاصله نقطه روی سطح از محور X در نقطه $X=x_i$ می‌باشد. به کمک این روش می‌توان سطوح PX ، CX ، KX ، SX و ... را تعریف کرد:

تعریف هندسه ۳۵

۱. اگر تنها یک جفت عدد وارد شود، (x_1, r_1) ، آنگاه سطح z معرف صفحه PX در نقطه x_1 است.

۲. اگر دو جفت عدد وارد شود، آنگاه سطح z معرف یکی از سطوح PX ، CX و یا KX است. به عنوان مثال سطوح زیر معادل یکدیگرند:

$$\begin{array}{l} j \ X \ 3 \ 2 \ 3 \ 6 \\ j \ PX \ 3 \end{array}$$

و یا دو سطح زیر هر دو یک استوانه به شعاع 4 cm را مشخص می کنند:

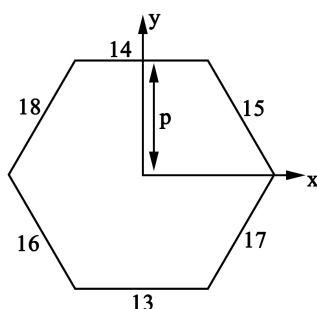
$$\begin{array}{l} j \ X \ 1.5 \ 4 \ -2 \ 4 \\ j \ CX \ 4 \end{array}$$

و یا دو سطح زیر هر دو یک مخروط ناقص به طول 20 cm و شعاع های 10 و 5 سانتی متر را مشخص می کنند:

$$\begin{array}{l} j \ X \ 0 \ 10 \ 20 \ 5 \\ j \ KX \ 40 \ 0.0625 \ -1 \end{array}$$

۳. اگر سه جفت عدد وارد شود، آنگاه سطح z معرف یکی از سطوح SX ، SO ، CX و یا KX باشد.

مثال (۶-۳) استوانه ای به ارتفاع 15 cm با قاعده شش ضلعی تعریف کنید که طول ضلع آن $L=10 \text{ cm}$ باشد.



اگر محور استوانه را منطبق بر محور Z و قاعده پایینی آن را در صفحه xy در نظر بگیریم، دو سطحی که قاعده ها را می سازند عبارتند از:

$$\begin{array}{l} 11 \ PZ \ 0 \\ 12 \ PZ \ 15 \end{array}$$

آموزش کد MCNPX ۳۶

از شش سطح جانبی دو سطح در نقطه $(p = \frac{\sqrt{3}}{2}L)$ $y = \pm p$ بر محور Y عمودند:

13 PY -8.66

14 PY 8.66

چهار سطح باقی مانده دارای معادله‌های به صورت $Ax + By - D = 0$ هستند. برای

تعریف این سطوح می‌توان از مختصات دو نقطه در دو رأس مجاور برای تعیین ضرائب

A, B و D استفاده کرد و یا هر سطح را به کمک مختصات سه نقطه واقع بر آن سطح

تعریف کرد. مثلاً برای سطح ۱۵ واقع در ربع اول داریم:

$$y - 0 = \frac{p - 0}{\frac{L}{2} - L}(x - L) \Rightarrow px + \frac{L}{2}y - pL = 0$$

$$\Rightarrow \sqrt{3}x + y - 2p = 0$$

$$A = \sqrt{3}, B = 1, C = 0, D = 2p$$

به این ترتیب سطح ۱۵ به صورت زیر تعریف می‌شود:

15 p 1.73 1 0 17.3

و یا به کمک مختصات سه نقطه از سطح، به صورت زیر تعریف می‌شود:

15 P 10 0 0 5 8.66 0 10 0 1

به همین ترتیب برای سطوح دیگر داریم:

16 P -10 0 0 -5 -8.66 0 -10 0 1

17 P 10 0 0 5 -8.66 0 10 0 1

18 P -10 0 0 -5 8.66 0 -10 0 1

از آنجا که این سطوح را توسط مختصات سه نقطه از آنها تعریف کرده‌ایم، لذا جهت

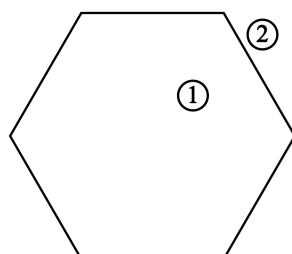
تعیین علامت فضا نسبت به این سطوح، مبداء مختصات را در نظر می‌گیریم. با توجه به

موقعیت مبداء مختصات، فضای داخلی نسبت به تمام سطوح مورب دارای علامت منفی

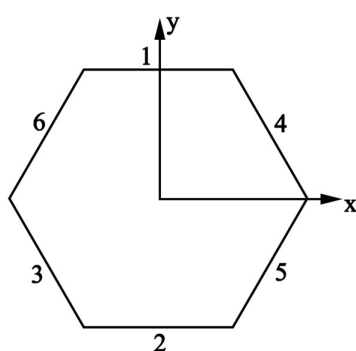
است، لذا سلول‌ها به صورت زیر تعریف می‌شوند:

1 0 11 -12 13 -14 -15 -16 -17 -18

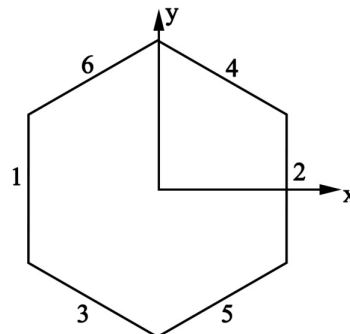
2 0 -11:12:-13:14:15:16:17:18



می‌توان از معادلات زیر برای تعریف استوانه با مقطع شش ضلعی استفاده نمود:

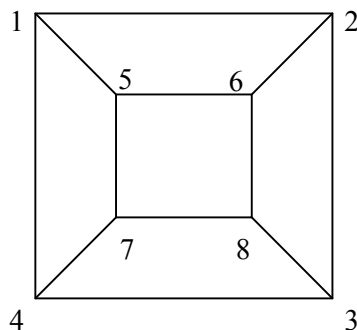


$$\begin{aligned} (1,2) \quad & y = \pm p \\ (3,4) \quad & \sqrt{3}x + y = \pm 2p \\ (5,6) \quad & -\sqrt{3}x + y = \pm 2p \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} (1,2) \quad & x = \pm p \\ (3,4) \quad & x + \sqrt{3}y = \pm 2p \\ (5,6) \quad & -x + \sqrt{3}y = \pm 2p \end{aligned}$$

مثال ۳-۷) یک هرم ناقص با قاعده مربع که قاعده پایینی آن به ضلع ۱۰ و قاعده بالایی آن به ضلع ۴ و ارتفاع آن ۱۴ سانتی‌متر است، تعریف نمایید. شکل زیر این هرم را از نمای بالا نشان می‌دهد. در این مثال شش سطح تخت وجود دارد که دو سطح تخت قاعده‌ها عمود بر محور Z و چهار سطح دیگر صفحات تخت شیبدار هستند.



۳۸ آموزش کد MCNPX

برای تعریف سطوح تخت شیبدار می‌توان از معادله عمومی صفحه تخت استفاده نمود:

$$Ax + By + Cz - D = 0$$

و یا هر یک از آنها را به کمک سه نقطه روی آنها تعریف نمود:

$$101 \text{ P } x_1 \ y_1 \ z_1 \ x_2 \ y_2 \ z_2 \ x_3 \ y_3 \ z_3$$

با توجه به شکل، سطوح جانبی را با استفاده از مختصات سه نقطه واقع بر آنها به صورت زیر تعریف می‌کنیم:

سطح ۱۰۱ با مختصات سه نقطه ۱ و ۲ و ۶

سطح ۱۰۲ با مختصات سه نقطه ۲ و ۳ و ۸

سطح ۱۰۳ با مختصات سه نقطه ۳ و ۴ و ۷

سطح ۱۰۴ با مختصات سه نقطه ۴ و ۱ و ۵

بنابراین برای سطوح داریم:

```
201 PZ 0
202 PZ 14
101 P -5 5 0 5 5 0 2 2 14
102 P 5 5 0 5 -5 0 2 -2 14
103 P 5 -5 0 -5 -5 0 -2 -2 14
104 P -5 -5 0 -5 5 0 -2 2 14
```

سلول‌های مسئله به صورت زیر تعریف می‌شوند:

```
1 0 201 -202 -101 -102 -103 -104
2 0 -201:202:101:102:103:104
```

توجه شود که چون برای تعریف سطح مورب از مختصات سه نقطه از سطح استفاده کرده‌ایم، لذا جهت تعیین علامت سطوح باید مبداء مختصات را در نظر بگیریم، سمتی که مبداء در آن قرار دارد نسبت به آن سطح منفی است. در اینجا فضای داخلی نسبت به تمام سطوح مورب، منفی است.

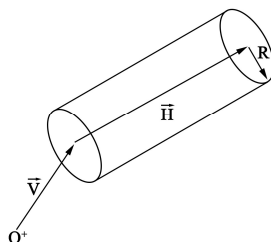
۳-۲-۳ تعریف سطح با استفاده از کارتهای ماکروبادی

از ماکروبادی‌ها برای تعریف برخی سطوح بسته در یک خط و با یک شماره سطح، استفاده می‌شود، مثل استوانه سر و ته بسته، مکعب مستطیل، هشت وجهی و غیره.

۱-۳-۲-۳ استوانه سر و ته بسته - RCC

برای تعریف یک استوانه دو سر بسته از دستور RCC استفاده می‌کنیم:

j RCC V_x V_y V_z H_x H_y H_z R



بردار $\vec{V}$ برداری است از مبدا تا مرکز قاعده پایینی استوانه. بردار $\vec{H}$ برداری است از مرکز قاعده پایینی تا مرکز قاعده بالایی و R شعاع استوانه است.

مثال ۳-۸) سطح زیر استوانه‌ای را تعریف می‌کند به ارتفاع ۱۰ و شعاع ۳ سانتی‌متر که مرکز قاعده پایینی آن در (۱، ۱، ۲) واقع است و موازی محور Z می‌باشد:

99 RCC 1 1 2 0 0 10 3

می‌دانیم که سطح RCC از سه سطح تشکیل شده است، سطح جانبی و دو سطح تخت در قاعده‌ها.

سطح شماره ۱: سطح جانبی استوانه

سطح شماره ۲: سطح تخت قاعده بالایی

سطح شماره ۳: سطح تخت قاعده پایینی

گاهی لازم است که از این سطوح در جای دیگری از برنامه استفاده شود، مثلاً در تعریف خروجی. کد به این سطوح عددی را نسبت می‌دهد و همین عدد را می‌توان به

۴۰ آموزش کد MCNPX

عنوان شماره آن سطح در جای دیگری از برنامه استفاده کرد. اگر به سطح RCC عدد j را نسبت داده باشیم، آنگاه عددی که کد به هر یک از این سطوح سه گانه نسبت می دهد به صورت زیر است:

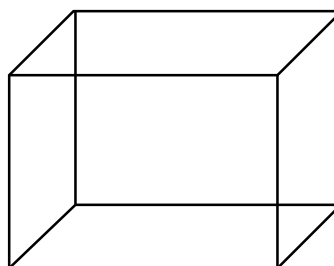
- j.1 سطح جانبی استوانه
 - j.2 سطح تخت قاعده بالایی (عمود بر بردار ارتفاع در انتهای آن)
 - j.3 سطح تخت قاعده پایینی (عمود بر بردار ارتفاع در ابتدای آن)
- در مثال قبل سطح ۹۹.۱ سطح 3 CZ است و سطوح ۹۹.۲ و ۹۹.۳ به ترتیب PZ 12 و 2 هستند.

۲-۳-۲-۳ جعبه و مکعب - RPP و BOX

دو نوع جعبه با ماکروبادی ها قابل تعریف است:

- جعبه ای که سطوح آن بر محورهای مختصات عمودند: RPP
 - جعبه ای که دارای جهت گیری دلخواهی در فضا است: BOX
- برای تعریف مکعبی که وجوه آن بر محورهای مختصات عمودند، کافی است نقاط تقاطع وجوه مکعب با محورهای مختصات را به صورت زیر وارد نماییم:

j RPP X_{min} X_{max} Y_{min} Y_{max} Z_{min} Z_{max}



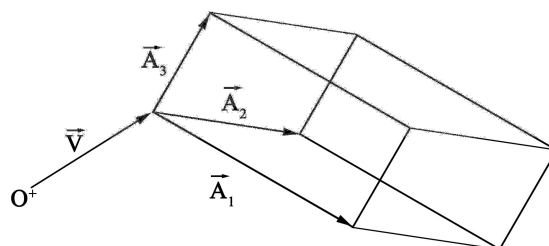
اگر مکعب دارای جهت گیری خاصی در فضا باشد، از تعریف زیر استفاده می کنیم:

j BOX V_x V_y V_z $A1_x$ $A1_y$ $A1_z$ $A2_x$ $A2_y$ $A2_z$ $A3_x$ $A3_y$ $A3_z$

بردار $\vec{V}$ برداری است از مبدا مختصات تا یک رأس مکعب.
بردار $\vec{A}_i$ برداری است از انتهای بردار $\vec{V}$ تا اولین رأس مجاور.

تعریف هندسه ۴۱

بردار $\vec{A}_2$ برداری است از انتهای بردار $\vec{V}$ تا دومین رأس مجاور.
 بردار $\vec{A}_3$ برداری است از انتهای بردار $\vec{V}$ تا سومین رأس مجاور.



ترتیب رئوس به دلخواه کاربر است. در اینجا نیز می‌توانیم از هر یک از سطوح شش گانه‌ای که جعبه را می‌سازند در برنامه استفاده کنیم. سطوح شش گانه BOX و RPP از نظر کد به صورت زیر نام‌گذاری می‌شوند:

RPP:	j.1	$x = x_{\max}$	صفحه
	j.2	$x = x_{\min}$	صفحه
	j.3	$y = y_{\max}$	صفحه
	j.4	$y = y_{\min}$	صفحه
	j.5	$z = z_{\max}$	صفحه
	j.6	$z = z_{\min}$	صفحه

BOX:	j.1	صفحه عمود بر بردار $\vec{A}_1$ در نقطه انتها
	j.2	صفحه عمود بر بردار $\vec{A}_1$ در نقطه ابتدا
	j.3	صفحه عمود بر بردار $\vec{A}_2$ در نقطه انتها
	j.4	صفحه عمود بر بردار $\vec{A}_2$ در نقطه ابتدا
	j.5	صفحه عمود بر بردار $\vec{A}_3$ در نقطه انتها
	j.6	صفحه عمود بر بردار $\vec{A}_3$ در نقطه ابتدا

مثال ۳-۹) مکعبی به ضلع $L=10 \text{ cm}$ که حول محور Z ها ۴۵ درجه دوران کرده است تعریف کنید.

برای تعریف این مسئله از کارت BOX استفاده می‌کنیم. اگر دو وجه مکعب را در $Z=0$ و $Z=10$ عمود بر محور Z فرض کنیم، داریم:

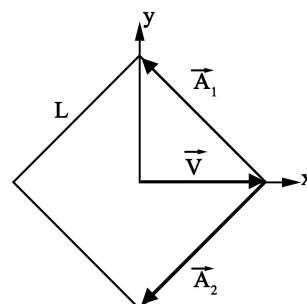
آموزش کد MCNPX ۴۲

$$\vec{V} = \left(\frac{\sqrt{2}}{2}L, 0, 0 \right)$$

$$\vec{A}_1 = \left(-\frac{\sqrt{2}}{2}L, \frac{\sqrt{2}}{2}L, 0 \right)$$

$$\vec{A}_2 = \left(-\frac{\sqrt{2}}{2}L, -\frac{\sqrt{2}}{2}L, 0 \right)$$

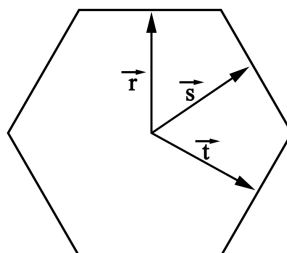
$$\vec{A}_3 = (0, 0, L)$$



11 BOX 7.07 0 0 -7.07 7.07 0 -7.07 -7.07 0 0 0 10

۳-۳-۲-۳ استوانه با قاعده شش ضلعی - HEX یا RHP

برای تعریف یک سطح بسته هشت وجهی از دستور RHP یا HEX به صورت زیر استفاده می‌کنیم:



j RHP V_x V_y V_z H_x H_y H_z r_x r_y r_z s_x s_y s_z t_x t_y t_z

بردار $\vec{V}$ برداری است از مبدا مختصات تا مرکز قاعده پایینی.

بردار $\vec{H}$ برداری است از مرکز قاعده پایینی تا مرکز قاعده بالایی.

بردار $\vec{r}$ برداری است از محور استوانه تا وجه اولی.

بردار $\vec{s}$ برداری است از محور استوانه تا وجه دومی.

بردار $\vec{t}$ برداری است از محور استوانه تا وجه سومی.

ترتیب وجوه به دلخواه کاربر است. لازم به ذکر است که در حالت کلی نیازی نیست

که بردارهای $\vec{s}$ و $\vec{t}$ را تعریف کنیم، زیرا با مشخص کردن بردار $\vec{r}$ ، که اولین وجه را

تعریف می‌کند، کد می‌تواند بقیه وجوه را خودش بسازد. در این حالت ترتیب وجوه به

تعریف هندسه ۴۳

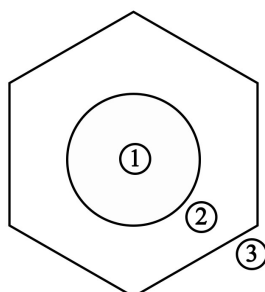
صورت پیش فرض در نظر گرفته می شود، اما اگر بخواهیم ترتیب وجوه را خودمان وارد نمائیم باید بردارهای $\vec{s}$ و $\vec{t}$ را مشخص کنیم. این کار وقتی لازم است که بخواهیم از این سطح به عنوان $lat=2$ استفاده کنیم و جهت پر شدن عناصر شبکه را کنترل نماییم (بخش ۳-۶-۲ را ببینید).

در اینجا نیز می توان از سطوح هشت گانه این شکل، که به صورت زیر تعریف می شوند، استفاده کرد:

j.1	صفحه عمود بر انتهای بردار $\vec{r}$	HEX یا RHP
j.2	صفحه عمود بر ابتدای بردار $\vec{r}$	
j.3	صفحه عمود بر انتهای بردار $\vec{s}$	
j.4	صفحه عمود بر ابتدای بردار $\vec{s}$	
j.5	صفحه عمود بر انتهای بردار $\vec{t}$	
j.6	صفحه عمود بر ابتدای بردار $\vec{t}$	
j.7	صفحه عمود بر انتهای بردار $\vec{H}$	
j.8	صفحه عمود بر ابتدای بردار $\vec{H}$	

مثال ۳-۱۰) دو استوانه هم محور هر یک به ارتفاع ۲۰ سانتی متر که یکی دارای قاعده دایره ای به شعاع ۳ سانتی متر و دیگری با قاعده شش ضلعی به ضلع ۱۰ سانتی متر است را تعریف کنید.

برای تعریف سطوح از ماکروبادی ها استفاده می کنیم. محور استوانه ها را منطبق بر محور Z و قاعده پایینی آنها را در $Z=-10$ فرض می کنیم.



آموزش کد MCNPX ۴۴

برای استوانه دایره‌ای داریم:

11 RCC 0 0 -10 0 0 20 3

برای استوانه شش ضلعی داریم:

12 HEX 0 0 -10 0 0 20 0 8.66 0

$$\text{که } p = \frac{\sqrt{3}}{2}L \quad (L = 10 \text{ cm})$$

سلول‌های مسئله به صورت زیر تعریف می‌شوند:

1 0 -11
2 0 11 -12
3 0 12

SPH - کره ۴-۳-۲-۳

برای تعریف یک کره از دستور SPH به صورت زیر استفاده می‌کنیم:

j SPH V_x V_y V_z R

که بردار $\vec{V}$ مختصات مرکز و R شعاع کره است.

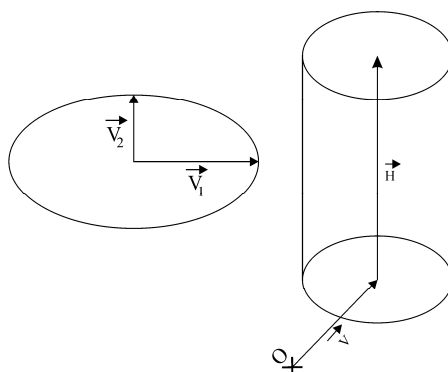
مثال ۳-۱۱) کره‌ای به شعاع ۴۰ سانتی‌متر که مرکز آن در نقطه (۲۰، ۲۰، ۲۰) قرار دارد.

j SPH 20 20 20 40

REC - استوانه با قاعده بیضی ۵-۳-۲-۳

برای تعریف یک استوانه با قاعده بیضی از دستور REC به صورت زیر استفاده می‌کنیم:

j REC V_x V_y V_z H_x H_y H_z A1_x A1_y A1_z A2_x A2_y A2_z



بردار $\vec{V}$ برداری است از مبدأ مختصات تا مرکز قاعده پایینی.
 بردار $\vec{H}$ برداری است از مرکز قاعده پایینی تا مرکز قاعده بالایی قطر بزرگ.
 بردار $\vec{V}_1$ برداری است در امتداد قطر بزرگ و به طول نصف قطر بزرگ.
 بردار $\vec{V}_2$ برداری است در امتداد قطر کوچک و به طول نصف قطر کوچک.
 در اینجا نیز می‌توان از سطوح سه گانه این شکل، که به صورت زیر تعریف می‌شوند، استفاده کرد:

REC	j.1	سطح جانبی
	j.2	سطح تخت در قاعده بالایی
	j.3	سطح تخت در قاعده پایینی

مثال ۳-۱۲) یک استوانه با قاعده بیضی به ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر که روی محور Yها قرار دارد تعریف کنید. مرکز استوانه را در نقطه (۰، ۵، ۰) و قطرهای آن را ۲۰ و ۴۰ سانتی‌متر در نظر بگیرید.

1 REC 0 -5 0 0 10 0 0 0 20 10 0 0

۳-۲-۳-۶ مخروط ناقص - TRC

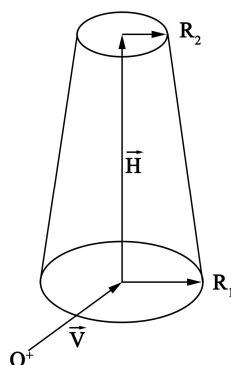
برای تعریف یک مخروط ناقص از دستور TRC به صورت زیر استفاده می‌کنیم:

j TRC V_x V_y V_z H_x H_y H_z R_1 R_2

بردار $\vec{V}$ برداری است از مبدأ مختصات به مرکز قاعده پایینی
 بردار $\vec{H}$ برداری است مرکز قاعده پایینی تا مرکز قاعده بالایی

R_1 : شعاع قاعده پایینی

R_2 : شعاع قاعده بالایی



در اینجا نیز می‌توان از سطوح سه گانه این شکل، که به صورت زیر تعریف می‌شوند، استفاده کرد:

TRC	j.1	سطح جانبی
	j.2	سطح تخت در قاعده بالایی
	j.3	سطح تخت در قاعده پایینی

مثال ۳-۱۳) یک مخروط ناقص به ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر که روی محور Xها و مرکز قاعده پایینی آن در نقطه (۰، ۰، -۵) قرار دارد و شعاع قاعده‌های آن ۴۰ و ۲۰ سانتی‌متر می‌باشد.

1 TRC -5 0 0 50 0 0 40 20

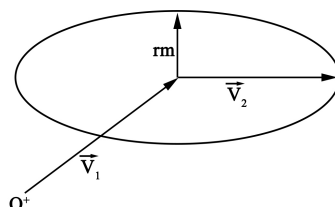
۳-۲-۳ بیضی گون - ELL

برای تعریف یک بیضی گون از دستور ELL استفاده می‌کنیم:

j ELL V1x V1y V1z V2x V2y V2z rm

که بردار $\vec{V}_1$ مختصات مرکز را نشان می‌دهد و بردار $\vec{V}_2$ برداری است در راستای قطر بزرگ به طول نصف آن و rm طول قطر کوچک خواهد بود که به صورت یک عدد منفی وارد می‌شود.

تعریف هندسه ۴۷



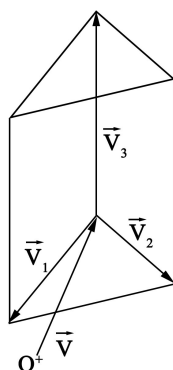
مثال ۱۴-۳) یک بیضی گون که مرکز آن در مبدا و قطر بزرگ آن به طول ۶ سانتی متر روی محور Z قرار دارد و طول قطر کوچکش ۴ سانتی متر است:

9 ELL 0 0 0 0 0 3 -2

Wedge - گوه ۸-۳-۲-۳

برای تعریف یک گوه از دستور WED به صورت زیر استفاده می کنیم:

j WED V_x V_y V_z V1_x V1_y V1_z V2_x V2_y V2_z V3_x V3_y V3_z



بردار $\vec{V}$ برداری است از مبدأ مختصات تا یک رأس قاعده پایینی.

بردار $\vec{V}_1$ برداری است از انتهای بردار $\vec{V}$ تا اولین رأس مجاور.

بردار $\vec{V}_2$ برداری است از انتهای بردار $\vec{V}$ تا دومین رأس مجاور.

بردار $\vec{V}_3$ برداری است از انتهای بردار $\vec{V}$ تا سومین رأس مجاور.

در اینجا نیز می توان از سطوح سه گانه این شکل، که به صورت زیر تعریف می شوند،

استفاده کرد:

WED j.1 $\vec{V}_2$ و $\vec{V}_1$ صفحه شامل انتهای بردارهای $\vec{V}_2$ و $\vec{V}_1$

آموزش کد MCNPX ۴۸

j.2	صفحه شامل بردار $\bar{V}_2$
j.3	صفحه شامل بردار $\bar{V}_1$
j.4	سطح تخت عمود بر انتهای بردار $\bar{V}_3$
j.5	سطح تخت عمود بر ابتدای بردار $\bar{V}_3$

مثال ۳-۱۵) گوه‌ای راست گوشه که راس آن در نقطه (۰، ۰، -۶) قرار دارد و وجوه آن به ترتیب ۴ سانتی‌متر روی محور Xها، ۳ سانتی‌متر روی محور Yها، و تر آن به طول ۵ سانتی‌متر و ارتفاع آن ۱۲ سانتی‌متر می‌باشد.

1 WED 0 0 -6 4 0 0 0 3 0 0 0 12

۳-۲-۳-۹ چند وجهی - ARB

از این ماکروبادی می‌توان برای تعریف سطوح زیر استفاده نمود:

- شش وجهی: هرم ناقص با قاعده مربعی
- پنج وجهی: هرم با قاعده مربعی یا هرم ناقص با قاعده مثلثی
- چهار وجهی: هرم با قاعده مثلثی

یک چند وجهی به طور کلی به صورت زیر تعریف می‌شود:

j	ARB	x_1	y_1	z_1	x_2	y_2	z_2	x_3	y_3	z_3	x_4	y_4	z_4
		x_5	y_5	z_5	x_6	y_6	z_6	x_7	y_7	z_7	x_8	y_8	z_8
		n_1	n_2	n_3	n_4	n_5	n_6						

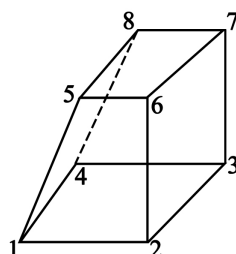
که در آن (x_i, y_i, z_i) ها مختصات هشت رأس چند وجهی هستند. همانطور که شکل زیر نشان می‌دهد، هر وجه شامل چهار رأس می‌باشد. n_i ها هر کدام یک عدد چهار رقمی هستند که هر رقم آن شماره رأسی است که در آن وجه قرار دارد (به ترتیبی که وارد شده‌اند). دقت شود که تمام چهار راس باید در یک صفحه قرار داشته باشند. مختصات رئوسی که وجود ندارند را برابر صفر قرار می‌دهیم، مثلاً برای هرم با قاعده مثلثی، مختصات چهار رأسی که وجود ندارند را به صورت (۰، ۰، ۰) قرار می‌دهیم. در n_i ها اگر رقم چهارم صفر باشد، راس چهارم در آن وجه در نظر گرفته نمی‌شود. برای چهار وجهی n_5 و n_6 را برابر صفر و برای پنج وجهی n_6 را برابر صفر قرار می‌دهیم.

تعریف هندسه ۴۹

در ادامه نحوه تعریف چند وجهی‌های مختلف به صورت جداگانه بیان می‌شود.
تعریف شش وجهی: برای تعریف شکل زیر، اگر مختصات رئوس به ترتیب شماره‌های روی شکل وارد شده باشند، آنگاه برای n_i داریم:

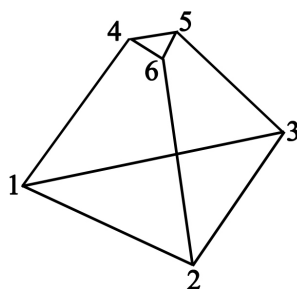
1234 5678 1256 3478 1458 2367

1234 وجهی را معرفی می‌کند که رئوس یک تا چهار روی آن قرار دارد.

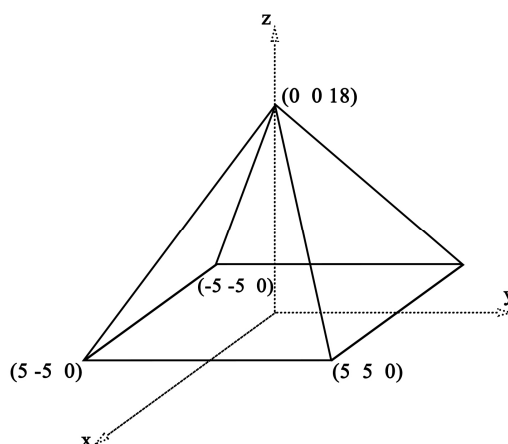


تعریف هرم ناقص با قاعده مثلثی: این شکل دارای شش رأس می‌باشد و لذا باید مختصات رئوس هفتم و هشتم را به صورت $(0, 0, 0)$ وارد نماییم. همچنین باید n_6 را برابر صفر قرار دهیم:

j	ARB	x_1	y_1	z_1	x_2	y_2	z_2	x_3	y_3	z_3	x_4	y_4	z_4
		x_5	y_5	z_5	x_6	y_6	z_6	0	0	0	0	0	0
		1230	1246	2356	1345	4560	0						



تعریف هرم با قاعده مربعی: این شکل با پنج رأس تعریف می‌شود و لذا باید مختصات رئوس ششم، هفتم و هشتم را به صورت $(0, 0, 0)$ وارد نماییم. همچنین باید n_5 و n_6 را برابر صفر قرار دهیم:



۳-۳ استفاده از سطوح و سلول‌های دوران یافته

گاهی پیدا کردن معادله ریاضی یک سطح کمی دشوار است و یا ترجیح می‌دهیم سطح را از یک معادله ساده‌تر بدست آوریم. این امکان وجود دارد که سطح یا سلولی را تعریف کنیم ولی از دوران یافته آن استفاده نماییم؛ به این منظور از کارت‌های TR_n و TR_{CL} استفاده می‌کنیم. به کمک کارت TR_n می‌توان یک سطح یا سلول را دوران داد و یا به یک مکان دیگر منتقل نمود. دستور TR_n به صورت زیر تعریف می‌شود:

$TR_n \quad O_x \quad O_y \quad O_z \quad B_1 \quad B_2 \quad B_3 \quad B_4 \quad B_5 \quad B_6 \quad B_7 \quad B_8 \quad B_9 \quad m$

n عددی است که به این دوران و انتقال نسبت می‌دهیم و در تعریف سطوح و یا سلول دوران یافته از آن استفاده می‌کنیم. $(O_x \quad O_y \quad O_z)$ مؤلفه‌های بردار جابجایی می‌باشند. اگر فقط دوران داشته باشیم، آنگاه این سه پارامتر را برابر صفر قرار می‌دهیم. پارامترهای B_1 تا B_9 مؤلفه‌های ماتریس دوران به صورت زیر می‌باشند:

$$\begin{pmatrix} \cos(x', x) & \cos(x', y) & \cos(x', z) \\ \cos(y', x) & \cos(y', y) & \cos(y', z) \\ \cos(z', x) & \cos(z', y) & \cos(z', z) \end{pmatrix}$$

که x', y', z' محورهای مختصات دوران یافته و (x', x) زاویه بین محورهای x و x' است. پارامتر m می‌تواند برابر ± 1 باشد. اگر $m=1$ (مقدار پیش فرض) باشد، آنگاه بردار

آموزش کد MCNPX ۵۲

جابجایی، مختصات مبدا جدید در دستگاه مختصات قدیم است. اگر $m = -1$ باشد، آنگاه بردار جابجایی، مختصات مبدا قدیم در دستگاه مختصات جدید می‌باشد. اگر از دستور TRn استفاده شود می‌توان به جای کسینوس زوایا، زوایا را برحسب درجه وارد کرد. دستور TRn یا TRn^* در قسمت کارت داده‌ها نوشته می‌شود. سطوح دوران یافته به صورت زیر تعریف می‌شوند:

```
11 1 CZ 5
12 6 PX 3
```

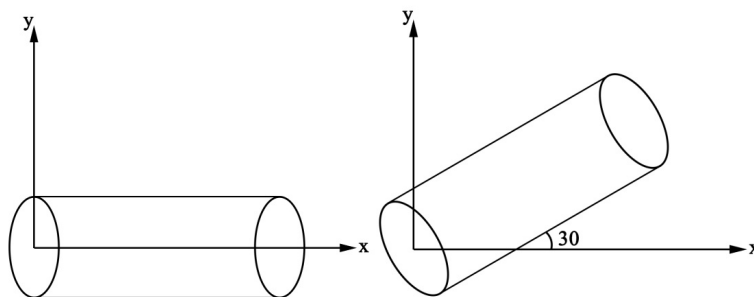
```
TR1 10 0 0
*TR6 0 0 0 30 60 90 120 30 90 90 0
```

اعداد ۱ و ۶ به $TR1$ و $TR6$ اشاره دارند. سطح ۱۱ به اندازه ۱۰ سانتی‌متر در راستای مثبت محور X انتقال داده شده است. سطح ۱۲ به اندازه ۳۰ درجه حول محور Z در جهت پادساعتگرد دوران یافته است.

مثال (۳-۱۷) استوانه‌ای به طول ۱۰ و شعاع ۳ سانتی‌متر که راستای آن با محور X زاویه ۳۰ درجه می‌سازد.

استوانه را روی محور X تعریف می‌کنیم و سپس سطوح آن را ۳۰ درجه حول محور Z دوران می‌دهیم. با توجه به شکل زیر، ماتریس دوران عبارت است از:

$$\begin{pmatrix} \cos 30 & \cos 60 & \cos 90 \\ \cos 120 & \cos 30 & \cos 90 \\ \cos 90 & \cos 90 & \cos 0 \end{pmatrix}$$



```
1 0 -100 101 -102
2 0 100:-101:102
```

تعریف هندسه ۵۳

100 4 CX 3
101 4 PX 0
102 4 PX 10

TR4 0 0 0 0.8660 0.5 0 -0.5 0.8660 0 0 0 1

می‌توان از TR4* به صورت زیر استفاده کرد:

*TR4 0 0 0 30 60 90 120 30 90 90 90 0

البته می‌توان این استوانه را به کمک ماکروبادی RCC نیز تعریف نمود:

1 0 -200
2 0 200

200 RCC 0 0 0 8.66 5 0 3

و یا

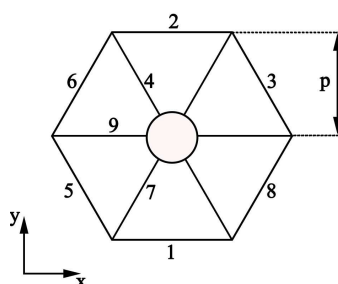
200 4 RCC 0 0 0 10 0 0 3

TR4 0 0 0 0.8660 0.5 0 -0.5 0.8660 0 0 0 1

از دستور TRn می‌توان برای انتقال و دوران یک سلول نیز استفاده کرد، این کار با

استفاده از دستور Like n But انجام می‌گردد (بخش ۳-۶-۱ را ببینید).

مثال ۳-۱۸) هندسه زیر را در نظر بگیرید (طول ضلع $L=10$ cm). می‌خواهیم تمام سطوح تخت ۱ تا ۸ را با استفاده از دوران و انتقال یک سطح (سطح افقی شماره ۹) تعریف کنیم.



سطوح ۴ و ۷ نسبت به سطح ۹ فقط دوران یافته‌اند (۶۰ و ۱۲۰ درجه) و سطوح ۱

و ۲ فقط انتقال یافته‌اند، اما سطوح دیگر علاوه بر دوران، جابه‌جا نیز شده‌اند. بردارهای

جابه‌جایی برای سطوح ۳، ۵، ۶ و ۸ به صورت زیر است:

آموزش کد MCNPX ۵۴

$$(\pm p \cos 30, \pm p \sin 30, 0) = (\pm 7.5, \pm 4.33, 0)$$

و برای سطوح ۱ و ۲ عبارت است از:

$$(0, \pm P, 0) = (0, \pm 8.66, 0)$$

$$P = \frac{\sqrt{3}}{2} L \text{ که می باشد.}$$

مولفه های ماتریس دوران حول محور Z عبارت است از:

60 30 90 150 60 90 90 90 0 (۶۰ درجه)

120 30 90 210 120 90 90 90 0 (۱۲۰ درجه)

1 11 PY 0

2 12 PY 0

3 13 PY 0

4 14 PY 0

5 15 PY 0

6 16 PY 0

7 17 PY 0

8 18 PY 0

9 PY 0

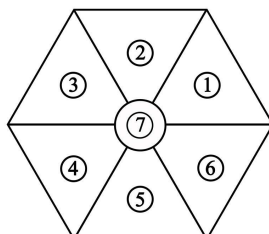
10 CZ 2

لذا برای تعریف سطوح داریم:

```
TR11 0 8.66 0
TR12 0 -8.66 0
*TR13 7.5 4.33 0 120 30 90 210 120 90 90 90 0
*TR14 0 0 0 120 30 90 210 120 90 90 90 0
*TR15 -7.5 -4.33 0 120 30 90 210 120 90 90 90 0
*TR16 -7.5 4.33 0 60 30 90 150 60 90 90 90 0
*TR17 0 0 0 60 30 90 150 60 90 90 90 0
*TR18 7.5 -4.33 0 60 30 90 150 60 90 90 90 0
```

و برای سلول ها داریم:

```
1 0 9 3 -7 10
2 0 -1 7 -4 10
3 0 9 4 -6 10
4 0 -9 7 -5 10
5 0 2 -7 4 10
6 0 -9 8 -4 10
7 0 -10
8 0 #1 #2 #3 #4 #5 #6 #7
```



جهت انتقال و یا دوران یک سلول هنگام تعریف همان سلول، از کارت TRCL استفاده می‌کنیم، مثلاً:

9 0 -11 12 -13 14 TRCL=(0 0 0 30 60 90 120 30 90 90 90 0)

در این مثال سلول ۹ به کمک سطوح دوران یافته ۱۱، ۱۲، ۱۳ و ۱۴ تعریف شده است، که این دوران به کمک کارت TRCL معرفی شده است. می‌توان از ترکیب کارت‌های TRn و TRCL نیز استفاده نمود:

9 0 -11 12 -13 14 TRCL=99

.
.
.

c data cards

TR99 0 0 0 30 60 90 120 30 90 90 90 0

این کار از طولانی شدن خط تعریف سلول جلوگیری می‌کند.

نکته: توجه شود که در صورت استفاده از کارت TRCL به صورت فوق، تمام سطوحی که در تعریف سلول مورد نظر استفاده شده‌اند دستخوش دوران و یا انتقال می‌شوند و به عنوان سطوحی "جدید" و با شماره‌های جدید در نظر گرفته می‌شوند و لذا باید در تعریف سلول‌های دیگر، این موضوع را در نظر گرفت. شماره‌گذاری سطوح جدید به صورت "هزار برابر شماره سلول بعلاوه شماره سطح اصلی" می‌باشد.

مثال ۳-۱۹)

4 0 -10 11 -12 trcl=(7 7 0)

8 0 4010:-4011:4012

آموزش کد MCNPX ۵۶

10 CZ 5

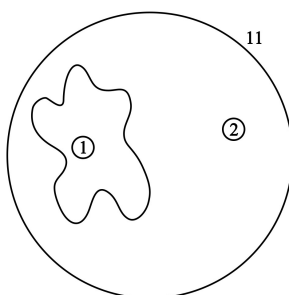
11 PZ 0

12 PZ 20

در این مثال سلول ۴ یک استوانه را به شعاع ۵ و ارتفاع ۲۰ سانتی متر تعریف می کند که مرکز قاعده اش در نقطه (۷، ۷، ۰) قرار دارد. سلول ۸ نیز فضای خارج استوانه را معرفی می کند. به نحوه استفاده از سطوح با شماره های جدید دقت کنید. کارت های TRCL و TRn در تعریف هندسه های تکراری نیز به کار می روند (بخش ۳-۶-۱ را ببینید).

۳-۴ استفاده از دستور # (به جز) در تعریف هندسه

شکل زیر را در نظر بگیرید:



اگر سلول ۱ تعریف شده باشد، سلول ۲ عبارت است از درون کره، به جز سلول شماره یک. برای تعریف سلول ۲ می توان از دستور # به صورت زیر استفاده کرد:

2 0 -11 #1

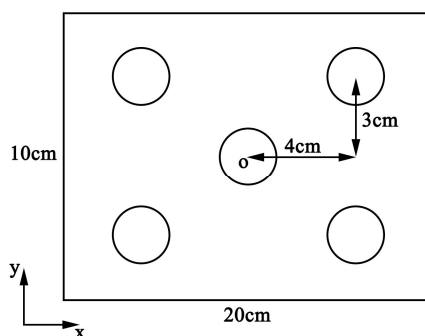
عدد ۱۱ شماره سطح کره می باشد. توجه داریم که عدد بعد از علامت # شماره سلول می باشد و نه شماره سطح.

مثال ۳-۲۰) پنج استوانه یکسان درون یک مکعب که ارتفاع استوانه ها با ارتفاع جعبه برابر است. ابعاد جعبه $20 \times 10 \times 30$ و ارتفاع استوانه ها ۳۰ و شعاع آنها ۱ سانتی متر است.

تعریف هندسه ۵۷

به جز استوانه مرکزی که محورش بر محور Zها منطبق است، بقیه استوانه‌ها موازی محور Z هستند، لذا برای سطوح داریم:

```
100 CZ 1
200 C/Z 4 3 1
300 C/Z 4 -3 1
400 C/Z -4 3 1
500 C/Z -4 -3 1
101 PX 10
102 PX -10
103 PY 5
104 PY -5
105 PZ 0
106 PZ 30
```



برای تعریف ناحیه بین استوانه‌ها از دستور # استفاده می‌کنیم، درون مکعب به جز سلول‌های یک تا پنج:

```
1 0 -100 105 -106
2 0 -200 105 -106
3 0 -300 105 -106
4 0 -400 105 -106
5 0 -500 105 -106
6 0 -101 102 -103 104 105 -106 #1 #2 #3 #4 #5
7 0 101:-102:103:-104:-105:106
```

۵-۳ استفاده از دستور Fill=n و U=n

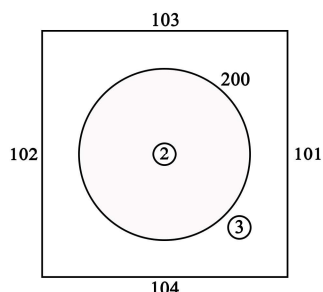
از دستورهای fill و u می‌توان برای پر کردن یک سلول با یک یا چند سلول دیگر استفاده کرد. مثلاً فرض کنید درون یک مکعب، کره‌ای به صورت زیر قرار دارد؛ با استفاده از این دستورها می‌گوییم سلول شماره یک را با سلول‌های ۲ و ۳ پر کن! سلول ۲ درون کره و سلول ۳ بیرون کره را تعریف می‌کند.

```
1 0 -101 102 -103 104 -105 106 fill=4
2 0 -200 u=4
3 0 200 u=4

101 px 10
102 px -10
103 py 10
```

آموزش کد MCNPX ۵۸

```
104 py -10
105 pz 10
106 pz -10
200 so 6
```



توجه کنید که در تعریف سلول ۳، که ناحیه بین کره و مکعب را تعریف می‌کند، تنها سطح ۲۰۰ وارد شده است. از آنجا که این سلول به عنوان $u=4$ ، سلول ۱ را پر می‌کند، به همان ناحیه سلول ۱ محدود می‌شود و نیازی به اضافه کردن شماره سطوح مکعب در تعریف سلول ۳ نیست.

دستور $fill=n$ در یک سلول، به این معنی است که این سلول را با سلول یا سلول‌هایی که به عنوان $u=n$ تعریف شده است پر کن! ممکن است سلول $u=n$ خود با سلول دیگری پر شده باشد.

مهمترین کاربرد کارت $fill$ و u در تعریف هندسه‌های تکراری است. به عنوان مثال، فرض کنید چهار مکعب کاملاً یکسان داریم که درون آنها با مجموعه‌ای از کره‌ها پر شده است. اگر یکی از مکعب‌ها را با کارت $fill$ و u پر کنیم، آنگاه برای تعریف مکعب‌های مشابه دیگر می‌توان از کارت $like\ n\ but$ استفاده نمود (مثال ۳-۲۳ را ببینید).

نکته: می‌توان هنگام پر کردن یک سلول با سلول‌های دیگر، سلول‌هایی که با $u=n$ مشخص شده‌اند را دوران و یا انتقال داد؛ به این منظور مولفه‌های انتقال و دوران (بخش ۳-۳ را ببینید) را به همراه کارت $Fill$ و درون پرانتز به صورت زیر می‌نویسیم:

$Fill=n\ (O_x\ O_y\ O_z\ B_1\ B_2\ B_3\ B_4\ B_5\ B_6\ B_7\ B_8\ B_9)$

اگر از علامت ستاره به همراه کارت $Fill$ استفاده کنیم (به صورت $*Fill$) می‌توانیم

مولفه ماتریس دوران را بر حسب زاویه بنویسیم.

۳-۶ تعریف هندسه‌های تکراری

منظور از هندسه‌های تکراری، هندسه‌هایی هستند که یا شامل سلول‌هایی با ابعاد کاملاً یکسان هستند و یا شامل سلول‌هایی هستند که در یک آرایش منظم کنار یکدیگر قرار دارند.

دو روش کلی برای شبیه‌سازی چنین هندسه‌هایی وجود دارد:

۱- استفاده از دستور Like n But (برای تعریف سلول‌هایی با ابعاد کاملاً یکسان)

۲- استفاده از دستورهای u, lat و fill (برای تعریف آرایش‌های منظم)

۳-۶-۱ دستور Like n but

اگر مسئله شامل سلول‌هایی با ابعاد کاملاً یکسان باشد که در مکان‌های مختلفی قرار دارند، می‌توان از این دستور استفاده نمود. در این روش، ابتدا یکی از سلول‌ها را تعریف و سپس به کمک دستور like n but سلول‌های دیگر را تولید می‌کنیم. فرض کنید سلول n را تعریف کرده‌ایم، سلول‌های دیگر شبیه سلول n هستند، ولی مکان آنها نسبت به آن جابجا شده است:

$$j \text{ like } n \text{ but } trcl=(x \ y \ z)$$

سلول j شبیه سلول n است، اما مکانش نسبت به آن به اندازه $(x \ y \ z)$ جابجا شده است، که این جابجایی با کارت TRCL تعریف می‌شود (بخش ۳-۳ را ببینید).

اگر سلول‌های دیگر علاوه بر تغییر مکان، دوران نیز داشته باشند، باید تعداد ۹ عدد دیگر در ادامه دستور TRCL وارد کنیم، که این نه عدد مولفه‌های ماتریس دوران هستند. اگر به جای TRCL از $TRCL^*$ استفاده کنیم، می‌توانیم به جای کسینوس زاویه، زاویه را بر حسب درجه وارد کنیم.

می‌توان مولفه‌های انتقال و دوران را در قسمت کارت داده‌ها نیز وارد کرد. این کار می‌تواند از بزرگ شدن طول کارت تعریف سلول جلوگیری کند. برای این کار از $TRCL=m$ در خط تعریف سلول استفاده می‌کنیم، که m یک عدد درست است. سپس

آموزش کد MCNPX ۶۰

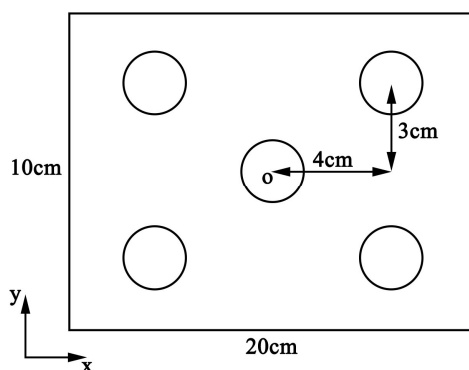
در کارت داده‌ها دستور TRM را نوشته و مولفه‌های انتقال و دوران را در ادامه آن می‌نویسیم. در اینجا نیز در صورتی که از TRM* استفاده کنیم، می‌توانیم به جای کسینوس زاویه، زاویه را بر حسب درجه وارد کنیم.

اگر علاوه بر مکان، ماده و یا چگالی ماده درون یک سلول با سلول n متفاوت باشد، برای تعریف ماده و چگالی آن از دستورهای MAT و RHO استفاده می‌کنیم:

25 like 3 but trcl=(3 3 0) MAT=6 RHO=-2.7

سلول ۲۵ مشابه سلول ۳ است و نسبت به آن در مختصات (۳، ۳، ۰) قرار دارد و با ماده شماره شش، با چگالی جرمی $2/7 \text{ gr/cm}^3$ پر شده است.

مثال ۳-۲۱) پنج استوانه کاملاً یکسان به شعاع $1/5 \text{ cm}$ و ارتفاع 21 cm که مطابق شکل درون یک مکعب هم ارتفاع با آنها قرار دارند.



ابتدا سلول استوانه مرکزی را تعریف می‌کنیم:

101 0 -200 201 -202

چهار استوانه دیگر شبیه استوانه مرکزی هستند، ولی نسبت به آن جابجا شده‌اند:

102 like 101 but trcl=(4 3 0)

103 like 101 but trcl=(-4 3 0)

104 like 101 but trcl=5

105 like 101 but trcl=6

106 0 #101 #102 #103 #104 #105 -300

200 cz 1.5

201 pz 0

202 pz 21

تعریف هندسه ۶۱

300 rpp -10 10 -5 5 0 21

Tr5 -4 -3 0

Tr6 4 -3 0

مثال ۳-۲۲) تعداد هشت عدد استوانه مشابه به طول ۱۲ و شعاع ۳ سانتی متر که

مطابق شکل زیر به صورت متقارن حول دایره‌ای به شعاع ۱۰ سانتی متر قرار دارند.

محور استوانه‌ها را در صفحه XY در نظر می‌گیریم. استوانه‌ای که در جهت مثبت

محور X قرار دارد به صورت زیر تعریف می‌شود:

11 RCC 10 0 0 12 0 0 3

و سلولی که این درون این استوانه را تعریف می‌کند عبارت است از:

20 0 -11

سلول‌های دیگر شبیه سلول ۲۰ هستند، ولی نسبت به آن دوران یافته‌اند. مؤلفه‌های

ماتریس دوران نسبت به محور Z به راحتی محاسبه می‌شود. به این ترتیب داریم:

20 0 -11

21 like 20 but trcl=1

22 like 20 but trcl=2

23 like 20 but trcl=3

24 like 20 but trcl=4

25 like 20 but trcl=5

26 like 20 but trcl=6

27 like 20 but trcl=7

30 0 #20 #21 #22 #23 #24 #25 #26 #27

11 RCC 10 0 0 12 0 0 3

*tr1 0 0 0 45 45 90 135 45 90 90 90 0

*tr2 0 0 0 90 0 90 280 90 90 90 90 0

*tr3 0 0 0 135 45 90 225 135 90 90 90 0

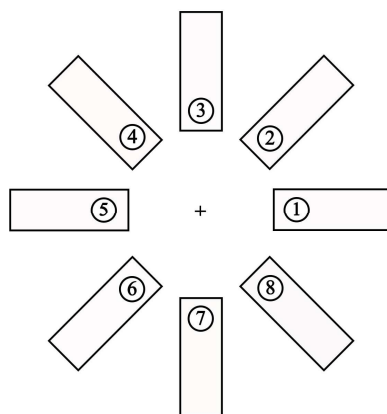
*tr4 0 0 0 180 270 90 270 180 90 90 90 0

*tr5 0 0 0 225 225 90 315 225 90 90 90 0

*tr6 0 0 0 270 180 90 360 270 90 90 90 0

*tr7 0 0 0 315 135 90 45 315 90 90 90 0

آموزش کد MCNPX ۶۲



مثال ۳-۲۳) شکل زیر را در نظر بگیرید: بلوک‌های مکعبی یکسان که با کره‌های یکسان پر شده‌اند. مرکز کره‌ها و بلوک‌ها همگی در یک صفحه‌اند. بلوک پایینی به اندازه ۴۵ درجه حول محور Z چرخیده است.

در این مسئله از کارت‌های fill و u و نیز like n But استفاده می‌کنیم. به این منظور، ابتدا بلوک مرکزی را تعریف می‌کنیم. چون کره‌ها یکسانند، می‌توان برای تعریف آنها از کارت like n But استفاده نمود:

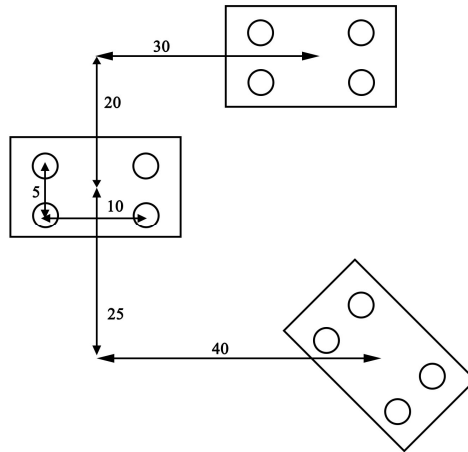
```
1 0 -20 fill=6 $ central block
2 0 -10 u=6
3 like 2 but trcl=(-10 0 0) u=6
4 like 2 but trcl=(-10 -5 0) u=6
5 like 2 but trcl=( 0 -5 0) u=6
6 0 #2 #3 #4 #5 u=6
```

```
10 S 5 2.5 0 2
20 RPP -10 10 -8 8 -5 5
```

بعد از تعریف بلوک مرکزی، دو بلوک دیگر را نیز با کارت like n But تعریف

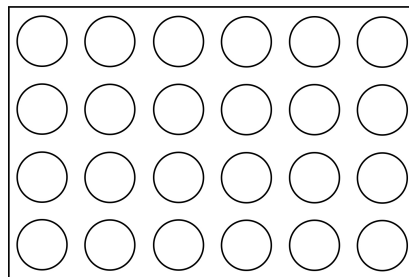
می‌کنیم:

```
c top block
7 like 1 but trcl=(30 20 0)
c bottom block
8 like 1 but *trcl=(40 -25 0 45 135 90 45 45 90 90 90 0)
9 0 #1 #7 #8
```



۳-۶-۲ دستورهای u, lat و fill

برای تعریف هندسه‌هایی با آرایش منظم (مثلاً مطابق شکل‌های زیر)، می‌توان از این روش استفاده نمود.



استفاده از این روش به بیان ساده عبارت است از:

۱- شبکه‌بندی سلول اصلی

۲- پر کردن عناصر شبکه

دو نوع شبکه‌بندی در کد قابل تعریف است: شبکه‌بندی چهار ضلعی و شش ضلعی.

۳-۶-۱ شبکه‌بندی سلول اصلی

برای شبکه‌بندی سلول اصلی، ابتدا آن را تعریف می‌کنیم، سپس سلول دیگری را تعریف می‌کنیم که در واقع همان عنصر شبکه‌بندی است و نوع شبکه‌بندی را معرفی می‌کند، که قرار است سلول اصلی را پر کند.

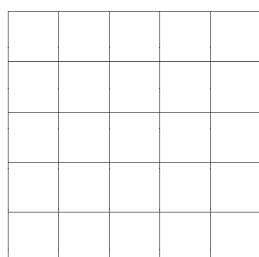
سپس در ادامه کارت تعریف سلول اصلی، دستور $fill=n$ را می‌نویسیم. همچنین در ادامه کارت تعریف سلول شبکه‌بندی از دستورهای $u=n$ و $lat=1$ (یا $lat=2$) استفاده می‌کنیم. n عدد درستی است و شماره‌ای است که به عنصر شبکه‌بندی، با دستور $u=n$ ، منتسب کرده‌ایم:

```
1 0 -20 fill=8
2 0 -30 u=8 lat=1
```

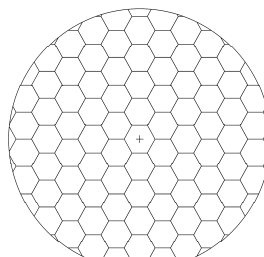
```
20 RPP -10 10 -10 10 -10 10
30 RPP -2 2 -2 2 -2 2
```

در خطوط بالا، سلول ۱، سلول اصلی و سلول ۲، سلول شبکه‌بندی را تعریف می‌کند.

نکته (۱): برای شبکه‌بندی چهار ضلعی از دستور $lat=1$ و برای شش ضلعی از $lat=2$ استفاده می‌کنیم.



lat=1



lat=2

نکته (۲): بهتر است هیچ یک از سطوحی که برای تعریف سلول اصلی تعریف کرده‌ایم، بر سطوح سلول شبکه‌بندی منطبق نباشد.

تعریف هندسه ۶۵

مثال ۳-۲۴) مکعبی به ضلع ۹ سانتی متر را به صورت $3 \times 3 \times 3$ سانتی متر مکعب، شبکه بندی کنید.

```
1 0 -11 fill=1
2 0 -12 u=1 lat=1
3 0 11
```

```
11 RPP -4.5 4.5 -4.5 4.5 -4.5 4.5
12 RPP -1.5 1.5 -1.5 1.5 -1.5 1.5
```

	+	

پس از شبکه بندی، هر یک از عناصر شبکه دارای یک مختصات ماتریسی می شوند که به کمک همین مولفه های ماتریسی می توان نحوه پر شدن آنها را مدیریت نمود. سلولی که به عنوان lat تعریف کرده ایم همواره دارای مختصات ماتریسی (۰، ۰، ۰) است.

نکته (۱): در تعریف سلول lat باید دقت کرد که شماره سطوحی که با هم موازی اند، باید به دنبال یکدیگر نوشته شوند، در غیر این صورت برنامه با خطا متوقف می شود. به عنوان مثال در حالت $lat=1$ ، سلول شبکه بندی در سه بعد با شش سطح تعریف می شود. در این حالت شماره دو سطحی که عمود بر محور X هستند باید پشت سر هم نوشته شوند و همچنین دو سطحی که عمود بر محور Y یا محور Z هستند.

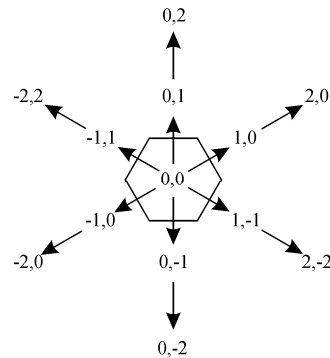
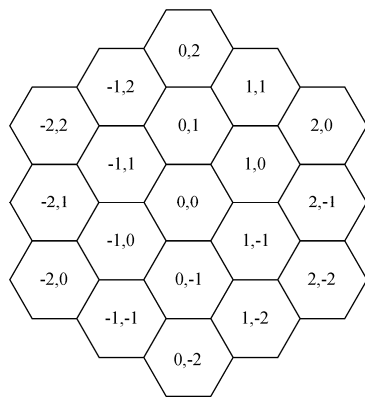
نکته (۲): مولفه های ماتریس شبکه نیز به نحوه نوشتن شماره سطوح در سلول lat بستگی دارد. به این ترتیب که اگر ابتدا سطوح عمود بر محور X و سپس سطوح عمود بر محور Y و سطوح عمود بر محور Z نوشته شود، آنگاه اولین مولفه ماتریس، مربوط به راستای X، دومی مربوط به راستای Y و سومی مربوط به راستای Z خواهد بود. به بیان دیگر اینکه مولفه های ماتریس شبکه به کدام راستا مربوط هستند، به ترتیب نوشتن سطوح در سلول lat بستگی دارد. همچنین جهت شماره گذاری عناصر شبکه نیز به ترتیب نوشتن شماره سطوح در سلول lat بستگی دارد، به این ترتیب که جهت مثبت

آموزش کد MCNPX ۶۶

شماره گذاری را اولین سطحی که در سلول lat می نویسیم مشخص می کند. شکل های زیر را ببینید. سطوح ۱۱ تا ۱۴ عبارتند از:

11 px -2
12 px 2
13 py -2
14 py 2

	0, -1			0, -1			-1, 0	
1, 0	0, 0	-1, 0	-1, 0	0, 0	1, 0	0, -1	0, 0	0, 1
	0, 1			0, 1			1, 0	
11	-12	13	-14	-12	11	13	-14	13



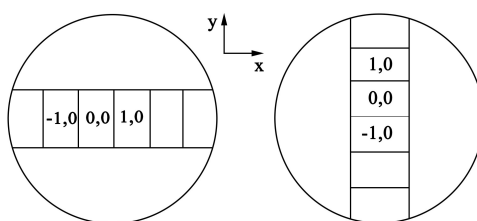
گاهی هندسه تنها در یک یا دو بعد تکرار می شود که در این صورت شبکه بندی نیز باید در یک یا دو بعد صورت گیرد. جهت شبکه بندی در یک بعد، سلول lat با دو سطح تعریف می شود:

تعریف هندسه ۶۷

31	32			
----	----	--	--	--

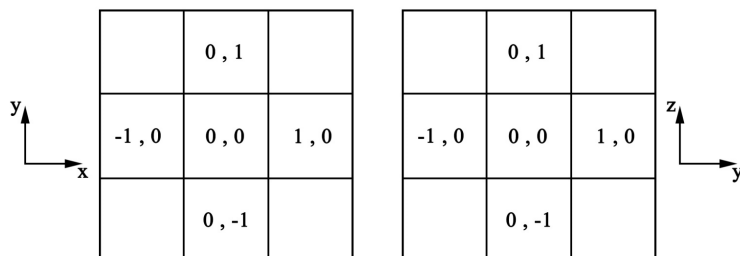
12 0 31 -32 u=1 lat=1

در این صورت همانطور که در نکته (۲) گفته شد، مستقل از اینکه شبکه‌بندی در کدام بعد، X یا Y یا Z ، صورت گرفته است، اولین مولفه ماتریسی، ترتیب شماره‌گذاری عناصر شبکه را مشخص می‌کند. به شکل‌های زیر دقت کنید. هرچند دو شکل یکی در راستای X و دیگری در راستای Y شبکه‌بندی شده‌اند، اما هر دو دارای اولین مولفه ماتریسی هستند.



برای شبکه‌بندی در دو بعد، سلول lat با چهار سطح تعریف می‌شود که در این صورت دو مولفه ماتریسی اول، ترتیب شماره‌گذاری عناصر شبکه را مشخص می‌کند، مستقل از اینکه شبکه‌بندی در کدام بعدها صورت گرفته است. در شکل‌های زیر هر چند که شبکه‌بندی یکی در دو بعد XY و دیگری در دو بعد YZ صورت گرفته است، اما عناصر شبکه در هر دو دارای دو مولفه ماتریسی اول هستند. توضیح اینکه مثلاً عناصر شبکه در شبکه‌بندی در دو بعد YZ دارای مولفه ماتریسی سوم نیستند.

آموزش کد MCNPX ۶۸



به همین ترتیب برای شبکه‌بندی در سه بعد سلول lat با شش سطح تعریف می‌گردد.

نکته (۳): می‌توان سلول شبکه‌بندی را دوران و یا انتقال داد. از این قابلیت می‌توان جهت ایجاد شبکه‌بندی‌های مورب استفاده نمود. به این منظور مولفه‌های انتقال و دوران (بخش ۳-۳ را ببینید) را به همراه کارت Fill و درون پرانتز به صورت زیر می‌نویسیم:

Fill=n (O_x O_y O_z B₁ B₂ B₃ B₄ B₅ B₆ B₇ B₈ B₉)

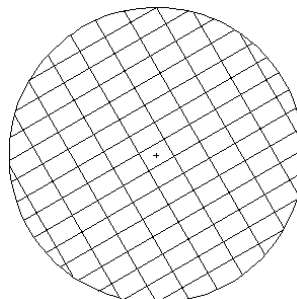
اگر از علامت ستاره به همراه کارت Fill استفاده کنیم (به صورت *Fill) می‌توانیم

مولفه ماتریس دوران را بر حسب زاویه بنویسیم.

مثال ۳-۲۵ در این مثال، سلول ۱۰ به صورت مورب، شبکه‌بندی شده است. به این منظور، ابتدا سلول lat مربعی تعریف و سپس از دوران یافته (مورب شده) آن برای پر کردن سلول ۱۰ استفاده شده است.

```
10 0 -1 *fill=2 (0 0 0 30 60 90 120 30 90)
20 0 -2 3 -4 5 -6 7 u=2 lat=1
30 0 1
```

```
1 so 15
2 px 1.5
3 px -1.5
4 py 1
5 py -1
6 pz 3
7 pz -3
```

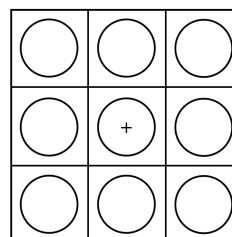


۳-۲-۶-۲ پر کردن عناصر شبکه

برای پر کردن عناصر شبکه از دستور fill و u استفاده می‌کنیم. ابتدا سلول یا سلول‌هایی که قرار است عناصر شبکه را پر کنند را تعریف می‌کنیم و در ادامه خط تعریف آن سلول‌ها دستور $u=n$ را درج می‌کنیم. دقت شود که عدد n در اینجا نباید با عددی که به u در سلول lat منتسب کرده‌اید یکسان باشد. اکنون کافی است که در سلول lat دستور $fill=n$ را وارد کنیم.

مثال ۳-۲۶) تمام عناصر شبکه‌بندی مثال ۳-۲۴ را با کره‌هایی به شعاع یک سانتی‌متر پر کنید.

```
1 0 -11 fill=1
2 0 -12 u=1 lat=1 fill=6
3 0 11
4 0 -30 u=6
5 0 30 u=6
```



```
11 RPP -4.5 4.5 -4.5 4.5 -4.5 4.5
12 RPP -1.5 1.5 -1.5 1.5 -1.5 1.5
30 SO 1
```

به نحوه تعریف سلول ۵ دقت کنید. این سلول بیرون کره را تعریف می‌کند و چون به عنوان u تعریف شده است، فضای بیرون کره تا مرزهای سلول ۲، که همان سلول lat است، محدود می‌شود.

۳-۲-۶-۳ مدیریت در پر کردن عناصر شبکه

گاهی لازم است تعداد خاصی از عناصر شبکه پر شوند و یا عناصر شبکه، با دو یا سه نوع سلول مختلف پر شوند (uهای مختلف). گفتیم که پس از شبکه‌بندی، هر یک از عناصر شبکه دارای یک مختصات ماتریسی می‌شوند، به کمک همین مختصات می‌توان پر کردن عناصر شبکه را مدیریت کرد. برای این کار ابتدا باید عنصر یا عناصر شبکه را که قرار است پر شوند را مشخص کنیم و سپس به تعداد عناصر مشخص شده، عدد

۷۰ آموزش کد MCNPX

منتسب به u مورد نظر را بنویسیم. به این منظور در سلول lat ، کارت $fill$ را به صورت زیر می‌نویسیم:

$2 \ 0 \ -12 \ u=1 \ lat=1 \ fill=i_1:i_2 \ j_1:j_2 \ k_1:k_2 \ n_1 \ n_2 \ \dots$

پارامترهای $i_1, i_2, j_1, j_2, k_1, k_2, n_1, n_2$ مولفه‌های ماتریسی عنصر یا عناصر شبکه را مشخص

می‌کند و n_i ها اعداد منتسب به u های مختلف است.

فرض کنید می‌خواهیم تنها عنصر $[1 \ 1 \ 0]$ را با $u=2$ پر کنیم:

$2 \ 0 \ -12 \ u=1 \ lat=1 \ fill=1:1 \ 1:1 \ 0:0 \ 3$

عدد ۳ یعنی اینکه عنصر مشخص شده را با $u=3$ پر کن!

یا عناصر $[1 \ 0 \ 0]$ تا $[1 \ 0 \ 0]$ را با $u=2$ پر کنیم:

$fill=-1:1 \ 1:1 \ 0:0 \ 2 \ 2 \ 2$

در اینجا سه عنصر مشخص شده است، لذا باید سه بار عدد ۲ درج شود.

و یا عناصر $[2 \ 0 \ 0]$ تا $[2 \ 0 \ 0]$ را با $u=3$ پر کنیم، به جز عنصر $[0 \ 0 \ 0]$ که آن را

با $u=4$ پر می‌کنیم.

$fill=-2:2 \ 0:0 \ 0:0 \ 3 \ 3 \ 4 \ 3 \ 3$

اگر تعداد عنصر مشخص شده، که با یک نوع u پر شده‌اند زیاد باشد، می‌توان از

کارت mr استفاده کرد (یعنی عدد قبلی را m مرتبه تکرار کن!):

$fill=-10:10 \ 0:0 \ 0:0 \ 3 \ 20r$

در اینجا به جای درج بیست مرتبه عدد ۳ از $20r$ استفاده شده است.

ترتیب پر شدن عناصر شبکه به این ترتیب است: به ازای پایین‌ترین مرتبه مولفه

سوم و به ازای پایین‌ترین مرتبه مولفه دوم، از پایین‌ترین مرتبه مولفه اول تا بالاترین

مرتبه آن، در ادامه به ازای پایین‌ترین مرتبه مولفه سوم و به ازای مرتبه بعدی مولفه

دوم، از پایین‌ترین مرتبه مولفه اول تا بالاترین مرتبه آن و به همین ترتیب. به عنوان

مثال ترتیب پر شدن عناصر برای حالت $fill=-2:2 \ -1:1 \ 0:1$ به صورت زیر است:

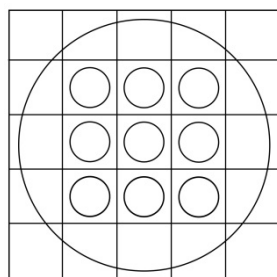
$[-2 \ -1 \ 0], [-1 \ -1 \ 0], [0 \ -1 \ 0], [1 \ -1 \ 0], [2 \ -1 \ 0]$
 $[-2 \ 0 \ 0], [-1 \ 0 \ 0], [0 \ 0 \ 0], [1 \ 0 \ 0], [2 \ 0 \ 0]$
 $[-2 \ 1 \ 0], [-1 \ 1 \ 0], [0 \ 1 \ 0], [1 \ 1 \ 0], [2 \ 1 \ 0]$
 $[-2 \ -1 \ 1], [-1 \ -1 \ 1], [0 \ -1 \ 1], [1 \ -1 \ 1], [2 \ -1 \ 1]$
 $[-2 \ 0 \ 1], [-1 \ 0 \ 1], [0 \ 0 \ 1], [1 \ 0 \ 1], [2 \ 0 \ 1]$
 $[-2 \ 1 \ 1], [-1 \ 1 \ 1], [0 \ 1 \ 1], [1 \ 1 \ 1], [2 \ 1 \ 1]$

تعریف هندسه ۷۱

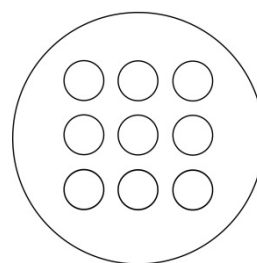
نکته (۱): دقت شود که وقتی پر شدن عناصر شبکه را مدیریت می‌کنیم، باید نحوه پر شدن تک تک عناصر را مشخص نماییم. می‌توانیم از عدد صفر برای پر کردن عناصری که سهمی در هندسه واقعی ندارند استفاده نماییم. همچنین می‌توانیم عناصر شبکه را با u منتسب به سلول lat نیز پر کنیم.

مثال (۳-۲۷) در شکل زیر، تعداد نه میله درون استوانه‌ای از آب قرار گرفته‌اند. بدیهی است که در اینجا برای پر کردن عناصر شبکه باید تکلیف تک تک عناصر شبکه را مشخص کنیم. به گونه‌ای که نه عنصر مرکزی با میله‌ها ($u=3$) و مابقی عناصر با آب ($u=1$) پر شوند:

```
30 1 -1 -1 2 -3 4 u=1 lat=1 fill=-2:2 -2:2 0:0
    1 1 1 1 1
    1 3 3 3 1
    1 3 3 3 1
    1 3 3 3 1
    1 1 1 1 1
```



هندسه شبیه‌سازی شده



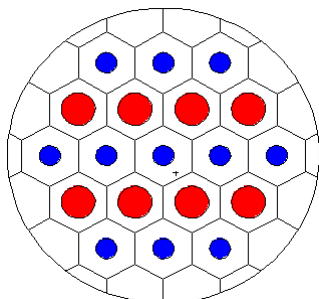
هندسه واقعی

نکته (۲): سلولی که به عنوان u تعریف شده است می‌تواند خودش نیز دارای شبکه‌بندی باشد. تا ۱۰ لایه (۱۰ سطح) این روند می‌تواند ادامه یابد، یعنی:

$u=1$ درون $u=2$ درون $u=3$ درون $u=10$.

مثال (۳-۲۸) در شکل زیر میله‌های کوچک و بزرگ در یک آرایش شش ضلعی قرار گرفته‌اند.

آموزش کد MCNPX ۷۲



برای تعریف این مسئله سطوح زیر مورد نیازند:

سلول اصلی: ۱۰۱

سلول شبکه بندی: ۱۰۲

استوانه به شعاع ۱/۲ سانتی متر: ۱۰۳

استوانه به شعاع ۰/۷۵ سانتی متر: ۱۰۴

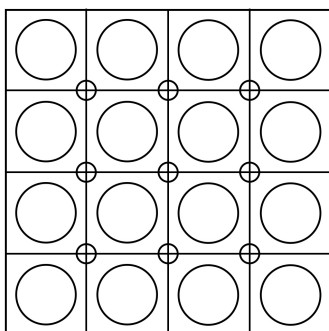
```
101 RCC 0 0 -10 0 0 20 11
102 HEX 0 0 -10 0 0 20 2 0 0
103 CZ 1.2
104 CZ 0.75
```

برای سلول ها داریم:

```
10 0 101
20 0 -101 fill=1
30 0 -102 u=1 lat=2 fill=-3:3 -2:2 0:0
    1 1 1 3 3 3 1
    1 1 4 4 4 4 1
    1 3 3 3 3 3 1
    1 4 4 4 4 1 1
    1 3 3 3 1 1 1

40 0 -103 u=4
50 0 103 u=4
41 0 -104 u=3
51 0 104 u=3
```

مثال ۳-۲۹) شکل زیر را در نظر بگیرید:



برای تعریف این هندسه به تعداد ۹ عدد u مختلف نیاز داریم:

تعریف هندسه ۷۳



u = 21



u = 22



u = 23



u = 24



u = 25



u = 26



u = 27



u = 28



u = 29

سطوح مورد نیاز عبارتند از:

۱- مکعب اصلی: ۱۰۱

۲- مکعب شبکه‌بندی: ۱۰۲

۳- استوانه به شعاع ۲ cm: ۱۰۳

۴- استوانه‌های به شعاع ۱ cm در گوشه‌های مکعب: ۱۰۴، ۱۰۵، ۱۰۶ و ۱۰۷

101	RPP	-10	10	-10	10	-10	10	
102	RPP	0	5	0	5	-10	10	
103	RCC	2.5	2.5	-10	0	0	20	2
104	RCC	0	0	-10	0	0	20	1
105	RCC	5	0	-10	0	0	20	1
106	RCC	5	5	-10	0	0	20	1
107	RCC	0	5	-10	0	0	20	1

برای $u=21$ داریم:

211	0	-103						U=21
212	0	-104						U=21
213	0	-105						U=21
214	0	-106						U=21
215	0	-107						U=21
216	0	103	104	105	106	107		U=21

برای $u=22$ داریم:

221	0	-103		U=22
222	0	-105		U=22
223	0	103	105	U=22

برای $u=23$ داریم:

231	0	-103		U=23
232	0	-106		U=23

آموزش کد MCNPX ۷۴

233 0 103 106 U=23

برای $u=24$ داریم:

241 0 -103 U=24

242 0 -107 U=24

243 0 103 107 U=24

برای $u=25$ داریم:

251 0 -103 U=25

252 0 -104 U=25

253 0 103 104 U=25

برای $u=26$ داریم:

261 0 -103 U=26

262 0 -104 U=26

263 0 -105 U=26

264 0 103 104 105 U=26

برای $u=27$ داریم:

271 0 -103 U=27

272 0 -104 U=27

273 0 -107 U=27

274 0 103 104 107 U=27

برای $u=28$ داریم:

281 0 -103 U=28

282 0 -106 U=28

283 0 -107 U=28

284 0 103 106 107 U=28

برای $u=29$ داریم:

291 0 -103 U=29

292 0 -105 U=29

293 0 -106 U=29

294 0 103 105 106 U=29

اکنون کافی است تا مکعب اصلی را شبکه‌بندی کرده و با توجه به شکل، عناصر

شبکه را با u های مناسب پر کنیم:

300 0 101

301 0 -101 FILL=1

302 0 -102 U=1 LAT=1 FILL=-2:1 -2:1 0:0

23 28 28 24

29 21 21 27

29 21 21 27

22 26 26 25

تعریف هندسه ۷۵

22	26	26	25
29	21	21	27
29	21	21	27
23	28	28	24

مثال ۳-۳۰) می‌خواهیم مثال قبلی را با استفاده از ۳ واحد u مختلف تعریف کنیم. همانطور که ملاحظه می‌شود، عناصر $u=22$ تا $u=25$ (همچنین $u=26$ تا $u=29$) شبیه هم هستند و تنها تفاوت آنها این است که نسبت به هم دوران یافته‌اند.

این امکان در کد وجود دارد که از دوران یافته یک u استفاده کنیم. برای این کار از TRn یا $*TRn$ استفاده می‌کنیم.

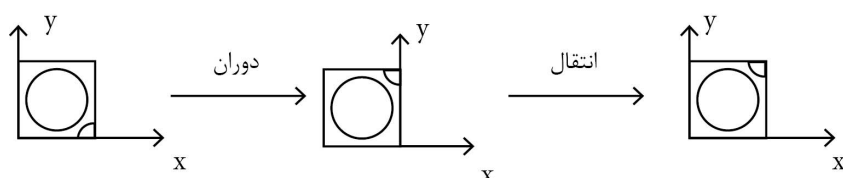
فرض کنید که $u=21$ و $u=22$ و $u=26$ را تعریف کرده‌ایم. در هنگام پر کردن عناصر شبکه به صورت زیر عمل می‌کنیم:

```
302 0 -102 u=1 lat=1 fill=-2:1 -2:1 0:0
22(1) 26(2) 26(2) 22(2)
26(1) 21 21 26(3)
26(1) 21 21 26(3)
22 26 26 22(3)
```

اعداد داخل پرانتز به کارت TRn یا $*TRn$ اشاره دارند.

```
*TR1 5 0 0 90 0 90 180 90 90 90 90 0
*TR2 5 5 0 180 90 90 270 180 90 90 90 0
*TR3 0 5 0 270 180 90 0 270 90 90 90 0
```

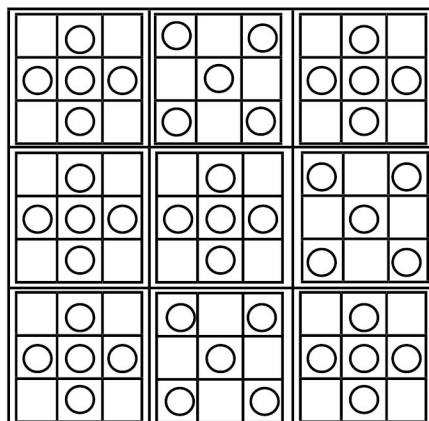
باید دقت داشت که دوران نسبت به مبداء سلول اصلی صورت می‌گیرد لذا پس از دوران عنصر u مرکز آن عنصر جابه‌جا می‌شود و لازم است که با تعریف بردار جابه‌جایی، u مورد نظر را به داخل سلول lat برگردانیم:



آموزش کد MCNPX ۷۶

مثال ۳-۳۱) شکل زیر را در نظر بگیرید که با دو نوع بلوک مختلف پر شده است.

استوانه‌ها کاملاً یکسان هستند ($R=2\text{ cm}$ و $L=10\text{ cm}$)



ابتدا سطوح مورد نیاز را می‌نویسیم:

۱- سطح مکعب اصلی: ۱۰۱

۲- سطح شبکه‌بندی مکعب اصلی: ۱۰۲

۳- سطح بلوک کوچکتر: ۱۰۳

۴- سطح شبکه‌بندی بلوک کوچکتر: ۱۰۴

۵- سطح استوانه: ۱۰۵

```
101 RPP -30 30 -30 30 -5 5
102 RPP -10 10 -10 10 -5 5
103 RPP -9 9 -9 9 -5 5
104 RPP -3 3 -3 3 -5 5
105 RCC 0 0 -5 0 0 10 2
```

عناصر شبکه اصلی با دو نوع u پر شده‌اند.

درون مکعب اصلی را با $u=1$ شبکه‌بندی می‌کنیم:

```
1 0 -101 fill=1
2 0 101
3 0 -102 u=1 lat=1 fill= -1:1 -1:1 0:0
    21 22 21
    21 21 22
    21 22 21
```

تعریف هندسه ۷۷

21	22	21
21	21	22
21	22	21

$u=21$ و $u=22$ خود با $lat=1$ شبکه‌بندی شده‌اند و برخی عناصر شبکه آنها با $u=40$

پر شده است:

60 0 -105 $u=40$
70 0 105 $u=40$

برای $u=21$ داریم:

31 0 -103 fill=31 $u=21$
41 0 103 $u=21$
51 0 -104 $u=31$ lat=1 fill=-1:1 -1:1 0:0
0 40 0
40 40 40
0 40 0

	○	
○	+	○
	○	

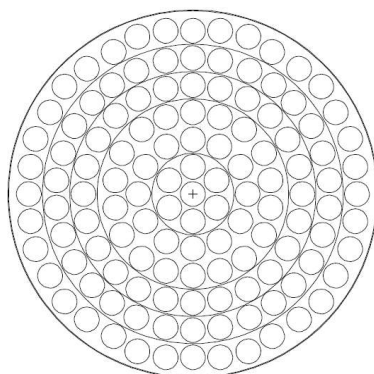
و برای $u=22$ داریم:

32 0 -103 $u=22$ fill=32
42 0 103 $u=22$
52 0 -104 $u=32$ lat=1 fill=-1:1 -1:1 0:0
40 0 40
0 40 0
40 0 40

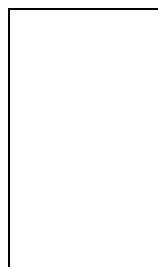
○		○
	+	
○		○

۷-۳ سطوح و سلول‌های کمکی در هندسه

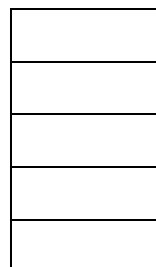
در برخی موارد هندسه مسئله به گونه‌ای است که نمی‌توان آن را دقیقاً به همان صورتی که دیده می‌شود شبیه‌سازی کرد. به عنوان مثال، شکل زیر را در نظر بگیرید. برای تعریف چنین مسئله‌ای به جای اینکه فضای بین میله‌ها را به عنوان یک سلول تعریف کنیم، بهتر است آن را مطابق شکل با چند سلول کمکی تعریف نماییم. این کار باعث می‌شود تا نظم و دقت بیشتری در تعریف هندسه لحاظ شود.



گاهی اوقات نیز برای اینکه مقدار یک تالی را در ناحیه‌ای محاسبه کنیم، مجبور می‌شویم تعدادی سلول کمکی تعریف کنیم. به عنوان مثال اگر بخواهیم تغییرات شار نوترون را در راستای محوری یک میله سوخت محاسبه کنیم باید آن یک میله را از نظر ارتفاع به چند سلول کوچک تقسیم کنیم و سپس تالی مورد نظر را در هر یک از آن سلول‌ها محاسبه نماییم.



هندسه واقعی



هندسه با سطوح کمکی

۳-۸ نکات پایانی در تعریف هندسه

نکته (۱): اگر هندسه درست تعریف شده باشد، تمام خطوط مرزی سلول‌ها (سطوح) به صورت خطوط سفید نمایش داده می‌شود، اما در صورتی که ناحیه‌ای درست تعریف نشده باشد، سطوح مرزی آن به رنگ قرمز و به صورت خطوط نقطه‌چین نشان داده خواهد شد، لذا لازم است تا هندسه را از نقاط و زوایای مختلف مشاهده و بررسی

تعریف هندسه ۷۹

نماییم. برای این کار بهتر است سلول‌ها خالی از ماده باشند تا خطوط مرزی به وضوح دیده شوند. در صورتی که مواد را درون سلول‌ها تعریف کرده‌ایم، می‌توانیم با درج دستور void، در بخش داده‌ها تمام سلول‌ها را خالی کنیم (بخش ۷-۲-۳ را ببینید).

نکته (۲): خطاهای هندسی تنها در هنگام اجرای کد توسط کد تشخیص داده می‌شود. به این ترتیب که اگر سلول یا سلول‌هایی درست تعریف نشده باشند، ذرات در آن نواحی گم می‌شوند و اگر تعداد ۱۰ ذره توسط کد گم شوند، برنامه با نمایش پیغام زیر متوقف می‌شود:

```
geometry error in newcel
run terminated because 10 particles got lost.
```

خوشبختانه در فایل خروجی اطلاعات مفیدی در مورد ۱۰ ذره گم شده وجود دارد که به کمک آنها می‌توان خطای هندسی را برطرف کرد. همانطور که در شکل زیر مشاهده می‌شود، مختصات نقطه‌ای که ذره در آنجا گم شده است در فایل خروجی وجود دارد. می‌توان با انتقال مبدا مختصات به مکان گم شدن ذره (با دستور 0r یا origin) محلی را که ذره گم شده است را نمایش داد، همچنین در فایل خروجی جهت و مسیری که ذره درست قبل از گم شدن در آن حرکت می‌کرده است به صورت کسینوس‌های هادی آن وجود دارد. می‌توان با دستور زیر هندسه را از جهتی مشاهده کنیم که ذره در آن جهت گم شده است:

```
Basis u v w 0 1 0
```

که u، v و w کسینوس‌های هادی می‌باشند. به این ترتیب با مشاهده هندسه مسئله از دید ذره گم شده، می‌توان امیدوار بود تا خطای هندسی را مرتفع نمود.

```
lost particle no.1 no cell found in subroutine newcel history no. 5
```

```
the neutron currently being tracked has reached surface 3402; there
appears to be no cell on the other side of the surface from cell
5013 at that point.
```

```
the neutron is in cell 5013.
```

x,y,z coordinates:	-4.63270E+02	-5.18933E+02	-8.00000E+01
u,v,w direction cosines:	-2.58864E-01	-9.22228E-01	2.87203E-01

آموزش کد MCNPX ۸۰

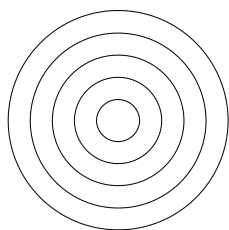
نکته (۳): تمام سطوح تکراری توسط کد حذف می‌شوند. شماره سطوحی که حذف می‌شوند به صورت یک پیام هشدار می‌مانند زیر، نمایش داده می‌شوند:

Surface 11 and surface 21 are the same. 21 will be deleted.

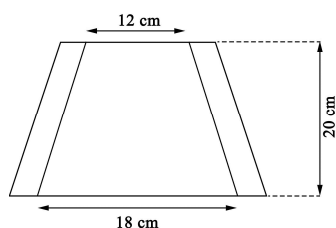
بدیهی است که نمی‌توان از سطوحی که حذف شده‌اند برای گرفتن خروجی استفاده کرد. این حالت به خصوص هنگام کار با سطوح ماکروبادی بسیار رخ می‌دهد.

۹-۳ تمرین

- ۱- یک هندسه شامل پنج کره تو در تو به شعاع‌های ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ سانتیمتر را تعریف نمایید.

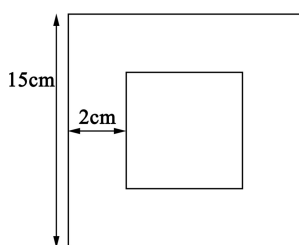


- ۲- یک مخروط ناقص به ارتفاع ۲۰ cm و شعاع‌های ۶ cm و ۹ cm که سطح جانبی آن دارای ضخامت ۱ cm است، تعریف کنید.

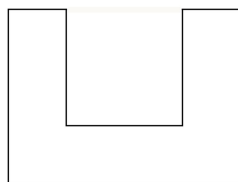


- ۳- مخروطی با زاویه راس ۴۵ و ۳۰ درجه که توسط کره‌ای به شعاع ۱۰ cm احاطه شده است تعریف نمایید.

- ۴- یک جعبه به طول ۱۵ cm با ضخامت دیواره ۲ cm تعریف کنید. مسئله را برای یک جعبه سر باز تکرار کنید. سعی کنید مسئله را بدون استفاده از سطوح ماکروبادی نیز تعریف کنید.



جعبه بسته

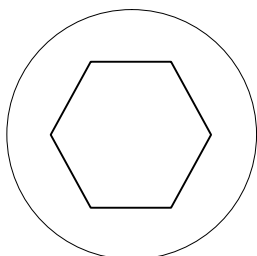


جعبه باز

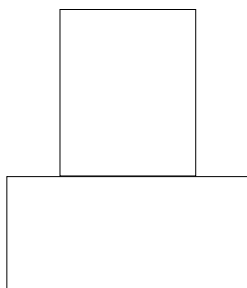
آموزش کد MCNPX ۸۲

۵- یک جعبه به طول ۲۵ cm با ضخامت دیواره‌های ۱ cm که روی یک جعبه به طول ۱۵ cm و ضخامت دیواره ۲ cm قرار دارد را بدون استفاده از سطوح ماکروبادی تعریف کنید.

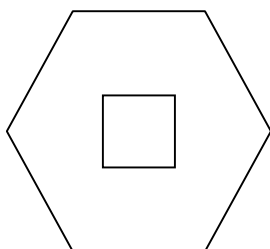
۶- یک هشت وجهی به ارتفاع ۶۰ cm که قاعده آن شش ضلعی منتظم به طول ۱۰ cm است تعریف کنید که داخل یک استوانه به شعاع ۲۵ cm هم محور و هم ارتفاع با آن قرار دارد.



۷- استوانه‌ای به شعاع ۵ cm و ارتفاع ۱۰ cm که به صورت هم محور، روی استوانه‌ای به شعاع ۸ cm و ارتفاع ۵ cm قرار دارد تعریف نمایید.

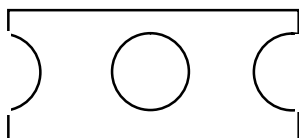


۸- یک هشت وجهی که قاعده آن شش ضلعی منتظم به طول ۱۰ cm و ارتفاع ۲۰ cm می باشد و در وسط آن مکعبی به ابعاد ۵ cm واقع است را تعریف نمایید.

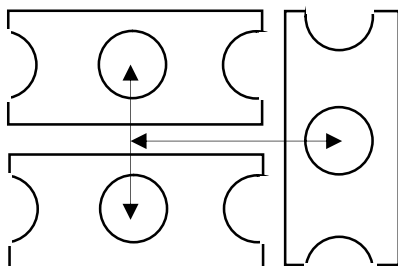


تعریف هندسه ۸۳

۹- شکل زیر مقطع بلوکی را نشان می‌دهد که یک استوانه به ارتفاع ۱۵ cm از مرکز و دو نیم استوانه از دو طرفش، برداشته شده است. شعاع استوانه‌ها ۲ cm و ابعاد بلوک $3 \times 10 \times 15$ سانتی‌متر می‌باشد. ورودی این هندسه را بنویسید.



۱۰- با توجه به مسئله قبل و استفاده از کارت like n But، هندسه زیر را تعریف کنید. جابجایی افقی برابر ۱۲ cm و جابجایی عمودی برابر ۸ cm است.



۱۱- مثال (۳-۲۸) را در نظر بگیرید:

الف) تمام عناصر شبکه را با $u=3$ پر کنید؛

ب) تمام عناصر شبکه را با $u=4$ پر کنید؛

ج) تمام عناصر شبکه را به صورت یکی در میان با $u=3$ و $u=4$ پر کنید؛

د) عناصر شبکه واقع در سطر مرکزی را با $u=4$ پر کنید؛

ه) عناصر شبکه واقع در ستون مرکزی را با $u=3$ پر کنید؛

و) بندهای (د) و (ه) را تلفیق کنید.

۴ تعریف ماده

هر ماده‌ای که سلولی را پر کرده است و یا برای محاسبات تالی استفاده می‌شود، باید در قسمت کارت داده‌ها تعریف شود. هر ماده در قسمت داده‌ها به صورت Mn شماره گذاری می‌شود که n یک عدد درست و حداکثر پنج رقمی است که ماده مورد نظر به کمک این عدد شناسایی و فراخوانی می‌شود. برای تعریف هر ماده باید چگالی و درصد وزنی یا اتمی عناصر تشکیل دهنده آن معلوم باشد. از آنجا که این اطلاعات تاثیر بسزایی در نتیجه محاسبات دارد، لذا مهم است که از مرجع مناسبی استفاده نماییم. مشخصات برخی مواد پر کاربرد شامل درصد وزنی و اتمی عناصر تشکیل دهنده و نیز چگالی اتمی و وزنی آنها در مرجع [۲] آمده است. این مرجع را می‌توانید از وبسایت mcnp.ir دریافت نمایید.

۴-۱ تعریف یک ماده معمولی

یک ماده ممکن است ترکیبی از چند ایزوتوپ و یا به صورت یک ایزوتوپ خالص باشد. یک ایزوتوپ A_ZX به صورت یک عدد درست، که آن را ZAID آن ایزوتوپ می‌نامیم، به شکل زیر تعریف می‌شود:

آموزش کد MCNPX ۸۶

$$\frac{A}{Z}X : 1000 \times Z + A$$

به عنوان مثال:

$${}^1_1\text{H} : 1001$$

$${}^6_3\text{Li} : 3006$$

$${}^{27}_{13}\text{Al} : 13027$$

$${}^{238}_{92}\text{U} : 92238$$

۱. برای تعریف یک ماده باید ایزوتوپ‌های تشکیل دهنده آن و درصد وزنی یا اتمی آنها در ماده مورد نظر را مشخص کنیم. یک ماده به طور کلی به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\text{Mn ZAID}_1 f_1 \text{ ZAID}_2 f_2 \dots$$

که در آن f_i درصد وزنی یا اتمی آن ایزوتوپ است. درصد وزنی را با علامت منفی و درصد اتمی را با علامت مثبت (یا بدون علامت) درج می‌کنیم.

۲. اگر شکل مولکولی ماده معلوم باشد، استفاده از درصد اتمی راحت‌تر است. باید مشخص کنیم که تعداد نسبی هر نوع اتم در یک مولکول چقدر است. مثلاً مولکول آب دارای سه اتم است که دوسوم اتم‌هایش هیدروژن و یک سوم اتم‌هایش اکسیژن است، لذا درصد اتمی اکسیژن و هیدروژن به راحتی محاسبه می‌شود:

$$\text{M36 1001 0.3333 8016 0.6667}$$

۳. برای یک ماده تک ایزوتوپی خالص درصد اتمی (یا وزنی) برابر یک است.

$$\text{M8 13027 1}$$

تعریف ماده ۸۷

۴. برای تعریف یک عنصر به صورت طبیعی (شامل ایزوتوپ‌های مختلف) آن را به صورت $1000 \times A$ تعریف می‌کنیم. در صورتی که این حالت در فایل XSDIR تعریف نشده باشد (بخش ۴-۶ را ببینید)، باید تک تک ایزوتوپ‌های تشکیل دهنده آن ماده طبیعی را به همراه درصد وزنی یا اتمی آنها تعریف کنیم.
۵. رادیوایزوتوپ‌های نیمه پایدار^۱ به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$\frac{A_m}{Z} X : 1000 \times Z + (A + 300) + 100 \times m$$

که m شماره تراز نیمه پایدار می‌باشد (m=۱,۲,۳,۴). به عنوان مثال:

$$\frac{110m}{47} Ag : 1000 \times 47 + (110 + 300) + 100 \times 1 = 47510$$

۴-۲ تعریف آلیاژ

اگر ماده مورد نظر ترکیبی از چند ماده و سهم هریک از مواد در آلیاژ معلوم باشد، آنگاه با کمی محاسبه می‌توان درصد اتمی یا وزنی ایزوتوپ‌های موجود در آلیاژ را بدست آورد.

مثال ۴-۱) ماده فلوئنتال^۲ آلیاژی از AlF_3 ، Al و LiF با چگالی $2/9 \text{ g/cm}^3$ می‌باشد که برای طراحی باریکه نوترون در تحقیقات نوترون درمانی ابداع و استفاده شده است. با توجه به درصد‌های وزنی مواد داده شده، درصد وزنی Al ، Li و F را بدست آورید.

ماده	AlF_3	Al	LiF
درصد وزنی	۶۹	۳۰	۱

برای محاسبه درصد وزنی عناصر داریم:

^۱ Metastable

^۲ Fludental

آموزش کد MCNPX ۸۸

$$M(\text{Al}) = 27 \quad M(\text{AlF}_3) = 84$$

$$M(\text{Li}) = 7 \quad M(\text{Al}) = 27$$

$$M(\text{F}) = 19 \quad M(\text{LiF}) = 26$$

$$wf(\text{Al}) = 0.69 \left(\frac{M(\text{Al})}{M(\text{AlF}_3)} \right) + 0.3 \left(\frac{M(\text{Al})}{M(\text{Al})} \right) = 0.521786$$

$$wf(\text{F}) = 0.69 \left(\frac{3M(\text{F})}{M(\text{AlF}_3)} \right) + 0.01 \left(\frac{M(\text{F})}{M(\text{LiF})} \right) = 0.475522$$

$$wf(\text{Li}) = 0.01 \left(\frac{M(\text{Li})}{M(\text{LiF})} \right) = 0.002699$$

چگالی یک آلیاژ را می‌توان از رابطه زیر بدست آورد:

$$\frac{1}{\rho} = \sum \frac{wf_i}{\rho_i}$$

که wf_i و ρ_i چگالی جرمی و درصد وزنی ماده نام در آن آلیاژ می‌باشد.

۳-۴ تعریف محلول

تعریف یک محلول که درصد وزنی اجزای آن مشخص باشد، ساده است. به مثال زیر

توجه کنید.

مثال ۴-۲) درصد وزنی تک تک عناصر تشکیل دهنده یک محلول از آب شامل

1 ppm^1 ۸ بور-۱۰ را محاسبه کنید. بر اساس تعریف ppm داریم:

$$wf(^{10}\text{B}) = \frac{M(^{10}\text{B})}{M(^{10}\text{B}) + M(\text{H}_2\text{O})} = 8 \times 10^{-6}$$

$$wf(\text{H}_2\text{O}) = \frac{M(\text{H}_2\text{O})}{M(^{10}\text{B}) + M(\text{H}_2\text{O})} = 1 - (8 \times 10^{-6}) = 0.999992$$

$$wf(\text{H}) = \frac{2M(\text{H})}{M(\text{H}_2\text{O})} \times 0.999992 = 0.111110$$

$$wf(\text{O}) = \frac{M(\text{O})}{M(\text{H}_2\text{O})} \times 0.999992 = 0.888882$$

¹ Part Per Million

۴-۴ در نظر گرفتن درصد غنا در یک ماده

منظور از غنای یک ایزوتوپ خاص در یک ماده، نسبت جرم آن ایزوتوپ به جرم عنصر مورد نظر است:

$$\omega_i = \frac{\text{جرم ایزوتوپ } i}{\text{جرم کل عنصر}} = \frac{M_i}{M_{\text{elm}}}$$

در این حالت می‌توان نشان داد که جرم اتمی عنصر برابر است با:

$$\frac{1}{M_{\text{elm}}} = \sum \frac{\omega_i}{M_i}$$

زیرا:

$$n_{\text{elm}} = \sum n_i \Rightarrow \rho_{\text{elm}} \frac{N_{\text{av}}}{M_{\text{elm}}} = \sum \omega_i \frac{\rho_{\text{elm}} N_{\text{av}}}{M_i} \Rightarrow \frac{1}{M_{\text{elm}}} = \sum \frac{\omega_i}{M_i}$$

که N_{av} عدد آووگادرو می‌باشد.

از روابط زیر می‌توان برای تبدیل درصد وزنی به اتمی و برعکس، استفاده کرد:

$$af_i = \omega_i \frac{M_{\text{elm}}}{M_i}$$

$$wf_i = af_i \frac{M_i}{M_{\text{elm}}}$$

اگر ماده‌ای دارای شکل مولکولی $X_a Y_b$ باشد که در آن ماده X شامل دو ایزوتوپ مختلف با غنای معلوم باشد با کمی محاسبه می‌توان درصد وزنی ایزوتوپ‌ها را بدست آورد.

مثال ۴-۳) ترکیب UO_2 با غنای ۲۰ درصد را در نظر بگیرید. می‌خواهیم درصد وزنی ^{235}U و ^{238}U را محاسبه کنیم:

$$wf_{235} = 0.2 \times \frac{M_{\text{U}}}{M_{\text{UO}_2}}$$

$$wf_{238} = 0.8 \times \frac{M_{\text{U}}}{M_{\text{UO}_2}}$$

$$wf_{\text{O}} = \frac{2M_{\text{O}}}{M_{\text{UO}_2}}$$

۹۰ آموزش کد MCNPX

$$\frac{1}{M_U} = \frac{0.2}{235.04} + \frac{0.8}{238.05} \Rightarrow M_U = 237.44$$

$$M_{UO_2} = M_U + 2M_O = 237.44 + 2(16) = 269.44$$

به این ترتیب داریم:

$$wf_{235} = 0.2 \times \frac{237.44}{269.44} = 0.176$$

$$wf_{238} = 0.8 \times \frac{237.44}{269.44} = 0.705$$

$$wf_O = \frac{32}{269.44} = 0.119$$

۴-۵ تبدیل درصدهای وزنی و اتمی به یکدیگر

۴-۵-۱ تبدیل درصد وزنی به اتمی

برای هر ایزوتوپ، درصد وزنی آن را بر جرم آن تقسیم می‌کنیم و آنرا P_i می‌نامیم. همه P_i ها را با یکدیگر جمع می‌کنیم و حاصل را $P(\text{total})$ می‌نامیم. درصد اتمی ایزوتوپ i برابر خواهد بود با: $af_i = \frac{P_i}{P(\text{total})}$. مثلاً برای آب داریم:

$$wf_H = \frac{2}{16} = 0.11111 \quad \text{و} \quad wf_O = \frac{16}{18} = 0.88889$$

$$P_H = \frac{wf_H}{M_H} = \frac{0.11111}{1} = 0.11111 \quad \text{و} \quad P_O = \frac{wf_O}{M_O} = \frac{0.88889}{16} = 0.05555$$

$$P(\text{total}) = P_H + P_O = 0.166667$$

$$af_H = \frac{P_H}{P(\text{total})} = \frac{0.11111}{0.166667} = 0.666667$$

$$af_O = \frac{P_O}{P(\text{total})} = \frac{0.02226}{0.166667} = 0.333333$$

۴-۵-۲ تبدیل درصد اتمی به وزنی

برای هر ایزوتوپ درصد اتمی را در جرم اتمی آن ضرب می‌کنیم و آن را P_i می‌نامیم. همه P_i ها را باهم جمع کرده و حاصل را $P(\text{total})$ می‌نامیم. درصد وزنی ایزوتوپ i برابر خواهد بود. $wf_i = \frac{P_i}{P(\text{total})}$. به عنوان مثال برای آب داریم:

تعریف ماده ۹۱

$$af_H = \frac{2}{3} \Rightarrow P_H = \frac{2}{3} \times 1 = \frac{2}{3} \quad \text{و} \quad af_O = \frac{1}{3} \Rightarrow P_O = \frac{1}{3} \times 16 = \frac{16}{3}$$

$$P(\text{total}) = P_H + P_O = \frac{18}{3} = 6$$

$$wf_H = \frac{P_H}{P(\text{total})} = \frac{\frac{2}{3}}{6} = \frac{2}{18} = 0.1111 \quad \text{و} \quad wf_O = \frac{P_O}{P(\text{total})} = \frac{\frac{16}{3}}{6} = \frac{16}{18} = 0.8889$$

۴-۶ مشخص کردن نوع سطح مقطع و کد شناسایی آن

سطح مقطع واکنش‌های مختلف بر اساس نتایج آزمایشگاهی و همچنین محاسبات نظری توسط مراکز و موسسات پژوهشی مختلف تولید و جمع‌آوری شده‌اند که نسخه‌های رایانه‌ای آنها در انواع کدهای محاسباتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. نتایج محاسبات به نوع سطح مقطع‌های مورد استفاده بستگی دارد و اینکه این اطلاعات توسط کدام مرکز تولید و در کدام پایگاه داده قرار دارد. به طور کلی ده نوع سطح مقطع در کد تعریف شده است:

- ۱- پیوسته (C)
- ۲- گسسته (D)
- ۳- حرارتی $S(\alpha, \beta)$ (T)
- ۴- دزیمتری (Y)
- ۵- فوتون (P)
- ۶- الکترون (E)
- ۷- چند گروهی نوترون (M)
- ۸- چند گروهی فوتون (G)
- ۹- فوتونوترون (U)
- ۱۰- پروتون (H)

منظور از کد شناسایی این است که کتابخانه سطح مقطع‌های تولید شده از کدام پایگاه داده است؟ برای مشخص کردن این پارامترها برای هر ایزوتوپ در هر ماده، از تعریف زیر استفاده می‌کنیم:

آموزش کد MCNPX ۹۲

ZAID.nnX

که X نوع سطح مقطع و nn کد شناسایی پایگاه داده می باشد، مثلاً:

1001.60C

که عدد ۶۰ کد شناسایی و C سطح مقطع پیوسته آن می باشد. همچنین می توان از کارت های Nlib=nnx برای نوترون، Plib=nnx برای فوتون، Elib=nnx برای الکترون، Hlib=nnx برای پروتون و Pnlib=nnx برای اندرکنش های فوتو هسته ای^۱ در تعریف ماده استفاده کرد که در این صورت برای تمام ایزوتوپ های تعریف شده در آن ماده، یک نوع سطح مقطع استفاده می شود، مثلاً:

M1 1001 0.3333 8016 0.6667 nlib=60C

اگر نوع و کد شناسایی سطح مقطع را مشخص نکنیم، کد با توجه به کارت Mode برنامه، از مقادیر پیش فرض برای nnX استفاده می کند. مقدار پیش فرض، اولین حالتی است که در فایل xsdir تعریف شده است.

فایل xsdir یک رابط بین کد و کتابخانه سطح مقطع ها می باشد. در ابتدای این فایل جرم اتمی ایزوتوپ های مختلف و در ادامه سطح مقطع های قابل تعریف و موجود در کتابخانه کد (قابل تعریف توسط کاربر) آمده است.

به عنوان مثال برای ایزوتوپ ۱۰۰۱ (هیدروژن) سطح مقطع های زیر در این فایل به

ترتیب زیر وجود دارد:

```
1001.60c 0.999170 endf602 0 2 1 3484 1024 512 2.5300E-08
1001.50c 0.999170 rmccs2 0 2 1 2766 1024 512 2.5300E-08
1001.42c 0.999167 endl922 0 2 1 1968 1024 512 2.5860E-08
1001.35c 0.999167 endl852 0 2 1 3506 1024 512 0.0000E+00
1001.53c 0.999170 endf5mt2 0 2 1 4001 1024 512 5.0600E-08
1001.50d 0.999170 drmccs2 0 2 1 3175 1024 512 2.5300E-08
```

در این مثال در صورتی که nnX را برای این ایزوتوپ مشخص نکنیم، مقدار 60C که بالاتر از همه قرار دارد در نظر گرفته می شود.

^۱ Photonuclear

۷-۴ اثر شبکه و کارت MTn

نوترون‌های کم انرژی می‌توانند با مولکول مواد (مثلاً مولکول آب) برهمکنش داشته باشند و انرژی خود را به طور کامل به آن مولکول منتقل کنند. برای لحاظ کردن این اثر که اثر مولکول یا شبکه نامیده می‌شود، از کارت MTn استفاده می‌کنیم که آن را مدل $S(\alpha, \beta)$ می‌نامند. n شماره ماده مورد نظر در کارت Mn است. این کارت در بخش داده‌ها نوشته می‌شود. مثلاً برای آب سبک داریم:

M1 1001 0.3333 8016 0.6667

Mt1 lwtr.01t

کارت MTn برای برخی مواد قابل تعریف است که در جدول ۴-۱ آمده است. در این جدول علاوه بر پارامتر ورودی کارت MTn، نام فایل کتابخانه‌ای مربوطه نیز آمده است. باید توجه داشت که این فایل‌ها باید در شاخه اصلی کد وجود داشته باشند. جهت کسب اطلاعات بیشتر پیوست G مرجع [۳] را ببینید.

جدول ۴-۱ پارامتر MTn برای مواد تعریف شده و نام فایل کتابخانه مربوطه

نام ماده (Zaid مربوطه)	پارامتر MTn	نام فایل کتابخانه	دما (K)
Beryllium Metal (4009)	be.01t	tmccs	300
	be.04t	tmccs	600
	be.05t	tmccs	800
	be.06t	tmccs	1200
	be.60t	sab2002	294
	be.61t	sab2002	400
	be.62t	sab2002	600
	be.63t	sab2002	800
	be.64t	sab2002	1000
	be.65t	sab2002	1200
Benzene (1001,6000,6012)	be.69t	sab2002	77
	benz.01t	tmccs	300
	benz.02t	tmccs	400
	benz.03t	tmccs	500
	benz.04t	tmccs	600
	benz.05t	tmccs	800
	benz.60t	sab2002	294
	benz.61t	sab2002	400
	benz.62t	sab2002	600
	benz.63t	sab2002	800

آموزش کد MCNPX ۹۴

ادامه ۴-۱ پارامتر MTn برای مواد تعریف شده و نام فایل کتابخانه مربوطه

نام ماده (ZAIID مربوطه)	پارامتر MTn	نام فایل کتابخانه	دما (K)
Beryllium Oxide (4009,8016)	beo.01t	tmccs	300
	beo.04t	tmccs	600
	beo.05t	tmccs	800
	beo.06t	tmccs	1200
	beo.60t	sab2002	294
	beo.61t	sab2002	400
	beo.62t	sab2002	600
	beo.63t	sab2002	800
	beo.64t	sab2002	1000
	beo.65t	sab2002	1200
Ortho Deuterium (1002)	dortho.01t	therxs	20
	dortho.60t	sab2002	19
Para Deuterium (1002)	dpara.01t	therxs	20
	dpara.60t	sab2002	19
Graphite (6000,6012)	grph.01t	tmccs	300
	grph.04t	tmccs	600
	grph.05t	tmccs	800
	grph.06t	tmccs	1200
	grph.07t	tmccs	1600
	grph.08t	tmccs	2000
	grph.60t	sab2002	294
	grph.61t	sab2002	400
	grph.62t	sab2002	600
	grph.63t	sab2002	800
	grph.64t	sab2002	1000
	grph.65t	sab2002	1200
Hydrogen in Zirconium Hydride (1001)	h/zr.01t	tmccs	300
	h/zr.02t	tmccs	400
	h/zr.04t	tmccs	600
	h/zr.05t	tmccs	800
	h/zr.06t	tmccs	1200
	h/zr.60t	sab2002	294
	h/zr.61t	sab2002	400
	h/zr.62t	sab2002	600
	h/zr.63t	sab2002	800
	h/zr.64t	sab2002	1000
	h/zr.65t	sab2002	1200

تعریف ماده ۹۵

ادامه جدول ۴-۱ پارامتر MTn برای مواد تعریف شده و نام فایل کتابخانه مربوطه

نام ماده (ZAIID مربوطه)	پارامتر MTn	نام فایل کتابخانه	دما (K)
Ortho Hydrogen (1001)	hortho.01t	therxs	20
	hortho.60t	sab2002	19
	hortho.61t	sab2002	20
	hortho.62t	sab2002	21
	hortho.63t	sab2002	22
	hortho.64t	sab2002	23
	hortho.65t	sab2002	24
	hortho.66t	sab2002	25
Para Hydrogen (1001)	hpara.01t	therxs	20
	hpara.60t	sab2002	19
	hpara.61t	sab2002	20
	hpara.62t	sab2002	21
	hpara.63t	sab2002	22
	hpara.64t	sab2002	23
	hpara.65t	sab2002	24
	hpara.66t	sab2002	25
Deuterium in Heavy Water (1002)	hwtr.01t	tmccs	300
	hwtr.02t	tmccs	400
	hwtr.03t	tmccs	500
	hwtr.04t	tmccs	600
	hwtr.05t	tmccs	800
	hwtr.60t	sab2002	294
	hwtr.61t	sab2002	400
	hwtr.62t	sab2002	600
	hwtr.63t	sab2002	800
	hwtr.64t	sab2002	1000
Hydrogen in Liquid Methane (1001)	lmeth.01t	therxs	100
	lmeth.60t	sab2002	100
Hydrogen in Light Water (1001)	lwtr.01t	tmccs	300
	lwtr.02t	tmccs	400
	lwtr.03t	tmccs	500
	lwtr.04t	tmccs	600
	lwtr.05t	tmccs	800
	lwtr.60t	sab2002	294
	lwtr.61t	sab2002	400
	lwtr.62t	sab2002	500
	lwtr.63t	sab2002	800
	lwtr.64t	sab2002	1000

آموزش کد MCNPX ۹۶

ادامه جدول ۴-۱ پارامتر MTn برای مواد تعریف شده و نام فایل کتابخانه مربوطه

نام ماده (ZAID مربوطه)	پارامتر MTn	نام فایل کتابخانه	دما (K)
Hydrogen in Polyethylene (1001)	poly.01t	tmccs	300
	poly.60t	sab2002	294
Hydrogen in Solid Methane (1001)	smeth.01t	therxs	22
	smeth.60t	sab2002	22
Zirconium in Zirconium Hydride (40000, 40090, 40091, 40092, 40094, 40096)	zr/h.01t	tmccs	300
	zr/h.02t	tmccs	400
	zr/h.04t	tmccs	600
	zr/h.05t	tmccs	800
	zr/h.06t	tmccs	1200
	zr/h.60t	sab2002	294
	zr/h.61t	sab2002	400
	zr/h.62t	sab2002	600
	zr/h.63t	sab2002	800
	zr/h.64t	sab2002	1000
	zr/h.65t	sab2002	1200

۴-۸ کارت MXn

اصولاً سطح مقطع‌ها به صورت تجربی تهیه شده‌اند. گاهی وقت‌ها لازم است برای شرایط خاصی، که سطح مقطع‌های تجربی وجود ندارد، از مدل فیزیکی برای تعریف سطح مقطع‌ها (مخصوصاً در انرژی‌های بالا) استفاده نمود و یا به صورت همزمان هم از مدل فیزیکی و هم مدل تجربی استفاده کرد (Mix and Match). برای این حالات از کارت MXn به صورت زیر، استفاده می‌شود:

$Mxn:pl \ ZAID_1 \ ZAID_2 \dots$

که n شماره ماده در کارت Mn و pl نوع ذره می‌باشد. $ZAID_i$ جایگزین سطح مقطع ایزوتوپ iام در کارت Mn با مدل فیزیکی و یا تجربی ایزوتوپ دیگر است. به عنوان مثال، سطح مقطع برای اکسیژن ^{16}O تا انرژی ۱۵۰ MeV به صورت داده کتابخانه‌ای موجود است، ولی داده‌های تجربی برای اورانیوم تا انرژی ۲۰ MeV وجود

تعریف ماده ۹۷

دارد. بنابراین برای تعریف UO_2 با توجه به متفاوت بودن داده‌های کتابخانه‌ای، از دستور MXn به صورت زیر استفاده می‌شود:

```
M1 8016 2 92238 1
Mx1:n j model
```

در اینجا برای اکسیژن از داده‌های تجربی و برای اورانیوم از مدل فیزیکی استفاده می‌شود.

به عنوان مثال دیگر داریم:

```
M1 1002 1 1003 1 6012 1 20040 1 nlib=24c
Mx1:n j model 6000 20000
Mx1:h model 3j
MX1:P 6012 0 j j
```

در این مثال، مدل‌های فیزیکی برای ذرات نوترون و پروتون به ترتیب روی مواد تریتون و دوترون در نظر گرفته شده است. همچنین از کتابخانه داده‌های طبیعی برای اندرکنش نوترون با کلسیم و کربن استفاده شده است. برای واکنش‌های فوتو هسته‌ای ایزوتوپ ^{12}C به جای دوترون در نظر گرفته شده است. علاوه بر این، در این مثال سطح مقطع اندرکنش با تریتون برای این اندرکنش صفر قرار داده شده است.

۹-۴ اضافه کردن سطح مقطع به کتابخانه کد

در برخی موارد نیاز است که یک کتابخانه جدید را به کتابخانه سطح مقطع‌های کد اضافه کنیم. تولید سطح مقطع جدید معمولاً توسط کدهای خاصی مانند کد NJOY و یا کد MAKXSف صورت می‌گیرد که آموزش آنها خارج از موضوع این کتاب است. برخی از سطح مقطع‌ها را می‌توان در سایت‌هایی نظیر سایت آرژانس بین‌المللی انرژی اتمی^۱ یافت. در این سایت برخی سطح مقطع‌ها با فرمت‌های مختلف از جمله فرمت ACE که قابل استفاده در کد MCNP است، وجود دارد که می‌توان آنها را دریافت نمود. درون پوشه‌ای که از این سایت دریافت می‌کنید سه فایل وجود دارد، یکی با پسوند

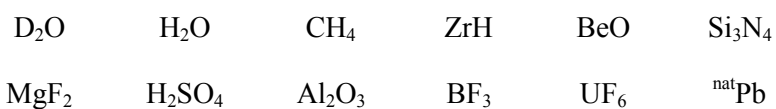
^۱ www-nds.iaea.org/ads/adsace.html

آموزش کد MCNPX ۹۸

ACE، یکی با پسوند XSD و دیگری با پسوند TXT. فایل ACE را به پوشه محتوی کتابخانه‌های کد، درون رایانه خود منتقل کنید و محتویات فایل XSD را به انتهای فایل XSDIR موجود در شاخه اصلی کد اضافه نمایید. اکنون جهت استفاده از این کتابخانه جدید کافی است ایزوتوپ مورد نظر را با فرمتی که در فایل XSD تعریف شده است، در قسمت مواد، در فایل ورودی تعریف کنیم.

۴-۱۰ تمرین

۱- مواد زیر را برای یک مسئله نوترونی تعریف کنید:



۲- یکی از موادی که کاربرد زیادی در حفاظ سازی نوترون دارد، پلی اتیلن بور دار یا لیتیوم دار است. پلی اتیلن را یک بار حاوی ۳٪ بور طبیعی و بار دیگر حاوی ۱۰٪ LiF در نظر بگیرید و کارت ماده مربوط به این دو حالت را برای مسئله نوترونی تعریف نمایید.

۳- گاز BF_3 حاوی بور-۱۰ با غنای ۸۰ درصد را برای مسئله نوترونی تعریف کنید.

۴- محلول ۸۰ ppm اسید بوریک در آب را تعریف کنید.

۵ تعریف چشمه

هر فایل ورودی باید دارای یک چشمه ذرات باشد. چشمه‌هایی که در نسخه 4C قابل تعریف‌اند الکترون، فوتون و نوترون می‌باشند، ولی در نسخه‌های بالاتر انواع ذرات بیشتری به عنوان چشمه قابل تعریف می‌باشد. همچنین در نسخه‌های جدید امکان تعریف دو نوع چشمه ذرات مختلف بطور همزمان (مثلاً چشمه نوترون و گاما) در یک برنامه وجود دارد.

۵-۱ چشمه عمومی

یک چشمه به طور کلی با دستور SDEF در قسمت داده‌ها تعریف می‌شود. پارامترهای بسیاری وجود دارد که می‌توان برای SDEF تعریف نمود، مانند نوع ذره، انرژی، مکان، جهت گسیل ذرات و جدول ۵-۱ انواع پارامترهای قابل تعریف برای چشمه SDEF را نشان می‌دهد. با توجه به این جدول، اگر دستور SDEF به تنهایی وارد شود و هیچ پارامتر دیگری برای آن تعریف نشود، یک چشمه نقطه‌ای نوترون به صورت تک انرژی با انرژی ۱۴ MeV واقع در مبداء مختصات که ذرات را به صورت همگن در همه جهت‌ها گسیل می‌کند، تعریف می‌شود.

آموزش کد MCNPX ۱۰۲

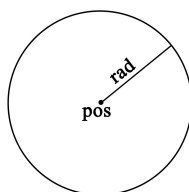
جدول ۵-۱ پارامترهای قابل تعریف برای یک چشمه عمومی

متغیر	توضیحات	مقدار پیش فرض
CEL	سلولی که ذره در آن تولید می‌شود	با توجه به مختصات
SUR	سطحی که ذره روی آن تولید می‌شود	صفر
ERG	انرژی ذرات	۱۴ MeV
TME	زمان تولید ذرات	۰
NRM	علامت بردار عمود بر سطح	+۱
POS	نقطه مرجع برای انتخاب مکان اولیه ذرات	۰ ۰ ۰
RAD	فاصله شعاعی ذرات نسبت به پارامتر POS یا AXS	۰
EXT	فاصله از پارامتر POS در امتداد AXS	۰
AXS	بردار مرجع برای انتخاب RAD و EXT	ندارد
X,Y,Z	مختصات محل تولید ذرات	۰
ARA	مساحت چشمه سطحی	ندارد
PAR	تعیین کننده نوع ذره (جدول ۵-۲)	۱
WGT	وزن ذرات	۱
CCC	طرد یک سلول درون یک ناحیه	ندارد
VEC	بردار مرجع برای تعیین جهت خروج ذرات از چشمه	چشمه سطحی: بردار عمود بر سطح و چشمه حجمی: همگن
DIR	جهت اولیه جهت خروج ذرات نسبت به بردار مرجع	همگن
TR	انتقال و دوران چشمه	ندارد

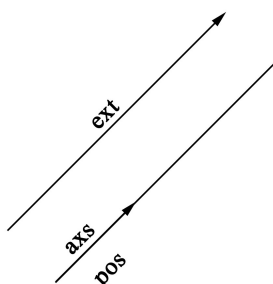
تعریف چشمه ۱۰۳

در ادامه برخی از پارامترهای چشمه SDEF معرفی می‌شوند.

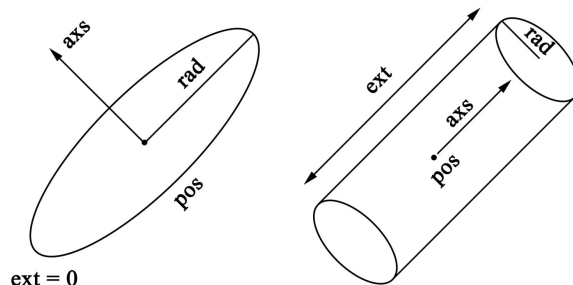
۱- پارامتر POS علاوه بر اینکه برای تعریف مختصات مکانی یک چشمه نقطه‌ای به کار می‌رود، نقطه مرجع برای متغیرهای RAD و EXT است. از پارامترهای POS و RAD برای تعریف چشمه‌های سطحی و حجمی کروی استفاده می‌شود.



۲- پارامتر AXS، بردار مرجع برای پارامترهای RAD و EXT است. پارامتر RAD فاصله عمودی از محور AXS و EXT فاصله از نقطه POS در راستای بردار AXS است. از پارامترهای POS، AXS و EXT می‌توان برای تعریف چشمه‌های خطی با جهت‌گیری خاص در فضا استفاده کرد.

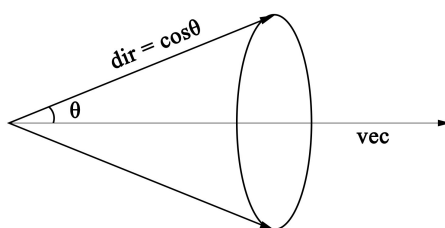


۳- از پارامترهای POS، AXS، EXT و RAD می‌توان برای تعریف چشمه‌های سطحی دایره‌ای (حلقه و دیسک $EXT=0$) و استوانه‌ای (سطحی و حجمی $EXT \neq 0$) با جهت‌گیری خاص در فضا استفاده کرد.



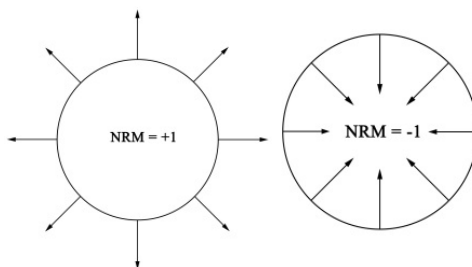
آموزش کد MCNPX ۱۰۴

۴- پارامترهای VEC و DIR همراه هم به کار می‌روند و برای تعریف جهت خروج ذرات از چشمه استفاده می‌شوند. بردار VEC بردار مرجع برای پارامتر DIR است. پارامتر DIR کسینوس زاویه بین جهت خروج ذره و بردار VEC می‌باشد.



۵- اگر چشمه سطحی روی یکی از سطوح استفاده شده در تعریف سلول‌ها قرار داشته باشد، پارامتر SUR مورد استفاده قرار می‌گیرد. پارامتر SUR شماره آن سطح را مشخص می‌کند. برای تعریف یک چشمه دایره‌ای، دیسک و ... روی سطح مورد نظر از ترکیب پارامترهای SUR، POS، RAD و ... استفاده می‌کنیم.

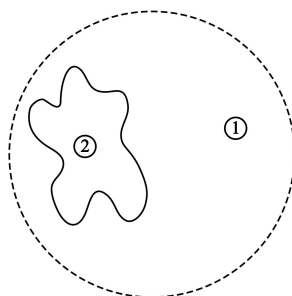
۶- در چشمه‌های سطحی واقع بر روی یک سطح خاص در مسئله، برای تعیین برون سو یا درون سو بودن ذرات نسبت به آن سطح می‌توان از پارامتر NRM استفاده کرد. این پارامتر دارای دو مقدار ± 1 است. مقدار ۱- است در حالتی است که ذرات خلاف جهت بردار عمود بر آن سطح ساطع می‌شوند.



۷- پارامتر CCC برای طرد یک یا چند سلول از یک ناحیه تعریف شده، استفاده می‌شود، مثلاً اگر با استفاده از پارامترهای POS و RAD کره‌ای را تعریف کرده باشیم که شامل سلول‌های یک و دو باشد، اما تنها سلول یک به عنوان چشمه مورد نظر باشد، می‌توان سلول دو را با این پارامتر مستثنی کرد:

تعریف چشمه ۱۰۵

SDEF pos= 0 0 0 RAD=d1 CCC=2
SI1 0 10
SP1 0 1



یعنی چشمه عبارت است از تمام فضای درون کره به جز سلول ۲.

۸- از پارامتر TR می‌توان جهت انتقال و یا دوران چشمه استفاده نمود. فرض کنید چشمه‌ای را تعریف کرده‌اید و می‌خواهید با تغییر مکان یا دوران چشمه، محاسبات جدیدی را انجام دهید. با استفاده از این کارت می‌توانید بدون تغییر در پارامترهای چشمه، انتقال و یا دوران مورد نظر را اعمال نمایید. با در نظر گرفتن این پارامتر در چشمه، پس از تعیین مکان و جهت اولیه ذرات تولیدی از چشمه، دوران و انتقال روی آن اعمال می‌گردد. یکی دیگر از قابلیت‌های این کارت در تعریف چند باریکه پرتو در مکان‌ها و جهت‌های مختلف است. بدیهی است که باید دوران و انتقال مورد نظر را در بخش داده‌ها مشخص شود (بخش ۳-۳ را ببینید).

SDEF pos= 0 0 0 vec=1 0 0 dir=1 TR=3
...
...
*TR3 10 0 0 90 0 90 180 90 90 90 90 0

در این مثال، باریکه نوترون از نقطه (۰، ۰، ۱۰) و در جهت محور Y تولید می‌شود.

۹- پارامتر PAR نوع ذرات گسیلی از چشمه را مشخص می‌کند. در نسخه X امکان تعریف چند نوع ذره گسیلی از چشمه وجود دارد. همچنین در این نسخه امکان تعریف چشمه نوترون ناشی از هجده نوع چشمه شکافت خودبخودی وجود دارد. برای این کار از PAR=SF استفاده می‌کنیم. باید توجه داشت که مکان این نوع چشمه باید شامل یکی از هجده نوع هسته شکافت پذیر باشد. جدول ۲-۵ ذرات قابل تعریف به عنوان چشمه را نشان می‌دهد.

آموزش کد MCNPX ۱۰۶

جدول ۵-۲ ذرات قابل ترابرد در کد

شماره ذره	نام ذره	نشانه	حد پایین انرژی (MeV)
ذرات اصلی کد			
۱	neutron (n)	n	۰
-۱	anti-neutron (n)	-n	۰
۲	photon (p)	p	۰/۰۰۱
۳	electron (e^-)	e	۰/۰۰۱
-۳	positron (e^+)	-e	۰/۰۰۱
لپتون‌ها			
۴	muon $^-$ (μ^-)	 (‘pipe’ symbol)	۰/۱۱۲۶۱
-۴	anti-muon $^-$ (μ^+)	-	۰/۱۱۲۶۱
۵	tau $^-$ (τ^-)	*	۱/۸۹۴
۶	electron neutrino (ν_e)	u	۰
-۶	anti-electron neutrino ($-\nu_e$)	-u	۰
۷	muon neutrino (ν_m)	v	۰
۸	tau neutrino (ν_t)	w	۰
باریون‌ها			
۹	proton (p)	h	۱
-۹	anti-proton (-p)	-h	۱
۱۰	lambda 0 (Λ^0)	l	۱

تعریف چشمه ۱۰۷

ادامه جدول ۵-۲ ذرات قابل ترابرد در کد

شماره ذره	نام ذره	نشانه	حد پایین انرژی (MeV)
۱۱	$\text{sigma}^+ (\Sigma^+)$	+	۱/۲۶۷۶
۱۲	$\text{sigma}^- (\Sigma^-)$	-	۱/۲۶۷۶
۱۳	$\text{cascade}^0 (\Xi^0)$	x	۱
۱۴	$\text{cascade}^- (\Xi^-)$	y	۱/۴۰۸۲
۱۵	$\text{omega}^- (\Omega^-)$	o	۱/۷۸۲۵
۱۶	$\text{lambda}_c^+ (\Lambda_c^+)$	c	۲/۴۳۵۳
۱۷	$\text{cascade}_c^+ (\Xi_c^+)$	!	۲/۶۲۷۳
۱۸	$\text{cascade}_c^0 (\Xi_c^0)$	?	۱
۱۹	$\text{lambda}_b^0 (\Lambda_b^0)$	r	۱
مزونها			
۲۰	$\text{pion}^+ (\pi^+)$	/	۰/۱۴۸۷۵
-۲۰	$\text{pion}^- (\pi^-)$	-/	۰/۱۴۸۷۵
۲۱	neutral pion (π^0)	z	۰
۲۲	$\text{kaon}^+ (K^+)$	k	۰/۵۲۶۱۴
-۲۲	$\text{kaon}^- (K^-)$	-k	۰/۵۲۶۱۴
۲۳	K_0 short	%	۰/۰۰۰۰۰۱
۲۴	K_0 long	^	۰/۰۰۰۰۰۱
۲۵	D^+	g	۱/۹۹۲۳
۲۶	D^0	@	۱
۲۷	D_s^+	f	۲/۰۹۸

۱۰۸ آموزش کد MCNPX

ادامه جدول ۵-۲ ذرات قابل ترابرد در کد

شماره ذره	نام ذره	نشانه	حد پایین انرژی (MeV)
۲۸	B^+	J	۵/۶۲۶
۲۹	B^0	B	۱
۳۰	B_s^0	q	۱
یون‌های سبک			
۳۱	deuteron	d	۲
۳۲	triton	t	۳
۳۳	helium-3	s	۴
۳۴	helium-4 (α)	a	۴
یون‌های سنگین			
۳۵	heavy ions ^۱	#	۵

^۱ فهرست یون‌های سنگین قابل تعریف را در پیوست K مرجع [۳] ببینید.

۵-۲ مقدار دهی به پارامترهای چشمه

مقدار هر یک از متغیرهای چشمه می‌تواند به یکی از سه حالت زیر باشد:

۱. دارای یک مقدار ثابت و مشخص
۲. دارای یک تابع توزیع مشخص و مستقل
۳. وابسته به یک متغیر دیگر

۵-۲-۱ تعریف یک مقدار مشخص و ثابت

اگر همه پارامترهای چشمه دارای یک مقدار مشخص و ثابت باشند، تعریف آن به

سادگی صورت می‌گیرد.

تعریف چشمه ۱۰۹

مثال (۱-۵) یک چشمه نقطه‌ای الکترون که در نقطه (۵، ۳، ۰) قرار دارد و ذرات را با انرژی ۲۰ MeV به صورت همگن در همه جهات گسیل می‌کند:

SDEF pos=0 3 5 par=3 ERG=20

۲-۲-۵ تعریف یک تابع توزیع مستقل

پارامترهای چشمه ممکن است به جای تک مقدار بودن، دارای یک تابع توزیع خاص باشند. برای تعریف توزیع برای یک پارامتر، مقدار آن پارامتر را برابر dn قرار می‌دهیم و سپس با استفاده از کارت‌های SIn و SPn شکل تابع توزیع را تعریف می‌کنیم. n یک عدد درست و حداکثر سه رقمی است. پنج نوع تابع توزیع مختلف قابل تعریف است که در ادامه توضیح داده می‌شوند.

۱-۲-۲-۵ حالت گسسته

اگر پارامتر مورد نظر دارای چند مقدار مختلف به صورت گسسته باشد، آن پارامتر به صورت زیر تعریف می‌شود:

SDEF Var=dn
SIn L I₁ I₂ ...
SPn P₁ P₂ ...

I_iها مقادیر مختلف پارامتر Var و P_iها احتمال هر کدام از آنهاست. حرف L نشان‌دهنده گسسته بودن توزیع می‌باشد. بدیهی است تعریف تابع توزیع گسسته فقط برای پارامترهایی امکان‌پذیر است که ذاتاً گسسته‌اند، مثل pos و cell، sur، ... و یا قابلیت توزیع گسسته دارند، مثل erg و dir و

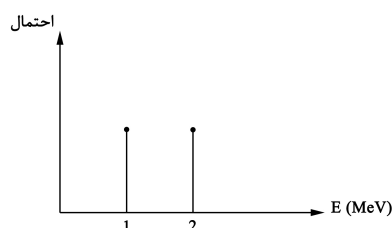
مثال (۲-۵) دو چشمه نقطه‌ای در مختصات (۰، ۰، ۲) و (۰، ۰، -۳) هر یک با انرژی ۲ MeV که با احتمال‌های مساوی ذرات را گسیل می‌کنند:

SDEF pos=d1 erg=2
SI1 L -3 0 0 2 0 0
SP1 1 1

۱۱۰ آموزش کد MCNPX

مثال (۳-۵) یک چشمه نقطه‌ای در مختصات (۱، ۲، ۴) که ذرات را با دو انرژی ۱ و ۳ MeV با احتمال‌های مساوی ساطع می‌کند:

```
SDEF pos=1 2 4 erg=d6
SI1 L 1 3
SP1 1 1
```

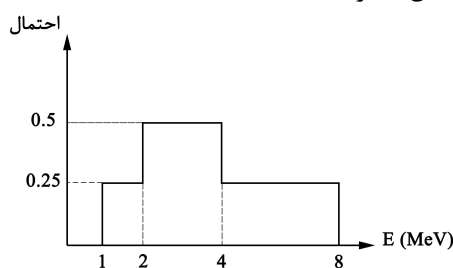


۲-۲-۲-۵ حالت پیوسته (هیستوگرام)

برای تعریف پارامترهایی که پیوسته‌اند و در بازه‌های مختلف، دارای احتمال‌های متفاوت هستند از حرف H در کارت SIn استفاده می‌کنیم. در این حالت عدد اول در کارت SPn حتماً باید صفر باشد.

مثال (۴-۵) فرض کنید احتمال اینکه انرژی ذره در بازه ۲-۴ MeV باشد ۲ برابر احتمال این است که انرژی در بازه ۱-۲ MeV و یا ۴-۸ MeV باشد و در بقیه جاها احتمال صفر است:

```
SDEF erg=d9
SI9 H 1 2 4 8
SP9 0 1 2 1
```



۳-۲-۲-۵ حالت پیوسته با تعریف تابع توزیع ریاضی

در صورتی که پارامتر مورد نظر دارای یک تابع توزیع ریاضی مشخص، مثلاً گوسی یا ماکسولی باشد، کارت SIn حذف و کارت SPn به صورت زیر نوشته می‌شود:

```
SPn f a b
```

تعریف چشمه ۱۱۱

که f عددی است منفی و نوع تابع توزیع را مشخص می‌کند. a و b پارامترهایی هستند که به کمک آنها شکل ریاضی تابع توزیع مشخص می‌شود. جدول ۳-۵ انواع توابع توزیع ریاضی قابل تعریف در کد را نشان می‌دهد.

جدول ۳-۵ انواع توابع توزیع قابل تعریف در کد

f	نوع متغیر قابل تعریف	شکل تابع ریاضی	پارامترها	مقدار پیش فرض پارامترها
-۲	ERG	$C\sqrt{E} e^{-E/a}$	a	$a=1,2895 \text{ MeV}$
-۳	ERG	$Ce^{-E/a} \sinh \sqrt{bE}$	a, b	$a=0,965 \text{ MeV}$ $b=2,29 \text{ MeV}^{-1}$
-۴	ERG	$Ce^{-(\frac{E-b}{a})^2}$	a, b	$a=-0,01 \text{ MeV}$ $b=-1 \text{ MeV}$
-۵	ERG	$CEe^{-E/a}$	a	$a=1,2895 \text{ MeV}$
-۶	ERG	$Ce^{-\left(\frac{\sqrt{E}-\sqrt{b}}{a}\right)^2}$	a, b	$a=-0,01 \text{ MeV}$ $b=-1 \text{ MeV}$
-۷	ERG	قابل تعریف با تغییر در فایل فرتن کد	a, b	-
-۲۱	DIR, RAD, EXT	$C x ^a$	a	DIR: $a=1$ EXT: $a=0$ RAD: $a=2$ یا 1
-۳۱	DIR, EXT	$Ce^{a/\mu}$	a	$a=0$
-۴۱	TME, X, Y, Z	$Ce^{-\left[1.6651092\left(\frac{t-b}{a}\right)\right]}$	a, b	هیچ مقدار خاص $b=0$

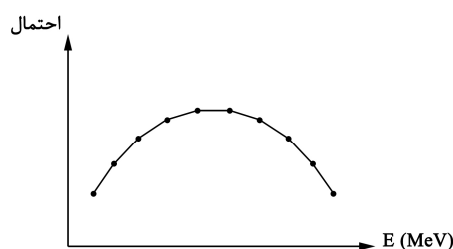
۴-۲-۲-۵ حالت پیوسته با معلوم بودن چند نقطه از تابع توزیع

اگر چند نقطه از یک تابع توزیع معلوم باشد، می‌توان آن نقاط را تعریف کرد. کد، نقاط تعریف شده را به صورت خطی به یکدیگر متصل و شکل تابع توزیع را مشخص می‌کند. به منظور تعریف این حالت از حرف A در کارت SIn استفاده می‌کنیم:

۱۱۲ آموزش کد MCNPX

SIn A I₁ I₂ ...
SPn P₁ P₂ ...

کد نقاط (I_i, P_i) را به صورت خطی به یکدیگر متصل می‌کند و احتمال را برای همه نقاط بدست می‌آورد. به عنوان مثال شکل زیر را ملاحظه نمایید.



۵-۲-۲-۵ تعریف توابع توزیع مختلف برای بازه‌های مختلف یک پارامتر

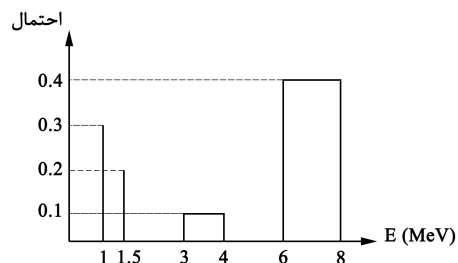
فرض کنید انرژی چشمه در بازه E₁ تا E₂ به صورت گسسته و در بازه E₂ تا E₃ به صورت هیستوگرام باشد. برای تعریف چنین حالت‌هایی از صورت زیر برای کارت SIn استفاده می‌کنیم:

SIn S dn₁ dn₂
SPn P₁ P₂
SIn₁ ...
SPn₁ ...
SIn₂ ...
SPn₂ ...

حرف S در کارت SIn بیانگر این است که اعداد پس از حرف S شماره توابع توزیع هستند. می‌توان حرف d را در dn_iها حذف کرد. dn_iها اعداد درست دلخواهی هستند.

مثال ۵-۵) برای تعریف چشمه‌ای دارای توزیع انرژی به صورت زیر داریم:

SDEF erg=d2
SI2 S 11 12
SP2 1 1
SI11 L 1 1.5 ...
SP11 0.3 0.2
SI12 H 3 4 6 8
SP12 0 0.1 0 0.4



۵-۲-۳ تعریف یک تابع توزیع وابسته

در برخی موارد مقدار یک یا چند پارامتر چشمه، وابسته به پارامترهای دیگر است. مثلاً فرض کنید دو چشمه نقطه‌ای در مختصات $(0, 0, 1)$ و $(0, 0, -1)$ داریم که هر یک دارای توابع توزیع انرژی مشخص هستند، در اینجا انرژی چشمه وابسته به مکان است. در این حالت انرژی را به صورت زیر می‌نویسیم:

SDEF pos=d1 erg=Fpos=d2

پارامتر Fpos در erg معرف این است که انرژی، تابعی از پارامتر pos است. بدیهی است که پارامتر pos مستقل و پارامتر erg وابسته است. در چنین حالت‌هایی نمونه برداری ابتدا از پارامتر مستقل و سپس از پارامتر وابسته صورت می‌گیرد. دقت کنید که هیچ یک از پارامترهای مرتبط با مکان مانند cell, sur, rad, ext, x, y, z و ... نمی‌توانند وابسته به پارامتر pos باشند. برای تعریف توزیع‌های وابسته، از کارت‌های DS_n و SIn و SP_n استفاده می‌کنیم. در اینجا نیز ۵ حالت امکان‌پذیر است.

حالت ۱:

اگر مقادیر پارامتر وابسته (در اینجا ERG) نسبت به پارامتر مستقل (در اینجا POS) گسسته باشد (مثلاً چشمه‌های نقطه‌ای، تک انرژی باشند) در کارت DS_n از حرف L استفاده می‌کنیم و بعد از آن مقادیر مختلف آن پارامتر را می‌نویسیم. مثال ۵-۶) برای تعریف دو چشمه نقطه‌ای واقع در نقاط $(0, 0, 1)$ و $(0, 0, -1)$ با انرژی‌های ۲ MeV و ۱/۲ MeV داریم:

```
SDEF pos=d1 erg=FPOS=d2
Si1 L 1 0 0 -1 0 0
Sp1 0.2 0.8
DS2 L 2 1.2
```

حالت ۲:

اگر پارامتر وابسته نسبت به پارامتر مستقل دارای توابع توزیع مختلفی باشد، از حرف S در کارت DS_n استفاده می‌کنیم و در ادامه شماره توزیع‌های مختلف را می‌نویسیم و سپس توابع توزیع را با کارت‌های SIn و SP_n مشخص می‌کنیم.

۱۱۴ آموزش کد MCNPX

مثال ۵-۷) برای دو چشمه نقطه‌ای مختلف واقع در نقاط $(1, 0, 0)$ و $(-1, 0, 0)$

که یکی دارای توزیع انرژی گسسته و دیگری دارای طیف هیستوگرام باشد، داریم:

```
SDEF pos=d1 erg=FPOS=d2
Si1 L 1 0 0 -1 0 0
Sp1      0.2 0.8
DS2 S    41 42
SI41 L   2 1.2
SP41     0.5 0.5
Si42 H   1 3 6 9
Sp42     0 0.1 0.4 0.5
```

حالت ۳:

اگر پارامتر مستقل دارای توزیع پیوسته به صورت هیستوگرام باشد، آنگاه مقادیر پارامتر وابسته در هر بازه را با استفاده از کارت DS_n و درج حرف H (یا می‌تواند خالی باشد) تعریف می‌کنیم:

```
SDEF var1=d1 var2=Fvar1=d2
Si1 H    i1 i2 i3 i4
Sp1      0  p1 p2 p3
DS2 H    j1 j2 j3
```

در اینجا اگر پارامتر var₁ دارای مقداری بین i₂ و i₃ باشد، آنگاه مقدار پارامتر var₂ برابر j₂ خواهد بود. در اینجا لازم نیست که اولین مقدار j برابر صفر باشد.

حالت ۴:

فرض کنید در یک چشمه، اگر ذره دارای انرژی E₁ باشد، در جهت مثبت و اگر دارای انرژی E₂ باشد، در جهت منفی محور Z ساطع می‌شود، در اینجا می‌توان از کارت DS_n به همراه حرف T به صورت زیر استفاده کرد:

```
DS2 T    i1 j1 i2 j2 i3 j3 ...
```

در اینجا در هر بار نمونه‌برداری از پارامتر مستقل، اگر مقدار آن i_i باشد، آنگاه مقدار پارامتر وابسته j_i خواهد بود، در غیر این صورت مقدار پارامتر وابسته، مقدار پیش فرض در نظر گرفته می‌شود.

مثال ۵-۸)

```
SDEF erg=d1 dir=Ferg=d2 vec=0 0 1
Si1 L 1 2 3 4 5 6
Sp1 1 1 1 1 1 1
DS2 T 2 1 3 -1
```

در این مثال ذرات با انرژی ۲ MeV در جهت مثبت محور Z ($dir=1$) و ذرات با انرژی ۳ MeV در خلاف جهت محور Z ($dir=-1$) و بقیه ذرات به صورت همسانگرد گسیل می‌شوند. بدیهی است که این نوع تعریف برای پارامترهای مستقل گسسته و البته غیر برداری (تک مؤلفه‌ای) کاربرد دارد.

حالت ۵:

اگر پارامتر وابسته در بازه‌های مختلف پارامتر مستقل، دارای توابع توزیع مختلفی باشد، از کارت DS n به همراه حرف Q به صورت زیر استفاده می‌کنیم:

```
DS2 Q V1 S1 V2 S2 V3 S3 ...
```

S_i ها شماره توابع توزیع هستند که با کارت‌های S n و SP n تعریف می‌شوند و V_i ها بازه‌های پارامتر مستقل را مشخص می‌کنند. در هر بار نمونه‌برداری از پارامتر مستقل، اگر مقدار آن از V_i کوچک‌تر یا مساوی آن باشد (ابتدا از V_1 آغاز می‌شود) آنگاه مقدار پارامتر وابسته از توزیع شماره S_i محاسبه می‌شود

مثال ۵-۹)

```
DS2 Q 1 21 1.5 22 6 23
Si21 ...
Sp21 ...
Si22 ...
Sp22 ...
Si23 ...
Sp23 ...
```

در این مثال اگر پارامتر مستقل در بازه ۶-۱/۵ باشد، مقدار پارامتر وابسته از توزیع شماره ۲۳ محاسبه می‌شود.

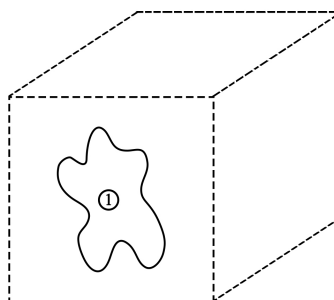
۵-۳ تعریف چشمه‌های حجمی با هندسه‌های غیر متعارف

منظور از چشمه‌های با هندسه‌های غیر متعارف، چشمه‌هایی هستند که نمی‌توان آنها را به راحتی به کمک پارامترهای چشمه تعریف نمود، مانند یک چشمه حجمی به شکل بیضی‌گون.

برای تعریف چنین چشمه‌هایی ابتدا باید آن حجم هندسی را به عنوان یک سلول تعریف کنیم و سپس آن سلول را به عنوان چشمه معرفی نماییم. برای معرفی یک سلول به عنوان چشمه حجمی از روش طرد استفاده می‌کنیم. در این روش به کمک پارامترهای POS, Z, YX, RAD, AXS, EXT و ... کره، استوانه و یا مکعبی را مشخص می‌کنیم که تمام سلول یا سلول‌های مورد نظر را در بر بگیرد. سپس شماره سلول مورد نظر را در پارامتر CEL مشخص می‌کنیم. کد از تمام فضای تعریف شده (کره، استوانه یا مکعب) نمونه‌برداری می‌کند و سپس آنهایی را که درون سلول مورد نظر نیستند را طرد می‌کند. اگر چندین سلول مورد نظر باشند مقدار پارامتر CEL را برابر dn قرار داده و با کارت‌های SPn و SIn احتمال گسیل ذره از هر سلول را مشخص می‌کنیم. در مثال‌های زیر به سه روش سلول یک به عنوان یک چشمه حجمی تعریف شده است.

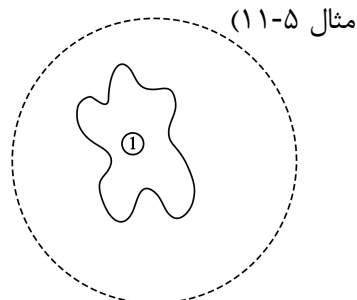
مثال ۵-۱۰)

```
SDEF X=d1 Y=d2 Z=d3 Cel=1
Si1 0 10
Si2 0 10
Si3 0 10
Sp1 0 1
Sp2 0 1
Sp3 0 1
```

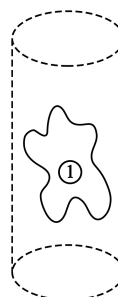


تعریف چشمه ۱۱۷

```
SDEF pos=0 0 0 Rad=d1 Cel=1
Si1 0 10
Sp1 0 1
```



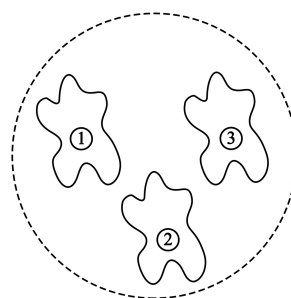
```
SDEF pos=0 0 0 axs=0 0 1 rad=d1 ext=d2 Ce
Si1 0 6
Sp1 0 1
Si2 -10 10
Sp2 0 1
```



مثال ۵-۱۳) در این مثال سلول‌های ۱ تا سه به عنوان سه چشمه حجمی تعریف

شده‌اند.

```
SDEF pos=0 0 0 rad=d1 Cel=d2
Si1 L 1 2 3
Sp1 1 1 1
Si2 0 10
Sp2 0 1
```



۴-۵ تعریف چشمه در هندسه‌های تکراری

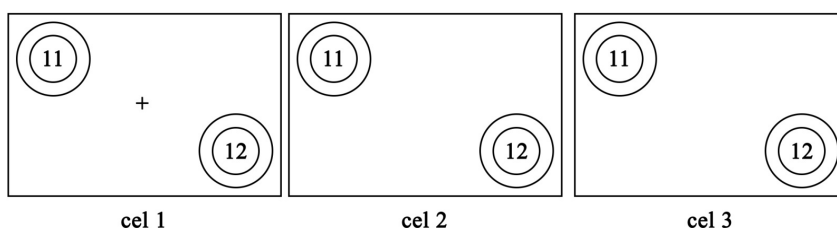
در هندسه‌های شامل هندسه‌های تکراری، برای تعریف چشمه‌های نقطه‌ای، حجمی و باید با استفاده از پارامتر cel، سلولی را که چشمه در آن قرار دارد را به صورت زیر معین کنیم:

$Cel=C_1:C_2:...$

۱۱۸ آموزش کد MCNPX

C_i ها شماره سلول‌ها هستند که از بیرونی‌ترین سلول تا سلول مورد نظر به ترتیب نوشته می‌شوند. C_i می‌تواند برابر صفر یا dn نیز باشد.

مثال ۵-۱۴) شکل زیر را در نظر بگیرید. سلول‌های ۱۱، ۱۲ و ۱۳ با دستور $U=n$ درون سلول ۱ پر کرده‌اند و سلول‌های ۲ و ۳ با دستور like n But تعریف شده‌اند. دقت کنید که مبداء در سلول ۱ واقع است.



برای تعریف یک چشمه نقطه‌ای در مرکز سلول ۱۱ واقع در سلول ۲ داریم:

`SDEF pos=-3 3 0 Cel=2:11`

دقت کنید که نقطه $(-3, 3, 0)$ در واقع در سلول ۱ قرار دارد اما با دستور cel این موقعیت در سلول ۲ در نظر گرفته می‌شود.

برای تعریف یک چشمه درون سلول ۲، پارامتر cel را به صورت زیر می‌نویسیم:

`Cel=2:0`

عدد صفر مشخص می‌کند که لایه‌های درونی‌تر مورد نظر نمی‌باشند. به عنوان مثال

برای تعریف یک چشمه نقطه‌ای درون سلول ۲ داریم:

`SDEF pos=1 1 0 Cel=2:0`

نکته: دقت کنید که اگر در پارامتر cel تنها شماره سلول را بنویسیم، کد خطا

می‌گیرد که نقطه pos درون سلول ۲ وجود ندارد، لذا در تعریف چشمه در هندسه‌های

تکراری حتما باید پارامتر cel مطابق آنچه گفته شد نوشته شود.

برای تعریف سه چشمه نقطه‌ای درون سلول‌های ۱، ۲ و ۳ داریم:

`SDEF pos=1 1 0 Cel=d1`

`Si1 L 1:0 2:0 3:0`

`Sp1 1 1 1`

می‌توان از دستور dn به صورت زیر نیز استفاده نمود:

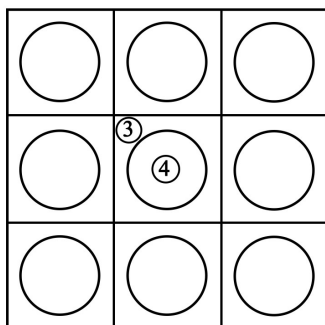
`SDEF pos=1 1 0 Cel=d1:0`

`Si1 L 1 2 3`

تعریف چشمه ۱۱۹

Sp1 1 1 1

در صورتی که هندسه شامل دستوره‌های lat و u و fill باشد می‌توان سلول واقع در یکی از عناصر شبکه را با درج پرانتز اطراف مختصات ماتریسی آن عنصر مشخص کرد. مثال ۵-۱۵) شکل زیر را در نظر بگیرید که در آن عناصر شبکه با کره‌هایی به شعاع ۲ cm پر شده‌اند.



مکعب اصلی: cel 1
cel 2: lat = 1

برای تعریف یک چشمه نقطه‌ای در مرکز کره واقع در عنصر (۰، ۰، ۰) داریم:

SDEF pos=0 0 0 Cel=1:2(0 0 0):4

برای تعریف تمام سلول ۴ (چشمه حجمی) واقع در عنصر (۱، ۱، ۰) داریم:

SDEF pos=0 0 0 Cel=1:2(1 1 0):4 rad=d1

Si1 0 2.0001

Sp1 0 1

نکته: نمی‌توان از dn برای مشخص کردن عناصر شبکه استفاده نمود.

۵-۵ چشمه محاسبات بحرانی

برای انجام محاسبات بحرانی از کارت Kcode به صورت زیر استفاده می‌شود:

Kcode NSRCK RKK IKZ KCT

که در آن:

NSRCK تعداد ذراتی است که در هر سیکل رد گیری می‌شوند.

آموزش کد MCNPX ۱۲۰

RKK عددی است که برای K_{eff} حدس می‌زنیم (معمولاً برای قلب تعادلی عدد یک قرار داده می‌شود).

IKZ تعداد سیکل‌هایی است که دور ریخته می‌شوند و در محاسبات لحاظ نمی‌شوند.

KCT تعداد کل سیکل‌هایی است که باید طی شوند.

پیش فرض این کارت به صورت زیر می‌باشد:

Kcode 1000 1 5 30

معمولاً برای تعریف چشمه در محاسبات بحرانی از کارت KSRC استفاده می‌شود

که به همراه کارت Kcode نوشته می‌شود. در این کارت باید مختصات نقاطی را وارد

نمود که درون ماده شکافت‌پذیر قرار دارند. این نقاط نباید روی سطوح مرزی سلول‌ها

قرار داشته باشند. کارت KSRC به صورت زیر تعریف می‌شود

KSRC x₁ y₁ z₁ x₂ y₂ z₂ ...

که در آن x، y و z مختصات مکانی چشمه بحرانی می‌باشند. با اجرای برنامه شامل

چشمه بحرانی، یک فایل به نام پیش فرض SRCTP ساخته می‌شود که توزیع

نوترون‌های چشمه را نشان می‌دهد. بنابراین اگر کارت KSRC در فایل ورودی وجود

نداشته باشد، در این صورت برنامه، فایل SRCTP را به عنوان چشمه بحرانی اولیه در

نظر می‌گیرد (البته اگر این فایل در شاخه اصلی کد موجود باشد). همچنین می‌توان

دستور Kcode را به همراه دستور SDEF به کاربرد که در این صورت نیازی به تعریف

کارت KSRC نمی‌باشد.

مثال ۵-۱۶)

Kcode 1e5 1 10 100

در این مثال مقدار اولیه K_{eff} برابر یک و تعداد کل سیکل‌ها برابر ۱۰۰ می‌باشد که

۱۰ سیکل اول در محاسبات منظور نمی‌شوند. همچنین در هر سیکل صد هزار نوترون

ردگیری خواهد شد.

۵-۶ چشمه‌های سطحی پیشرفته (کارت‌های SSR و SSW)

فرض کنید یک چشمه نوترون داریم که در اثر برهمکنش با مواد مورد نظر پرتوهای گاما تولید می‌کند. می‌خواهیم از این سیستم به عنوان چشمه گاما استفاده کنیم. برای انجام این کار می‌توان بدون در نظر گرفتن شرایط خاصی چشمه نوترون را در برنامه تعریف کنیم و با استفاده از کارت mode n p پرتوهای گاما را ترابرد نماییم، اما یک روش دیگر آن است که اطراف ماده‌ای که گاما تولید می‌کند کره‌ای تعریف کنیم و با اجرای برنامه کلیه اطلاعات مربوط به پرتوهای گامای رسیده به سطح کره را در یک فایل دیگر ثبت کنیم (کارت ^۱SSW) و سپس این سطح کروی را به عنوان چشمه گاما در یک برنامه دیگر فراخوانی نماییم (کارت ^۲SSR).

کارت SSW به صورت زیر تعریف می‌شود:

SSW S₁ S₂ ... S_n S_k(C₁ ...C_k) PTY CEL ...

S_i: شماره سطوحی که قرار است به عنوان چشمه سطحی ذخیره شوند (با علامت

مناسب).

C_i: شماره سلول‌هایی که در چشمه سطحی اهمیت دارند (با علامت مناسب).

PTY: نوع ذره یا ذراتی که قرار است اطلاعات آن به عنوان چشمه ثبت شود

(معمولاً E, P, N).

CEL: سلول‌هایی که چشمه‌های شکافت در آنها رخ می‌دهد (در محاسبات بحرانی).

توجه: کارت SSW به همراه دستور SDEF استفاده می‌شود و می‌تواند جایگزین

کارت Kcode شود.

پس از اینکه این کارت در برنامه ورودی قرار گرفت. اکنون برنامه را اجرا می‌کنیم.

در هنگام اجرا یک فایل به نام پیش فرض WXXA تولید می‌شود که بعد از اتمام اجرای

برنامه نام آن به WSSA تغییر می‌کند (تأکید می‌شود که این تغییر نام توسط کد

صورت می‌گیرد نه کاربر).

¹ Surface Source Write

² Surface Source Read

مثال ۵-۱۷)

SSW 2(3 -4) PTY=n

در این مثال مشخصات نوترون‌هایی که از سطح ۲ خارج می‌شوند، ثبت می‌شود به شرطی که یا وارد سلول ۳ شده و یا از سلول ۴ خارج شوند.

همان‌طور که گفته شد فایل WSSA به عنوان فایل چشمه سطحی در کد در نظر گرفته می‌شود. مرحله بعد استفاده از کارت SSR می‌باشد. در اینجا بایستی ابتدا نام فایل WSSA به RSSA توسط کاربر تغییر داده شود، سپس کارت SSR در برنامه ورودی به عنوان چشمه جدید نوشته و دستورات SSW، SDEF و Kcode حذف شود. اکنون دستور SSR و فایل خروجی RSSA به عنوان چشمه‌های ورودی برنامه جدید می‌باشند. نحوه تعریف کارت SSR به صورت زیر است:

SSR OLD CEL NEW COL WGT ...

OLD: شماره سطوح قبلی در کارت SSW می‌باشند که در فایل WSSA وجود دارند.

CEL: مشابه گزینه OLD می‌باشد ولی برای سلول‌هایی که شکاف در آنها رخ می‌دهد.

NEW: شماره سطوح جدید که شروع‌کننده ذرات جدید هستند. البته ممکن است همان سطوح گزینه OLD هم باشند.

COL: مربوط به پارامتر برخورد می‌باشد. اگر برابر ۱ باشد ذراتی از چشمه سطحی در نظر گرفته می‌شود که برخورد انجام داده اند، اگر برابر ۱- باشد ذراتی که برخوردی انجام نداده اند در نظر گرفته می‌شوند و اگر برابر صفر باشد شرط برخورد در نظر گرفته نمی‌شود.

WGT: وزن ذرات جدید است که حالت پیش فرض آن $WGT=1$ می‌باشد.

مثال ۵-۱۸)

SSW 1 2 3 اجرای قبلی

تعریف چشمه ۱۲۳

SSR OLD 2 3 NEW 6 7 COL 1 اجرای جدید

در این مثال ذرات ثبت شده در سطوح ۲ و ۳ در سطوح جدید ۶ و ۷ قرار خواهند گرفت.

به عنوان یک نمونه کاربردی، مرجع [۵] را ببینید.

۷-۵ بررسی تعریف چشمه در فایل خروجی

پس از تعریف چشمه، برای بررسی آن و اطمینان از اینکه چشمه درست تعریف شده است، می‌توانیم جدول ۱۱۰ را در فایل خروجی ملاحظه کنیم. برای چاپ جدول ۱۱۰ در فایل خروجی از کارت زیر در فایل ورودی و در بخش داده‌ها استفاده می‌کنیم

Print 110

پس از اجرای برنامه برای تعداد کمی تاریخچه، جدول ۱۱۰ در خروجی را بررسی می‌کنیم. در این جدول مشخصات ۵۰ ذره اول تولیدی در چشمه، مانند مختصات مکان تولید، شماره سلولی که ذرات در آن تولید شده‌اند، شماره سطح، کسینوس‌های هادی جهت خروج ذره از چشمه، انرژی و ... نمایش داده می‌شود.

nps	x	y	z	cell	surf	u	v	w
1	-1.000E+01	2.864E+00	7.255E+00	203	0	1.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
2	-1.000E+01	-5.828E+00	-6.432E-01	203	0	1.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
3	-1.000E+01	2.540E+00	-9.639E+00	203	0	1.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
4	-1.000E+01	-1.411E+00	-9.644E+00	203	0	1.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
5	-1.000E+01	-4.455E+00	9.743E+00	203	0	1.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
6	-1.000E+01	-6.687E-01	6.746E+00	203	0	1.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
7	-1.000E+01	1.338E-01	-6.813E+00	203	0	1.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
8	-1.000E+01	1.677E+00	-4.755E+00	203	0	1.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
9	-1.000E+01	3.515E+00	-1.957E+00	203	0	1.000E+00	0.000E+00	0.000E+00

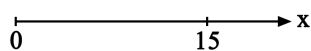
۵-۸ چند مثال

مثال ۵-۱۹) یک چشمه نقطه‌ای در یک جهت:

SDEF pos= 0 0 0 Vec=1 0 0 dir=1 

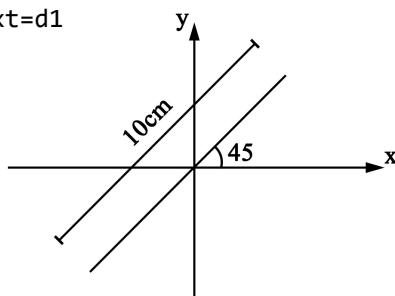
مثال ۵-۲۰) یک چشمه خطی همسانگرد:

SDEF x=d1 y=0 z=0
Si1 0 15
Sp1 0 1



مثال ۵-۲۱) یک چشمه خطی همسانگرد با جهت گیری خاص در فضا:

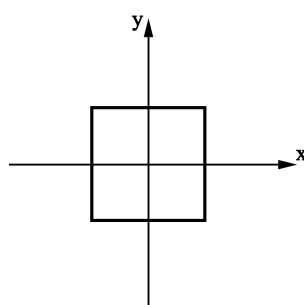
SDEF pos=0 0 0 axs=0.7 0.7 0 ext=d1
Si1 -5 5
Sp1 0 1



مثال ۵-۲۲) تعداد ۴ میله ۱۰ سانتی‌متری به شکل مربع که ذرات را در جهت محور

Z گسیل می‌کنند:

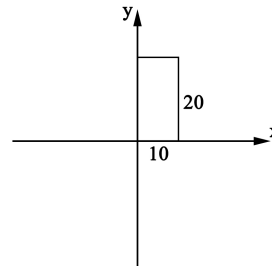
SDEF pos=d1
Vec=0 0 1
Dir=1
Ext=d2
Axs=fpos=d3
Si1 L 5 0 0 -5 0 0 0 5 0 0 -5 0
Sp1 1 3r
Si2 -5 5
Sp2 0 1
DS3 0 1 0 0 1 0 1 0 0 1 0 0



تعریف چشمه ۱۲۵

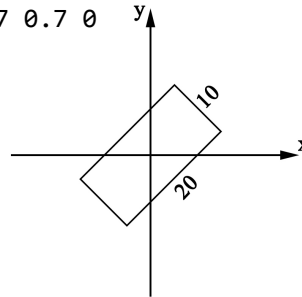
مثال ۵-۲۳) یک چشمه سطحی مستطیلی همسانگرد:

SDEF x=d1 y=d2 z=0
Si1 0 10
Sp1 0 1
Si2 0 20
Sp2 0 1



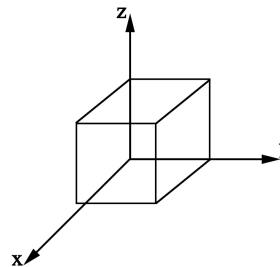
مثال ۵-۲۴) یک چشمه سطحی مستطیلی همسانگرد با جهت‌گیری خاص در فضا:

SDEF x=d1 y=d2 z=0 pos=0 0 0 axs=0.7 0.7 0
Si1 0 10
Sp1 0 1
Si2 0 20
Sp2 0 1



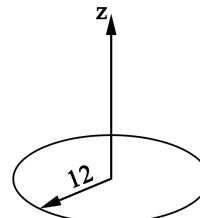
مثال ۵-۲۵) یک چشمه حجمی به شکل مکعب به ضلع ۱۰ cm:

SDEF x=d1 y=d2 z=d3
Si1 0 10
Sp1 0 1
Si2 0 10
Sp2 0 1
Si3 0 10
Sp3 0 1



مثال ۵-۲۶) یک چشمه حلقه‌ای همسانگرد:

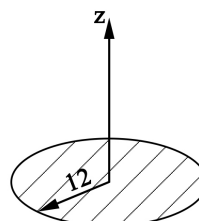
SDEF pos=0 0 0 rad=12 axs=0 0 1



آموزش کد MCNPX ۱۲۶

مثال ۵-۲۷) یک چشمه سطحی همسانگرد به شکل دیسک:

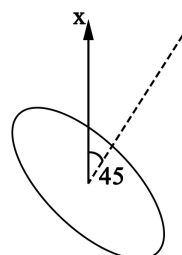
```
SDEF pos=0 0 0 rad=d1 axs=0 0 1
Si1 0 12
Sp1 0 1
```



مثال ۵-۲۸) یک چشمه سطحی به شکل دیسک دارای جهت گیری خاص در فضا و

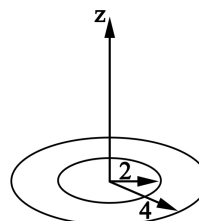
گسیل ذرات به صورت موازی:

```
SDEF pos=0 0 0 rad=d1 axs=0.7 0.7 0 vec=0.7 0.7 0 dir=1
Si1 0 12
Sp1 0 1
```



مثال ۵-۲۹) یک چشمه سطحی همسانگرد به شکل واشر:

```
SDEF pos=0 0 0 rad=d1 axs=0 0 1
Si1 2 4
Sp1 0 1
```



مثال ۵-۳۰) چشمه سطحی واقع بر سطح جانبی یک استوانه:

```
SDEF pos=0 0 0 rad=10 asx=0 0 1 ext=d1
Si1 0 10
Sp1 0 1
```



تعریف چشمه ۱۲۷

مثال ۵-۳۱) یک چشمه حجمی استوانه‌ای:

```
SDEF pos=0 0 0 rad=d1 asx=0 0 1 ext=d2
Si1 0 10
Sp1 0 1
Si2 0 10
Sp2 0 1
```



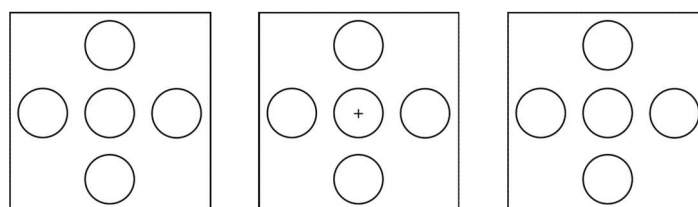
مثال ۵-۳۲) دو چشمه استوانه‌ای به طول ۴ cm و شعاع ۱ cm که راستای یکی

روی محور X و دیگری روی محور Y قرار دارد:

```
sdef pos=faxs=d2
    axs=d1
    rad=1
    ext=d3
si1 L 1 0 0 0 1 1
sp1 1 1
DS2 L -10 0 0 10 0 0
si3 -2 2
sp3 0 1
```

مثال ۵-۳۳) هندسه زیر را در نظر بگیرید و چشمه‌های مختلف خواسته شده را

تعریف نمایید.



Cel 30

Cel 10

Cel 20

```
1 0 2
2 0 -2 #10#20#30
c
10 0 -4 fill=2
20 like 10 but trcl=( 17 0 0)
30 like 10 but trcl=(-17 0 0)
c
11 0 -3 u=2
12 like 11 but trcl=( 5 0 0) u=2
13 like 11 but trcl=(-5 0 0) u=2
```

آموزش کد MCNPX ۱۲۸

```
14 like 11 but trcl=( 0 5 0) u=2
15 like 11 but trcl=( 0 -5 0) u=2
16 0 #11#12#13#14#15 u=2
```

```
2 so 50
3 so 2
4 RPP -8 8 -8 8 -8 8
```

- یک چشمه نقطه‌ای واقع در مرکز سلول ۱۱ درون سلول ۲۰:

```
sdef pos=0 0 0 cel=20:11
```

- سه چشمه نقطه‌ای واقع در مرکز سلول ۱۱ درون سلول‌های ۱۰، ۲۰ و ۳۰:

```
sdef pos=0 0 0 cel=d1:11
```

```
si1 L 10 20 30
```

```
sp1 1 1 1
```

- چهار چشمه نقطه‌ای واقع در (۱) مرکز سلول ۱۱ درون سلول ۳۰؛ (۲) مرکز سلول ۱۲

درون سلول ۱۰؛ (۳) مرکز سلول ۱۲ درون سلول ۲۰؛ (۴) مرکز سلول ۱۵ درون سلول

۲۰:

```
sdef pos=d2 cel=d1
```

```
si1 L 30:11 10:12 20:12 20:15
```

```
sp1 1 1 1 1
```

```
si2 L 0 0 0 5 0 0 0 -5 0
```

```
sp2 1 1 1 1
```

- پانزده چشمه نقطه‌ای واقع در مرکز پانزده کره مسئله:

```
sdef pos=d3 cel=d1:d2
```

```
si1 L 10 20 30
```

```
sp1 1 1 1 1
```

```
si2 L 11 12 13 14 15
```

```
sp2 1 1 1 1 1
```

```
si3 L 0 0 0 5 0 0 -5 0 0 0 5 0 0 -5 0
```

```
sp3 1 1 1 1 1
```

- سه چشمه نقطه‌ای واقع در (۱) مرکز سلول ۱۱ درون سلول ۱۰ و با انرژی ۱/۵ MeV؛

(۲) مرکز سلول ۱۲ درون سلول ۲۰ و با انرژی ۲/۵ MeV؛ (۳) مرکز سلول ۱۳ درون

سلول ۳۰ و با انرژی ۳/۵ MeV:

```
sdef pos=fcel=d2 cel=d1 erg=fcel=d3
```

```
si1 L 10:11 20:12 30:13
```

```
sp1 1 1 1
```

```
DS2 L 0 0 0 5 0 0 -5 0 0
```

```
DS3 L 1.5 2.5 3.5
```

- سه چشمه سطحی کروی واقع بر سطح سلول ۱۲ درون سلول‌های ۱۰، ۲۰ و ۳۰:

```
sdef sur=3 cel=d1:0
```

تعریف چشمه ۱۲۹

si1 L 10 20 30

sp1 1 1 1

- سه چشمه حجمی کروی شامل سلول‌های ۱۱، ۱۴ و ۱۵ درون سلول ۲۰:

sdef pos=d1 cel=20:d2 rad=d3

si1 L 0 0 0 0 5 0 0 -5 0

sp1 1 1 1

si2 L 11 14 15

sp2 1 1 1

si3 0 2

sp3 0 1

- چشمه‌های حجمی کروی شامل همه کره‌های موجود در مسئله:

sdef pos=d1 cel=d2:d3 rad=d4

si1 L 0 0 0 5 0 0 -5 0 0 0 5 0 0 -5 0

sp1 1 4r

si2 L 10 20 30

sp2 1 2r

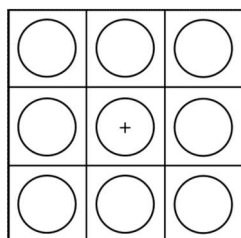
si3 L 11 12 13 14 15

sp3 1 4r

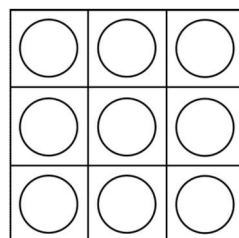
si4 0 2

sp4 0 1

مثال ۵-۳۴) با در نظر گرفتن هندسه زیر، چشمه‌های خواسته شده را تعریف نمایید



Cel 10



Cel 20

1 0 1

2 0 -1 #10#20

10 0 -2 fill=1

20 like 10 but trcl=(14 0 0)

11 0 -3 u=1 lat=1 fill=2

12 0 -4 u=2

13 0 4 u=2

1 SO 50

2 RPP -6 6 -6 6 -6 6

3 RPP -2 2 -2 2 -2 2

4 SO 1

۱۳۰ آموزش کد MCNPX

- یک چشمه نقطه‌ای در مرکز سلول ۱۲ واقع در عنصر (۰، ۰، ۰) درون سلول ۲۰:
`sdef pos=0 0 0 cel=20:11(0 0 0):12`
 - دو چشمه نقطه‌ای در مرکز سلول ۱۲ واقع در عنصر (۰، ۰، ۰) درون سلول‌های ۱۰ و ۲۰:

```
sdef pos=0 0 0 cel=d1:11(0 0 0):12
si1 L 10 20
sp1 1 1
```

- سه چشمه نقطه‌ای واقع در مرکز سلول ۱۲ واقع در عنصر (۰، ۰، ۱) درون سلول ۱۰، عنصر (۰، ۰، -۱) درون سلول ۲۰ و عنصر (۰، ۱، ۱) درون سلول ۱۰:

```
sdef pos=0 0 0 cel=d1
si1 L 10:11( 1 0 0):12 20:11(-1 0 0):12 10:11( 1 1 0):12
sp1 1 1 1
```

- یک چشمه حجمی کروی شامل سلول ۱۲ واقع در عنصر (۰، ۱، -۱) درون سلول ۲۰:
`sdef pos=0 0 0 cel=20:11(-1 1 0):12 rad=d1`
`si1 0 1`
`sp1 0 1`

۹-۵ تمرین

۱- یک چشمه ^{60}Co را به صورت یک استوانه به ارتفاع ۱۰ cm و شعاع ۱ cm تعریف کنید.

۲- یک چشمه نقطه‌ای ^{252}Cf در مبدا مختصات تعریف کنید.

۳- یک باریکه پروتون در راستای محور Z تعریف کنید که دارای طیف انرژی به صورت زیر است:

$$\frac{dN}{dE} = \left(\frac{N_1}{\sqrt{\pi E T_1}} \right) \exp\left(-\frac{E}{T_1}\right) + \left(\frac{N_2}{\sqrt{\pi E T_2}} \right) \exp\left(-\frac{E}{T_2}\right)$$

که در آن داریم:

$$T_1 = 2.9 \text{ MeV}, N_1 = 4.34 \times 10^{13}, T_2 = 10.27 \text{ MeV}, N_2 = 5.44 \times 10^{12}$$

۴- در یک برنامه، یک چشمه نقطه‌ای در مختصات (۰، ۰، ۵) و یک چشمه کروی به

شعاع ۳ cm که مرکزش در مختصات (۰، ۰، -۱۰) است تعریف کنید اگر:

الف) چشمه کروی سطحی باشد؛ ب) چشمه کروی حجمی باشد.

۵- مطلوب است تعریف یک باریکه پروتونی به قطر ۷ cm و انرژی ۱ GeV. حالت قبلی

را با چشمه دوترونی تکرار نمایید.

۶- یک میله سوخت استوانه‌ای حاوی اکسید اورانیوم به شعاع ۱ cm و به ارتفاع یک متر

تعریف کنید.

۷- دو چشمه حجمی استوانه‌ای به طول‌های ۳ cm و ۵ cm و شعاع‌های ۱ cm و ۲ cm

در نظر بگیرید که اولی در راستای محور X و دیگری در راستای محور Y قرار دارد.

مرکز اولی در مختصات (۰، ۰، ۸) و دیگری در (۰، ۰، -۸) واقع است. هر دو چشمه

گاماها هستند. انرژی گامای اولی برابر ۱ MeV و دیگری برابر ۳ MeV می‌باشد. این

چشمه را تعریف کنید.

۸- دو چشمه همزمان که یکی استوانه‌ای و دیگری کروی است تعریف کنید.

۹- در مثال ۵-۳۳ یک چشمه حجمی شامل سلول ۱۶ درون سلول ۱۰ تعریف کنید.

۱۰- در مثال ۵-۳۴ یک چشمه حجمی شامل همه سلول‌های ۱۲ موجود در مسئله

تعریف کنید.

آموزش کد MCNPX ۱۳۲

۱۱- یک چشمه حجمی به شکل یک هرم با قاعده مثلثی به ضلع ۱۰ و ارتفاع ۱۲ cm تعریف کنید.

۱۲- یک چشمه نقطه‌ای تعریف کنید که به طور هم زمان ذرات نوترون را با انرژی ۴ MeV و فوتون را با انرژی ۱/۲ MeV گسیل می‌کند. احتمال گسیل نوترون و فوتون را به ترتیب برابر ۹۷ و ۳ درصد فرض کنید. (از آنجا که در میدان‌های آمیخته نوترون و گاما معمولاً نرخ گسیل این دو ذره تفاوت چشمگیری دارند، لذا نمونه‌برداری از این دو ذره دارای بازدهی مناسبی نیست، بنابراین توصیه می‌شود تا با رعایت نکات و مفاهیم فیزیکی مسئله مورد نظر، دو برنامه جداگانه، یکی برای نوترون و دیگری برای گاما، اجرا کنید و در نهایت نتایج محاسبات را با در نظر گرفتن سهم هر یک از ذرات نوترون و گاما با یکدیگر جمع کنید).

۶ تعریف انواع خروجی

۱-۶ خروجی‌های استاندارد یا تالی‌ها

به کمک کد می‌توان کمیت‌های فیزیکی مرتبط با جریان، شار و یا انرژی تخلیه شده را محاسبه نمود. به این منظور از خروجی‌های استاندارد یا تالی‌ها^۱ استفاده می‌کنیم. یک تالی با تعیین نوع آن و نوع ذره، به صورت $F_n:pl$ تعریف می‌شود که pl معرف نوع ذره است (بر اساس جدول ۵-۲) و n یک عدد صحیح و حداکثر سه رقمی است که رقم آخر آن نوع تالی را مشخص می‌کند.

انواع تالی‌های قابل تعریف و مفهوم آنها در جدول ۱-۶ آمده است. اضافه کردن علامت ستاره (*) به صورت $*F_n$ باعث ضرب تالی در انرژی (یا عدد $10^{-22} \times 19 \times 60 / 1$) برای تبدیل واحد) و در نتیجه تغییر یکای تالی می‌گردد. جدول ۲-۶ یکای انواع تالی‌ها را نشان می‌دهد.

^۱ Tally

آموزش کد MCNPX ۱۳۴

جدول ۱-۶ انواع تالی‌های قابل تعریف در کد

F1:pl	جریان سطحی
F2:pl	شار سطحی
F4:pl	شار سلولی
F5a:n,p	شار در یک نقطه یا حلقه
F6:pl	انرژی تخلیه شده در سلول
+F6	گرمای حاصل از اندرکنش در سلول
F7:n	انرژی تخلیه شده ناشی از شکافت در سلول
F8:pl	توزیع انرژی حاصل از پالس‌های ایجاد شده در یک آشکار ساز توسط تابش
+F8:pl	بار تخلیه شده در سلول

جدول ۲-۶ یکای تالی‌های مختلف

نوع تالی	واحد Fn	ضریب *Fn	واحد *Fn
F1	تعداد ذره	E	MeV
F2	تعداد ذره/cm ²	E	MeV/cm ²
F4	تعداد ذره/cm ²	E	MeV/cm ²
F5a	تعداد ذره/cm ²	E	MeV/cm ²
F6	MeV/g	1.60219E-22	Jerks*/g
+F6	MeV/g	-	-
F7	MeV/g	1.60219E-22	Jerks/g
F8	تعداد پالس	E	MeV
+F8	مقدار بار	E	MeV

* 1Jerks=10⁹J

تعریف انواع خروجی ۱۳۵

۱. تالی‌ها (به جز تالی F5) روی سطح یا درون حجم سلول تعریف می‌شوند، لذا باید شماره سطح یا سلول مورد نظر را برای هر تالی مشخص نماییم، مثلاً برای محاسبه شار نوترون‌های عبوری از یک سطح، باید شماره آن سطح را در تالی F2 بنویسیم:

F2:n 93

عدد ۹۳ شماره سطحی است که می‌خواهیم شار عبوری از آن را محاسبه نماییم.

۲. تالی‌های F1 و F2 روی سطح و تالی‌های F6، F7 و F8 درون سلول تعریف می‌شوند.

۳. نمی‌توان یک نوع تالی را با یک شماره بیش از یکبار در فایل ورودی نوشت. اما می‌توان از یک عدد صحیح و حداکثر سه رقمی که رقم آخر آن نوع تالی را مشخص می‌کند استفاده کرد. مثلاً برای محاسبه شار عبوری چند نوع ذره داریم:

F2:h 93

F12:p 93

F102:e 93

F62:a 93

در این مثال، هر چهار تالی از نوع F2 هستند.

۴. تالی‌ها تنها برای ذراتی قابل تعریف هستند که در فایل ورودی توسط کارت Mode (بخش ۸-۱-۱ را ببینید) تعریف شده باشند.

۱-۱-۶ تالی جریان سطحی

این تالی برای محاسبه جریان ذرات (یا جریان انرژی) عبوری از یک سطح، که به صورت زیر تعریف می‌شود، استفاده می‌گردد:

$$F1: \int \int \int \int_{A \mu t E} \vec{J}(\vec{r}, E, t, \mu) dE dt d\mu dA$$

$$*F1: \int \int \int \int_{A \mu t E} E * \vec{J}(\vec{r}, E, t, \mu) dE dt d\mu dA$$

حدود انتگرال‌گیری روی انرژی، زمان، زاویه و سطح را می‌توان به ترتیب با استفاده

از کارت‌های En, Tn, Cn و FSn تعیین نمود (بخش ۷-۱ را ببینید). همچنین جهت

آموزش کد MCNPX ۱۳۶

بردار مرجع برای محاسبه زاویه را نیز می‌توان با کارت FTn تغییر داد (بخش ۷ را ببینید).

مثال ۱-۶)

F1:n 1 2 T
F11:h (3 4)
F121:p 3

در این مثال جریان نوترون‌های عبوری از سطوح ۱ و ۲ و مجموع جریان عبوری از آنها محاسبه می‌شود. همچنین میانگین جریان پروتون‌های عبوری از سطوح ۳ و ۴ و جریان فوتون‌های عبوری از سطح ۳ محاسبه می‌گردد.
نکته: جریان عبوری برای سطوحی قابل محاسبه است که در تعریف سلول‌های مسئله استفاده شده باشند.

۲-۱-۶ تالی شار سطحی

یکی از پارامترهای مهم در فیزیک شار می‌باشد که یک کمیت نقطه‌ای است. این کمیت به روش‌های مختلف محاسبه می‌شود، اما در کد بر اساس تخمین طول مسیر محاسبه می‌شود. فرض کنید طول مسیر طی شده^۱ را با T_ℓ و میانگین پوشش آزاد^۲ را با $\bar{\lambda}$ نمایش دهیم در این صورت داریم:

$$\text{تعداد برخوردها} = \frac{\text{کل مسیر طی شده توسط ذره}}{\text{میانگین پوشش آزاد ذره}} = \frac{T_\ell}{\bar{\lambda}} = \Sigma_t \phi V \rightarrow \phi = \frac{T_\ell}{V}$$

که در این رابطه V ، حجم ناحیه مورد نظر، Σ_t ، سطح مقطع کل و از طرفی $\bar{\lambda} = \frac{1}{\Sigma_t}$ می‌باشد.

برای محاسبه شار ذرات (یا انرژی) عبوری از یک سطح از تالی F2 استفاده می‌شود که به شکل زیر تعریف می‌گردد:

^۱ Track length

^۲ Mean free path

تعریف انواع خروجی ۱۳۷

$$F2: \int \int \int_A \varphi(\vec{r}, E, t) dE dt dA/A$$

$$*F2: \int \int \int_A E \varphi(\vec{r}, E, t) dE dt dA/A$$

در اینجا نیز می‌توان حدود انتگرال‌گیری روی انرژی، زمان و سطح را به ترتیب با کارت‌های En ، Tn و FSn مشخص نمود (بخش ۷-۱ را ببینید).

نکته: دقت کنید که A در مخرج، مساحت سطح مورد نظر است که ممکن است در تعریف چند سلول استفاده شده باشد. کد سعی می‌کند مساحت سطح مورد نظر را محاسبه کند و اگر نتوانست آنگاه برنامه متوقف و پیام زیر نمایش داده می‌شود:

tally volumes or areas were not input nor calculated

برای در نظر گرفتن مساحت مورد نظر می‌توان با استفاده از کارت SDn مقدار مساحت را مشخص کرد (بخش ۷-۱-۶ را ببینید).

مثال ۶-۲)

$F22:n,p 100$

در این مثال، میزان عبور شار نوترون و فوتون از سطح شماره ۱۰۰ محاسبه می‌گردد.

۶-۱-۳ تالی شار حجمی

این تالی برای محاسبه شار عبوری یک ذره از یک سلول بکار برده می‌شود که به شکل زیر تعریف می‌گردد:

$$F4: \int \int \int_V \varphi(\vec{r}, E, t) dE dt dV/V$$

$$*F4: \int \int \int_V E \varphi(\vec{r}, E, t) dE dt dV/V$$

در اینجا نیز می‌توان حدود انتگرال‌گیری روی انرژی و زمان را به ترتیب با کارت‌های En و Tn مشخص نمود.

آموزش کد MCNPX ۱۳۸

نکته: دقت کنید که V در مخرج، حجم سلول مورد نظر است. کد سعی می‌کند حجم سلول مورد نظر را محاسبه کند و اگر نتوانست آنگاه برنامه متوقف و پیام زیر نمایش داده می‌شود:

tally volumes or areas were not input nor calculated

برای در نظر گرفتن حجم مورد نظر می‌توان با استفاده از کارت SDn مقدار حجم را مشخص کرد (بخش ۷-۱-۶ را ببینید) و یا با استفاده از کارت Vol حجم را در خط تعریف سلول مورد نظر وارد نمود:

مثال ۶-۳) در این مثال، مقدار شار نوترون در سلول شماره ۹۳ محاسبه می‌گردد:

F14:n 93

که سلول ۹۳ به شکل زیر تعریف شده است:

93 1 -1.05 -10 11 -12 13 -14 15 Vol=3.245

۴-۱-۶ تالی شار نقطه‌ای

این تالی به تالی آشکار ساز معروف است و برای محاسبه شار عبوری یک ذره در یک نقطه خاص استفاده می‌شود که به شکل زیر تعریف می‌گردد:

$$F5: \int_t \int_E \phi(\vec{r}, E, t) dE dt$$

$$*F5: \int_t \int_E E \phi(\vec{r}, E, t) dE dt$$

تالی F5 به دو صورت تعریف می‌شود:

۱- شار آشکار ساز نقطه‌ای:

$$F5: p1 X Y Z \pm R_0$$

که $p1$ نوع ذره، $(X Y Z)$ مختصات مکان مورد نظر جهت محاسبه تالی و R_0 شعاع کره‌ای است به مرکز مختصات داده شده که اگر با علامت مثبت باشد بر حسب سانتی‌متر و اگر با علامت منفی باشد بر حسب مسافت میانگین آزاد^۱ بیان می‌شود.

³ Mean free path

تعریف انواع خروجی ۱۳۹

۲- شار آشکارساز حلقه‌ای:

$$F5a: p1 \ a_0 \ r \ \pm R_0$$

این حالت مانند آشکار ساز نقطه‌ای است با این تفاوت که نمونه برداری از نقاط روی حلقه‌ای که با پارامترهای a_0 و r تعریف می‌شود، صورت می‌گیرد و سپس کره‌ای به شعاع R_0 حول نقاط نمونه برداری شده، تعریف می‌گردد. پارامتر a محور حلقه را مشخص می‌کند و می‌تواند X یا Y یا Z باشد، a_0 محل مرکز حلقه روی محور مورد نظر و r شعاع حلقه برحسب سانتی‌متر است.

مثال ۴-۶ در این مثال، شار نوترون در نقطه (۱، ۱، ۱) و در ناحیه‌ای به شعاع ۵/۰ سانتی‌متر محاسبه می‌شود. همچنین شار فوتون در آشکار ساز حلقه‌ای روی محور Y در نقطه $y=10$ و به شعاع ۵ سانتی‌متر محاسبه می‌گردد:

$$F15:n \ 1 \ 1 \ 1 \ 0.5$$

$$F105Y:P \ 10 \ 5 \ 1$$

۵-۱-۶ تالی انرژی

تالی $F6$ مقدار انرژی حاصل از اندرکنش ذره بر واحد جرم یک سلول را بیان می‌کند که گاهی تالی کرما^۱ نیز نامیده می‌شود. تالی $F7$ میزان انباشت انرژی حاصل از واکنش شکافت در واحد جرم سلول مورد نظر را بیان می‌کند و بدیهی است که این تالی فقط برای نوترون قابل تعریف است. این دو تالی به صورت زیر تعریف می‌گردند:

$$F6,7: \frac{\rho_a}{\rho_g} \int \int \int_V H(E) \cdot \phi(\vec{r}, E, t) dE dt dV$$

که:

ρ_a : چگالی اتمی (atoms/barn-cm)

ρ_g : چگالی جرمی (g/cm^3)

و $H(E)$ ، میزان انباشت انرژی برحسب (MeV/collision) می‌باشد.

^۱ Kerma

۶-۱-۶ تالی نوع هشت

این تالی، تالی ارتفاع پالس^۱ نامیده می‌شود که در واقع مقدار فراوانی ذرات ثبت شده در هر سلول را بیان می‌کند. اگر از تالی F8* استفاده شود می‌توان برای محاسبه دز در هر سلول استفاده نمود به شرطی که بر واحد جرم آن سلول نیز تقسیم گردد. نکته (۱): روند محاسبه تالی ارتفاع پالس به طور ذاتی به صورت آنالوگ می‌باشد، لذا این تالی با نوترون‌ها و روش‌های کاهش واریانس سازگار نیست.

نکته (۲): بازه بندی انرژی در تالی F8 به صورت زیر توصیه می‌شود:

$E_8 \ 0 \ 1e-5 \ E_1 \ E_2 \ E_3 \ \dots$

دلیل در نظر گرفتن بازه $1e-5$ به خاطر اندرکنش Knock-on الکترون می‌باشد.

۶-۲ نکاتی در مورد تالی‌ها

نکته (۱): توصیه می‌شود که جهت آشنایی بیشتر با نحوه محاسبه تالی‌ها به روش مونت کارلو و نیز فیزیک حاکم بر محاسبات کد، فصل دوم مرجع [۱] مطالعه شود.

نکته (۲): در تالی F1 جهت ذرات مهم است ولی در تالی F2 جهت ذرات اهمیتی ندارد، فقط میزان عبور ذرات از واحد آن سطح مهم می‌باشد.

نکته (۳): در محیط‌های کوچک تالی F8 با تالی F6 یکسان نیست، ولی در محیط‌های بزرگ که احتمال فرار فوتون و یا الکترون کمتر است، در این صورت مقادیر آنها نزدیک به هم می‌شود.

نکته (۴): برای مواد شکافت پذیر غالباً نتیجه تالی F7 بهتر از نتایج تالی F6 است. در حالی که تالی F7 تنها برای اندرکنش شکافت برای ذره نوترون قابل استفاده است، ولی تالی F6 برای همه اندرکنش‌ها و برای همه ذرات مورد استفاده قرار می‌گیرد.

نکته (۵): اگر ضخامت سلول کم باشد و یا تولید الکترون‌ها در نزدیکی مرزهای سلول زیاد باشد و یا انرژی این الکترون‌ها اثر مهمی روی سلول‌های مجاور داشته باشند،

¹ Pulse Height Tally

تعریف انواع خروجی ۱۴۱

در این صورت بایستی برای محاسبه مقدار انرژی به جای مانده این الکترون‌ها علاوه بر استفاده از کارت F6:P، از کارت F6:E نیز استفاده نمود تا انباشت انرژی آنها در داخل یک سلول به طور صحیح برآورد گردد.

مثال ۵-۶) یک کره تو خالی به شعاع R در نظر بگیرید که یک چشمه نقطه‌ای نوترون با انرژی ۳ MeV در مرکز آن قرار دارد. مقدار تالی‌های F1، *F11، F2 و *F12 را روی سطح کره و F4 و *F14 را درون کره محاسبه کنید.

چون هیچ ماده‌ای درون کره وجود ندارد، لذا تمام ذرات خروجی حاصل از چشمه، از سطح کره خارج می‌شوند بنابراین انتظار داریم که مقدار F1 برابر یک باشد. برای بقیه تالی‌ها داریم:

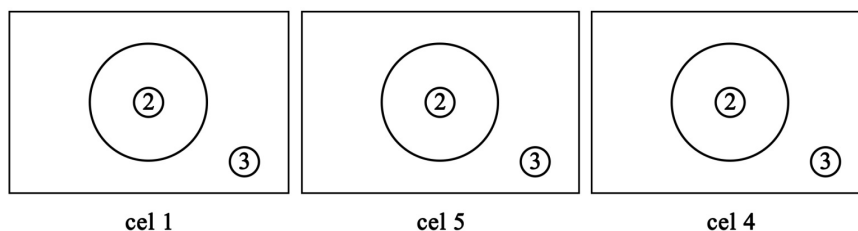
تالی	*F14	F4	*F12	F2	*F11	F1
خروجی	$\frac{3R}{4/3\pi R^3}$	$\frac{R}{4/3\pi R^3}$	$\frac{3}{4\pi R^2}$	$\frac{1}{4\pi R^2}$	3	1

۳-۶ تعریف خروجی در هندسه‌های تکراری

۱-۳-۶ هندسه‌های شامل Like n But

در این نوع هندسه‌ها از ترکیب علامت‌های پرانتز () و کوچکتر (<) می‌توان برای تعریف تالی در یک یا چند سلول خاص استفاده کرد.

مثال ۶-۶) شکل زیر را در نظر بگیرید:



آموزش کد MCNPX ۱۴۲

```
1 0 -101 fill=4
2 0 -102 u=4
3 0 102 u=4
4 like 1 but trcl=(10 0 0)
5 like 1 but trcl=(20 0 0)
6 0 #1 #2 #3 #4 #5
```

برای محاسبه تالی در سلول‌های مختلف داریم:

۱. میانگین در سلول ۱ (یک خروجی):

F4:n 1 یا ((2 3))<1

۲. میانگین در سلول ۱ درون سلول ۴ (یک خروجی):

(2<4)

۳. میانگین در سلول ۳ درون سلول ۵ (یک خروجی):

(3<5)

۴. میانگین در سلول ۲ درون سلول ۱ و میانگین درون سلول ۳ درون سلول ۱ (دو خروجی):

(2 3<1) یا (2<1)(3<1)

۵. میانگین در سلول ۲ درون سلول‌های ۱، ۴ و ۵ (سه خروجی):

(2<U=4) یا (2<4)(2<5)(2<1) یا (2<1 4 5)

۶. میانگین در سلول‌های ۲ و ۳ درون سلول‌های ۱ و ۴ و ۵ (شش خروجی):

(2 3<U=4) یا (2 3<1 4 5) یا (2<1)(2<4)(2<5)(3<1)(3<4)(3<5)

۷. میانگین در مجموع سلول‌های ۲ و ۳ درون سلول‌های ۱، ۴ و ۵ (سه خروجی):

(2 3<1 4 5) یا ((2 3)<1)((2 3)<4)((2 3)<5)

یا (2 3)<U=4 یا 1 4 5 یا

۸. میانگین همه سلول‌های ۲ در مسئله (یک خروجی):

(2<U=4) یا (2<1 4 5) یا 2

۹. میانگین در مجموع همه سلول‌های ۲ و ۳ در مسئله (یک خروجی)

(U=4) یا (1 4 5) یا ((2 3)<1 4 5) یا (2 3)

تالی‌های سطحی را نیز به همین شکل می‌توان تعریف کرد:

F2:n (102<1)

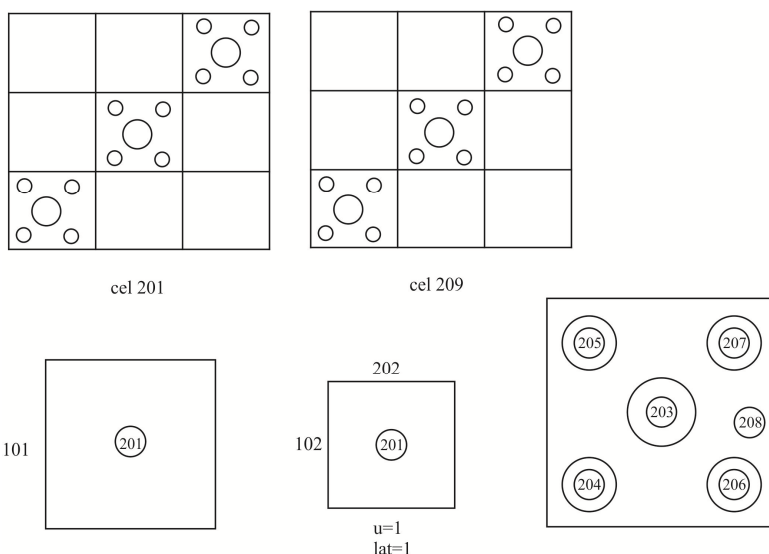
F1:n (102<1 4 5)

تعریف انواع خروجی ۱۴۳

۲-۳-۶ هندسه‌های شامل lat, fill, u

از ترکیب مناسب علامت‌های پرانتز (<)، کوچکتر (<) و براکت ([]) می‌توان برای تعریف تالی در سلول‌های مختلف استفاده کرد.

مثال ۶-۷) شکل زیر را نظر بگیرید:



این مسئله شامل سلول‌های زیر است:

```
201 0 -101 fill=1
202 0 -102 u=1 lat=1 fill=-1:1 -1:1 0:0
      2 1 1
      1 2 1
      1 1 2
209 like 201 but trcl=(10 0 0)
```

برای محاسبه تالی در سلول‌های مختلف داریم:

۱. میانگین در کل سلول ۲۰۱ (یک خروجی):

F4:n 201 یا (202<201)

۲. میانگین در کل سلول ۲۰۹ (یک خروجی):

209 یا (202<209)

۳. میانگین در مجموع کل سلول‌های ۲۰۱ و ۲۰۹ (یک خروجی):

آموزش کد MCNPX ۱۴۴

$(u=1)$ یا $(202 < (201 \ 209))$ یا $(201 \ 209)$ یا 202

۴. میانگین در همه سلول‌های ۲۰۴ موجود در مسئله (یک خروجی):

$(204 < (202 [-1:1 \ -1:1 \ 0:0]))$ یا $(204 < (u=2))$ یا $(204 < (201 \ 209))$ یا 204

۵. میانگین در همه سلول‌های ۲۰۴ موجود در سلول ۲۰۹ (یک خروجی):

$(209 < (202 [-1:1 \ -1:1 \ 0:0]))$ یا $(204 < (209))$ یا $(204 < (u=2) < 209)$

۶. میانگین مجموع همه سلول‌های ۲۰۴ و ۲۰۵ موجود در مسئله (یک خروجی):

$(204 \ 205 < (201 \ 209))$ یا $((204 \ 205) < (u=2) < (201 \ 209))$

یا $(204 \ 205 < (202 [-1:1 \ -1:1 \ 0:0]) < (201 \ 209))$

۷. میانگین در همه سلول‌هایی که با $U=2$ تعریف شده‌اند (یک خروجی):

$((203 \ 204 \ 205 \ 206 \ 207 \ 208) < (u=2))$

یا $((203 \ 204 \ 205 \ 206 \ 207 \ 208) < (u=2) < (201 \ 209))$

یا $((203 \ 204 \ 205 \ 206 \ 207 \ 208) < (201 \ 209))$

۸. میانگین در سلول ۲۰۲ واقع در عنصر $[0 \ -1 \ -1]$ شبکه درون سلول ۲۰۹ (یک

خروجی):

$(202 < 202 [1] < 209)$ یا $(202 < 202 [-1 \ -1 \ 0] < 209)$

عدد یک $[1]$ یعنی سلول ۲۰۲ در اولین عنصر شبکه. این نوع تعریف وقتی

امکان‌پذیر است که با دستور fill و uهای مختلف، نحوه پر شدن عناصر شبکه را مدیریت کرده باشیم.

۹. میانگین در تک‌تک عناصر شبکه (نه خروجی):

$(202 < 202 [-1:1 \ -1:1 \ 0:0] < 201)$

یا $(202 < 202 [1] 202 [2] \dots < 201)$

۱۰. میانگین در تک‌تک سلول‌های ۲۰۸ که در سلول ۲۰۱ وجود دارند (نه خروجی که

سه تایی آنها غیر صفر است):

$(208 < u=2 < 201)$

یا $(208 < 202 [-1:1 \ -1:1 \ 0:0] < 201)$

۱۱. میانگین در سلول ۲۰۸ درون سلول ۲۰۱ واقع در عنصر $[0 \ 0 \ 1]$ شبکه (یک

خروجی):

تعریف انواع خروجی ۱۴۵

$(201 < [0 \ 0 \ 1] < 202 < 208)$

۱۲. میانگین در تک تک سلول های ۲۰۸ موجود در مسئله (شش خروجی):

$(209 < 201 < u=2 < 208)$

یا $(209 < u=2 < 208)$ $(201 < u=2 < 208)$

اکنون به نکات زیر توجه نمایید:

۱. وقتی شماره یک سلول خاص تعریف می شود، تالی در تمام سلول های موجود در مسئله، که دارای آن شماره هستند، محاسبه می گردد و یک عدد در خروجی تولید می کند:

$F4:n \ 201 \ 209$

۲. وقتی شماره دو یا چند سلول درون یک پرانتز تعریف می شود، میانگین تالی در همه آن سلول ها محاسبه می شود و نتیجه به صورت یک عدد در خروجی تولید می شود:

$F4:n \ (204 \ 205)$

۳. از علامت ($<$) برای تعریف سلول هایی که در داخل سلول های دیگر قرار دارند استفاده می شود:

(سلول ۲۰۲ داخل سلول ۲۰۱ است) $(201 < 202)$

۴. اگر سلولی در دو یا چند سلول دیگر وجود دارد، برای تعریف تالی در آن سلول می توان از تعریف های زیر استفاده کرد:

$(209 < 201 < 202)$ یا $(209 < 202 < 201)$

تعریف زیر شش خروجی دارد:

$(209 < 201 < 206 < 205 < 204)$

که عبارتند از:

$(209 < 204 < 201)$

$(209 < 205 < 201)$

$(209 < 206 < 201)$

۵. برای تعریف تالی در یک سلول واقع در یک عنصر خاص از شبکه، باید از مختصات

ماتریسی آن عنصر استفاده کنیم:

$(201 < [0 \ 0 \ 1] < 202 < 208)$

یعنی سلول ۲۰۸ درون سلول ۲۰۲ در عنصر [۱ ۰ ۰] که درون سلول ۲۰۱ قرار دارد. اگر سطح آخر یعنی (<201) را تعریف نکنیم تالی به صورت میانگین روی تمام ($208 < 202 [1\ 0\ 0]$) های ممکن، محاسبه می‌شود. ($208 < 202 [1\ 0\ 0]$)

۶. برای تعریف تالی در یک سلول واقع در چندین عنصر شبکه داریم:
($208 < 202 [-1:1\ -1:1\ 0:0] < 201$)
۷. اگر سلولی به عنوان $U=n$ تعریف شده باشد می‌توان از تعریف زیر استفاده نمود:
($208 < u=2 < 201$)

۴-۶-۱ مش تالی^۱

مش تالی یکی از قابلیت‌های مهم نسخه X است که به کمک آن می‌توان برخی کمیت‌ها مانند شار، دز و غیره را به صورت مش‌بندی شده در هر ناحیه‌ای از هندسه مسئله محاسبه و نمایش داد. نتیجه محاسبات مش تالی در یک فایل خاص به نام پیش فرض mdata ذخیره می‌شود که می‌توان آن را به کمک کد جانبی gridconv به یک فایل متنی قابل خواندن و رسم تبدیل نمود. البته در صورت استفاده از کارت prdmp نتایج مش تالی درون فایل metal نیز چاپ خواهد شد (بخش ۷-۱-۱۴ را ببینید). یکی از قابلیت‌های مهم مش تالی این است که می‌توان نتایج محاسبات آن را روی هندسه مسئله مشاهده نمود (بخش ۱۲-۳-۴ را ببینید).

۴-۶-۱ نحوه تعریف مش تالی

تمام کارت‌های مربوط به مش تالی در یک بلوک مشخص نوشته می‌شوند که ابتدای آن بلوک با کارت tmesh و انتهای آن با کارت endmd مشخص می‌شود. برای استفاده از مش تالی باید سه چیز را مشخص کنیم:

۱. نوع مش‌بندی
۲. ابعاد مش‌بندی
۳. نوع کمیت مورد نظر یا همان نوع مش تالی

^۱ Mesh Tally

تعریف انواع خروجی ۱۴۷

در ادامه با ذکر یک مثال، روش تعریف این سه عامل را توضیح می‌دهیم. مثال زیر را در نظر بگیرید:

مثال ۶-۸)

```
Tmesh
Rmesh1:p flux
Cora1 -10 10
Corb1 1 8i 10
Corc1 2 4 6
Endmd
```

۱. کارت‌های endmd, tmesh ابتدا و انتهای بلوک مش‌تالی را مشخص می‌کند.
۲. کلمه rmesh مشخص می‌کند که نوع مش‌بندی دکارتی یا مستطیلی است. برای مش‌بندی کروی از Smesh و برای استوانه‌ای از Cmesh استفاده می‌کنیم.
۳. عدد ۱ در rmesh نوع مش‌تالی را مشخص می‌کند. توجه کنید که نوع مش‌تالی‌ها با تالی‌های نوع Fn کاملاً متفاوت است.
۴. ابعاد مش‌بندی با کارت‌های cora, corb و corc تعریف می‌شود. عدد ۱ که به این سه کارت متصل شده‌اند مشخص می‌کند که این مش‌بندی برای تالی شماره ۱ تعریف شده است. این سه کارت در مش‌بندی دکارتی به ترتیب معرف راستای X، Y و Z هستند و اعدادی که مقابل هر یک از آنها درج شده است ابعاد مش‌بندی را مشخص می‌کند. در این مثال در راستای X از مختصات ۱۰- تا ۱۰ به صورت یک قسمت تعریف شده است و در راستای Y از مختصات ۱ تا ۱۰ به ده قسمت مساوی تقسیم شده است. راستای Z نیز به دو قسمت مساوی به طول ۲ سانتی‌متر تقسیم شده است و لذا ابعاد هر مش برابر $2 \times 1 \times 2 \text{ cm}^3$ و تعداد آنها برابر $2 \times 9 \times 1$ است.
- برای نوع استوانه‌ای، cora معادل راستای شعاعی، corb معادل راستای Z و corc معادل راستای زاویه سمتی است. بدیهی است که شعاع و زاویه همواره مقادیر مثبتی دارند. عدد اول در cora باید برابر صفر و در corc نباید برابر صفر باشد. آخرین عدد در corc باید برابر ۳۶۰ باشد.

برای نوع کروی، cora معادل راستای شعاعی، corb معادل راستای زاویه قطبی (زاویه با محور Z) و corc معادل راستای زاویه سمتی است. عدد اول در cora باید برابر صفر و در corb و corc نباید برابر صفر باشد. عدد آخر در corb باید برابر ۱۸۰ و در corc برابر ۳۶۰ باشد. در صورتی که ناحیه مورد نظر ما در مبداء مختصات قرار نداشته باشد و یا مثلاً محور ناحیه استوانه‌ای مورد نظر ما روی محور Z نباشد، باید با استفاده از کارت TRANS مش‌بندی را به ناحیه مورد نظر منتقل نمود. این کارت را در توضیح مش‌تالی نوع ۱ معرفی می‌کنیم (بند ۷ در بخش ۶-۴-۲ را ببینید).

همانطور که اشاره شد، عدد ۱ در این مثال معرف مش‌تالی نوع ۱ است. چهارنوع مش‌تالی وجود دارد که تعریف آنها با تالی‌های نوع Fn متفاوت است، با این حال در یک برنامه نباید شماره تالی‌های Fn با شماره مش تالی‌ها یکسان باشد.

۵. کلمه flux و p نشان می‌دهد که کمیت مورد نظر ما شار فوتون است.

۶-۴-۲ انواع مش تالی

چهار نوع مش‌تالی وجود دارد که نوع آنها با عدد ۱ تا ۴ مشخص می‌شود. اگر از یک نوع مش‌تالی بیش از یکبار استفاده شود باید از اعداد دو رقمی، که رقم آخر آنها نوع مش‌تالی را مشخص می‌کند، استفاده کنیم. در اینجا تنها مش‌تالی نوع ۱ که کاربرد بیشتری دارد را توضیح می‌دهیم. برای آشنایی بیشتر با مش‌تالی مرجع [۳] را ببینید.

به کمک مش‌تالی نوع ۱ می‌توان شار، دز، تعداد ذرات و غیره را در هر مش محاسبه نمود. ساختار تعریف این مش‌تالی به صورت زیر است:

(R/C/S)Meshn:pl keyword parameter=value

به جای کلمه keyword می‌توان یکی از کلمات زیر را قرار داد که معرف نوع کمیت

مورد نظر است:

۱- tracs جهت محاسبه تعداد طول مسیرها^۱ در هر مش

^۱ Track length

۲- Flux جهت محاسبه شار در هر مش

۳- Dose جهت محاسبه دز در هر مش. محاسبه دز با استفاده از توابع استاندارد تبدیل شار به دز صورت می‌گیرد. البته کاربر نیز می‌تواند هر تابع دلخواهی را نیز برای این کار تعریف نماید. جهت استفاده از توابع استاندارد، بعد از کلمه Dose پارامترهای زیر را می‌نویسیم:

Dose Ic Int Iu fac

که مقادیر مختلف IC در جدول ۷-۳ آمده است. پارامتر Int مربوط به نوع درونیایی تابع پاسخ است، به این ترتیب که اگر برابر ۱ باشد، درونیایی لگاریتمی (حالت پیش فرض) و اگر برابر ۲ باشد، درونیایی خطی خواهد بود. پارامتر Iu مربوط به واحد دز است، به این ترتیب که اگر برابر ۱ باشد، واحد دز $(\text{rem/h})/(\text{particles/cm}^2/\text{s})$ و اگر برابر ۲ باشد (حالت پیش فرض)، واحد دز به صورت $(\text{Sv/h})/(\text{particles/cm}^2/\text{s})$ خواهد بود. پارامتر fac نیز هر عددی است که بخواهیم در نتایج خروجی ضرب کنیم. برای استفاده از یک تابع پاسخ جدید، ابتدا با استفاده از کارت MSHMFm آن تابع را تعریف می‌نماییم، که m یک عدد دلخواه بین یک تا نه است. سپس بعد از کلمه dose عدد m را وارد می‌کنیم.

۴- Popul جهت محاسبه تعداد ذرات در هر مش

۵- Pedep جهت محاسبه انرژی تخلیه شده در واحد حجم هر مش

۶- MFACT جهت محاسبه کمیت‌هایی به صورت زیر در هر مش:

$$C \int \phi(E) R(E) dE$$

که ساختار آن به شکل زیر است:

MFACT m a b c

m شماره‌ای است که به تابع پاسخ $R(E)$ که در کارت MSHMFm تعریف کرده‌ایم، نسبت داده‌ایم. پارامتر a عددی است که نوع درونیایی خطی (عدد ۱) یا لگاریتمی (عدد ۲) را مشخص می‌کند. پارامتر b عددی است که مشخص می‌کند که تابع پاسخ $R(E)$ وابسته به انرژی تخلیه شده است (عدد صفر) و یا وابسته به جریان انرژی است

آموزش کد MCNPX ۱۵۰

(عدد ۱). عدد C نیز هر عدد دلخواهی است که بخواهیم در نتیجه محاسبات ضرب شود.

TRANS -۷ جهت چرخش یا انتقال مشبندی است که به صورت زیر استفاده می‌شود:
Trans n
که n عددی است که به کارت TRn مربوطه نسبت داده‌ایم (بخش ۳-۳ را ببینید).
به کمک این کارت می‌توان مشبندی را پس از تعریف، دوران یا انتقال داد. مثلاً اگر در مشبندی کروی، ناحیه مورد نظر در مبداء مختصات قرار نداشته باشد، با این کارت می‌توان مشبندی را به آنجا منتقل نمود.

۳-۴-۶ کارت‌های جانبی در مش تالی

۱- کارت ERGshn

برای تقسیم‌بندی مش تالی شماره n بر حسب انرژی و البته به صورت تک گروهی از این کارت به صورت زیر استفاده می‌شود:

ERGshn E₁ E₂

که E₁ و E₂ حدود بازه انرژی مورد نظر را مشخص می‌کند.

۲- کارت Mshmf

این کارت برای معرفی یک تابع پاسخ دلخواه به صورت زیر استفاده می‌شود:

Mshmf E₁ f₁ E₂ f₂ ...

که E_i بازه انرژی f_i مقدار تابع پاسخ در آن بازه را مشخص می‌کند.

۳- کارت FMn

این کارت برای ضرب مش تالی در یک عدد دلخواه و یا محاسبه نرخ واکنش‌ها استفاده می‌شود (بخش ۳-۱-۷ را ببینید). این کارت نباید داخل بلوک مخصوص مش تالی نوشته شود.

۶-۴-۴ خروجی مش تالی

نتایج محاسبات مش تالی در فایل outp چاپ نمی‌شود، بلکه در یک فایل جداگانه به نام پیش فرض mdata تولید می‌شوند. این فایل دارای ساختار باینری^۱ است و قابل خواندن نمی‌باشد. برای استفاده از این فایل باید ابتدا آن را توسط کد جانبی gridconv به ساختار دلخواه خود تبدیل نماییم. در صورت استفاده از کارت prdmp و تولید فایل mctal (بخش ۷-۱-۱۴ را ببینید)، نتایج مش تالی در فایل mctal نیز چاپ خواهد شد که می‌توان آن را نیز با استفاده از کد gridconv به ساختار دلخواه خود تبدیل نمود. در ادامه روش استفاده از کد gridconv را توضیح می‌دهیم.

۶-۴-۵ تبدیل فایل mdata با استفاده از کد gridconv

پس از اجرای کد gridconv، مراحل زیر را طی می‌کنیم:

- ۱- ابتدا نوع فایل اصلی را تعیین می‌کنیم، که در اینجا mdata را وارد می‌کنیم:
Enter the type of data file: mdata or mctal.
<default=mdata>:
mdata
- ۲- نام فایل اصلی را مشخص می‌کنیم:
Enter name of input file. <default=mdata>:
Filename
- ۳- آیا نوع فایل باینری است؟ بله
Is this a binary data file? y/n
<default=yes>:
- ۴- در مرحله چهارم، حالت پیش فرض را انتخاب می‌کنیم:
Do you wish to create a text file? y/n
This file is portable to any system.
<default=no>:
- ۵- در این مرحله، فایل توسط کد خوانده می‌شود و اطلاعات مربوط به مش تالی‌های موجود نمایش داده می‌شود، از جمله نوع مش تالی، شماره مش تالی، تعداد مش در هر بعد و ...:

^۱ Binary

آموزش کد MCNPX ۱۵۲

The discription of what information is on each data set follows.

Data set no. 1 for mesh type 1 (X,Y,Z)
including energies from 0.00000 to 0.100000E+38 Mev.
and contains the following information:

```
The user assigned number =      1
The particle type is a neutron
The number of cora,corb,corc values =    19    19    19
The data was recorded for:
      flux      Data index = 1
```

و در ادامه باید بر اساس اطلاعات نمایش داده شده، شماره مش‌تالی مورد نظر را

وارد نماییم:

Enter the data set no. n, and data index i
Default =1 1 or n 1

۶- پس از وارد کردن شماره مش‌تالی مورد نظر، اطلاعات مربوط به آن مش‌تالی خاص نمایش داده می‌شود و در ادامه باید نوع نرم‌افزاری را که برای رسم نتایج مد نظر داریم را بر اساس لیست نمایش داده شده وارد نماییم که در اینجا tecplot را وارد می‌کنیم:

Spacing in the three dimensions are.

```
X is regular
The range is from -2.000000E+01 to    2.000000E+01
The Delta-X is    2.105263E+00
```

```
Y is regular
The range is from -2.000000E+01 to    2.000000E+01
The Delta-Y is    2.105263E+00
```

```
Z is regular
The range is from -2.000000E+01 to    2.000000E+01
The Delta-Z is    2.105263E+00
```

Enter name of graphics package to be used.

Your choices are:

```
IDL <default>
PAW
tecplot
gnuplot
```

تعریف انواع خروجی ۱۵۳

۷- در این مرحله نام دلخواهی را برای فایلی که تولید خواهد شد، انتخاب می‌کنیم:
What Tecplot filename do you want.

۸- دو مرحله بعدی را به صورت پیش فرض ادامه می‌دهیم.

۹- اکنون باید مشخص کنیم که نمودار مورد نظر ما چند بعدی خواهد بود، یک، دو و یا سه بعدی؟

Enter plot dimensionality, 1,2,3 or 9 to exit

فرض کنیم برنامه شامل ۱۱ مش در راستای X، ۵ مش در راستای Y و ۱۹ مش در راستای Z است. وقتی حالت یک بعدی را انتخاب کنیم، در ادامه باید تعیین کنیم که آن یک بعد کدام یکی از محورهای مختصات است؟ فرض کنید X را انتخاب کرده‌ایم. اکنون باید مشخص کنیم که به ازای چندمین مش در راستای Y و چندمین مش در راستای Z؛ مثلاً به ازای مش دوم Y و مش پنجم Z.

اگر حالت دو بعدی را انتخاب کنیم، باید آن دو بعد را مشخص کنیم. XY، YZ و یا ZX؛ مثلاً اگر XZ را انتخاب کنیم، در ادامه باید مشخص کنیم که به ازای چندمین مش در راستای Y. در این مثال می‌توان پنج نمودار دو بعدی به ازای Yهای مختلف رسم کنیم.

اگر حالت سه بعدی را انتخاب کنیم، مقدار تالی به صورت رنگ نمایش داده خواهد شد.

پس از تعیین ابعاد و مشخصات مورد نظر، دو مرحله آخر را به صورت پیش فرض انتخاب می‌کنیم و پنجره بسته می‌شود. اکنون فایل تولید شده با نام انتخاب شده در مرحله ششم در شاخه اصلی وجود دارد که می‌توان آن را باز کرد و اطلاعات آن را خواند و به کمک یک نرم‌افزار گرافیکی مناسب، آن را رسم نمود.

۵-۶ تالی رادیوگرافی

برای بدست آوردن تصاویر رادیوگرافی از اجسامی که در مقابل باریکه‌ای از ذرات (برای مثال فوتون یا نوترون) قرار گرفته‌اند، می‌توان از تالی رادیوگرافی استفاده نمود که اساس آن استفاده از تالی نوع F5 است.

دو نوع تالی رادیوگرافی در کد تعریف شده است:

۱. تالی PIn (بر اساس سیستم تصویر روزنه کوچک^۱)

۲. تالی TIRn یا TICn (بر اساس سیستم تصویر انتقالی)

۱-۵-۶ تالی PIn

PIn:pl $x_1 y_1 z_1 r_0 x_2 y_2 z_2 f_1 f_2 f_3$

n شماره تالی نوع ۵ می‌باشد (۵، ۱۵، ۲۵ و ...)

pl نوع ذره است که می‌تواند فوتون و یا نوترون باشد؛

$x_1 y_1 z_1$ مختصات روزنه؛

r_0 پارامتری است که مقدار آن همواره صفر می‌باشد؛

$(x_2 y_2 z_2)$ مختصات مرجع برای تولید بردار نرمال صفحه تصویر مورد نظر است؛

f_1 اگر مقدار آن بزرگتر صفر باشد، شعاع کولیماتور استوانه‌ای است؛

f_2 شعاع روزنه است که در رزولوشن بسیار موثر می‌باشد؛ و

f_3 فاصله بین روزنه در مختصات $x_1 y_1 z_1$ تا آشکارساز (صفحه تصویر) می‌باشد.

مفهوم این پارامترها در شکل زیر نمایش داده شده است.

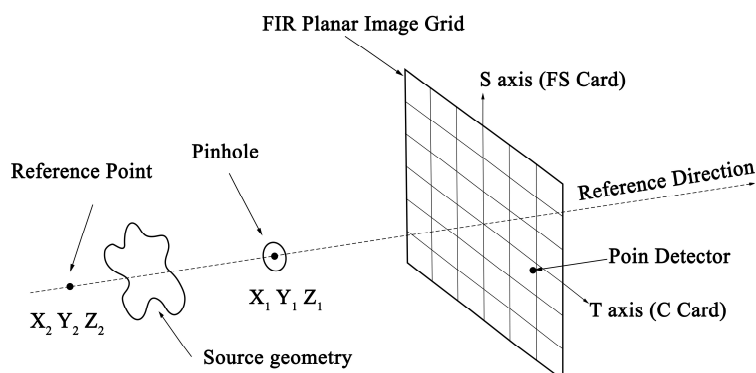
جهت مرجع از مختصات مرجع به سمت مختصات روزنه است. مکان صفحه تصویر

عمود بر جهت مرجع است که فاصله آن از روزنه توسط پارامتر f_3 تعریف می‌شود.

جهت مش‌بندی صفحه تصویر از کارت‌های FSn و Cn استفاده می‌شود. به عنوان مثال:

FS5 -10 99i 10
C5 -10 99i 10

¹ Pinhole



۶-۵-۲ تالی TIRn یا TICn

TICn:pl $x_1 y_1 z_1 r_0 x_2 y_2 z_2 f_1 f_2 f_3$ (مشبندی استوانه‌ای)

TIRn:pl $x_1 y_1 z_1 r_0 x_2 y_2 z_2 f_1 f_2 f_3$ (مشبندی مستطیلی)

n شماره تالی نوع ۵ می‌باشد (۵، ۱۵، ۲۵ و ...) ؛

pl نوع ذره است که می‌تواند فوتون و یا نوترون باشد؛

$x_1 y_1 z_1$ مختصات مرکز شبکه است که توسط کارت‌های تالی FS_n و C_n تعریف شده است؛

r_0 پارامتری است که مقدار آن همواره صفر می‌باشد؛

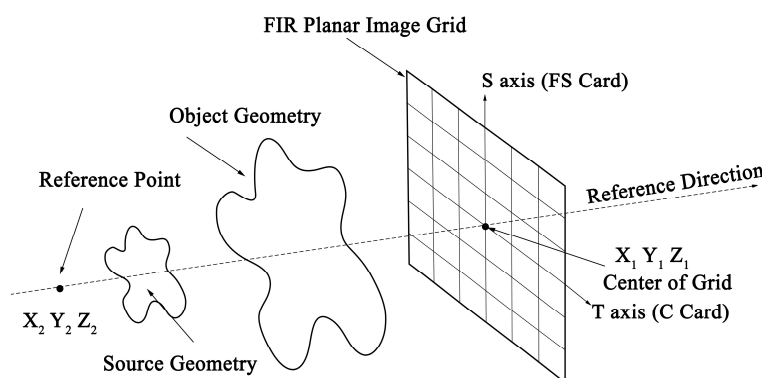
$(x_2 y_2 z_2)$ مختصات مرجع برای تولید بردار نرمال صفحه تصویر مورد نظر است؛

f_1 اگر مقدار آن صفر باشد، در این صورت توزیع‌های چشمه و پراکندگی را در شبکه آشکار ساز ثبت می‌کند. اگر مقدار آن عدد ۱- باشد، در این صورت فقط توزیع‌های پراکندگی را در نظر می‌گیرد؛

f_2 شعاع حوزه دید^۱ است که برای حالت شبکه مستطیلی، شعاع نسبی به مرکز شبکه می‌باشد و برای حالت شبکه استوانه‌ای، شعاع استوانه بر روی شبکه ایجاد شده می‌باشد؛

^۱ Fiel of view

f_3 اگر مقدار آن صفر باشد، در این صورت تمام توزیع‌ها به مرکز هر عنصر شبکه جهت داده می‌شوند. اگر مقدار آن عدد ۱- باشد، در این صورت توزیع‌های با یک چیدمان تصادفی از مرکز هر عنصر شبکه ایجاد می‌شوند. در اینجا نیز مانند حالت روزنه کوچک، جهت مش‌بندی صفحه تصویر از کارت‌های FSn و Cn استفاده می‌شود.



۳-۵-۶ خروجی تالی رادیوگرافی

خروجی تالی رادیوگرافی در فایل‌های outp و mctal ذخیره می‌شود. نتایج محاسبات را می‌توان با استفاده از فایل runtpe رسم نمود (بخش ۱۲-۳-۵ را ببینید).

۶-۶ کارت BURN

یکی از قابلیت‌های مهم نسخه X۲/۶، توانایی آن در محاسبه میزان مصرف سوخت به کمک کد جانبی CINDER90 است. این کد جانبی قادر است علاوه بر محاسبات مصرف سوخت، مقدار فعالیت‌های ایزوتوپ‌های تولید شده، کسر اتمی و جرمی آنها و غیره را نیز بر حسب زمان مصرف سوخت محاسبه نماید.

تعریف انواع خروجی ۱۵۷

کتابخانه داده‌های این کد برای ۳۴۰۰ ایزوتوپ طراحی شده است که شامل واپاشی ایزوتوپ‌های محصول شکافت، بهره محصولات شکافت، مقادیر واپاشی ایزوتوپ‌های آکتینیدهای کم مقدار و غیره می‌باشد.

در این کد سطح مقطع مواد به صورت ۶۳ گروه انرژی در نظر گرفته شده است. باید توجه نمود جهت استفاده از کارت BURN، کد CINDER90 باید در شاخه اصلی کد موجود باشد.

ایزوتوپ‌های تولید شده در این کد به دو دسته آکتینیدها و غیر آکتینیدها تقسیم می‌شوند. کد به کابر اجازه می‌دهد که نوع غیر اکتینیدهایی که مایل به ترابرد آنها می‌باشد را کنترل نماید. این کنترل شامل انتخاب یکی از سه گروهی است که کد آنها را به عنوان رده‌های یک تا سه معرفی می‌کند. این سه رده در جدول‌های ۳-۶ تا ۵-۶ آمده است.

جدول ۳-۶ رده ۱- ایزوتوپ‌های غیر آکتینید

Zr	93
Mo	95
Tc	99
Ru	101
Xe	131, 134
Cs	133, 137
Ba	138
Pr	141
Nd	143, 145

آموزش کد MCNPX ۱۵۸

جدول ۴-۶ رده-۲ ایزوتوپ‌های غیر آکتنید

As	74, 75
Br	79, 81,
Kr	78, 80, 82, 83, 84, 86
Rb	85, 87
Y	88, 89
Zr	90, 91, 92, 93, 94, 96
Nb	93
Mo	95
Tc	99
Ru	101, 103, 105
Pd	102, 104, 105, 106, 108, 110
Ag	107, 109
Cd	106, 108, 110, 111, 112, 113
Sn	120
I	127, 129, 135
Xe	124, 126, 128, 129, 130, 131, 132, 134, 135, 136
Cs	133, 134, 135, 136, 137
Ba	138
Pr	141
Nd	143, 145, 147, 148, 150
Pm	147, 149
Sm	147, 149, 150, 151, 152
Eu	151, 152, 153, 154, 155
Gd	152, 154, 155, 156, 157, 158, 160
Ho	165
Tm	169

تعریف انواع خروجی ۱۵۹

جدول ۵-۶ رده-۳ ایزوتوپ‌های غیر آکتنید

Ga	69, 71
Ge	70, 72, 73, 74, 76
As	74, 75
Se	74, 76, 77, 78, 79, 80, 82
Br	79, 81
Kr	78, 80, 82, 83, 84, 85, 86
Rb	85, 86, 87
Sr	84, 86, 87, 88, 89, 90
Y	88, 89, 90, 91
Zr	90, 91, 92, 93, 94, 95, 96
Nb	93, 94, 95, 97
Mo	92, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100
Tc	99
Ru	96, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106
Rh	103, 105
Pd	102, 104, 105, 106, 107, 108, 110
Ag	107, 109, 111
Cd	106, 108, 110, 111, 112, 113, 114, 116
In	113, 115
Sn	112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 122, 123, 124, 125, 126
Sb	121, 123, 124, 125, 126
Te	120, 122, 123, 124, 125, 126, 128, 130, 132
I	127, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135
Xe	123, 124, 126, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136
Cs	133, 134, 135, 136, 137
Ba	130, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 140
La	138, 139, 140
Ce	136, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144
Pr	141, 142, 143, 145
Nd	142, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 150
Pm	147, 148, 149, 151
Sm	144, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 154
Eu	151, 152, 153, 154, 155, 156, 157
Gd	152, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 160
Tb	159, 160
Dy	156, 158, 160, 161, 162, 163, 164
Ho	165
Er	162, 164, 166, 167, 168, 170
Tm	169

آموزش کد MCNPX ۱۶۰

جهت محاسبه میزان مصرف سوخت از کارت BURN به صورت زیر استفاده

می‌شود:

```
BURN  TIME= t1 t2 ...
      POWER=P
      PFREC=f1 f2 ...
      MAT=m1 m2 ...
      OMIT=m1 n1 J11 ... J1n1
      MATVOL=v1 v2 ...
      BOPT=b1 b2 b3
      MATMOD= nt ts1 nm1 mn1,1...
```

پارامتر TIME گام‌های زمانی مورد نظر را برحسب روز مشخص می‌کند.

پارامتر POWER توان کل راکتور برحسب مگاوات می‌باشد.

پارامتر PFRAC توان راکتور در هر بازه زمانی را به صورت درصدی از توان کل

راکتور مشخص می‌کند.

پارامتر MAT شماره موادی را مشخص می‌کند که می‌خواهیم میزان مصرف آنها

محاسبه شود.

به کمک پارامتر OMIT می‌توان از ترابرد n ایزوتوپ در محاسبات مصرف ماده m

صرف نظر کرد. J_{ij} ها در واقع ایزوتوپ‌هایی هستند که نمی‌خواهیم ترابرد شوند.

پارامتر MATVOL مجموعه حجم همه سلول‌هایی است که شامل ماده شماره m

هستند.

استفاده از پارامتر BOPT جهت کنترل نحوه چاپ خروجی و نیز استفاده از

مدل‌های فیزیکی ضروری می‌باشد.

پارامتر b_1 برای در نظر گرفتن ضریب گرمای واکنش استفاده می‌شود (مقدار پیش

فرض آن برابر یک است).

پارامتر b_2 برای کنترل نحوه چاپ خروجی است. این پارامتر به صورت مجموع دو

عدد درست به صورت $b_2 = I_1 + I_2$ وارد می‌شود که به صورت زیر می‌باشد:

تعریف انواع خروجی ۱۶۱

پارامتر I_1 جهت کنترل یکی از سه رده ایزوتوپ‌های حاصل از شکافت است. به این صورت که اگر $I_1=0$ باشد رده اول، اگر $I_1=10$ باشد، رده دوم و اگر $I_1=20$ باشد، رده سوم در نظر گرفته می‌شود.

پارامتر I_2 جهت کنترل ترتیب چاپ خروجی است. به این صورت که اگر $I_2=2$ باشد، آنگاه ترتیب نتایج برحسب میزان فعالیت کل ایزوتوپ‌ها، اگر $I_2=3$ باشد برحسب میزان فعالیت ویژه ایزوتوپ‌ها و اگر $I_2=4$ باشد برحسب ZIAD ایزوتوپ‌ها خواهد بود.

اگر پارامتر b_2 با علامت منفی وارد شود، آنگاه نتایج محاسبات در پایان هر بازه زمانی چاپ می‌شود و اگر این پارامتر بدون علامت باشد، آنگاه نتایج در پایان اجرای کل برنامه چاپ خواهد شد.

پارامتر b_3 جهت استفاده از مدل‌های فیزیکی است. به هنگام مصرف سوخت تعداد زیادی ایزوتوپ تولید می‌شود که توسط کد ترابرد می‌شوند. ممکن است برای برخی از ایزوتوپ‌های تولیدی اطلاعات تجربی موجود نباشد، لذا باید از مدل‌های فیزیکی برای محاسبات آنها استفاده شود. به این منظور مقدار این پارامتر باید برابر با مقدار +۱ باشد. اگر مقدار این پارامتر صفر باشد، درصد اتمی همه ایزوتوپ‌های تولیدی برابر مقدار صفر در نظر گرفته خواهد شد.

پارامتر MATMOD برای تغییر غلظت یک ایزوتوپ مشخص در یک ماده معین در یک بازه زمانی، که توسط پارامتر Time تعیین شده است، استفاده می‌شود.

فرم کلی این پارامتر به صورت زیر می‌باشد:

$$\text{MATMOD} = \begin{matrix} nt & ts_1 & nm_1 & mn_{1,1} & k_{1,1} & Z_{1,1}^1 & C_{1,1}^1 & \dots \\ & & & mn_{1,2} & k_{1,2} & Z_{1,2}^1 & C_{1,2}^1 & \dots \\ & ts_2 & nm_2 & mn_{2,1} & k_{2,1} & Z_{2,1}^1 & C_{2,1}^1 & \dots \\ & \dots & & & & & & \\ & & ts_n & nm_n & mn_{nt,1} & k_{nt,1} & Z_{nt,1}^1 & C_{nt,1}^1 & \dots \end{matrix}$$

که nt تعداد بازه‌های زمانی که می‌خواهیم غلظت آن مواد مورد نظر را تغییر دهیم می‌باشد. ts_i یک عدد صحیح است که مشخص کننده گام زمانی مشخص شده در

آموزش کد MCNPX ۱۶۲

پارامتر Time می‌باشد که می‌توان برای n حالت بیان نمود. به طور مثال، برای اولین گام زمانی عدد ۱، برای دومین گام زمانی عدد ۲ و به همین ترتیب برای n امین گام زمانی عدد n قرار داده می‌شود. همچنین اگر مقدار این عدد مثبت باشد مقدار غلظت جدید در زمان t_i و $t_{i+1/2}$ به طور مجزا اعمال می‌شود و اگر مقدار این عدد منفی باشد مقدار غلظت جدید در زمان t_i و t_{i+1} به صورت خطی درون یابی شده و مقدار دقیق تری از غلظت در زمان $t_{i+1/2}$ اعمال می‌شود.

پارامتر nm_i معرف تعداد موادی است که می‌خواهیم در بازه زمانی ts_i میزان غلظت ایزوتوپ‌های آن ماده را تغییر دهیم و پارامتر mn_{i,j_i} شماره آن مواد می‌باشد که اگر با علامت مثبت باشد، غلظت باید برحسب درصد اتمی یا چگالی اتمی داده شود و اگر با علامت منفی باشد، غلظت باید برحسب درصد وزنی یا چگالی وزنی داده شود. پارامتر k_{i,j_i} معرف تعداد هسته‌هایی که می‌خواهیم درصد آنها را در یک ماده تغییر دهیم و پارامتر $Z_{i,j_i}^{k_{i,j_i}}$ شماره مشخصه ایزوتوپی (ZZZAAA) آن هسته‌ها می‌باشد. که می‌خواهیم غلظت آن را در یک ماده تغییر دهیم، استفاده می‌شود. در نهایت $C_{i,j_i}^{k_{i,j_i}}$ میزان غلظت جدید هسته (ZZZAAA) است که اگر مقدار آن مثبت باشد برحسب درصد اتمی یا چگالی اتمی است و اگر منفی باشد برحسب درصد وزنی یا چگالی وزنی است.

در مورد استفاده از این کارت به نکات زیر توجه نمایید:

- نکته (۱): این کارت بایستی قبل از تعریف مواد و در بخش داده‌ها قرار گیرد.
- نکته (۲): این کارت بایستی همراه کارت KCODE اجرا شود.
- نکته (۳): بهتر است بازه‌های زمانی کوتاه‌تر باشند (بازه‌ها برحسب روز است).
- نکته (۴): اگر قرار است اثر سموم نوترونی مانند زینان و یا ساماریوم در برنامه دیده شود بایستی بازه‌ها برحسب روز یا حتی ساعت در نظر گرفته شوند.

تعریف انواع خروجی ۱۶۳

نکته (۵): معمولاً مواد در این کارت، ماده سوخت می‌باشد، ولی مواد دیگر نیز می‌تواند باشد. کد با در نظر گرفتن شار ۶۳ گروهی، میزان مصرف آنها و نیز محصولات ناشی از مصرف آنها را محاسبه می‌کند.

نکته (۶): معمولاً در کارت MATVOL حجم کل سوخت را در نظر می‌گیرند. البته این حجم می‌تواند کل قلب هم باشد.

نکته (۷): مقادیر بدست آمده از این کارت را بایستی بر حجم آن سلول و بازه زمانی مورد نظر تقسیم نمود تا عدد بدست آمده به طور صحیح در نظر گرفته شود.

نکته (۸): از قابلیت‌های دیگر این کارت این است که می‌توان پارامترهای نوترونی و سینتیکی راکتور را در توان‌های مختلف نیز محاسبه نمود.

نکته (۹): نتایج این کارت را نیز باید به‌نجار نمود (بخش ۸-۶-۳ را ببینید).

مثال ۹-۶)

```
BURN    TIME=100 70
          MAT=1 3 4
          POWER=1
          PFREC=1 1
          BOPT=1 -12 1
```

در این مثال میزان مصرف سوخت برای دو بازه زمانی ۱۰۰ و ۷۰ روز و برای مواد با شماره‌های ۱، ۳ و ۴، برای راکتوری با توان ۱ مگاوات محاسبه می‌شود. در کارت BOPT ورودی اول برای چاپ خروجی بر حسب جرم مصرف شده سوخت، ورودی دوم جهت چاپ برای هر گام مصرف شده سوخت و ورودی سوم نوع مدل‌های فیزیکی در نظر گرفته شده می‌باشد.

مثال ۱۰-۶) در این مثال میزان مصرف سوخت برای مواد شماره‌های ۱ و ۴ در بازه‌های زمانی ۵۰، ۱۰ و ۵۰۰ روز برای یک راکتور با توان ۱ مگاوات محاسبه می‌شود. توان راکتور در بازه‌های زمانی به ترتیب ۱۰۰، صفر و ۲۰ درصد توان کل راکتور است. همچنین ترابرد تعداد ۵ ایزوتوپ شامل ۶۰۱۴، ۷۰۱۶، ۸۰۱۸، ۹۰۱۸ و ۹۰۲۳۴ در نظر

آموزش کد MCNPX ۱۶۴

گرفته نشده است. در کارت MATVOL مقدار حجم سلول‌های شامل مواد ۱ و ۴ وارد شده است. همچنین در کارت MATMOD میزان تغییر غلظت ایزوتوپ‌ها برای دو بازه زمانی در نظر گرفته شده است. برای اولین بازه زمانی، غلظت ایزوتوپ ۹۴۲۳۸ در ماده ۴ به مقدار 1×10^{-6} تغییر کرده است. همچنین برای دومین بازه زمانی، غلظت ایزوتوپ‌های ۹۴۲۳۸ و ۹۴۲۴۱ در دو ماده ۴ و ۱ به 1×10^{-6} تغییر کرده است.

```
BURN    TIME=50, 10, 500
        MAT=1, 4
        POWER=1
        PFREC=1, 0, 0.2
        OMIT=1, 5, 6014, 7016, 8018, 9018, 90234
        MATVOL=384.5, 384.5
        BOPT=1, -4
        AFMIN=1e-32
        MATMOD=2
                $ two time steps
                1
                $ 1th time step in TIME card
                1 -4 1 94238 1e-6 $ one material (No. 4) and 1 isotope
                2
                $ 2th time step in TIME card
                2 -1 2 94238 1e-6 94241 1e-6 $ two material (No. 1,4)
                -4 1 94238 1e-6
```

جهت آشنایی بیشتر با این کارت و نیز فایل خروجی آن، مثال ۷-۱۰ را ببینید.

۷ کارت‌های جانبی مفید

۷-۱ کارت‌های مربوط به تالی‌ها

۷-۱-۱ کارت E_n

گاهی لازم است که مقدار یک تالی را برحسب انرژی بدست آوریم. برای این کار از کارت E_n (که n شماره وابسته به تالی F_n) استفاده می‌شود:

$$E_n = E_1 + E_2 + E_3 + \dots + E_i$$

مثال (۷-۱)

$$F_{14}: n = 1 \quad 2 \\ E_{14} = 0.5e-6 \quad 10.0e-3 \quad 10$$

در این مثال، تالی ۱۴ درون سلول‌های ۱ و ۲ در بازه‌های انرژی داده شده محاسبه

می‌شود.

نکته (۱): در تقسیم‌بندی انرژی می‌توانیم از کارت‌های nI و یا $nLOG$ به صورت زیر

استفاده کنیم:

$$E_{14} = E_1 + nI \quad E_2 \\ E_6 = E_1 + nlog \quad E_2$$

آموزش کد MCNPX ۱۶۶

با دستور nI فاصله بین E_1 تا E_2 به $(n+1)$ بازه مساوی تقسیم می‌شود. دو کارت زیر معادل یکدیگرند:

E14 1 8i 10
E14 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

با دستور $nLOG$ فاصله بین E_1 تا E_2 به $(n+1)$ بازه مساوی و به صورت لگاریتمی تقسیم می‌شود. دو کارت زیر معادل یکدیگرند:

E2 0.001 4LOG 100
E2 0.001 0.01 0.1 1 10 100

نکته (۲): در کارت En اگر $n=0$ باشد، آنگاه تقسیم‌بندی انرژی برای همه تالی‌های موجود در مسئله در نظر گرفته می‌شود.

۷-۱-۲ کارت EMn

این کارت به همراه کارت En به کار می‌رود و با استفاده از آن می‌توان مقدار تالی در هر بازه انرژی را در یک عدد دلخواه ضرب کرد:

$F_n: n \ a$
 $E_n \ E_1 \ E_2 \ E_3 \dots E_i$
 $EMn \ \alpha_1 \ \alpha_2 \ \alpha_3 \dots \alpha_i$

(مثال ۷-۲)

F4: n 3
E4 1 8i 10
EMn 1 4r 2 4r

در این مثال، شار نوترون در پنج بازه انرژی اول در عدد یک و در پنج بازه دوم، در عدد دو ضرب می‌شود.

۷-۱-۳ کارت FMn

از این کارت می‌توان به دو منظور استفاده نمود:

۱- ضرب خروجی در یک عدد ثابت:

این کار معمولاً جهت تبدیل واحد و یا بهنجار کردن نتایج، ضروری می‌باشد (بخش

۷-۸ را ببینید). در مثال زیر نتیجه تالی $F6$ در عدد داده شده ضرب می‌شود:

کارت‌های جانبی مفید ۱۶۷

F6:n 9

FM6 1.6e-10

۲- یکی دیگر از کاربردهای این کارت، محاسبه کمیت‌هایی به صورت زیر است:

$$C \int \varphi(E) \sigma(E) dE$$

که $\sigma(E)$ سطح مقطع میکروسکوپی یک واکنش و C یک عدد دلخواه است. این رابطه به طور کلی متناسب است با نرخ انجام یک واکنش یا $R.R.^1$ در واحد حجم:

$$R.R. = n \int \varphi(E) \sigma(E) dE$$

که n چگالی اتمی ایزوتوپ هدف است بر حسب (#/barn.cm). این تناسب اجازه می‌دهد تا بتوان علاوه بر محاسبه نرخ انجام یک واکنش، میزان گرمای واکنش^۲، دز جذبی ناشی از واکنش و به طور کلی کمیت‌های متناسب با نرخ یک واکنش خاص را محاسبه نمود. ساختار کلی تعریف کارت FMn برای محاسبه نرخ یک واکنش به صورت زیر است:

FMn (C m R)

که C چگالی اتمی ماده، m شماره ماده و R شماره مربوط به واکنش مورد نظر است. شماره واکنش‌های قابل تعریف در کد در جدول ۷-۱ آمده است.

نکته: برای محاسبه واکنش‌های پروتون باید دو موضوع را در نظر گرفت: اول اینکه فایل کتابخانه‌ای lah150h، که مربوط به واکنش‌های پروتون است، باید در شاخه اصلی کد وجود داشته باشد. کد شناسایی این کتابخانه 24h می‌باشد و البته برای تعداد محدودی ایزوتوپ تعریف شده است که فهرست آنها در جدول ۷-۲ آمده است. دوم اینکه شماره واکنش‌های پروتون به صورت "هزار برابر عدد مربوط به ذره تولیدی (جدول ۵-۲) بعلاوه پنج است". مثلاً برای واکنش (p,n) ذره تولیدی نوترون است و لذا شماره این واکنش برابر ۱۰۰۵ خواهد بود. به همین ترتیب عدد مربوط به واکنش (p,α) برابر ۳۴۰۰۵ است.

¹ Reaction Rate

² Q-value

جدول ۱-۷ شماره برخی واکنش‌ها

Neutrons:	-1	total cross section without thermal
	-2	absorption cross section
	-3	elastic cross section without thermal
	-4	average heating number (MeV/collision)
	-5	gamma-ray production cross section, barns
	-6	total fission cross section
	-7	fission ν
	-8	fission Q (MeV/fission)
	102	(n, γ)
	103	(n,p)
	104	(n,d)
	105	(n,t)
	106	(n, ^3He)
	107	(n, α)
Photons:	-1	incoherent scattering cross section
	-2	coherent scattering cross section
	-3	photoelectric cross section
	-4	pair production cross section
	-5	total cross section
	-6	photon heating number
Protons:	1	total cross section
	2	nonelastic cross section
	3	elastic cross section
	4	average heating number
	1005, 34005, etc	(p,n), (p, α), etc

جدول ۷-۲ ایزوتوپ‌های تعریف شده در کتابخانه lah150h

H	1, 2
C	12
N	14
O	16
Al	27
Si	28, 29, 30
P	31
Ca	40
Cr	50, 52, 53, 54
Fe	54, 56, 57
Ni	58, 60, 61, 62, 64
Cu	63, 65
Nb	93
W	82, 83, 84, 86
Hg	196, 198, 199, 200, 201, 202, 204
Pb	206, 207, 208
Bi	209

مثال ۷-۳) برای محاسبه نرخ واکنش $^1\text{H}(n,\gamma)^2\text{H}$ در سلول شماره ۹ که با آب پر

شده است داریم:

F4:n 9

FM4 (0.0223 2 102)

M1 1001 2 8016 1

M2 1001 1

عدد ۱۰۲ معرف واکنش (n,γ) است. عدد اول نیز مربوط به چگالی اتمی هیدروژن

در آن سلول است که به صورت زیر محاسبه شده است:

$$n(^1\text{H}) = \frac{2}{3} n(\text{H}_2\text{O}) = \frac{2}{3} \frac{\rho N_A}{M} = 0.0223 \text{ (atom / barn.cm)}$$

دقت کنید که ماده شماره ۲ معرف ^1H است که باید به طور جداگانه تعریف شود.

آموزش کد MCNPX ۱۷۰

نکته: اگر عدد اول پرانتز به صورت منفی وارد شود، آنگاه چگالی اتمی ماده‌ای که سلول مورد نظر را پر کرده است، توسط کد در مقدار نتیجه ضرب می‌شود. در مثال فوق چون آب درون سلول شماره ۹ وجود دارد، لذا کارت زیر معادل کارت FM4 فوق است:

FM4 (-0.6667 2 102)

یکی از قابلیت‌های مهم این ساختار، امکان محاسبه مجموع یا حاصلضرب چند واکنش است. به این صورت که برای محاسبه حاصلضرب دو واکنش، شماره مربوط به آنها را پشت سر هم و با فاصله می‌نویسیم:

FMn (C m R₁ R₂)

و برای محاسبه مجموع دو واکنش، از علامت (: بین شماره واکنش‌ها استفاده می‌کنیم:

FMn (C m R₁ : R₂)

به عنوان مثال نشان می‌دهیم که چگونه می‌توان تالی‌های F6 و F7 را با استفاده از تالی F4 و کارت FM4 تولید نمود:

مثال ۷-۴) همانطور که گفته شد، تالی‌های F6 و F7 کمیت زیر را محاسبه می‌کنند:

$$F_{6,7} = \frac{n}{\rho} \int H(E) \phi(E) \frac{dE}{V}$$

در آن $H(E)$ میانگین گرمای ناشی از واکنش مورد نظر است، مثلاً کارت F6 گرمای ناشی از همه واکنش‌ها را محاسبه می‌کند، لذا باید کمیت زیر را به کمک کارت FM4 بسازیم:

$$F_{6,7} = \frac{n}{\rho} \int H_{\text{avg}}(E) \sigma_{\text{total}}(E) \phi(E) \frac{dE}{V}$$

با توجه به جدول ۷-۱ برای F6:n داریم:

FM4 (C m 1 4)

و برای F6:p داریم:

FM4 (C m 5 6)

که در آنها $C = \frac{n}{\rho}$ می‌باشد.

کارت‌های جانبی مفید ۱۷۱

تالی F7:n تنها گرمای ناشی از واکنش شکافت را در نظر می‌گیرد، لذا با توجه به جدول ۷-۱ داریم:

FM4 (C m 6 8)

نکته: می‌توان در یک کارت FM4 چندین واکنش را به طور جداگانه وارد نمود:

FM4 (C₁ m₁ R₁) (C₂ m₂ R₂) (C₃ m₃ R₁ R₂) ...

یکی دیگر از کاربردهای کارت FMn محاسبه میزان تضعیف باریکه به صورت زیر است:

FMn c -1 m p₁x₁ m₂ p₂x₂

که حاصل آن عبارت است از:

$$c \int \varphi(E) e^{-\sigma_{1a} p_1 x_1 - \sigma_{2a} p_2 x_2} dE$$

p_ix_i حاصلضرب چگالی ماده در ضخامت آن است.

جهت آشنایی بیشتر با کارت FMn و مثال‌های بیشتر، فصل چهارم مرجع [۱] را ببینید.

۷-۱-۴ کارت Cn

این کارت تنها با تالی F1 به کار می‌رود و به کمک آن می‌توان جهت عبور ذرات از سطح مورد نظر را تقسیم‌بندی کرده و مقدار تالی در هر بازه زاویه‌ای را بدست آورد. برای این کار از دستور Cn به صورت زیر استفاده می‌کنیم:

F1:n 1

C1 μ₁ μ₂ ... μ_n

که μ_i کسینوس زاویه بین بردار مرجع و جهت خروج ذره است. بردار مرجع به صورت پیش فرض، بردار عمود بر آن سطح در نظر گرفته می‌شود.

اگر از Cn* استفاده کنیم می‌توان به جای μ_i، زاویه را برحسب درجه وارد کرد:

*C1 θ₁ θ₂ ... θ_n

نکته (۱): عدد اول در این کارت نباید ۱- باشد. عدد ۱- به صورت پیش فرض در کد وجود دارد. همچنین عدد آخر باید برابر یک باشد.

آموزش کد MCNPX ۱۷۲

نکته (۲): بردار مرجع برای کارت Cn را می‌توان با استفاده از کارت FTn تغییر داد (بخش ۷-۱-۱۰ را ببینید)

نکته (۳): از دستور nI می‌توان برای تقسیم‌بندی زوایا نیز استفاده نمود.

نکته (۴): در کارت Cn اگر $n=0$ باشد، آنگاه این تقسیم‌بندی برای همه تالی‌های نوع ۱ موجود در فایل ورودی در نظر گرفته می‌شود.
مثال ۷-۵)

F1:p 11

C1 -0.866 -0.5 0 0.5 0.866 1

در این مثال، تالی جریان در محدوده از 180° تا 150° ، 150° تا 120° تا 90° ، 90° تا 60° ، 60° تا 30° و 30° تا 0° درجه محاسبه می‌شود.

۷-۱-۵ کارت CMn

این کارت به همراه کارت Cn به کار می‌رود و به کمک آن می‌توان نتایج تالی در بازه‌های مختلف زاویه‌ای را در هر عدد دلخواهی ضرب نمود:
مثال ۷-۶)

F1:n 3

C1 -1 0 1

CM1 0.25 0.75

در این مثال نتیجه خروجی در بازه اول زاویه در عدد ۰/۲۵ و در بازه دوم در عدد ۰/۷۵ ضرب می‌شود.

۷-۱-۶ کارت SDn

کد در برخی هندسه‌ها (برای مثال، هندسه‌های تکراری) قادر به محاسبه مساحت یک سطح، حجم و یا جرم یک سلول برای محاسبه تالی در آن سطح یا سلول نمی‌باشد که در این صورت برنامه با نمایش خطای زیر متوقف می‌شود:
tally volumes or areas were not input nor calculated

کارت‌های جانبی مفید ۱۷۳

در این حالت باید مساحت، حجم و یا جرم را با دستور SDn تعریف کنیم:

F6:n 1 2 3

F4:p 1 2 3

F2:e 11 12 13

SD6 m₁ m₂ m₃ (جرم)

SD4 V₁ V₂ V₃ (حجم)

SD2 A₁ A₂ A₃ (مساحت)

در کارت SD4 حجم و در کارت SD6 جرم سلول‌های ۱، ۲ و ۳ وارد شده است.

همچنین مساحت سطوح ۱۱، ۱۲ و ۱۳ در کارت SD2 تعریف شده است.

۷-۱-۷ کارت FCn

در صورتی که بخواهیم توضیحی در مورد تالی شماره n بنویسیم، که در فایل خروجی و در ابتدای نتایج محاسبه آن تالی نمایش داده شود، از این کارت استفاده می‌شود:

F4:n 1

FC4 Boron Dose in Tumor

استفاده از این کارت به منظور جلوگیری از سردرگمی در نتایج و به خصوص عملیات‌هایی که روی آنها انجام شده است، مانند تبدیل واحد و غیره، بسیار مفید خواهد بود.

۷-۱-۸ کارت FQn

فرض کنید یک نوع تالی، هم برحسب انرژی و هم برحسب زاویه تقسیم‌بندی شده است. با این کارت می‌توان نحوه چاپ نتایج در فایل خروجی را کنترل کرد. تالی در هر بازه انرژی، برحسب زاویه‌های مختلف و یا در هر بازه زاویه، برحسب انرژی‌های مختلف چاپ شود؟ کارت FQn به صورت زیر نوشته می‌شود:

FQn a₁ a₂... a₈

که در آن:

آموزش کد MCNPX ۱۷۴

$a_i=F$	Cell, Surface or Detector
D	Direct or Flagged
U	User
S	Segment
M	Multiplier
C	Cosine
E	Energy
T	Time

نحوه چاپ خروجی به این صورت است:

به ازای هر a_1 ، به ازای هر a_2 ... و به ازای هر a_6 ، مقدار تالی در یک جدول که سطر آن a_8 و ستون آن a_7 و عناصر جدول مقادیر تالی هستند، نمایش داده می‌شود. به این ترتیب با تعویض ترتیب F, E, C, M ... در کارت FQn می‌توان نحوه چاپ خروجی را تغییر داد.

مثال ۷-۷)

```
F1:n 1
E1 0.01 0.1 1
C1 0 1
```

خروجی این مثال بدون استفاده از کارت FQn به صورت زیر چاپ می‌شود:

```
surface 1
cosine bin: -1. to 0.00000E+00
energy
1.0000E-02 1.51411E-04 0.0800
1.0000E-01 3.55531E-04 0.0522
```

```
surface 1
cosine bin: 0.00000E+00 to 1.00000E+00
energy
1.0000E-02 1.63092E-04 0.0771
1.0000E-01 3.70727E-04 0.0510
```

با استفاده از کارت FQ1 به صورت‌های مختلف، در خروجی داریم:

حالت اول:

```
FQ1 F C E
```

خروجی:

```
surface 1
energy: 1.0000E-02 1.0000E-01
```

کارت‌های جانبی مفید ۱۷۵

```
cosine
0.0000E+00 1.51411E-04 0.0800 3.55531E-04 0.0522
1.0000E+00 1.63092E-04 0.0771 3.70727E-04 0.0510
```

حالت دوم:

FQ1 F E C

خروجی:

```
surface 1
cosine: 0.0000E+00 1.0000E+00
energy
1.0000E-02 1.51411E-04 0.0800 1.63092E-04 0.0771
1.0000E-01 3.55531E-04 0.0522 3.70727E-04 0.0510
```

نکته (۱): تغییر نحوه چاپ خروجی پس از اجرای کامل برنامه نیز امکان پذیر است (بخش ۸-۵ را ببینید).

نکته (۲): وقتی که تالی در چند سطح یا سلول محاسبه می‌شود و یا روی یک سطح یا یک سلول محاسبه شده و تنها انرژی یا زاویه تقسیم‌بندی شده است، در این حالت نتایج به صورت دو ستون نمایش داده می‌شود که مقدار تالی در هر قسمت یک خط پایین‌تر از شماره سلول، شماره سطح و یا بازه تقسیم‌بندی انرژی است. در این حالت، انتقال داده‌های خروجی به نرم‌افزارهای دیگر، مشکل است، ولی می‌توان با تعریف این کارت طوری عمل نمود که اعداد دو ستون دقیقاً مقابل یکدیگر چاپ شوند:

مثال ۷-۸)

F1:n 11 12 13 14 15 16

خروجی بدون استفاده از کارت FQ1:

```
surface 11
1.64790E-01 0.0022
```

```
surface 12
1.65905E-01 0.0022
```

آموزش کد MCNPX ۱۷۶

```
surface 13
1.65595E-01 0.0022

surface 14
1.65214E-01 0.0022

surface 15
1.64804E-01 0.0022

surface 16
1.64938E-01 0.0022
```

خروجی با استفاده از کارت FQ1:

```
F1:n 11 12 13 14 15 16
Fq1 f u

surface
11 1.64790E-01 0.0022
12 1.65905E-01 0.0022
13 1.65595E-01 0.0022
14 1.65214E-01 0.0022
15 1.64804E-01 0.0022
16 1.64938E-01 0.0022
```

۷-۱-۹ کارت DFn و DEn

از این کارت برای محاسبه کمیت‌هایی به صورت زیر استفاده می‌شود:

$$\int \phi(E) R(E) dE$$

که $R(E)$ هر نوع تابع وابسته به انرژی، مانند تابع تبدیل شار به دز و یا سطح مقطع یک واکنش خاص می‌باشد. به کمک این کارت چندین نقطه از تابع $R(E)$ به کد داده می‌شود. کد می‌تواند بین نقاط داده شده، به صورت خطی یا لگاریتمی، درونیابی کند. برای این کار مقادیر انرژی را به صورت صعودی در کارت DEn و مقادیر $R(E)$ وابسته به هر انرژی را در کارت DFn وارد می‌کنیم:

```
DEn E1 E2 E3 ...
DFn F1 F2 F3 ...
```

کارت‌های جانبی مفید ۱۷۷

محورهای انرژی و مقدار تابع پاسخ به صورت پیش فرض، لگاریتمی هستند، ولی می‌توان با استفاده از درج کلمه Log یا Lin پس از DEn یا DF_n آنها را به صورت دلخواه تغییر داد:

DE_n Lin E₁ E₂ E₃ ...
DF_n Lin F₁ F₂ F₃ ...

نکته: اگر $n=0$ باشد، تابع پاسخ برای همه تالی‌های موجود در مسئله در نظر گرفته می‌شود.

به کمک این کارت می‌توان نرخ انجام واکنش‌هایی که در کد تعریف نشده‌اند را محاسبه نمود. به این منظور باید تابع سطح مقطع واکنش مورد نظر را به کمک کارت DEn و DF_n تعریف نمود.

یکی از مهمترین کاربردهای این کارت برای محاسبه دز با استفاده از ضرایب تبدیل شار به دز می‌باشد. در نسخه X برخی توابع استاندارد تبدیل شار به دز به صورت توابع کتابخانه‌ای اضافه شده است. جهت استفاده از این توابع استاندارد، کارت DEn حذف و کارت DF_n به صورت زیر نوشته می‌شود:

DF_n IU=j FAC=f INT IC=i

پارامتر IU واحد دز را کنترل می‌کند:

IU=1 (rem/h/source particle)

IU=2 (Sv/h/source particle) (مقدار پیش فرض)

پارامتر FAC ضریب بهنجارش را تعریف می‌کند:

FAC=-1 (بر اساس استاندارد ICRP60)

FAC=-2 (بر اساس استاندارد LANSCE)

FAC >0 (هر مقدار دلخواه که توسط کاربر تعریف می‌شود)

FAC=1 (مقدار پیش فرض)

پارامتر IC نوع تابع دز استاندارد را مطابق جدول ۷-۳ مشخص می‌کند:

IC=10 (مقدار پیش فرض)

آموزش کد MCNPX ۱۷۸

و پارامتر INT نوع خطی یا لگاریتمی بودن درونیابی را کنترل می‌کند:

INT=LOG (مقدار پیش فرض)

INT=LIN

جدول ۳-۷ توابع دز استاندارد

مقدار IC	توضیح
توابع دز نوترون	
۱۰	ICRP-21 1971
۲۰	NCRP-38 1971, ANSI/ANS-6.1.1-1977
۳۱	ANSI/ANS-6.1.1-1991 (AP anterior-posterior)
۳۲	ANSI/ANS-6.1.1-1991 (PA posterior-anterior)
۳۳	ANSI/ANS-6.1.1-1991 (LAT side exposure)
۳۴	ANSI/ANS-6.1.1-1991(ROT normal to length & rotationally symmetric)
۴۰	ICRP-74 1996 ambient dose equivalent
توابع دز فوتون	
۱۰	ICRP-21 1971
۲۰	Claiborne & Trubey, ANSI/ANS 6.1.1-1977
۳۱	ANSI/ANS-6.1.1-1991 (AP anterior-posterior)
۳۲	ANSI/ANS-6.1.1-1991 (PA posterior-anterior)
۳۳	ANSI/ANS-6.1.1-1991 (LAT side exposure)
۳۴	ANSI/ANS-6.1.1-1991(ROT normal to length & rotationally symmetric)
۳۵	(ISO isotropic)

۷-۱-۱۰ کارت FTn

کارت FTn کارتی است که اصلاحات به خصوصی را برای نتایج تالی‌ها در نظر

می‌گیرد. ساختار این کارت به صورت زیر می‌باشد:

FTn ID_i P_{i,1} P_{i,2} ... P_{i,n}

که n شماره تالی مورد نظر، ID_i متغیرهای رفتاری به خصوص تالی‌ها می‌باشد و

شامل متغیرهای FRV (انتخاب جهت مرجع دلخواه برای بازه‌بندی نمودن کسینوس

زوایا در تالی نوع ۱)، GEB (میزان پهنای انرژی گاوسی)، TMC (کانولوشن زمانی)،

کارت‌های جانبی مفید ۱۷۹

ELC (تالی جریان الکترون) و... می‌باشد. در این قسمت بعضی از کاربردهای این کارت بیان می‌شود. برای آشنایی بیشتر با قابلیت‌های این کارت مرجع [۳] را ببینید.

۱-۱۰-۱-۷ متغیر FRV

فرض کنید می‌خواهیم تعداد ذرات خروجی از یک سطح را بر حسب زاویه خروج آنها نسبت به یک بردار خاص به کمک تالی F1 محاسبه کنیم. در اینجا می‌توان از این کارت استفاده نمود. ساختار پارامتر FRV در کارت FTn به صورت زیر می‌باشد:

FT1 FRV V₁ V₂ V₃

که V_iها مولفه‌های بردار مرجع مورد نظر هستند.

مثال (۹-۷)

F1:n 15 16

*C1 180 17i 0

FT1 FRV 0 0 -1

در این مثال، تالی F1 بر حسب زاویه نسبت به جهت منفی محور Zها محاسبه می‌شود.

۲-۱۰-۱-۷ متغیر GEB

این کارت را می‌توان برای محاسبه FWHM در تالی F8 به کمک کارت FTn بکاربرد. ساختار پارامتر GEB به صورت زیر می‌باشد:

FTn GEB a b c

رابطه FWHM در کد به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$FWHM(E) = a + b\sqrt{E + cE^2}$$

که a، b و c مقادیر ثابت هستند و از روی برازش منحنی تابع پاسخ انرژی بدست می‌آیند. پارامتر a بر حسب MeV و b بر حسب MeV^{1/2}، وارد می‌شود و c یک پارامتر بدون بعد است.

۷-۱-۱-۳ متغیر RES

اندرکنش ذرات با انرژی‌های بالا با هسته‌های هدف (برای مثال، در پدیده تلاشی) سبب تولید تعداد زیادی هسته‌های باقی مانده می‌شود که شامل از هسته‌های سبک تا هسته‌های سنگین در محدوده هسته هدف می‌شود که به کمک این کارت می‌توان توزیع آنها را به ازای هر برخورد محاسبه نمود. ساختار پارامتر RES به صورت زیر است:

RES [z1 z2] or RES [za1 za2 ...]

که z1 و z2، محدوده کمینه و بیشینه عدد اتمی هسته‌های مورد نظر می‌باشد. همچنین za_i به صورت ZZZAAA معرفی می‌شود. پیش فرض کارت RES FT این است که هیچ ورودی در آن نباشد؛ در این صورت تالی مورد نظر برای هر ۲۲۰۰ یون، هسته‌های باقی مانده احتمالی را محاسبه می‌نماید.

مثال (۷-۱۰)

F8:h 99

FT8 res 1001 2004 3007

در این مثال، نرخ تولید ایزوتوپ‌های هیدروژن، هلیوم و لیتیوم محاسبه می‌شود.

۷-۱-۱۱ کارت PERTn

با استفاده از این کارت می‌توان تاثیر تغییر چگالی و یا تغییر درصد وزنی (یا اتمی) ایزوتوپ‌های یک ماده بر نتیجه تالی‌های برنامه را در همان برنامه محاسبه نمود. فرض کنید ماده شماره یک درون سلولی را پر کرده است. می‌خواهیم اثر ناشی از تغییر در درصد وزنی یا اتمی ایزوتوپ‌های تشکیل دهنده ماده را بررسی کنیم و یا اینکه تاثیر تغییر چگالی آن ماده مد نظر باشد. برای این کار، بدون نوشتن و اجرای برنامه‌ای دیگر، از کارت PERT به صورت زیر استفاده می‌شود:

PERTn:p1 KEYWORD=Value ...

که n یک عدد درست دلخواه و Pl نوع ذره مورد نظر است. KEYWORD می‌تواند

CELL (سلول)، MAT (ماده)، RHO (چگالی)، METHOD (روش)، ERG (انرژی) و

RXN (نرخ اندرکنش) باشد.

کارت‌های جانبی مفید ۱۸۱

با درج این کارت در فایل ورودی، محاسبات بر اساس روش اختلال صورت می‌گیرد که توضیحات آن در مرجع [۱] آمده است.

مثال ۷-۱۱)

```
M5 1001 -0.666 8016 -0.334
M6 1001 -0.50 8016 -0.50
M7 1002 -0.666 8016 -0.334
PERT1:n CELL=3 MAT=6
PERT2:n CELL=3 MAT=7
```

در این مثال، سلول شماره ۳ با ماده شماره ۵ پر شده است. برای بررسی اثرات ناشی از تغییر درصد وزنی ایزوتوپ‌های تشکیل دهنده ماده شماره ۵ در برنامه ورودی مواد جداگانه‌ای با شماره‌های ۶ و ۷ اضافه شده است.

در این برنامه تالی مورد نظر سه بار در خروجی تولید می‌شود، یک بار به ازای ماده شماره ۵ و دوبار دیگر به ازای دو ماده دیگر.

مثال ۷-۱۲) در این مثال، ترکیب ماده تغییر نکرده است، ولی چگالی آن عوض شده

است:

```
M5 1001 -0.666 8016 -0.334
PERT3:p CELL=3 RHO=-1.001
PERT4:p CELL=3 RHO=-0.999
```

مثال ۷-۱۳) در این مثال، سلول‌های ۱ تا ۱۰ را از ماده خالی نموده‌ایم:

```
M5 1001 -0.666 8016 -0.334
PERT5:n,p CELL=1 8i 10 RHO=0
```

مرتبه اختلال را نیز می‌توان در این کارت اعمال نمود. به این ترتیب که اگر پارامتر METHOD=۱ باشد، (مقدار پیش فرض)، مجموعه اختلال‌های مرتبه اول و دوم در نظر گرفته می‌شود. اگر METHOD=۲ باشد، فقط اختلال مرتبه اول در نظر گرفته می‌شود. اگر METHOD=۳ باشد، فقط اختلال مرتبه دوم در نظر گرفته می‌شود.

مثال ۷-۱۴)

```
M5 1001 -0.666 8016 -0.334
M7 1002 -0.666 8016 -0.334
PERT6:n CELL=3,12 MAT=7 RHO=-1.2 METHOD=2
```

در این مثال فقط اختلال مرتبه اول اعمال می‌گردد.

نکته (۱): نیازی نیست که ماده‌ای که برای کارت PERT استفاده می‌شود، سلولی را پر کرده باشد.

نکته (۲): اگر در سلولی ماده وجود نداشته باشد، نمی‌توان از دستور PERT استفاده نمود.

نکته (۳): ماده‌ای که در کارت PERT لحاظ می‌شود، نسبت به ماده اصلی نباید دارای ایزوتوپ‌های اضافی باشد، اما می‌تواند دارای ایزوتوپ کمتری باشد.

نکته (۴): کارت PERT فقط برای ذرات نوترون و پروتون بکار می‌رود. استفاده همزمان این کارت با کارت Void امکان پذیر نیست. همچنین این کارت را نمی‌توان برای تالی‌های F5 و F8 بکار برد.

۷-۱-۱۲ کارت‌های SFn و CFn

به کمک این دو کارت می‌توان سهم ذراتی که از سلول‌ها و یا سطوح خاص عبور کرده و به سلول یا سطح مورد نظر رسیده است را در تالی مورد نظر محاسبه کنیم. کارت CFn سلول‌ها و کارت SFn سطوح را مشخص می‌کند. مثلاً اگر تالی نوع چهار در یک سلول محاسبه می‌شود، می‌توان محاسبه نمود که مقدار این تالی ناشی از ذرات عبوری از یک سطح خاص چقدر است. لذا تالی مورد نظر دارای دو مقدار خواهد بود. یک مقدار اصلی و یک مقدار ناشی از ذرات سلول و یا سطوح مشخص شده در این کارت.

مثال ۷-۱۵)

F4:n 2
CF4 1

کارت‌های جانبی مفید ۱۸۳

در این مثال دو خروجی عبارتند از: یکی کل شار در سلول شماره ۲ و دیگری شار در سلول شماره ۲ ناشی از ذراتی که سلول شماره ۱ را ترک نموده و به سلول شماره ۲ رسیده‌اند.

مثال ۷-۱۶)

F4:n 2

SF4 11

در این مثال دو خروجی عبارتند از: شار کل در سلول شماره ۲ و دیگری شار در سلول شماره ۲ ناشی از ذراتی که از سطح شماره ۱۱ عبور نموده و به سلول شماره ۲ رسیده‌اند.

مثال ۷-۱۷)

F4:n 2

SF4 11

CF4 1

در این مثال نیز دو خروجی داریم. خروجی دوم ناشی از ذراتی است که به طور همزمان از سلول شماره ۱ و سطح شماره ۱۱ به سلول شماره ۲ رسیده‌اند.
نکته (۱): این کارت‌ها برای تالی‌های نوع ۵ و ۸ تعریف نشده است.
نکته (۲): می‌توان به طور هم زمان چند سطح و یا سلول را در این کارت‌ها در نظر گرفت:

SF2 11 12 20

CF2 3 4 5

۷-۱۳-۱۳ کارت FSn

این کارت به شما اجازه می‌دهد که سلول یا سطح مورد نظر در یک تالی را به صورت مجازی تقسیم‌بندی نموده و مقدار تالی را در هر قسمت آن به صورت جداگانه بدست آورید. برای این کار نیازی به تعریف سلول‌های جدیدی نیست و تنها کافی است که سطوحی را که جهت تقسیم‌بندی استفاده خواهند شد را در بخش سطوح تعریف کنیم. ساختار این کارت به صورت زیر است:

آموزش کد MCNPX ۱۸۴

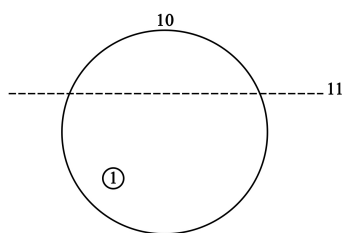
$FSn \ S_1 \ S_2 \ \dots \ S_k$

که S_i ها شماره سطوح مورد نظر با علامت مشخص هستند که نحوه تقسیم‌بندی سلول یا سطح مشخص شده در تالی n را تعیین می‌کند.

مثال ۷-۱۸) هندسه ساده زیر را در نظر بگیرید. سلول شماره ۱، کره‌ای را تعریف می‌کند که با سطح شماره ۱۰ تعریف شده است. سطح شماره ۱۱ در قسمت سطوح تعریف شده است، اما در بخش سلول‌ها از آن استفاده نشده است و جهت درک بهتر در این شکل نشان داده شده است. با توجه به شکل زیر، می‌خواهیم مقدار تالی $F4$ را در درون کره و در دو ناحیه، که توسط سطح ۱۱ محدود شده‌اند، را محاسبه کنیم. داریم:

$F4: \ n \ 1$

$FS4 \ -11$

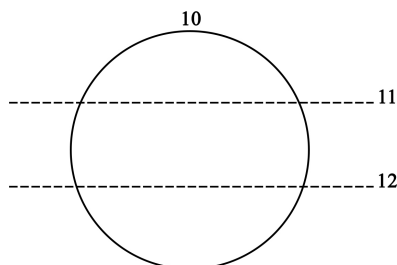


با این کار ناحیه سلول شماره ۱ به دو قسمت تقسیم می‌شود. ناحیه‌ای که زیر سطح شماره ۱۱ است و ناحیه‌ای که بالای آن قرار دارد. این برنامه دو خروجی خواهد داشت که مربوط به این دو قسمت می‌باشد.

مثال ۷-۱۹) شکل زیر را در نظر بگیرید. در اینجا تنها یک سلول وجود دارد و سطوح شماره ۱۱ و ۱۲ تنها در بخش سطوح تعریف شده‌اند. برای محاسبه تالی در سه قسمت مشخص شده درون سلول شماره ۱ داریم:

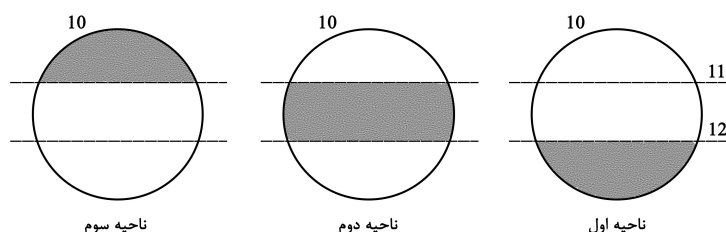
$F4: \ n \ 1$

$FS4 \ -12 \ -11$

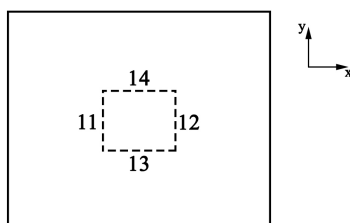


کارت‌های جانبی مفید ۱۸۵

تقسیم‌بندی توسط کد به صورت زیر انجام می‌شود: ابتدا تمام نواحی سلول ۱ که در ناحیه ۱۲- قرار دارند به عنوان قسمت اول در نظر گرفته می‌شود، سپس از ناحیه باقیمانده، ناحیه‌ای که با ۱۱- تعریف می‌شود به عنوان قسمت بعدی لحاظ می‌گردد و در نهایت هر آنچه باقی ماند به عنوان ناحیه سوم تعریف می‌گردد. به بیان دیگر تقسیم‌بندی در هر مرحله نسبت به تمام ناحیه باقیمانده از مرحله قبل صورت می‌گیرد.



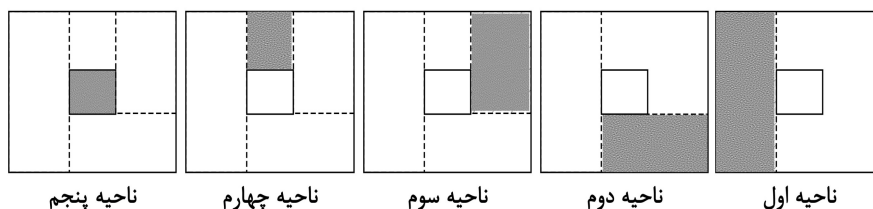
مثال ۷-۲) تالی F2 را روی سطح شماره ۱ و درون ناحیه‌ای که با سطوح ۱۱ تا ۱۴ محدود شده است را محاسبه می‌کنیم:



F2: n 1

FS2 -11 -13 12 14

این کارت ۵ ناحیه را مشخص می‌کند که در شکل زیر مشخص شده‌اند. منطقه مورد نظر ما، منطقه پنجم است.



۷-۱-۱۴ کارت prdmp

به کمک این کارت می‌توان سه کار بسیار مفید انجام داد:

۱- چاپ نتایج در فایل خروجی در حین اجرای برنامه

۲- کنترل حجم فایل runtpe

۳- تولید فایل mctal که حاوی فقط نتایج محاسبات است.

این کارت پنج پارامتر دارد که با سه تای آنها می‌توان کارهای فوق را انجام داد:

Prdmp NPD NDM MCT NDMP DMMP

پارامتر اول عددی است که تعیین می‌کند که نتایج محاسبات به ازای چه تعداد تاریخچه (NPS) و یا چه تعداد سیکل (در محاسبات Kcode) و یا به ازای چه مدت زمان‌هایی، بر حسب دقیقه، (با علامت منفی) همزمان با اجرای برنامه در فایل outp چاپ شود. مثلاً اگر این مقدار برابر $1e6$ باشد آنگاه به ازای هر یک میلیون ذره از NPS نتایج محاسبات در فایل خروجی چاپ خواهد شد. و یا اگر این مقدار برابر 10 - باشد، آنگاه به ازای هر ده دقیقه نتایج در فایل خروجی چاپ خواهد شد. با این کار می‌توان روند اجرای محاسبات را کنترل و ارزیابی نمود.

عملکرد پارامتر دوم مشابه پارامتر اول است که چاپ روند محاسبات در فایل runtpe را کنترل می‌کند. مثلاً اگر مقدار این پارامتر 10 - باشد، آنگاه فایل runtpe به ازای هر ده دقیقه، فرایند محاسبات را در خود ذخیره می‌کند. این فایل حاوی تمام اطلاعات آماری مسئله است و معمولاً حجم زیادی دارد که نقل و انتقال و یا نگهداری آن را با مشکل روبرو می‌سازد.

پارامتر سوم به صورت پیش فرض برابر صفر است. اگر مقدار آن را برابر یک قرار دهیم، آنگاه با اتمام اجرای برنامه فایلی تولید می‌شود به نام mctal که فقط شامل نتایج محاسبات تالی‌هاست و اطلاعات اضافی موجود در فایل outp در آن وجود ندارد. مثال زیر بخش از قسمت ابتدایی یک فایل mctal را نشان می‌دهد:

کارت‌های جانبی مفید ۱۸۷

```
mcnpx      2.6.0      06/07/15  12:21:20      2      10000000
840443193
ntal      7
      4      11      16      31      21      26      41
tally      4      -1      0
 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
f      1
      3
d      1
u      0
s      0
m      0
c      0
et      4
 1.00000E-06  1.00000E-02  2.00000E+01
t      0
vals
 6.88433E+05  0.2285
```

مقدار تالی و خطای آن در زیر یارامتر Vals آمده است.

از آنجا که این فایل دارای نظم و ساختار مشخصی است، می‌توان برنامه‌ای نوشت (مثلاً با فرترن) که محتویات آن را بخواند و عملیات‌هایی روی نتایج خروجی انجام دهد. پارامتر چهارم نیز حجم فایل `runtpe` را کنترل می‌کند. مقدار این پارامتر معرف آن است که چه تعداد از آخرین دامپ‌های^۱ برنامه در این فایل ذخیره شود (به طور پیش فرض تمام دامپ‌ها ذخیره می‌شود)، مثلاً اگر مقدار آن را برابر ۵ قرار دهیم آنگاه این فایل شامل ۵ دامپ آخر خواهد بود.

مثال ۷-۲۱)

Prdmp 1e6 j 1 5

جهت آشنایی بیشتر با این کارت، مرجع [۳۰] را ببینید.

¹ Dump

۲-۷ کارت‌های مربوط به مواد

۱-۲-۷ کارت‌های TOTNU و NONU

این دو کارت در مسائل بحرانیست استفاده می‌شوند و وقوع پدیده شکافت و نیز تعداد کل نوترون‌های حاصل از شکافت را کنترل می‌کنند. تعداد نوترون‌ها توسط کارت TOTNU کنترل می‌شود به این ترتیب که اگر این کارت در برنامه وجود داشته باشد اما هیچ پارامتری برای آن در نظر گرفته نشود، آنگاه مجموع تولید نوترون‌های آنی و تاخیری حاصل از شکافت در نظر گرفته خواهد شد، اما اگر پارامتر NO در ادامه آن نوشته شود، تنها تولید نوترون‌های آنی در نظر گرفته می‌شود. کارت NONU نیز وقوع پدیده شکافت در یک سلول خاص را به صورت زیر کنترل می‌کند:

NONU a

اگر $a=0$ باشد، آنگاه جذب نوترون به همراه گسیل پرتوی گاما در نظر گرفته می‌شود (بدون شکافت)، اگر $a=1$ باشد، آنگاه پدیده شکافت به صورت واقعی لحاظ می‌گردد و گسیل گاما نیز در نظر گرفته می‌شود. اگر $a=2$ باشد، آنگاه جذب بدون گسیل گاما در نظر گرفته خواهد شد. این کارت را می‌توان در ادامه خط تعریف سلول مورد نظر نوشت. این کارت را نمی‌توان در یک اجرای پیوسته برای یک برنامه ورودی استفاده نمود. یکی از کاربردهای این دو کارت در محاسبه کسر نوترون‌های تاخیری است (مثال ۷-۱۰ را ببینید).

۲-۲-۷ کارت AWTAB

این کارت برای تعریف وزن اتمی ایزوتوپ‌هایی که وزن اتمی آنها در فایل XSDIR موجود نیست بکار می‌رود و به صورت زیر تعریف می‌شود:

AWTAB ZAID₁ AW₁ ZAID₂ AW₂ ...

کارت‌های جانبی مفید ۱۸۹

که پارامتر، $ZAID_i$ ، مشخص کننده عنصر استفاده شده در کارت ماده m می‌باشد و پارامتر Aw_i نسبت وزن اتمی است. به عنوان مثال برای تعریف وزن اتمی ^{120}Sn که یکی از محصولات شکافت است داریم:

AWTAB 50120 116.490609

یکی از مهمترین کاربردهای این کارت به همراه کارت BURN جهت معرفی وزن اتمی پاره‌های شکافت است (بخش ۶-۶ را ببینید). نکته: از این کارت تنها یکبار می‌توان در یک برنامه استفاده نمود که می‌توان در آن وزن اتمی تمام عناصر مورد نظر را مشخص کرد.

۷-۲-۳ کارت VOID

به کمک این کارت می‌توان در مواقع نیاز، سلول یا سلول‌هایی را از ماده خالی نمود، به این ترتیب که اگر این کارت به تنهایی نوشته شود، آنگاه تمام سلول‌های موجود در برنامه خالی در نظر گرفته می‌شوند. این کار برای بررسی وجود خطاهای هندسی در مسئله بسیار مفید است. از آنجا که همه سلول‌ها خالی می‌شوند، برنامه به سرعت اجرا شده و ذرات از مناطق هندسی مختلف مسئله عبور می‌کنند و در صورت وجود خطای هندسی، آن منطقه به سرعت مشخص می‌شود. اگر بخواهیم یک یا چند سلول خاص را خالی کنیم باید شماره آن یا آنها را به ترتیبی که در برنامه نوشته‌ایم در مقابل این کارت بنویسیم.

مثال (۷-۲۲)

Void 1 3

در این مثال سلول اول و سوم، به ترتیبی که در فایل ورودی نوشته‌ایم، خالی فرض می‌شوند.

۳-۷ کارت داده‌های مربوط به فیزیک

۱-۳-۷ کارت‌های TMP و THTME

برای محاسبات وابسته به دما، مانند فیدبک‌های دمایی، رفتار حرارتی گاز آزاد در انرژی‌های حرارتی برای ترابرد نوترون و غیره، می‌توان از این کارت‌ها استفاده نمود. برای در نظر گرفتن یک دمای خاص در یک سلول، از کارت TMP استفاده می‌شود. این کارت را می‌توان در خط تعریف آن سلول نوشت و یا در بخش داده‌ها، دما را برای تک تک سلول‌های مسئله مشخص نمود:

TMP=T

که T دما بر حسب MeV می‌باشد.

اگر بخواهیم دما را برای بازه‌های مختلف زمانی تعریف کنیم، ابتدا به کمک کارت THTME بازه‌های زمانی مورد نظر را تعریف می‌کنیم و سپس دمای تک تک سلول‌ها را در هر بازه زمانی بر حسب MeV مشخص می‌کنیم:

THTME	t_1	t_2	...	t_n
TMP1	T_1^1	T_2^1	...	T_j^1
TMP2	T_1^2	T_2^2	...	T_j^2
...				
TMPn	T_1^n	T_2^n	...	T_j^n

که، t_i ها بازه‌های زمانی را مشخص می‌کنند و پارامتر T_j^n دمای سلول j ام در بازه زمانی n ام است. حداکثر مقدار n برابر ۹۹ می‌باشد.

پیش فرض مقدار دما برابر دمای اتاق است که مقدار آن $MeV \times 10^{-8} \times 2/53$ است و برای تمام سلول‌های مسئله در نظر گرفته می‌شود.

روابط زیر برای محاسبه دما بر حسب MeV مفید هستند:

$$kT(MeV) = 8.617 \times 10^{-11} \times T \text{ (بر حسب درجه)}$$

$$kT(MeV) = 8.617 \times 10^{-11} \times (T + 273.15) \text{ (بر حسب کلوین)}$$

۷-۳-۲ کارت PHYS

از این کارت برای تعریف حد بالای انرژی و نیز کنترل و در نظر گرفتن برخی پدیده‌های فیزیکی برای ذرات مختلف استفاده می‌شود.

۷-۳-۱ کارت فیزیک نوترون

یکی از مهمترین کارت‌های فیزیک، کارت فیزیک نوترون می‌باشد که به صورت زیر تعریف می‌شود:

Phys:n emax ean iunr dnb tabl fism recl

- پارامتر *emax*، حد بالای انرژی نوترون برحسب MeV می‌باشد.
- پارامتر *ean*، حد انرژی نوترون به صورت آنالوگ^۱ که برحسب MeV می‌باشد و مقدار پیش فرض آن صفر است.
- اگر مقدار این پارامتر بیشتر از انرژی نوترون باشد در این حالت اندرکنش جذب به صورت مجازی یا ضمنی در نظر گرفته می‌شود.
- اگر مقدار این پارامتر کمتر از انرژی نوترون باشد در این حالت اندرکنش جذب به صورت آنالوگ در نظر گرفته می‌شود.
- پارامتر *iunr*، برای کنترل جداول مربوط به رزنانس‌های به هم چسبیده بکار برده می‌شود.
- اگر مقدار این پارامتر صفر باشد (حالت پیش فرض) در این صورت این حالت در نظر گرفته خواهد شد.
- اگر مقدار این پارامتر عدد یک باشد، این حالت در نظر گرفته نمی‌شود.
- پارامتر *dnb*، برای کنترل تولید نوترون‌های تاخیری حاصل از شکافت بکار برده می‌شود که دارای حالت‌های مختلف می‌باشد. اگر مقدار این پارامتر عدد ۱- باشد

^۱ - یعنی مطابق آنچه که در واقعیت وجود دارد نمونه برداری انجام می‌شود.

(حالت پیش فرض)، در این صورت برای تولید نوترون‌های تاخیری حاصل از شکافت در حالت آنالوگ تنها از کتابخانه تجربی استفاده می‌کند.

اگر مقدار این پارامتر عدد ۱۰۱- باشد در این صورت برای تولید نوترون‌های تاخیری حاصل از شکافت در حالت آنالوگ تنها از مدل استفاده می‌کند.

اگر مقدار این پارامتر عدد ۱۰۰۱- باشد در این صورت برای تولید نوترون‌های تاخیری حاصل از شکافت در حالت آنالوگ برای انرژی‌هایی که کتابخانه تجربی ندارند، از مدل استفاده می‌کند.

اگر مقدار این پارامتر صفر باشد در این صورت رفتار نوترون‌های تاخیری و آنی را به صورت آنی در نظر می‌گیرد.

اگر مقدار این پارامتر عدد n باشد و آن عدد بین مقادیر ۱ تا ۱۵ باشد در این صورت به ازای تولید n تا نوترون‌های تاخیری در هر شکافت تنها از کتابخانه داده‌ها استفاده خواهد کرد.

اگر مقدار این پارامتر عدد $n + ۱۰۰$ باشد و آن عدد بین مقادیر ۱ تا ۱۵ باشد در این صورت به ازای تولید n تا نوترون‌های تاخیری در هر شکافت تنها از مدل استفاده خواهد کرد.

اگر مقدار این پارامتر عدد $n + ۱۰۰۰$ باشد و آن عدد بین مقادیر ۱ تا ۱۵ باشد در این صورت به ازای تولید n تا نوترون‌های تاخیری در هر شکافت از مدل استفاده خواهد کرد در صورتی که داده‌های کتابخانه‌ای حذف شوند.

- پارامتر `tabl`، جدول داده‌های فیزیکی را کنترل می‌کند.

اگر مقدار این پارامتر بزرگتر از صفر باشد در این صورت برای انرژی‌های بالاتر از این پارامتر از مدل‌های فیزیکی و برای انرژی‌های پایین تر از این پارامتر از جدول داده‌ها استفاده می‌کند.

اگر مقدار این پارامتر عدد ۱- باشد از مدل `mix and match` استفاده می‌کند.

کارت‌های جانبی مفید ۱۹۳

- پارامتر $fism$ ، برای کنترل تعداد نوترون‌های حاصل از شکافت (U) بکار برده می‌شود. اگر مقدار این پارامتر صفر باشد در این صورت تعداد نوترون‌های حاصل از شکافت را به طور صحیح در نظر می‌گیرد.
- اگر مقدار این پارامتر بزرگتر از صفر باشد در این صورت پارامتر U از تابع گوسی نمونه گیری می‌کند.
- اگر مقدار این پارامتر عدد یک باشد در این صورت مقدار پارامتر U نمونه گیری شده از میانگین حاصل از شکافت‌ها را تصحیح می‌کند.
- اگر مقدار این پارامتر عدد ۲ باشد در این صورت مقدار افزایش پارامتر U حاصل از شکافت‌ها را حفظ می‌کند.
- اگر مقدار این پارامتر عدد ۳ باشد در این صورت از تابع گوسی بدون هیچ تصحیحی نمونه گیری می‌کند.
- اگر مقدار این پارامتر عدد ۴ باشد در این صورت برای محاسبه این پارامتر فقط شکافت‌های آنی را در نظر می‌گیرد.
- اگر مقدار این پارامتر عدد ۱- باشد در این صورت تعداد نوترون‌های حاصل از شکافت به صورت تابع توزیع گوسی در نظر گرفته می‌شود.
- پارامتر $recl$ ، روش پس زنی یون‌های سبک را کنترل می‌کند.
- اگر مقدار این پارامتر صفر باشد در این صورت پس زنی یون‌های سبک (پروتون، دوترون، تریتون، هلیم و آلفا) و نوترون‌های حاصل از جذب آنها را در نظر نمی‌گیرد.
- اگر مقدار این پارامتر بین اعداد صفر و یک باشد در این صورت تعداد یون‌های سبک به ازای هر نوترون برخوردی ایجاد شده در هر برخورد پراکندگی کشسان را در نظر می‌گیرد.

آموزش کد MCNPX ۱۹۴

اگر مقدار این پارامتر بین اعداد یک و دو باشد، در این صورت تعداد یون‌های سبک به ازای هر نوترون برخوردی ایجاد شده در هر برخورد پراکندگی کشسان به همراه اندرکنش جذب نوترون توسط یون‌های سبک را در نظر می‌گیرد. اگر مقدار این پارامتر عدد ۳ باشد در این صورت روش پس زنی یون‌های سبک غیر فعال است.

مقدار پیش فرض کارت فیزیک نوترون به صورت زیر است:

Phys:n 100 0 0 -1 -1 0 0

(مثال ۷-۲۳)

phys:n 100 0 0 -101 1 0 0

در این مثال حد بالای انرژی نوترون 100 MeV در نظر گرفته شده است. عدد ۱۰۱- به منزله این است که برای تولید نوترون‌های تاخیری حاصل از شکافت در حالت آنالوگ از مدل استفاده شود. عدد ۱ به منزله این است که برای انرژی‌های بالاتر از انرژی نوترون از مدل‌های فیزیکی و برای انرژی‌های پایین تر از انرژی نوترون از جدول داده‌ها استفاده شود.

۷-۳-۲ کارت فیزیک فوتون

یکی دیگر از کارت‌های فیزیک، کارت فیزیک فوتون می‌باشد که به صورت زیر تعریف می‌شود:

Phys:p emcpf ides noco h ispn nodop dgb

- پارامتر emcpf، حد بالای انرژی فوتون برحسب MeV می‌باشد که رفتار جزئی فیزیکی این ذره را در نظر می‌گیرد.

- پارامتر ides، برای کنترل تولید الکترون‌ها در مد الکترون (mode e) یا فوتون‌های حاصل از تابش ترمزی بکار برده می‌شود.

اگر مقدار این پارامتر صفر باشد، در این حالت تولید الکترون در نظر گرفته می‌شود که مقدار پیش فرض آن است.

اگر مقدار این پارامتر عدد یک باشد، در این حالت تولید الکترون در نظر گرفته نمی‌شود.

- پارامتر nocoh، پراکندگی همدوس (تامسون) را کنترل می‌کند.

اگر مقدار این پارامتر صفر باشد (حالت پیش فرض) در این صورت پراکندگی همدوس در نظر گرفته می‌شود.

اگر مقدار این پارامتر عدد یک باشد در این صورت پراکندگی همدوس در نظر گرفته نمی‌شود.

- پارامتر ispn، برای کنترل تولید ذره فتو هسته‌ای بکار برده می‌شود که دارای سه حالت می‌باشد.

اگر مقدار این پارامتر عدد ۱- باشد در این صورت تولید ذره فتو هسته‌ای در حالت آنالوگ در نظر گرفته می‌شود.

اگر مقدار این پارامتر صفر باشد (حالت پیش فرض) در این صورت تولید ذره فتو هسته‌ای در نظر گرفته نمی‌شود.

اگر مقدار این پارامتر عدد یک باشد در این صورت تولید ذره فتو هسته‌ای تنظیم یا بایاس می‌شود.

- پارامتر nodop، پهن شدگی انرژی دوپلری را کنترل می‌کند.

اگر مقدار این پارامتر صفر باشد در این صورت پهن شدگی دوپلری در نظر گرفته می‌شود.

اگر مقدار این پارامتر عدد یک باشد (حالت پیش فرض) در این صورت پهن شدگی دوپلری در نظر گرفته نمی‌شود.

آموزش کد MCNPX ۱۹۶

- پارامتر `dgbl`، برای کنترل تولید گاماهاى تاخیری بکار برده می‌شود که دارای سه حالت می‌باشد.

اگر مقدار این پارامتر صفر باشد (حالت پیش فرض) در این صورت هیچ گاماهاى تاخیری تولید نمی‌شود.

اگر مقدار این پارامتر عدد ۱۰۱- باشد در این صورت نمونه گیری آنالوگ گاماهاى تاخیری با استفاده از داده‌های مدل ۲۵ گروهی می‌باشد.

اگر مقدار این پارامتر عدد ۱۰۲- باشد در این صورت نمونه گیری آنالوگ گاماهاى تاخیری با استفاده از برون یابی خطی داده‌های مدل ۲۵ گروهی می‌باشد.
مقدار پیش فرض کارت فیزیک فوتون به صورت زیر است:

`phys:p 100 0 0 0 1 0`

(مثال ۷-۲۴)

`phys:p 1000 j j -1 1 j`

در این مثال حد بالای انرژی فوتون 1000 MeV در نظر گرفته شده است. همچنین در این مثال عدد ۱- به منزله این است که تولید ذره فتو هسته‌ای در حالت آنالوگ در نظر گرفته شده است. علاوه بر این، عدد ۱ به منزله این است که پهن شدگی دوپلری در نظر گرفته نشده است. پارامتر `j`، غیر قابل استفاده است.

۷-۳-۲-۳ کارت فیزیک الکترون

یکی دیگر از کارت‌های مهم فیزیک، کارت فیزیک الکترون می‌باشد که به صورت زیر تعریف می‌شود:

`Phys:e emax ides iphot ibad istrng bnum xnum rnok enum numb`

- پارامتر `emax`، حد بالای انرژی الکترون برحسب MeV می‌باشد.

- پارامتر `ides`، برای کنترل تولید الکترون‌ها حاصل از فوتون‌ها یا حاصل از پدیده تابش ترمزی بکار برده می‌شود.

- اگر مقدار این پارامتر صفر باشد (حالت پیش فرض) در این صورت تولید الکترون‌ها حاصل از فوتون‌ها در نظر گرفته می‌شود.
- اگر مقدار این پارامتر عدد یک باشد در این صورت تولید الکترون‌ها حاصل از فوتون‌ها در نظر گرفته نمی‌شود.
- پارامتر `iphot`، برای کنترل تولید فوتون‌ها حاصل از الکترون‌ها بکار برده می‌شود. اگر مقدار این پارامتر صفر باشد (حالت پیش فرض) در این صورت تولید فوتون‌ها حاصل از الکترون‌ها در نظر گرفته می‌شود.
- اگر مقدار این پارامتر عدد یک باشد در این صورت تولید فوتون‌ها حاصل از الکترون‌ها در نظر گرفته نمی‌شود.
- پارامتر `ibad`، برای کنترل روش توزیع زاویه‌ای پدیده تابش ترمزی بکار برده می‌شود. اگر مقدار این پارامتر صفر باشد (حالت پیش فرض) در این صورت توزیع زاویه‌ای پدیده تابش ترمزی به صورت جدولی در نظر گرفته می‌شود.
- اگر مقدار این پارامتر عدد یک باشد در این صورت تقریب توزیع زاویه‌ای پدیده تابش ترمزی به صورت ساده در نظر گرفته می‌شود.
- پارامتر `istrg`، روش افت انرژی الکترون در اثر پاشیدگی را کنترل می‌کند. اگر مقدار این پارامتر صفر باشد (حالت پیش فرض) در این صورت از پاشیدگی نمونه گیری شده برای کنترل افت انرژی الکترون استفاده می‌کند.
- اگر مقدار این پارامتر عدد یک باشد در این صورت از مقدار انتظاری پاشیدگی برای کنترل افت انرژی الکترون استفاده می‌کند.
- پارامتر `bnum`، برای کنترل تولید فوتون‌های حاصل از پدیده تابش ترمزی بکار برده می‌شود که دارای سه حالت می‌باشد.
- اگر مقدار این پارامتر صفر باشد در این صورت هیچ فوتونی حاصل از پدیده تابش ترمزی تولید نخواهد شد.

اگر مقدار این پارامتر بزرگتر از صفر باشد (حالت پیش فرض) در این صورت فوتون‌های حاصل از پدیده تابش ترمزی به صورت آنالوگ در نظر گرفته می‌شود.

اگر مقدار این پارامتر کوچکتر از صفر باشد در این صورت برای ارزیابی ترابرد الکترون از کتابخانه EL03 استفاده می‌کند. تولید تعداد فوتون‌ها به صورت آنالوگ در نظر گرفته می‌شود. افت انرژی تابشی را از میانگین انرژی همه فوتون‌های حاصل از پدیده تابش ترمزی نمونه گیری شده استفاده می‌کند.

- پارامتر `xnum`، برای کنترل تولید پرتو `X` تحریکی حاصل از الکترون‌ها بکار برده می‌شود که دارای دو حالت می‌باشد.

اگر مقدار این پارامتر بزرگتر از صفر باشد (حالت پیش فرض) در این صورت پرتو `X` تحریکی حاصل از الکترون‌ها به صورت آنالوگ در نظر گرفته می‌شود.

اگر مقدار این پارامتر صفر باشد در این صورت هیچ پرتو `X` تحریکی توسط الکترون‌ها تولید نخواهد شد.

- پارامتر `rnok`، برای کنترل تولید الکترون‌های حاصل از اندرکنش `knock-on` بکار برده می‌شود که دارای دو حالت می‌باشد.

اگر مقدار این پارامتر بزرگتر از صفر باشد (حالت پیش فرض) در این صورت الکترون‌های حاصل از اندرکنش `knock-on` به صورت آنالوگ در نظر گرفته می‌شود.

اگر مقدار این پارامتر صفر باشد در این صورت الکترون‌های حاصل از اندرکنش `knock-on` تولید نخواهد شد.

- پارامتر `enum`، برای کنترل تولید الکترون‌های ثانویه حاصل از اندرکنش فوتون‌ها بکار برده می‌شود که دارای دو حالت می‌باشد.

اگر مقدار این پارامتر بزرگتر از صفر باشد (حالت پیش فرض) در این صورت الکترون‌های حاصل از اندرکنش فوتون‌ها به صورت آنالوگ در نظر گرفته می‌شود.

کارت‌های جانبی مفید ۱۹۹

اگر مقدار این پارامتر صفر باشد در این صورت الکترون‌های حاصل از اندرکنش فوتون‌ها تولید نخواهد شد.

- پارامتر numb، تولید اندرکنش تابش ترمزی را کنترل می‌کند.

اگر مقدار این پارامتر بزرگتر از صفر باشد در این صورت این پارامتر برای هر زیر مجموعه این اندرکنش آن را در نظر می‌گیرد.

اگر مقدار این پارامتر صفر باشد (حالت پیش فرض) در این صورت تولید اندرکنش تابش ترمزی به صورت آنالوگ در نظر گرفته می‌شود.

مقدار پیش فرض کارت فیزیک الکترون به صورت زیر است:

Phys:e 100 0 0 0 0 1 1 1 1 0

۷-۳-۲-۴ کارت فیزیک پروتون

کارت فیزیک پروتون به صورت زیر تعریف می‌شود:

Phys:H emax ean tabl j istrng j recl

- پارامتر emax، حد بالای انرژی پروتون برحسب MeV می‌باشد.

- پارامتر ean، حد انرژی پروتون به صورت آنالوگ که برحسب MeV می‌باشد و مقدار پیش فرض آن صفر است.

اگر مقدار این پارامتر بیشتر از انرژی پروتون باشد در این حالت اندرکنش جذب به صورت مجازی یا ضمنی در نظر گرفته می‌شود.

اگر مقدار این پارامتر کمتر از انرژی پروتون باشد در این حالت اندرکنش جذب به صورت آنالوگ در نظر گرفته می‌شود.

- پارامتر tabl، جدول داده‌های فیزیکی را کنترل می‌کند.

اگر مقدار این پارامتر بزرگتر از صفر باشد در این صورت برای انرژی‌های بالاتر از آن از مدل‌های فیزیکی و برای انرژی‌های پایین تر از آن از جدول داده‌ها استفاده می‌کند.

آموزش کد MCNPX ۲۰۰

اگر مقدار این پارامتر عدد ۱- باشد (حالت پیش فرض) از مدل mix and match استفاده می کند.

- پارامتر istrng، برای کنترل پاشیدگی ذره باردار بکار برده می شود که دارای سه حالت می باشد.

اگر مقدار این پارامتر صفر باشد (حالت پیش فرض) در این صورت از مدل Vavilov برای پاشیدگی ذره باردار استفاده می کند.

اگر مقدار این پارامتر عدد یک باشد در این صورت از مقدار تقریبی کندشدگی پیوسته برای پاشیدگی ذره باردار استفاده می کند.

اگر مقدار این پارامتر عدد ۱- باشد در این صورت از مدل Vavilov قدیمی (نسخه ۲,۲ این کد) برای پاشیدگی ذره باردار استفاده می کند.

- پارامتر recl، برای کنترل پس زنی یون های سبک را بکار برده می شود.

اگر مقدار این پارامتر صفر باشد (حالت پیش فرض) در این صورت پس زنی یون های سبک را در نظر نمی گیرد.

اگر مقدار این پارامتر بین اعداد صفر و یک باشد در این صورت تعداد یون های سبک ایجاد شده در هر برخورد پراکندگی کشسان با پروتون و حتی با هسته های سبک دیگر را در نظر می گیرد.

- پارامتر j برای توسعه نسخه جدید کد در نظر گرفته شده اند و به همین صورت درج می شود.

مقدار پیش فرض کارت فیزیک پروتون به صورت زیر است:

Phys:h 100 0 -1 j 0 j 0

(مثال ۷-۲۵)

phys:h 3000 0 1 j 0 j 0

کارت‌های جانبی مفید ۲۰۱

در این مثال حد بالای انرژی پروتون 3000 MeV در نظر گرفته شده است. همچنین در این مثال برای انرژی‌های بالا از مدل‌های فیزیکی استفاده شده است. علاوه بر این، در این مثال پس زنی یون‌های سبک در نظر گرفته نشده است.

۷-۳-۵ کارت فیزیک ذرات دیگر

کارت فیزیک برای ذرات دیگر به صورت زیر تعریف می‌شود:

Phys:pl emax j j j istr

- پارامتر $emax$ ، حد بالای انرژی ذرات مختلف بر حسب MeV می‌باشد.
- پارامتر $istr$ ، برای کنترل پاشیدگی ذره باردار بکار برده می‌شود که دارای سه حالت می‌باشد.
- اگر مقدار این پارامتر صفر باشد (حالت پیش فرض) در این صورت از مدل Vavilov با تصحیح انرژی در محاسبه توان توقف استفاده می‌کند.
- اگر مقدار این پارامتر عدد یک باشد در این صورت از مدل یونیزاسیون کندشدگی پیوسته استفاده می‌کند.
- اگر مقدار این پارامتر عدد ۱- باشد در این صورت از مدل Vavilov قدیمی استفاده می‌کند.
- پارامتر j برای توسعه نسخه جدید کد در نظر گرفته شده است و به همین صورت درج می‌شود.

(مثال ۷-۲۶)

phys:# 100 3j 1

- در این مثال حد بالای انرژی ذره سبک 100 MeV در نظر گرفته شده است.
- همچنین در این مثال از مدل یونیزاسیون کندشدگی پیوسته استفاده شده است. پارامتر j برای توسعه نسخه جدید کد در نظر گرفته شده است و به همین صورت درج می‌شود.

۸ اجرای برنامه و فایل خروجی

۸-۱ داده‌های ضروری برای اجرای برنامه

تاکنون هندسه، چشمه، مواد و تالی‌ها را معرفی کردیم. برای اینکه یک فایل ورودی توسط کد اجرا و مقادیر تالی محاسبه شود، چند کارت ضروری در بخش داده‌ها باید تعریف شوند که عبارتند از:

- 1- Mode
- 2- Imp
- 3- NPS or CTME or STOP

۸-۱-۱ کارت Mode

این کارت یکی از کارت‌های اصلی کد می‌باشد که نوع مسئله را مشخص می‌کند و حتماً باید در فایل ورودی نوشته شود. این کارت مشخص می‌کند که در مسئله چه نوع ذراتی وجود دارد؟ مثلاً اگر چشمه نوترون وجود دارد، آیا گاماهاى ناشی از برهمکنش نوترون با مواد مختلف در نظر گرفته شود یا خیر؟ دستور mode به صورت زیر نوشته می‌شود:

Mode p1₁ p1₂ ...

آموزش کد MCNPX ۲۰۴

که pl مشخص کننده نوع ذره می باشد (جدول ۵-۲). مثلاً برای چشمه نوترون می توان حالت های زیر را تعریف نمود:

Mode n
Mode n p
Mode n p e

۸-۱-۲ کارت Imp

برای تمام ذراتی که در کارت mode تعریف می شوند، باید اهمیت ذرات توسط کارت imp در تک تک سلول ها به صورت $imp:pl=I$ تعریف شود، که pl نوع ذره را مشخص می کند و I معمولاً برابر صفر یا یک است. مثلاً در صورتی که mode n p تعریف شود، باید برای همه سلول ها $imp:n$ و $imp:p$ را مشخص نماییم.

اهمیت ذره در هر سلول را می توان در ادامه خط تعریف آن سلول معین کرد:

1 0 -11 imp:n=1

و یا آن را در بخش داده ها و در یک خط برای همه سلول ها تعریف نمود:

imp:n=1 1 1 0

در مثال فوق، اهمیت نوترون در سه سلول اول (به ترتیبی که در فایل ورودی نوشته شده اند) برابر یک و در سلول چهارم برابر صفر است.

برای مشخص کردن اهمیت چند نوع ذره می توان از حالت های زیر استفاده نمود:

۱- در خط تعریف هر سلول:

imp:n,p,e=1
imp:n=1 imp:p=1 imp:e=0

۲- در بخش داده ها:

(به صورت یک خط)

imp:n,p,e=1 1 1 0

و یا

(به صورت چند خط)

imp:n 1 1 1 0
imp:p 1 1 1 0
imp:e 1 1 1 0

۲۰۵ اجرای برنامه و فایل خروجی

می‌توان از کارت nr (n مرتبه تکرار عدد قبلی) استفاده کرد. به عنوان مثال دو خط زیر معادل یکدیگرند:

```
imp:n 1 1 1 1 1 1 1 1 0
imp:n 1 7r 0
```

نکته: دقت کنید که حتماً اهمیت ذرات در سلولی که دارای ابعاد نامحدود است را برابر صفر قرار دهید.

۸-۱-۳ کارت‌های NPS، CTME و STOP

اساس کار کد، روش مونت کارلو و ذخیره تاریخچه ذرات و نهایتاً میانگین‌گیری روی نتایج حاصل از همه تاریخچه‌ها است. در اینجا دو عامل مهم در دقت نتایج خروجی تاثیر می‌گذارد:

- ۱- تا چه زمانی یک ذره ردگیری و تاریخچه آن ثبت گردد؟
- ۲- چه تعداد ذره ردگیری و تاریخچه آنها ثبت گردد؟
- یک ذره تا جایی ردگیری می‌شود که:

 ۱. جذب و نابود شود.
 ۲. وارد سلولی شود که اهمیت ذره در آن سلول برابر صفر است.
 ۳. انرژی آن کمتر از مقدار خاصی شود که کاربر تعیین می‌کند.
 ۴. وزن آن کمتر از مقداری خاصی شود که کاربر تعیین می‌کند (مفهوم وزن در اینجا یک مفهوم آماری است).
 ۵. عمر ذره بیشتر از مقدار خاصی شود که کاربر تعیین می‌کند.

- مقدار خاص انرژی، وزن و عمر ذره با دستور CUT تعریف می‌شود (بخش ۹-۳-۱ را ببینید).

اینکه چه تعداد ذره خروجی از چشمه ردگیری شوند را با دستور NPS به صورت زیر مشخص می‌کنیم:

NPS N

آموزش کد MCNPX ۲۰۶

که N عدد درستی است (حداکثر ۲ میلیارد) و تعداد ذراتی که از چشمه خارج شده و باید ردگیری شوند را مشخص می‌کند.

می‌توان به جای دستور NPS از دستور CTME استفاده کرد که مدت زمان اجرای برنامه را بر حسب دقیقه مشخص می‌کند. در این دستور تعداد ذرات ردگیری شده وابسته به زمان اجرای برنامه است و مسلماً هر چه این زمان بیشتر باشد تعداد ذرات پیگیری شده نیز بیشتر خواهد بود:

CTME m

که m مدت زمان اجرای برنامه بر حسب دقیقه می‌باشد.

با استفاده از کارت STOP به صورت زیر، می‌توان شروط مختلفی را برای خاتمه برنامه مشخص کرد. به این ترتیب که هر شرطی که زودتر برآورده شد، برنامه متوقف شود.

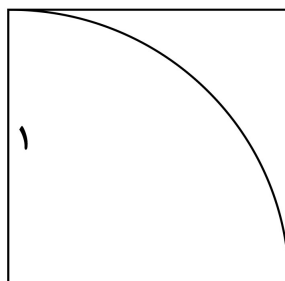
STOP NPS n CTME m Fn e

یا n ذره از چشمه تولید و ردگیری شوند، یا m دقیقه برنامه اجرا شود و یا خطای نسبی تالی F_n برابر مقداری کمتر از e شود.

نکته (۱): معمولاً هرچه تعداد NPS و یا مدت زمان اجرای برنامه بیشتر باشد، دقت نتایج نیز بیشتر خواهد بود.

نکته (۲): باید دقت شود که دستورهای NPS و CTME مفاهیم ریاضی هستند و هیچ معنی فیزیکی ندارند. توضیح اینکه مثلاً زمانی را که با دستور CTME مشخص می‌کنیم مفهوم زمان در فیزیک مسئله را ندارد، این زمان مثلاً زمان پرتودهی نیست!!
به منظور درک بهتر مفهوم NPS به مثال تاریخی و مفهومی محاسبه عدد π به روش مونت کارلو توجه کنید. در شکل زیر یک ربع دایره به شعاع واحد درون یک مربع قرار دارد. فرض کنید تعداد N_0 سنگ ریزه روی این شکل ریخته شود و از کل آنها، تعداد N سنگ ریزه درون ربع دایره قرار بگیرند.

۲۰۷ اجرای برنامه و فایل خروجی



اگر S مساحت مربع و S_C مساحت ربع دایره باشد، آنگاه بدیهی است که:

$$\frac{N}{N_0} = \frac{S_C}{S} = \frac{\pi/4}{1} \rightarrow \pi = \frac{4N}{N_0}$$

از آنجا که این آزمایش ذاتاً آماری است، لذا هر چه تعداد سنگ ریزه‌ها بیشتر باشد آنگاه دقت محاسبه عدد π بیشتر خواهد بود. جدول ۸-۱ نتیجه یک آزمایش را به ازای N_0 های مختلف نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌شود با افزایش N_0 مقدار عدد π به مقدار واقعی نزدیکتر شده است. در کد MCNPX نیز NPS به همین مفهوم است و هر چه مقدار آن بیشتر باشد، خطای نسبی نتایج کمتر خواهد شد.

جدول ۸-۱ مقدار عدد π به ازای N و N_0 های مختلف

N_0	۱۰۰	۴۰۰	۱۶۰۰	۶۴۰۰	۱۰۰۰۰
N	۸۱	۳۱۱	۱۲۶۸	۵۰۱۶	۷۸۴۵
$\pi=4N/N_0$	۳/۲۴	۳/۱۱	۳/۱۷	۳/۱۳۵	۳/۱۳۸

۸-۲ اجرای برنامه

با تکمیل شدن فایل ورودی اکنون می‌توانیم کد را اجرا کنیم. برای اجرای کد و گرفتن خروجی کد را با دستور زیر اجرا می‌کنیم:

`mcnpx i=filename`

آموزش کد MCNPX ۲۰۸

اگر هیچ خطای اساسی^۱ وجود نداشته باشد، برنامه تا پایان یافتن زمان مشخص شده با CTME و یا به تعداد ذرات مشخص شده با NPS اجرا می‌شود.

پس از پایان اجرای برنامه، نتایج محاسبات در فایل خروجی به نام پیش فرض outp ذخیره می‌گردد. فایل خروجی حاوی اطلاعات زیادی شامل فایل ورودی، فرآیند محاسبات آماری، نتایج خروجی و ... است. این اطلاعات در غالب ۳۲ جدول در فایل خروجی قابل نمایش است. در جدول ۸-۲ شماره جدول‌های خروجی و اطلاعات آنها آمده است.

برخی از این جدول‌ها پایه^۲ هستند و نمی‌توان چاپ شدن یا نشدن آنها را کنترل کرد، برخی دیگر به صورت پیش فرض^۳ چاپ می‌شوند و می‌توان آنها را چاپ نکرد و بقیه جدول‌ها را در صورت نیاز می‌توان چاپ کرد.

به منظور کنترل چاپ شدن یا نشدن جدول‌ها از کارت print استفاده می‌کنیم:

print n₁ n₂ ...

که n_iها شماره جدول‌ها هستند که اگر با علامت (+) درج شوند در فایل خروجی نمایش داده می‌شوند و اگر با علامت منفی درج شوند، در فایل خروجی نمایش داده نمی‌شوند. اگر کارت print به تنهایی وارد شود، همه جدول‌ها چاپ خواهند شد.

¹ Fatal error

² Basic

³ Default

جدول ۸-۲ اطلاعات جدول‌های خروجی

شماره جدول	توضیح	شماره جدول	توضیح
۱۰	Source information	۱۲۰	Importance function analysis
۲۰	Weight windows information	۱۲۶	Cell particle activity
۳۰	Tally descriptions	۱۲۸ (b)	Universe map
۳۵	Coincident detectors	۱۳۰	Particle weight balances
۴۰	Material compositions	۱۴۰	Neutron / photon nuclide activity
۵۰	Cell vols & masses; surface areas	۱۵۰	DXTRAN diagnostics
۶۰ (b)	Cell importances	۱۶۰ (d)	TFC bin tally analysis
۶۲ (b)	Forced coll; expon. transform	۱۶۱ (d)	P(x) tally PDF plot
۷۰	Surface coefficients	۱۶۲ (d)	Cumulative P(x) plot
۷۲ (b)	Cell temperatures	۱۷۰	Source frequency; surface source
۸۵	Electron range & straggling	۱۷۵	Estimated k_{eff} by cycle
۹۰	KCODE source data	۱۷۸	Estimated k_{eff} by batch size
۹۸	Physics const. & compile options	۱۸۰	WWG bookkeeping summary
۱۰۰ (b)	Cross section tables	۱۹۰ (b)	WWG summary
۱۰۲	S (α, β) nuclide assignment	۱۹۸	WW from multigroup fluxes
۱۱۰	First 50 startig histories	۲۰۰(b)	WW generated windows

(d)=default; (b)=basic

۲۱۰ آموزش کد MCNPX

بخشی که نتایج محاسبات را برای هر تالی نشان می‌دهد با خط زیر آغاز می‌شود:

```
1tally n nps =
```

که n شماره تالی مورد نظر است، به عنوان مثال:

```
1tally 4 nps = 18876993
tally type 4 track length estimate of particle flux.
particle(s): neutron
number of histories used for normalizing tallies= 18480000.00
```

```
this tally is all multiplied by 4.31500E+17
```

```
volumes
```

```
cell: 990
7.85398E+01
```

cell	990	مقدار تالی
energy		
5.0000E-07	8.31400E+09	0.1493
1.0000E-02	4.96101E+09	0.2530
2.0000E+01	0.00000E+00	0.0000

خطای نسبی

در ادامه این خط می‌توان نتایج محاسبات را یافت. در کنار هر نتیجه، خطای نسبی^۱

نیز نمایش داده می‌شود.

نتایج محاسبات در فایل mctal نیز چاپ می‌شود. این فایل تنها حاوی نتایج محاسبات است و هیچ اطلاعات اضافی دیگری ندارد (بخش ۷-۱-۱۴ را ببینید).

نکته (۱): مقدار قابل قبول برای خطای نسبی کمتر از ۰/۱ (معادل ۱۰ درصد) است.

این مقدار برای تالی نوع پنج باید کمتر ۰/۰۵ (معادل ۵ درصد) می‌باشد.

نکته (۲): دقت کنید که اگر مقدار یک تالی و خطای نسبی آن دقیقاً برابر صفر شود،

نمی‌توان نتیجه گرفت که کمیت فیزیکی مورد نظر برابر صفر است. صفر شدن مقدار

تالی به این معناست که هیچ یک از ذرات تولیدی در چشمه به ناحیه تالی نرسیده‌اند و

باید مقدار تاریخچه (NPS) را افزایش داد و یا از روش‌های کاهش واریانس استفاده

نمود.

^۱ Relative Error

۸-۳ حل یک مسئله نمونه و معرفی فایل خروجی

تا اینجا تمام کارت‌های مهم و ضروری مورد نیاز برای حل یک مسئله نوعی توضیح داده شد. اکنون می‌خواهیم یک مسئله ساده را به کمک کد حل نماییم و ضمن آن بیشتر با محتوای فایل خروجی آشنا شویم.

مثال ۸-۱) یک چشمه نقطه‌ای گاما با انرژی $1/2 \text{ MeV}$ و فعالیت ۱ کوری در مرکز یک بلوک مکعبی سربی (^{208}Pb) به شعاع 10 cm در نظر بگیرید. میزان شار و انرژی میانگین گاماها را از مکعب محاسبه نمایید.

هندسه مسئله بسیار ساده و تنها شامل یک مکعب به شعاع 10 cm می‌باشد. البته بهتر است که یک کره بزرگ در اطراف هندسه واقعی مسئله در نظر بگیریم که اهمیت ذرات در خارج آن برابر صفر باشد. لذا یک مکعب و یک کره تعریف می‌کنیم:

11 RPP -5 5 -5 5 -5 5

12 So 100

این دو سطح سه سلول مختلف را می‌سازند که عبارتند از فضای بیرون مسئله

(سلول ۱)، فضای داخل مکعب سربی (سلول ۲) و فضای بین مکعب و کره (سلول ۳):

1 0 12

2 1 -11.35 -11

3 0 -12 11

سلول ۲ با سرب به چگالی $11/35 \text{ g/cm}^3$ پر شده است:

M1 82208 1 \$ 208Pb, rho=-11.35

از آنجا که مسئله ما یک مسئله فوتونی است، لذا کارت mode و imp را به صورت

زیر می‌نویسیم:

Mode p

Imp:p 0 1 1

تعریف چشمه نیز بسیار ساده است:

SDEF pos=0 0 0

Par=2

Erg=1.2

آموزش کد MCNPX ۲۱۲

برای محاسبه شار گامای خروجی از مکعب باید تالی F2 را روی تک تک سطوح مکعب محاسبه نماییم:

F2:p 11.1 11.2 11.3 11.4 11.5 11.6

جهت محاسبه انرژی میانگین خروجی از سطوح مکعب باید از تالی *F12 استفاده

کنیم و سپس نتیجه این تالی را بر نتیجه تالی F2 تقسیم کنیم:

*F12:p 11.1 11.2 11.3 11.4 11.5 11.6

فعالیت چشمه برابر یک کوری و معادل $3/7 \times 10^{10}$ فوتون در ثانیه است. جهت ضرب

این عدد در نتایج تالی ها از کارت FMn استفاده می کنیم:

FM2 3.7e10

FM12 3.7e10

جهت تولید فایل metal از کارت prdmp استفاده می کنیم:

Prdmp 2j 1

محاسبات را به ازای یک میلیون تاریخچه انجام می دهیم:

NPS 1e6

فایل ورودی نهایی به صورت زیر خواهد بود:

c sample problem

1 0 12

2 1 -11.35 -11

3 0 -12 11

11 RPP -5 5 -5 5 -5 5

12 So 100

Mode p

Imp:p 0 1 1

M1 82208 1 \$ 208Pb, rho=-11.35

SDEF pos=0 0 0

Par=2

Erg=1.2

F2:p 11.1 11.2 11.3 11.4 11.5 11.6

*F12:p 11.1 11.2 11.3 11.4 11.5 11.6

prdmp 2j 1

nps 1e6

۲۱۳ اجرای برنامه و فایل خروجی

اکنون برنامه را اجرا می‌کنیم. با اجرا و اتمام برنامه، پیام زیر در پنجره داس^۱ نمایش داده خواهد شد:

```
mcnpX      ver=2.6.0 ld=Wed Apr 09 08:00:00 MST 2008    08/07/15 01:53:45
```

```
*****
*
*                      MCNPX
*
* Copyright 2007. Los Alamos National Security, LLC.
* All rights reserved.
*
* This material was produced under U.S. Government contract
* DE-AC52-06NA25396 for Los Alamos National Laboratory,
* which is operated by Los Alamos National Security, LLC
* for the U.S. Department of Energy. The Government is
* granted for itself and others acting on its behalf a
* paid-up, nonexclusive, irrevocable worldwide license in
* this material to reproduce, prepare derivative works, and
* works, and perform publicly and display publicly.
* Beginning five (5) years after June 1, 2006, subject to
* additional five-year worldwide renewals, the Government
* is granted for itself and others acting on its behalf
* a paid-up, nonexclusive, irrevocable worldwide license
* in this material to reproduce, prepare derivative works,
* distribute copies to the public, perform publicly and
* display publicly, and to permit others to do so.
*
* NEITHER THE UNITED STATES NOR THE UNITED STATES
* DEPARTMENT OF ENERGY, NOR LOS ALAMOS NATIONAL SECURITY,
* LLC, NOR ANY OF THEIR EMPLOYEES, MAKES ANY WARRANTY,
* EXPRESS OR IMPLIED, OR ASSUMES ANY LEGAL LIABILITY OR
* RESPONSIBILITY FOR THE ACCURACY, COMPLETENESS, OR
* USEFULNESS OF ANY INFORMATION, APPARATUS, PRODUCT, OR
* PROCESS DISCLOSED, OR REPRESENTS THAT ITS USE WOULD NOT
* INFRINGE PRIVATELY OWNED RIGHTS.
*
*****
imcn  is done
warning. material 1 has been set to a conductor.
dump 1 on file runtpe nps = 0 coll = 0
      ctm = 0.00 nrn = 0

xact  is done
dynamic storage = 0 words, 0 bytes. cp0 = 0.00
run terminated when 1000000 particle histories were done.
warning. tally 2 tfc bin did not pass 1 of 10 statistical checks.
warning. tally 12 tfc bin did not pass 1 of 10 statistical checks.
warning. 2 of 2 tallies did not pass all 10 statistical checks.
dump 2 on file runtpe nps = 1000000 coll = 5698118
      ctm = 0.13 nrn = 62733390

tally data written to file mctal
```

^۱ Dos

اجرای برنامه و فایل خروجی ۲۱۵

```
f          6 [L9]
11.1 11.2 11.3 11.4 11.5 11.6 [L10]
d          1
u          0
s          0
m          0
c          0
e          0
t          0
vals [L11]
1.05756E-04 0.0113 1.04658E-04 0.0111 1.03778E-04 0.0114 1.03500E-04
0.0113 1.02841E-04 0.0114 1.06304E-04 0.0112
tfc 16      1      1      1      1      1      1      1 [L12]
64000 1.03076E-04 4.41393E-02 4.70027E+04
128000 1.00097E-04 3.17884E-02 4.81792E+04
192000 1.00749E-04 2.58475E-02 5.18639E+04
256000 9.94241E-05 2.26091E-02 5.22511E+04
320000 1.01271E-04 2.02608E-02 5.23426E+04
384000 1.01172E-04 1.84458E-02 5.30700E+04
448000 1.02024E-04 1.70054E-02 5.42852E+04
512000 1.03814E-04 1.58216E-02 5.50706E+04
576000 1.03853E-04 1.49966E-02 5.46379E+04
640000 1.05203E-04 1.41866E-02 5.49146E+04
704000 1.05514E-04 1.34849E-02 5.56603E+04
768000 1.05189E-04 1.29761E-02 5.51737E+04
832000 1.04926E-04 1.24501E-02 5.52628E+04
896000 1.05083E-04 1.19748E-02 5.53024E+04
960000 1.05916E-04 1.15657E-02 5.57222E+04
1000000 1.05756E-04 1.13264E-02 5.58297E+04
```

بخش‌های مختلف این فایل عبارتند از:

- L1 تعداد تالی‌های موجود در برنامه
- L2 شماره تالی‌های موجود در برنامه
- L3 تالی شماره ۲
- L4 تعداد سطوح داده شده در تالی شماره ۲
- L5 شماره سطوح داده شده در تالی شماره ۲
- L6 مقدار تالی به همراه خطای نسبی آن برای سطوح مختلف به همان ترتیبی که در تالی شماره ۲ وارد شده‌اند
- L7 مقدار پارامترهای آماری مربوط به تالی شماره ۲
- L8 تالی شماره ۱۲
- L9 تعداد سطوح داده شده در تالی شماره ۱۲

آموزش کد MCNPX ۲۱۶

L10 شماره سطوح داده شده در تالی شماره ۱۲

L11 مقدار تالی به همراه خطای نسبی آن برای سطوح مختلف به همان ترتیبی که در تالی شماره ۱۲ وارد شده‌اند

L12 مقدار پارامترهای آماری مربوط به تالی شماره ۱۲

فایل خروجی این برنامه، outp، ۴۷۵ خط است که در اینجا بخش‌های مهم آن را توضیح می‌دهیم:

```
N1timcnp version 2.6.0 ld=Wed Apr 09 08:00:00 MST 2008 08/07/15 02:07:51
N2*****
N3 i=sample.i probid = 08/07/15 02:07:51
N4Skip 34 lines
N4 1- c sample problem
2- 1 0 12
3- 2 1 -11.35 -11
4- 3 0 -12 11
5-
6- 11 RPP -5 5 -5 5 -5 5
7- 12 So 100
8-
9- Mode p
10- Imp:p 0 1 1
11- M1 82208 1 $ 208Pb, rho=-11.35
12- SDEF pos=0 0 0
13- Par=2
14- Erg=1.2
15- F2:p 11.1 11.2 11.3 11.4 11.5 11.6
16- *F12:p 11.1 11.2 11.3 11.4 11.5 11.6
17- prdmp 2j 1
18- nps 1e6
19-
Skip 18 lines
N5
cell mat atom gram density volume mass pieces photon
importance
1 1 0 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0 0.0000E+00
2 2 1 3.28644E-02 1.13500E+01 1.00000E+03 1.13500E+04 0 1.0000E+00
3 3 0 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0 1.0000E+00
Skip 95 lines
```



```
N11=====
results of 10 statistical checks for the estimated answer for the tally fluctuation chart (tfc) bin of tally 2
tfc bin --mean-- -----relative error-----
behavior behavior random random random random random random random random random random
desired random random random random random random random random random random
observed random random random random random random random random random random
passed? yes yes yes yes yes yes yes yes yes yes
value <0.10 0.01 yes yes yes yes yes yes yes yes
decrease rate 1/sqrt(nps) yes yes yes yes yes yes yes yes
decrease rate 1/nps yes yes yes yes yes yes yes yes
value <0.10 0.00 yes yes yes yes yes yes yes yes
variance of the variance----
value decrease rate constant value
--figure of merit--
behavior random random random random random random random random random random
=====
Skip 66 lines
N12 tally 12 nps = 100000
tally type 2* energy flux averaged over a surface. units mev/cm**2
particle(s): photon
areas
surface: 11.1 11.2 11.3 11.4 11.5 11.6
1.00000E+02 1.00000E+02 1.00000E+02 1.00000E+02 1.00000E+02 1.00000E+02
N15 surface 11.1
1.05756E-04 0.0113
surface 11.2
1.04658E-04 0.0111
surface 11.3
1.03778E-04 0.0114
surface 11.4
1.03500E-04 0.0113
surface 11.5
1.02841E-04 0.0114
surface 11.6
1.06304E-04 0.0112
Skip 28 lines
```

```

=====
N16= results of 10 statistical checks for the estimated answer for the tally fluctuation chart (tfc) bin of tally 12

tfc bin      --mean--      -----relative error-----      ----variance of the variance----      --figure of merit--
behavior      behavior      value decrease rate      value decrease rate      value value behavior

desired      random      <0.10      yes      1/sqrt(nps)      <0.10      yes      1/nps      constant      random
observed      random      0.01      yes      yes      0.00      yes      yes      constant      random
passed?      yes      yes      yes      yes      yes      yes      yes      yes      yes

=====
Skip 45 lines
N17 1status of the statistical checks used to form confidence intervals for the mean for each tally bin

tally result of statistical checks for the tfc bin (the first check not passed is listed) and error magnitude check

2 missed 1 of 10 tfc bin checks: the slope of decrease of largest tallies is less than the minimum acceptable
passed all bin error check: 6 tally bins all have relative errors less than 0.10 with no zero bins

12 missed 1 of 10 tfc bin checks: the slope of decrease of largest tallies is less than the minimum acceptable
passed all bin error check: 6 tally bins all have relative errors less than 0.10 with no zero bins

the 10 statistical checks are only for the tally fluctuation chart bin and do not apply to other tally bins.

warning. 2 of the 2 tally fluctuation chart bins did not pass all 10 statistical checks.
1tally fluctuation charts
tally 2 tally 12
nps mean error vov slope fom mean error vov slope fom
64000 1.0776E-04 0.0446 0.0047 4.4 45959 1.0308E-04 0.0441 0.0024 3.4 47003
128000 1.0394E-04 0.0325 0.0035 4.0 45981 1.0010E-04 0.0318 0.0013 2.9 48179
192000 1.0610E-04 0.0277 0.0172 3.1 45202 1.0075E-04 0.0258 0.0009 2.9 51864
256000 1.0485E-04 0.0240 0.0104 3.4 46339 9.9424E-05 0.0226 0.0007 2.7 52251
320000 1.0715E-04 0.0218 0.0111 3.3 45191 1.0177E-04 0.0203 0.0012 2.5 52343

```

اجرای برنامه و فایل خروجی ۲۲۱

```

384000 1.0624E-04 0.0197 0.0084 3.4 46722 1.0117E-04 0.0184 0.0009 2.6 53070
448000 1.0697E-04 0.0180 0.0064 3.6 48467 1.0202E-04 0.0170 0.0008 2.5 54285
512000 1.0881E-04 0.0169 0.0066 3.3 48262 1.0381E-04 0.0158 0.0007 2.4 55071
576000 1.0914E-04 0.0161 0.0065 3.3 47298 1.0385E-04 0.0150 0.0008 2.4 54638
640000 1.1069E-04 0.0155 0.0069 3.0 45783 1.0520E-04 0.0142 0.0007 2.3 54915
704000 1.1087E-04 0.0147 0.0059 2.9 46931 1.0551E-04 0.0135 0.0006 2.2 55660
768000 1.1101E-04 0.0143 0.0060 2.8 45308 1.0519E-04 0.0130 0.0007 2.2 55174
832000 1.1074E-04 0.0137 0.0053 3.0 45788 1.0493E-04 0.0125 0.0006 2.2 55263
896000 1.1085E-04 0.0131 0.0047 3.0 46240 1.0508E-04 0.0120 0.0006 2.1 55302
960000 1.1170E-04 0.0127 0.0045 2.8 46571 1.0592E-04 0.0116 0.0006 2.1 55722
1000000 1.1151E-04 0.0124 0.0042 2.8 46940 1.0576E-04 0.0113 0.0006 2.2 55830

```

N18 dump no. 2 on file runtpe nps = 1000000 coll = 5698118 ctm = 0.14 nrn = 62733390

N19 tally data written to file mctal

N20 4 warning messages so far.

N21 run terminated when 1000000 particle histories were done.

N22 computer time = 0.14 minutes

N23 mcnp version 2.6.0 Wed Apr 09 08:00:00 MST 2008 08/07/15 02:07:59 probid = 08/07/15 02:07:51

آموزش کد MCNPX ۲۲۲

-
- N1 اطلاعات مربوط به کد شامل نسخه آن و زمان تولید
- N2 زمان اجرای برنامه بر اساس زمان رایانه
- N3 دستوری که برنامه با آن اجرا شده است که شامل نام فایل ورودی نیز می‌باشد
- N4 متن کامل فایل ورودی
- N5 اطلاعات مربوط به تک تک سلول‌های مسئله شامل حجم، جرم، شماره ماده، چگالی و غیره
- N6 اطلاعات مربوط به جمعیت آماری ذرات در تک تک سلول‌ها، طول پویش میانگین آزاد در هر سلول و غیره. این اطلاعات در استفاده از روش‌های کاهش واریانس مفید هستند.
- N7 آغاز بخش نتایج محاسبات تالی شماره ۲
- N8 نوع ذره در تالی شماره ۲
- N9 مساحت سطوحی که در تالی شماره ۲ استفاده شده‌اند
- N10 نتیجه تالی شماره ۲ برای تک تک سطوح مورد نظر به همراه خطای نسبی آنها
- N11 جدول چک‌های آماری برای تالی شماره ۲
- N12 آغاز بخش نتایج محاسبات تالی شماره ۱۲
- N13 نوع ذره در تالی شماره ۱۲
- N14 مساحت سطوحی که در تالی شماره ۱۴ استفاده شده‌اند
- N15 نتیجه تالی شماره ۱۲ برای تک تک سطوح مورد نظر به همراه خطای نسبی آنها

N16 جدول چک‌های آماری برای تالی شماره ۱۲

N17 نتیجه ارزیابی چک‌های آماری برای تالی‌های برنامه

N18 اطلاعات مربوط به فایل runtpe

N19 پیام مربوط به تولید فایل mctal

N20 تعداد پیام‌های هشدار

N21 پیام مربوط به علت خاتمه یافتن اجرای برنامه

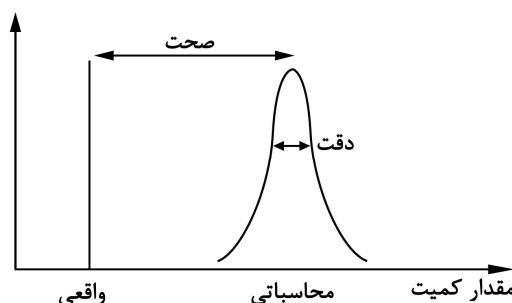
N22 مدت زمان اجرای برنامه

N23 اطلاعات مربوط به کد و زمان پایان برنامه

۸-۴ چگونه از دقت و صحت نتایج محاسبات مطمئن شویم؟

قبل از هر چیز یادآوری می‌کنیم که صحت و دقت دو مفهوم متفاوت هستند. صحت محاسبه یک کمیت را اختلاف آن نسبت به مقدار فیزیکی و واقعی آن کمیت مشخص می‌کند و بدیهی است که کد نمی‌تواند آن را محاسبه کند، ولی کاربر با تعریف درست و دقیق هندسه، چشمه و ... می‌تواند صحت نتایج را افزایش دهد.

دقت عبارت است از عدم قطعیت در محاسبه یک کمیت آماری که کد آن را محاسبه می‌کند و کاربر می‌تواند با استفاده از روش‌های کاهش واریانس آن را افزایش دهد. برای درک بهتر این دو مفهوم، شکل زیر را ببینید.



آموزش کد MCNPX ۲۲۴

از آنجا که فرآیند محاسبات یک فرآیند آماری است و نیز رفتار سیستم کاملاً آماری فرض می‌شود، لذا کد پارامترهایی را محاسبه و در فایل خروجی چاپ می‌کند که به کمک آنها کاربر می‌تواند علاوه بر بررسی دقت محاسبات، از انجام درست محاسبات نیز اطمینان حاصل کند. در ادامه این پارامترها را بررسی می‌کنیم.

۸-۴-۱ خطای نسبی

فرض کنید مقدار انتظاری یک تالی x_0 ، برابر $E(x)$ باشد، در صورتی که تابع توزیع احتمال برای x معلوم باشد، برای $E(x)$ داریم:

$$E(x) = \int xp(x)dx \quad (۱)$$

$p(x)dx$ احتمال آن است که سهم هر تاریخچه در تالی در بازه $x, x+dx$ باشد. تابع $p(x)$ برای کد مشخص نیست ولی می‌تواند در حین انجام محاسبات آن را تولید کند و کاربر می‌تواند نمودار آن را رسم و ملاحظه کند (بخش ۱۲-۳-۷ را ببینید) در عوض مقدرا میانگین تالی توسط کد طبق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum x_i \quad (۲)$$

که x_i سهم تاریخچه i ام در مقدار تالی و N تعداد کل تاریخچه‌هاست. می‌توان نشان داد که اگر $N \rightarrow \infty$ آنگاه $\bar{x}$ به سمت $E(x)$ میل خواهد کرد.

انحراف معیار x یعنی S ، را می‌توان از رابطه زیر بدست آورد.

$$S^2 = \frac{1}{N-1} \sum (x_i - \bar{x})^2 \approx \overline{x^2} - \bar{x}^2 \quad (۳)$$

$$\overline{x^2} = \frac{1}{N} \sum x_i^2 \quad (۴)$$

به این ترتیب برای واریانس $\bar{x}$ داریم:

$$S_{\bar{x}}^2 = \frac{1}{N} S^2 \quad (۵)$$

و برای خطای نسبی داریم:

۲۲۵ اجرای برنامه و فایل خروجی

$$R = \frac{S_{\bar{x}}}{\bar{x}} \quad (۶)$$

برای کم کردن خطای نسبی لازم است تا واریانس را کاهش دهیم که به این منظور از روش‌های کاهش واریانس استفاده می‌کنیم.

بنابر قضیه حد مرکزی، اگر N به سمت بی‌نهایت میل کند، آنگاه مقدار $\bar{x}$ با احتمال ۶۸ درصد در بازه $\bar{x}(1 \pm R)$ ، با احتمال ۹۵ درصد بازه $\bar{x}(1 \pm 2R)$ و با احتمال ۹۹ درصد بازه $\bar{x}(1 \pm 3R)$ است. این بازه‌ها را بازه‌های اطمینان می‌نامیم و با استفاده از روش‌های مناسب و کاهش واریانس سعی می‌کنیم که آنها را تا حد امکان، کاهش دهیم.

یک پارامتر مهم و مؤثر در کاهش خطای نسبی این است که چند درصد تاریخچه‌ها سهم غیر صفر در مقدار تالی دارند. فرض کنید از تعداد N تاریخچه، تنها n تاریخچه سهم غیر صفر در مقدار تالی داشته باشد، از ترکیب روابط (3) تا (6) داریم:

$$R^2 = \frac{S_{\bar{x}}^2}{\bar{x}^2} = \frac{S^2}{N\bar{x}^2} = \frac{1}{N} \left(\frac{\bar{x}^2}{\bar{x}^2} - 1 \right) = \frac{\sum_{i=1}^N x_i^2}{\left(\sum_{i=1}^N x_i \right)^2} - \frac{1}{N} \quad (۷)$$

اگر n تاریخچه سهم یکسان و غیر صفر α در مقدار تالی داشته باشند، آنگاه برای R داریم:

$$R^2 = \frac{n\alpha^2}{n^2\alpha^2} - \frac{1}{N} \Rightarrow \frac{1}{n} - \frac{1}{N} \xrightarrow{n \ll N} R \sim \frac{1}{\sqrt{n}}$$

جهت بررسی اثر مقدار n پارامتر جدید $q = \frac{n}{N}$ را معرفی می‌کنیم. با استفاده از

رابطه (۷) می‌توان نوشت:

$$R^2 = \frac{\sum x_i^2}{\left(\sum x_i \right)^2} - \frac{1}{N} = \left[\frac{\sum_{x_i \neq 0} x_i^2}{\left(\sum_{x_i \neq 0} x_i \right)^2} - \frac{1}{qN} \right] + \left[\frac{1-q}{N} \right] \quad (۸)$$

آموزش کد MCNPX ۲۲۶

در رابطه (۸) جمله اول ناشی از تاریخچه‌های با سهم غیر صفر و جمله دوم ناشی از تاریخچه‌های با سهم صفر در مقدار تالی است. رابطه (۸) را به صورت زیر بازنویسی می‌کنیم:

$$R^2 = R_{int}^2 + R_{eff}^2 \quad (۹)$$

$$R_{int}^2 = \frac{\sum_{x_i \neq 0} x_i^2}{\left(\sum_{x_i \neq 0} x_i^2 \right)^2} - \frac{1}{qN} \quad (۱۰)$$

$$R_{eff}^2 = \frac{1-q}{qN}$$

با استفاده از روش‌های کاهش واریانس می‌توان مقدار q را افزایش داد.

مقادیر R و R_{int} ، R_{eff} ، n و... در فایل خروجی، درست پس از نتایج محاسبات تالی

چاپ می‌شود:

1analysis of the results in the tally fluctuation chart bin (tfc) for tally 54 with nps=200* print table 160

normed average tally per history = 1.58053E-02 unnormed average tally per history = 5.29641E-01

R: estimated tally relative error = 0.002 estimated variance of the variance = 0.010

R_{eff}: relative error from zero tallies = 0.01 **R_{int}:** relative error from nonzero scores = 0.01

n: number of nonzero history tallies = 803135 efficiency for the nonzero tallies = 0.0404

history number of largest tally = 510338080 largest unnormalized history tally = 1.90711E+02

(largest tally)/(average tally) = 3.60076E+02 (largest tally)/(avg nonzero tally)= 1.45404E+01

۸-۴-۲ ضریب شایستگی (FOM)

این پارامتر به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$FOM = \frac{1}{R^2 T} \quad (۱۱)$$

دیدیم که R^2 متناسب با $\frac{1}{N}$ است و نیز می‌دانیم که زمان انجام محاسبات T ،

متناسب با N می‌باشد، لذا انتظار داریم که پارامتر FOM نسبت به تغییرات N ثابت

اجرای برنامه و فایل خروجی ۲۲۷

باشد. از طرفی بزرگتر بودن این مقدار ثابت، نشان دهنده کم بودن میزان خطای نسبی است. لذا با استفاده از روش‌های مناسب کاهش واریانس سعی می‌کنیم که میزان این پارامتر را افزایش دهیم. همچنین با بررسی این پارامتر می‌توان زمان اجرای برنامه را

برای داشتن یک خطای نسبی مشخص محاسبه کرد، زیرا $T \sim \frac{1}{R^2 \cdot FOM}$ می‌باشد.

مقدار FOM به ازای NPS‌های مختلف در خروجی چاپ می‌شود و به علاوه می‌توان نمودار تغییرات آن را برحسب NPS توسط کد رسم نمود. (بخش ۱۲-۳-۷ را ببینید).

۸-۴-۳ واریانس در واریانس (VOV)

این پارامتر به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$VOV = \frac{S^2(S_x^2)}{S_x^2} = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^4}{\left[\sum (x_i - \bar{x})^2\right]^2} - \frac{1}{N} \quad (12)$$

حساسیت این پارامتر، نسبت به جست و خیزهای آماری، بیشتر از حساسیت R است، لذا می‌تواند معیاری برای دقت مقدار تالی باشد.

مقدار VOV باید کمتر از ۰/۱ باشد و به صورت $\frac{1}{N}$ با افزایش N کاهش یابد. مقدار

VOV در فایل خروجی چاپ می‌شود و نیز می‌توان نمودار تغییرات آن را برحسب NPS توسط کد رسم نمود (بخش ۱۲-۳-۷ را ببینید).

مقدار و رفتار این پارامترها برای هر تالی در جدولی پس از نتایج محاسبات نمایش داده می‌شود و کاربر باید آن را بررسی نماید. شکل زیر به عنوان مثال، بخشی از این جدول را نشان می‌دهد.

```
=====
results of 10 statistical checks for the estimated answer for the tally fluctuation

tfc bin --mean-- -----relative error----- ----variance of the variance----
behavior behavior value decrease decrease rate value decrease decrease rate

desired random <0.10 yes 1/sqrt(nps) <0.10 yes 1/nps
observed random 0.00 yes yes yes 0.00 yes yes
passed? yes yes yes yes yes yes yes
=====
```

۸-۵ ادامه اجرای یک برنامه

ادامه اجرای یک برنامه که به هر دلیلی متوقف یا به طور کامل اجرا شده است، امکان پذیر است. برای این کار به جای فایل ورودی برنامه اجرا شده، فایل runtpe برنامه فراخوانی می شود. ابتدا یک فایل متنی به صورت زیر نوشته و آن را با یک نام (مثلاً inp.i) در شاخه کد ذخیره می کنیم:

```
Continue
nps N
```

و سپس برنامه را با دستور زیر اجرا می کنیم:

```
c i=inp.i r=runtpe
```

اگر می خواهیم یک برنامه که به طور کامل اجرا شده است را ادامه دهیم، باید مقدار NPS بیشتر از مقدار قبلی باشد. در صورتی که از کارت ctme استفاده کنیم نیازی نیست که مقدار آن از مقدار قبلی بیشتر باشد، هر مقداری وارد شود به همان مدت برنامه اجرا می شود. اگر نام فایل runtpe را تغییر داده ایم، نام جدید را وارد می کنیم:

```
c i=inp.i r=filename
```

به این ترتیب اجرای برنامه ادامه می یابد.

از این روش می توان برای تغییر نحوه چاپ خروجی نیز استفاده نمود، برای اینکار کافی است در فایل inp.i بدون نوشتن NPS پارامتر FQn را به صورت دلخواه تعریف نمایید (بخش ۷-۱-۸ را ببینید).

۸-۶ پیام ها و خطاها

با اجرای برنامه ممکن است سه نوع پیام توسط کد داده شود:

- ۱- هشدارها^۱: وجود این پیام ها خللی در اجرای برنامه ایجاد نمی کنند، اما کاربر باید آنها را به دقت بخواند و مفهوم آنها را درک کند.

^۱ Warning

اجرای برنامه و فایل خروجی ۲۲۹

۲- خطاهای اساسی^۱: وجود این خطاها، اجرای برنامه را غیر ممکن می‌سازد. بدیهی است که در صورت وجود چندین خطای اساسی، اولین خطای اساسی واقعی خواهد بود؛ خطاهای بعدی معمولاً به خاطر وجود خطای اول در برنامه، به وجود می‌آیند.

۳- خطاهای دردسر ساز^۲: وجود این خطاها نیز مانع از اجرای برنامه می‌شود. متأسفانه هیچ فهرستی از پیام‌های کد و نیز مفهوم آنها در مدارک مربوط به کد وجود ندارد. اما معمولاً مفهوم پیام‌ها مشخص است و کاربر می‌تواند با مطالعه دقیق آنها خطاهای احتمالی برنامه را بر طرف نماید. در ادامه برخی پیام‌ها و خطاهای مرسوم را معرفی می‌کنیم.

۸-۶-۱ خطاهای مرسوم

۱- یکی از مهمترین خطاهای مرسوم، مربوط به این است که کد نمی‌تواند فایل outp یا دیگر فایل‌های خروجی را تولید نماید:

```
bad trouble in subroutine unique of mcnp
cannot create outp
```

برای بر طرف نمودن این خطا باید فایل‌های خروجی موجود در شاخه اصلی را پاک یا مدیریت نمود.

۲- خطای مرسوم دیگر زمانی است که فایل ورودی با نام مورد نظر در شاخه اصلی کد وجود ندارد:

```
bad trouble in subroutine exemes of mcnp
```

```
input file example.i does not exist
```

۳- همانطور که اشاره شد، بخش‌های اصلی فایل ورودی توسط خطوط خالی از هم جدا می‌شوند. اگر خط خالی اضافی در فایل ورودی وجود داشته باشد، کد نمی‌تواند اطلاعات

^۱ Fatal Error

^۲ Bad Trouble

آموزش کد MCNPX ۲۳۰

لازم را از فایل ورودی کسب نماید. مثلاً اگر بین بخش سلول‌ها و سطوح دو خط خالی درج شود، کد نمی‌تواند سطوح، مواد و دیگر اطلاعات داده شده را فراخوانی نماید و برنامه با خطا متوقف می‌شود. خطایی که نمایش داده می‌شود مربوط به اولین اطلاعاتی است که کد لازم دارد ولی به آن دسترسی ندارد. مثلاً اگر اولین سلول مسئله با ماده شماره ۳ پر شده است، با وجود این خط خالی اضافی، کد خطا می‌دهد که :

fatal error. no m card for material no. 3

به این ترتیب، وجود یک خط خالی اضافی در بخش‌های مختلف فایل ورودی باعث بروز خطاهای مختلف و متنوعی خواهد شد، لذا در صورت وجود هر گونه خطایی در برنامه، ابتدا وجود خطوط خالی اضافی را بررسی و در صورت وجود، آنها را پاک کنید.

۴- یک خطای دیگر مربوط به این است که عبارات یا علائم در برنامه ورودی به طور صحیح بکار برده نشده است:

Fatal error: illegal entry.

یا

fatal error. is not a legal data symbol.

۵- در صورتی که اشتباهی در تعداد پارامترهای ورودی لازم برای تعریف یک کارت خاص وجود داشته باشد، خطای زیر نمایش داده می‌شود:

fatal error. number of entries is incorrect.

۶- در صورتی که فایل XSDIR در شاخه اصلی کد وجود نداشته باشد، خطای زیر نمایش داده می‌شود:

fatal error. cross-section directory file xsdir does not exist

۷- یکی دیگر از خطاها ناشی از این است که فایل کتابخانه سطح مقطع‌ها در شاخه کد وجود ندارد:

Bad trouble in xact in routine getxst cross-section file
endf70a does not exist.

۸- اگر کد نتواند مساحت یا حجم سطح یا سلول مشخص شده در یک تالی را محاسبه کند، خطای زیر رخ می‌دهد:

۲۳۱ اجرای برنامه و فایل خروجی

Fatal error: 1 tally volumes or areas were not input nor calculated.

که می‌توان با استفاده از کارت SDn آن را بر طرف نمود (بخش ۷-۱-۶ را ببینید)

۹- یکی دیگر از خطاها زمانی رخ می‌دهد که کارت اهمیت سلول‌ها با تعداد سلول‌ها برابر نیست، که به راحتی می‌توان آن را مرتفع نمود، مثلاً:

fatal error. too many entries: 6 were read, 5 are required.

یا

fatal error. 8 entries not equal to number of cells = 10.

۱۰- در صورتی که سطوح یکسان با شماره‌های مختلف در تعریف سلول‌ها استفاده شوند، کد یکی از سطوح مشابه را نگه می‌دارد و بقیه را حذف می‌کند. این حالت معمولاً در صورت استفاده از ماکروبادی‌ها رخ می‌دهد. بدیهی است که از شماره سطوحی که توسط کد پاک شده‌اند نمی‌توان در تعریف تالی استفاده نمود، لذا کاربر باید بداند که کدام سطح توسط کد حذف شده است. مثلاً فرض کنید سطوح ۱۰ و ۳۰ دو ماکروبادی RPP هستند:

```
10 RPP -10 10 -10 10 -10 10
30 RPP -10 11 -20 20 -5 5
```

اگر از این دو ماکروبادی در تعریف هندسه استفاده شود، کد هشدار می‌دهد که سطوح 10.2 و 30.2 یکسان هستند (هر دو سطح معرف $PX=10$ هستند) و یکی از آنها توسط کد حذف شده است. اینکه کدام سطح حذف شده است را می‌توان در فایل خروجی مشاهده نمود. مثلاً اگر سطح 30.2 حذف شده باشد و همین سطح در تالی‌ها استفاده شده باشد، خطای زیر نمایش داده می‌شود:

fatal error. facet 10.0 of tally 1 does not exist.

۱۱- یک خطای مرسوم دیگر در حالتی رخ می‌دهد که اهمیت ذره چشمه در سلول حاوی چشمه برابر صفر باشد:

Bad trouble in mcrun in routine startp source particle no. 16
starting random number = 151716794498173
the source particle started in a cell of zero importance.

آموزش کد MCNPX ۲۲۲

۱۲- خطای زیر در صورت وجود اشتباه در تعریف هندسه، رخ می‌دهد (نکته ۲) را در بخش ۳-۸ را ببینید):

```
Bad trouble geometry error in newcel run terminated because
10 particles got lost.
```

۱۳- یک خطای بسیار مرسوم در مسائل شامل هندسه‌های تکراری تعریف شده با کارت lat، خطای زیر است:

```
Bad trouble in mcrun in routine findel source particle no.1
starting random number = 6647299061401
zero lattice element hit.
```

عوامل متعددی می‌تواند باعث بروز چنین خطایی شود: یکسان بودن سطوح سلول lat و سلول اصلی؛ عدم مدیریت مناسب در پر کردن تک تک عناصر شبکه (بخش ۳-۶-۳-۲ را ببینید)؛ همپوشانی سطوح سلول lat و سطوح سلول درونی آن؛ قرار داشتن چشمه روی یکی از سطوح سلول lat؛ حذف کارت u در یک سلول و غیره. بر طرف کردن این خطا به دقت و حوصله نیاز دارد.

۱۴- خطای مهم دیگر ناشی از وجود کارکتر تب^۱ در فایل ورودی است (بخش ۲-۱ را ببینید):

```
bad trouble in subroutine ckchar of imcn
bad character, probably a control character, in column 6
```

۸-۶-۲ برخی دیگر از پیام‌ها و خطاها

- Warning: surface 100 is not used for anything.
این هشدار یعنی از سطح شماره ۱۰۰ در هیچ جای برنامه استفاده نشده است.
مشابه این هشدار در مورد موادی که تعریف شوند ولی استفاده نشوند نیز وجود دارد.
- Warning: material had unnormalized fractions in print table 40.
این پیغام یعنی برخی از کسرهای اتمی مواد بهنجار نشده است.
- Warning: 4 surfaces were deleted for being the same as others.

^۱ Tab

۲۳۳ اجرای برنامه و فایل خروجی

استفاده از همزمان کارت‌های NPS و Kcode، هشدار زیر را خواهد داد.

- Warning: nps card is ineffective in kcode problems.

یعنی در زمان اجرای برنامه کارت NPS را در نظر نمی‌گیرد بلکه کارت Kcode را در

نظر می‌گیرد.

- Warning: 90231.42c lacks delayed neutron cross sections.

یعنی سطح مقطع نوترون تاخیری برای عنصر 90231.42c وجود ندارد.

- Warning: total nu is now the default for fixed-source problems.

این پیغام یعنی، مقدار نوترون‌های تولید شده به ازای هر شکافت برای چشمه‌های

ثابت مقدار پیش فرض می‌باشد.

- Warning: neutron energy cutoff is below some cross-section tables.

این پیغام یعنی، مقدار انرژی قطع نوترون از داده‌های جدول بندی شده برای سطح

مقطع‌ها کمتر است.

- Warning: there are only neutron tallies in this problem.

این پیغام یعنی، در این مسئله تنها تالی نوترون در نظر گرفته شده است در حالی

که در کارت Mode بری دو یا چند ذره تعریف شده است.

- Warning: kcode usually needs s(a,b) physics (mt card).

این پیغام یعنی، در مسائل بحرانیته بهتر است کارت mt مربوط به اندر کنش s(a,b)

تعریف شود بخش ۴-۱ را ببینید).

- Fatal error: Mesh tally no.1 is not unique!

این پیغام خطا ناشی از این است که شماره مش تالی با تالی اصلی در برنامه یکسان

می‌باشد. برای رفع آن کافی است یکی از این شماره‌ها تغییر کند.

- Fatal error: no non-zero fractions.

این پیغام خطا ناشی از این است که کسرهای غیر صفر در کارت BURN در پارامتر

BOPT در نظر گرفته نشده است.

- Fatal error: improper geometry specification detected in unimaz.

آموزش کد MCNPX ۲۳۴

این پیغام خطا در تعریف مسائل مربوط به هندسه‌های تکرار مشاهده می‌شود. برای رفع آن بایستی کارت‌های Fill و U را بازبینی نمود.

• Fatal error: the entire source was rejected.

این پیغام خطا در تعریف مسائل مربوط به چشمه مشاهده می‌شود. برای رفع آن بایستی کارت‌های SDEF و KCODE را بازبینی نمود. برای مثال در مسائل بحرانیّت ممکن است مختصات چشمه خارج از سلول سوخت (ماده شکاف) باشد در این صورت این خطا مشاهده می‌شود.

• Fatal error: description of cell 5 uses 2374 words 2000 is max.

این پیغام خطا ناشی از تعریف سلول می‌باشد. به دلیل اینکه تعداد ورودی‌ها (کارکترها) در سلول شماره ۵ بیشتر از مقدار ۲۰۰۰ می‌باشد که بایستی کاهش یابد.

• Bad trouble in imcn in routine rhoden atomic weight of 82080 is zero.

این پیغام خطا ناشی از این است که ایزوتوپ به نام 82080 در کتابخانه کد وجود ندارد که بایستی اصلاح گردد.

۸-۶-۳ توصیه‌هایی جهت کاهش خطا در فایل ورودی

نکته (۱): در مسائل ساده تعداد خطاها کم است اما در مسائل پیچیده تعداد خطاها افزایش می‌یابد. بنابراین در این گونه مسائل بهتر است از یک برنامه ساده شروع کنیم و سپس در ادامه، گام به گام ورودی برنامه را تکمیل نماییم و در هر گام برنامه را چک کنیم.

نکته (۲): برخی از خطاهای برنامه ممکن است به صورت متوالی در اثر چند اشتباه توسط کاربر باشد. برای مثال در تعریف هندسه‌های تکراری، معمولاً خطاها متوالی و وابسته به هم هستند. برای این حالت کاربر بایستی به صورت گام به گام برنامه را اجرا نماید تا بتواند خطاها را یکی یکی برطرف سازد.

۲۲۵ اجرای برنامه و فایل خروجی

نکته (۳): در برخی از مسائل بهتر است کاربر ابتدا بخش هندسه برنامه را به صورت جداگانه اجرا نماید تا برنامه به طور کامل از نظر خطای هندسی تصحیح شود، سپس بخش‌های بعدی (چشمه، مواد، تالی‌ها و غیره) را به برنامه اضافه کند و آن را اجرا نماید تا خطاها کاملاً برطرف شوند و در نهایت برنامه کامل گردد.

۷-۸ بهنجار کردن نتایج محاسبات

نتایجی که در فایل خروجی ثبت می‌شوند به ازای یک ذره خروجی از چشمه است و برای یافتن جواب واقعی باید آن را بهنجار کرد، یعنی این خروجی را در شدت چشمه ضرب نمود. به عنوان مثال فرض کنید که شار نوترون را در نزدیکی قلب یک راکتور محاسبه کرده‌اید و مقدراً $4 - 3/51e$ را بدست آورده‌اید. برای گزارش این عدد به عنوان یک کمیت فیزیکی باید آن را در تعداد نوترون‌هایی که در واحد زمان از کل قلب خارج می‌شوند (شدت چشمه)، ضرب کنید. با این کار خروجی بدست آمده در واقع همان نتیجه واقعی مسئله خواهد بود. محاسبه شدت چشمه بسیار ساده است که در ادامه به سه حالت مختلف که کاربرد بیشتری دارند، اشاره می‌کنیم:

۱-۷-۸ شدت چشمه در یک راکتور هسته‌ای

یک راکتور با توان P وات معادل P ژول انرژی در ثانیه تولید می‌کند. با تقسیم این عدد بر انرژی میانگین تولیدی ناشی از هر شکافت که حدود 180 MeV است، تعداد کل شکافت‌ها در ثانیه بدست می‌آید. با ضرب این عدد در میانگین تعداد نوترون‌های تولیدی در هر شکافت $\bar{\nu}$ ، شدت چشمه محاسبه خواهد شد:

$$S = \frac{P(J/s)}{180(MeV/fission) \times 1.6 \times 10^{-13}(J/MeV)} \times \bar{\nu} = P\bar{\nu} \times 3.47 \times 10^{10} (n/s)$$

۸-۷-۲ شدت چشمه در یک شتاب دهنده

با توجه به تعریف شدت جریان، می‌توان شدت چشمه را به سادگی محاسبه نمود:

$$I = \frac{Nq}{t} = Sq \rightarrow S = \frac{I}{q} (\# / s)$$

که N تعداد ذرات با بار q است. مثلاً برای یک جریان ۰/۰۲ میلی آمپری پروتون

داریم:

$$S = \frac{0.2 \times 10^{-3}}{1.6 \times 10^{-19}} = 3.34 \times 10^{15} (proton / s)$$

۸-۷-۳ شدت چشمه در یک چشمه رادیواکتیو

یک ماده رادیواکتیو با فعالیت A کوری را در نظر بگیرید که در هر واپاشی دو ذره

گاما گسیل می‌کند. توجه به تعریف فعالیت، شدت این چشمه با برابر است با:

$$A(Ci) = A \times 3.7 \times 10^{10} (Bq) \rightarrow S = A \times 3.7 \times 10^{10} \times 2 (photon / s)$$

عدد ۲ از آنجا آمده است که در هر واپاشی دو فوتون گسیل می‌گردد. به عنوان مثال

برای یک چشمه کبالت-۶۰ با فعالیت ۸ mCi داریم:

$$S = 0.008 \times 3.7 \times 10^{10} \times 2 = 5.92 \times 10^8 (photon / s)$$

۹ روش‌های کاهش واریانس

۹-۱ مقدمه

روش‌های کاهش واریانس یک روش غیرآنالوگ در ترابرد ذرات در روش مونت کارلو می‌باشند. این روش‌ها برای کاهش زمان محاسبات و خطای نسبی به کار می‌روند. همانطور که در فصل هشتم بیان شد، خطای نسبی R ، متناسب با $\frac{1}{\sqrt{N}}$ است؛ از طرفی زمان کل محاسبات T ، با تعداد ذرات متناسب است، لذا داریم:

$$R = \frac{C}{\sqrt{T}}$$

مفهوم این رابطه این است که برای کاهش خطا یا باید زمان T را افزایش و یا ضریب C را کاهش داد. روش‌های کاهش واریانس باعث می‌شوند تا نمونه‌برداری از فضای فاز (مکان، انرژی، زاویه و...) به گونه‌ای تغییر کند که تعداد تاریخچه‌های سهمیم در مقدار تالی افزایش یابد که این کار باعث کاهش پارامتر C خواهد شد.

۹-۲ مفهوم وزن و رد ذرات در کد

قبل از ورود به بحث روش‌های کاهش واریانس، دو مفهوم مهم و اساسی در روش مونت کارلو یعنی وزن ذره^۱ و رد ذره^۲ را توضیح می‌دهیم. هنگامی که کد به صورت عادی ذرات را ترابرد می‌کند، هر ذره در کد معادل یک ذره واقعی است، اما با اعمال روش‌های کاهش واریانس هر ذره از کد می‌تواند معادل w ذره واقعی باشد. هر یک از این w ذره به صورت جداگانه ترابرد می‌شوند و در نهایت نتیجه ترابرد آن یک ذره با در نظر گرفتن ضریب w محاسبه می‌گردد. پارامتر w را وزن ذره تعریف می‌کنیم. به طور پیش فرض وزن همه ذرات برابر یک است، اما کاربر می‌تواند با اعمال روش‌های کاهش واریانس آن را تغییر دهد. به بیان دیگر وزن یک ذره عددی است که به هر ذره در کد نسبت داده می‌شود و معرف سهم نسبی آن ذره در محاسبات است. اساس کار روش‌های کاهش واریانس، اصلاح وزن ذرات به صورت دلخواه است.

به هر یک از مولفه‌های یک ذره از چشمه، از لحظه تولید در چشمه تا نابودی آن، رد ذره گفته می‌شود. خطای محاسبات به شدت به تعداد ردهای سهم در محاسبه تالی مورد نظر وابسته است. به کمک روش‌های کاهش واریانس سعی می‌شود تا تعداد ردهای رسیده به سطح یا سلول مورد نظر را افزایش داد.

روش‌های کاهش واریانس بر اساس ویژگی‌های ذاتی به چهار گروه تقسیم می‌شوند که عبارتند از:

- ۱- روش‌های برشی^۳
- ۲- روش‌های مبتنی بر کنترل جمعیت آماری^۴
- ۳- روش‌های مبتنی بر نمونه‌برداری اصلاح شده^۵
- ۴- روش‌های شبه قطعی^۶

در ادامه ضمن معرفی این روش‌ها، کارت‌های مرتبط با آنها توضیح داده می‌شوند. بدیهی است که تسلط به استفاده از این روش‌ها نیازمند تمرین و کسب تجربه است.

^۱ Particle weight

^۲ Particle track

^۳ Truncation Methods

^۴ Population Control Methods

^۵ Modified Sampling Methods

^۶ Partially-Deterministic Methods

۳-۹ روش‌های برشی

این روش‌ها با نادیده گرفتن بخش‌هایی از فضای فاز که سهمی در نتیجه محاسبات ندارند، زمان انجام محاسبات را کاهش می‌دهند. این روش‌ها عبارتند از:

1-Energy Cutoff

2-Time Cutoff

۳-۹-۱ کارت CUT

استفاده از این کارت ساده‌ترین روش کاهش واریانس است. با استفاده از این کارت ضمن تعریف شرط مناسب روی انرژی، زمان و وزن ذرات، مانع از تراپرد اضافی یک ذره می‌شویم:

CUT:P1 T E WC₁ WC₂ SWTM

که، T زمان، E انرژی، پارامترهای WC₁ و WC₂ وزن‌های قطع و SWTM کمینه وزن چشمه می‌باشد.

اگر مدت زمان ردگیری یک ذره از مقدار T بزرگتر شود، تراپرد آن ذره متوقف می‌گردد و از بین می‌رود. همچنین اگر در برهمکنش‌های ذره، انرژی آن از مقدار E کمتر شود، نابود می‌گردد. اگر WGT وزن ذره و R نسبت مقدار اهمیت ذره در چشمه به مقدار اهمیت آن در یک سلول باشد، آنگاه اگر وزن ذره کمتر از مقدار WC₂ باشد در این صورت عبارت $WGT/(WC_1 \times R)$ مقدار بقای آن ذره خواهد بود و در نتیجه مقدار وزن آن ذره $WGT = WC_1 \times R$ خواهد شد. در صورتی که مقادیر وزن به صورت منفی در این کارت وارد شوند، آنگاه مقادیر $WC_1 \times W_s$ و $WC_2 \times W_s$ به ترتیب بجای مقادیر WC₁ و WC₂ قرار داده می‌شوند، که W_s کمینه وزن ذره در چشمه است.

مقادیر پیش فرض این کارت عبارتند از:

برای نوترون:

T= خیلی بزرگ

E=۰

WC₁=۰/۵

WC₂=۰/۲۵

SWTM= کمینه وزن چشمه

آموزش کد MCNPX ۲۴۰

برای فوتون:

T= خیلی بزرگ

E=۰/۰۰۱

WC₁=۰/۵

WC₂=۰/۲۵

SWTM= کمینه وزن چشمه

برای الکترون:

T= خیلی بزرگ

E=۰/۰۰۱

WC₁=۰

WC₂=۰

SWTM= کمینه وزن چشمه

نکته (۱): این کارت برای حذف نویزها که معمولاً در انرژی کم رخ می‌دهند و برای ذراتی که انرژی آن به یک حدی رسیده که تأثیری در پاسخ مسئله ندارند به کار می‌رود. البته باید توجه داشت که برای حذف ذرات کم انرژی در مواردی مانند چشمه‌های نوترونی بایستی با احتیاط عمل نمود.

نکته (۲): می‌توان از کارت J برای در نظر گرفتن مقدار پیش فرض برای برخی پارامترها استفاده نمود.

مثال ۹-۱)

CUT:n J 0.01 J J J

در این مثال فقط مقدار شرط انرژی، برابر ۰/۰۱ MeV در نظر گرفته شده است و مقدار بقیه پارامترها به صورت پیش فرض خواهد بود.

۹-۳-۲ کارت ELPT

به کمک این کارت می‌توان حد پایین انرژی هر ذره در هر سلول را به طور جداگانه

مشخص و تعریف نمود:

ELPT:p1 E₁ E₂ ... E_j

روش‌های کاهش واریانس ۲۴۱

که در آن E_i حد پایین انرژی ذره در سلول i ام (به ترتیبی که در فایل ورودی آمده) می‌باشد. می‌توان از کارت nj برای در نظر گرفتن مقدار پیش فرض برای سلول‌ها استفاده کرد:

ELPT:n 0.1 0.2 11j 0.1

در این مثال حد پایین انرژی در سلول اول برابر 0.1 MeV ، در سلول دوم برابر 0.2 MeV ، در یازده سلول بعدی دارای مقدار پیش فرض و در سلول چهاردهم برابر 0.1 MeV است.

نکته (۱): هنگام استفاده از این کارت و نیز کارت CUT باید بسیار دقت شود. حذف ذرات با انرژی کمتر از مقدار داده شده باید از نظر کاربر منطقی باشد تا مثلاً مطمئن شد که این ذرات تاثیری در جواب ندارند.

نکته (۲): در اغلب موارد ذرات کم انرژی از اهمیت کمتری نسبت به ذرات پر انرژی برخوردار هستند (البته به جز نوترون‌ها) و چنانچه ترابرد این ذرات متوقف شود، زمان محاسبات به اندازه قابل توجهی کاهش می‌یابد. بنابراین با استفاده از این کارت می‌توان ترابرد ذرات کم انرژی را متوقف نمود که در نتیجه، زمان محاسبات کاهش می‌یابد.

۴-۹ روش‌های مبتنی بر کنترل جمعیت آماری

در این روش‌ها با استفاده از تقسیم ذرات و رولت روسی تعداد نمونه‌برداری از قسمت‌های مختلف فضای فاز کنترل می‌شود به گونه‌ای که در نواحی پر اهمیت تعداد ذرات ردگیری شده بیشتر و در عوض وزن ذرات کمتر می‌شود. این روش‌ها عبارتند از:

1-Geometry Splitting and Russian roulette

2-Energy Splitting and Russian

3-Weight Cutoff

4-Weight Windows

۱-۴-۹ تکثیر و رولت روسی برای هندسه

در این روش، هندسه در راستای مورد نظر به چندین سلول دیگر تقسیم می‌شود و برای هر سلول مقدار اهمیت ذره، یعنی مقدار پارامتر imp (بخش ۸-۱-۲ را ببینید) به گونه‌ای تعریف می‌شود که مقدار آن به سمت ناحیه تالی افزایش و به سمت نواحی کم اهمیت کاهش یابد. شکل زیر را در نظر بگیرید:

آموزش کد MCNPX ۲۴۲

→	1	2	4	8	16	32	64	128	256	...	Detector
→											

هنگامی که ذره از ناحیه با اهمیت کمتر وارد ناحیه با اهمیت بیشتر می‌شود، به دو یا چند ذره تکثیر می‌شود و اگر از ناحیه با اهمیت بیشتر وارد ناحیه با اهمیت کمتر شود، رولت روسی روی آن اعمال می‌گردد.

فرض کنید ذره از سلولی با اهمیت I_i وارد سلول با اهمیت I_j شود و $\omega = \frac{I_i}{I_j}$ ، وزن ذره باشد، در این صورت اگر $\omega < 1$ باشد، آنگاه رولت روسی رخ می‌دهد، یعنی ذره با احتمال ω (که مقدار کمی است) زنده می‌ماند و ردگیری می‌شود و با احتمال $(1 - \omega)$ نابود می‌گردد. در صورت زنده ماندن ذره، وزن آن $\frac{1}{\omega}$ ام وزن ذره اولیه می‌گردد. از طرف دیگر اگر $\omega > 1$ باشد تقسیم رخ می‌دهد و ذره به ω ذره مستقل تکثیر می‌شود که وزن هر یک از آنها $\frac{1}{\omega}$ ام ذره اولیه خواهد بود. این ذرات جدید تک تک ردگیری می‌شوند و برای هر یک از آنها در عبور از مرز دو سلول تکثیر یا رولت روسی رخ خواهد داد.

در این روش ذره‌ای که از چشمه خارج می‌شود همیشه زنده خواهد ماند تا به ناحیه تالی برسد، به این ترتیب می‌توان با تعداد تاریخچه کمتری به خطای مناسب‌تری در محاسبه تالی دست یافت.

برای درک این مفهوم از یک مثال ساده استفاده می‌نماییم. فرض کنید چشمه‌ای ۱۰۰۰ ذره تولید می‌کند و تعداد ۶۰۰ ذره از آنها به ناحیه تالی رسیده و سهمی در نتیجه آن دارند و بقیه ذرات جذب و یا نابود می‌شوند؛ یعنی به ازای یک ذره از چشمه، ۰/۶ ذره به ناحیه تالی رسیده است. به بیان دیگر، اگر وزن اولیه ذره ۱ باشد وزن جدید ذره رسیده به ناحیه تالی برابر ۰/۶ خواهد شد. به عبارتی اگر مقدار ۱۰۰ ذره تولید می‌شد ۶۰ ذره زنده می‌ماند. مفهوم این جمله این است که به جای ثبت هزار تاریخچه می‌توان یکصد تاریخچه را در نظر گرفت و به همان نتیجه قبلی رسید.

می‌توان یک شرط وزنی در نظر گرفت که هر گاه وزن ذره از آن مقدار کمتر شد، دیگر ردگیری نشود (بخش ۹-۳-۱ را ببینید). مثلاً اگر شرط وزنی را $W_n=0/001$ در نظر بگیریم، در این صورت به جای اینکه تعداد ۱۰۰۰ نوترون را ردگیری کنیم، تا ۱ نوترون عبور کند، با این روش عملاً یک نوترون را در نظر گرفتیم، اما با وزن $0/001$ ، در این صورت زمان محاسبات را کاهش داده‌ایم.

نکته (۱): معیار تقسیم‌بندی سلولی بر اساس مسافت آزاد میانگین^۱ ذره در آن محیط می‌باشد. مثلاً برای ضخامت ۱۰۰ سانتی‌متر بتون، اگر مسافت میانگین آزاد ذره در این محیط ۵ سانتی‌متر باشد، در این صورت می‌توان کل سلول را به ۲۰ قسمت مساوی تقسیم نمود. به طوری که ضخامت هر قسمت، ۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شود. نکته (۲): نحوه انتخاب اهمیت ذره برای سلول‌ها به صورت 2^n می‌باشد، یعنی به سمت ناحیه تالی، اهمیت هر سلول دو برابر اهمیت سلول قبلی می‌باشد.

نکته (۳): برای انتخاب دقیق تقسیم‌بندی، بهتر است خروجی برنامه با تقسیم‌بندی فرضی در نظر گرفته شده، مورد ارزیابی قرار گیرد تا ضخامت مناسب جهت تقسیم‌بندی در آن محیط بدست آید. برای این کار باید تعداد رد ذرات در هر سلول در جدول شماره ۱۲۶ در فایل خروجی بررسی گردد. برای چاپ این جدول در فایل ورودی باید از کارت print استفاده شود (بخش ۸-۲ را ببینید). اگر تعداد رد ذرات در یک سلول کم باشد، می‌توان مقدار اهمیت را در آن سلول زیاد نمود و یا تقسیم‌بندی آن ناحیه را کوچکتر در نظر گرفت و برعکس اگر تعداد رد ذرات در یک سلول زیاد باشد، می‌توان مقدار اهمیت آن سلول را بهینه نمود و یا تقسیم‌بندی آن ناحیه را بزرگتر در نظر گرفت. انتخاب بهینه تقسیم‌بندی به انرژی و نوع ذره، ماده، ابعاد هندسی سلول مورد نظر و غیره بستگی دارد و البته این انتخاب بهینه تا حدودی پیچیده و زمان بر است.

نکته (۴): روش رولت روسی، مقدار واریانس تاریخچه ذرات را افزایش می‌دهد، اما مقدار زمان به ازای هر تاریخچه را کاهش می‌دهد. روش تکثیر، مقدار واریانس تاریخچه ذرات را کاهش می‌دهد، اما مقدار زمان به ازای هر تاریخچه را افزایش می‌دهد.

¹ Mean Free Path (MFP)

آموزش کد MCNPX ۲۴۴

مثال ۹-۲) یک بلوک سربی به ضخامت ۲۰ cm در مقابل یک چشمه نقطه‌ای گاما با انرژی ۱/۲ MeV قرار دارد. تعداد فوتون‌های خروجی از بلوک را محاسبه کنید. این کار را یک بار به صورت عادی و بار دیگر با استفاده از روش تکثیر و رولت روسی.

حالت عادی:

```
1 0 100
2 0 -100 200
3 202 -11.400 -200

100 so 100
200 RPP 0 20 -30 30 -30 30

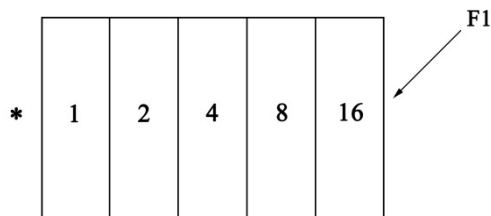
m202 82000 1 $ Pb
mode p
imp:p 0 1 1
sdef erg=1.2 pos=-2 0 0
F1:p 200.1
nps 1e7
```



حالت استفاده از روش تکثیر/رولت روسی:

```
1 0 100
2 0 -100 200
11 1 -11.400 -200 -201
12 1 -11.400 -200 -202 201
13 1 -11.400 -200 -203 202
14 1 -11.400 -200 -204 203
15 1 -11.400 -200 -205 204
16 1 -11.400 -200 -206 205
17 1 -11.400 -200 -207 206
18 1 -11.400 -200 -208 207
19 1 -11.400 -200 -209 208
20 1 -11.400 -200 209

100 so 100
200 RPP 0 20 -30 30 -30 30
201 px 2
202 px 4
203 px 6
204 px 8
205 px 10
206 px 12
207 px 14
208 px 16
209 px 18
```



۲۴۵ روش‌های کاهش واریانس

```
m1 82000 1 $ Pb 202 -11.400
mode p
imp:p 0 1 2m 2m 2m 2m 2m 2m 2m 2m 2m 2m
sdef erg=1.2 pos=-2 0 0
F1:p 200.1
nps 1e7
```

پاسخ حالت عادی:

F1=5.0000E-07 R=0.4472 Time=1.28 min

پاسخ حالت استفاده از روش تکثیر/رولت روسی:

F1=3.1826E-07 R=0.0234 Time=2.66 min

۹-۴-۲ تکثیر و رولت روسی برای انرژی

به کمک کارت ESPLT می‌توان روش تکثیر و رولت روسی را بر اساس انرژی ذره به کار برد:

ESPLT:P1 $n_1 e_1 n_2 e_2 \dots n_i e_i$

که n_i تعداد ذرات پس از تقسیم شدن و e_i حد بالای انرژی ذره است. اساس کار به این ترتیب است که اگر انرژی ذره به زیر مقدار e_i برسد، آنگاه اگر n_i بزرگتر از یک باشد آن ذره به n_i ذره با وزن $\frac{1}{n_i}$ ام ذره اولیه تکثیر می‌گردد و اگر n_i کوچکتر از یک باشد، آنگاه رولت روسی اعمال خواهد شد.

مثال ۹-۳)

ESPLT:n 2 0.1 1 0.01 0.25 0.001

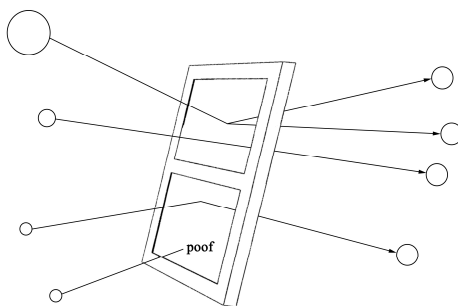
در این مثال وقتی انرژی نوترون به زیر مقدار ۰/۱ MeV رسید، به دو ذره تقسیم می‌گردد و اگر انرژی آن کمتر از ۰/۰۱ MeV شد، آنگاه رولت روسی اعمال می‌شود، یعنی ذره با احتمال ۰/۲۵ زنده و با احتمال ۰/۷۵ نابود می‌گردد.

۹-۴-۳ کارت‌های پنجره وزنی

کارت پنجره وزنی یک جایگزین مناسب برای کارت‌های IMP و ESPLT می‌باشد. در این روش، تکثیر/رولت روسی به طور همزمان بر اساس فضای فاز (مکان - انرژی، مکان - زمان و یا مکان) صورت می‌گیرد. به این صورت که برای هر بخش فضای فاز، یک حد پایین و یک حد بالا برای وزن توسط کاربر تعریف می‌شود. این حدود وزنی، یک بازه و مرز وزنی تعریف می‌کند که شبیه یک پنجره عمل می‌کند، که حدود وزن

آموزش کد MCNPX ۲۴۶

قابل قبول ذره را مشخص می‌کند. اگر وزن یک ذره کمتر از حد پایین مشخص شده باشد، رولت روسی رخ می‌دهد و ذره یا نابود می‌شود و یا وزن آن افزایش می‌یابد تا درون پنجره قرار گیرد. اگر وزن ذره بیشتر از حد بالا باشد، تکثیر صورت می‌گیرد و ذره به ذراتی تقسیم می‌شود که وزن آنها درون پنجره قرار گیرد.



حدود پنجره وزنی توسط سه پارامتر زیر تعریف می‌شود:

۱. حد پایین پنجره وزنی، W_L (که به طور جداگانه برای هر بخش از فضای فاز

توسط کارت WWN تعریف می‌شود).

۲. حد بقای ذره در روش رولت روسی، W_S (که به صورت ضربی از حد پایین

وزن توسط کارت WWP تعریف می‌شود، $(W_S = C_S W_L)$.

۳. حد بالای پنجره وزنی، W_U (که به صورت ضربی از حد پایین وزن توسط

کارت WWP تعریف می‌شود، $(W_U = C_U W_L)$.

مزایای استفاده از کارت پنجره وزنی عبارتند از:

۱. ارائه یک تابع اهمیت در فضا و زمان، فضا و انرژی، و یا فضا، انرژی و زمان.

۲. کنترل وزن ذرات.

۳. سازگاری بیشتر با دیگر روش‌های کاهش واریانس مانند کارت انتقال نمایی (EXT).

۴. کنترل همزمان تکثیر و یا رولت روسی.

۵. می‌تواند به صورت خودکار توسط پنجره وزنی یا weight window تولید شود.

اما برخی معایب آن عبارتند از:

۱. کارت پنجره وزنی مانند کارت IMP ساده نیست.

۲. هنگامی که وزن چشمه تغییر می‌کند، کارت پنجره وزنی مجدداً بهنجار نمی‌شود.

کارت پنجره وزنی شامل کارت‌های WWGE، WWG، WWGT، WWP، WWN، WWT و WWT می‌باشد که در ادامه برخی از مهمترین آنها را معرفی می‌کنیم.

۹-۴-۳-۱ کارت مولد پنجره وزنی (WWG)

در کاهش واریانس بایستی دقت کرد که هنگامی وزن ذره از یک مقداری کمتر شود دیگر ارزش محاسبه ندارد. برای این منظور در کد دستوری جهت تولید وزن مناسب توسط کارت WWG پیشنهاد می‌گردد که به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$WWG \quad I_t \quad I_c \quad W_g \quad Z \quad Z \quad Z \quad I_E$$
 که I_t شماره تالی مورد نظر جهت محاسبه خروجی می‌باشد، I_c سلول مرجع که معمولاً چشمه است، Z غیر قابل استفاده است و به همین صورت درج می‌شود و I_E معرف پنجره‌های وزنی انرژی و یا زمان است که دارای دو مقدار می‌باشد: اگر برابر صفر باشد، معرف پنجره انرژی و اگر برابر یک باشد معرف پنجره زمانی می‌باشد. کارت WWG باعث می‌شود که تابع اهمیت بهینه برای تالی I_t تولید شود. توابع وزن خروجی مورد نیاز در این کارت در فایل خروجی به نام WWOUT نوشته و ذخیره می‌شود.

در هنگام استفاده از کارت پنجره وزنی به نکاتی زیر توجه شود:

نکته (۱): انتخاب وزن پارامترهای پنجره وزنی از طریق اهمیت پارامترهای انرژی و سلول‌ها بدست می‌آید.

نکته (۲): مولد پنجره وزنی به طور خودکار از روی پارامترهای پنجره وزنی بهینه می‌شود.

نکته (۳): استفاده از مولد پنجره وزنی از ۲۰٪ تا ۵۰٪ باعث افزایش زمان اجرای رایانه می‌شود.

نکته (۴): اهمیت سلول در این کارت‌ها به صورت زیر در نظر گرفته می‌شود: نسبت تعداد کل ذراتی که وارد سلول مورد نظر می‌شوند به کل وزن ذرات ورودی به همان سلول.

نکته (۵): وقتی مولد پنجره وزنی فعال است بایستی کارت‌های Void و کره DXT غیر فعال باشند.

آموزش کد MCNPX ۲۴۸

نکته (۶): رفتار وزن‌های پارامترهای پنجره وزنی بایستی تا حدودی یکنواخت باشد.
 نکته (۷): برای کاهش نوسان وزن‌های پارامترهای پنجره وزنی می‌توان از کارت بایاس چشمه کمک گرفت.
 نکته (۸): نحوه انتخاب پارامترهای پنجره وزنی بیشتر به ممارست کاربر بستگی دارد.

۹-۴-۳-۲ کارت مولد انرژی پنجره وزنی (WWGE)

تولید وزن مناسب برای بازه‌های مختلف انرژی توسط کارت WWGE صورت می‌گیرد که به صورت زیر تعریف می‌شود:

WWGE: P1 E₁ E₂ ... E_i (i<15)

که E_i بازه‌های انرژی مورد نظر برای گروه بندی کارت پنجره وزنی است و P1 معرف نوع ذره می‌باشد. تعداد بازه‌های انرژی در نظر گرفته شده در این کارت باید کمتر از ۱۵ بازه باشد.

این کارت می‌تواند به سه حالت زیر باشد:

حالت اول: اگر در برنامه ورودی این کارت حذف شود و از کارت پنجره وزنی استفاده شود، در این صورت تنها یک بازه انرژی تولید خواهد شد.

حالت دوم: اگر این کارت در برنامه ورودی وجود داشته باشد، اما هیچ پارامتری در ورودی آن نوشته نشده باشد، در این حالت این کارت ده بازه انرژی به صورت زیر در نظر خواهد گرفت:

$$E_i = 10^{i-8} \text{ MeV for } i=1, 2, 3, \dots, 10.$$

حالت سوم: اگر این کارت در برنامه ورودی وجود داشته باشد و کارت پنجره وزنی وابسته به انرژی هم تولید شده باشد، در این صورت تمام پارامترهای مورد نظر در فایل خروجی به نام WWOUT نوشته و ذخیره می‌شود.

۹-۴-۳-۳ کارت مولد زمانی پنجره وزنی (WWGT)

جهت تولید وزن مناسب برای بازه‌های زمانی از کارت WWGT استفاده می‌شود که به صورت زیر تعریف می‌گردد:

WWGT: P1 t₁ t₂ ... t_i (i<15)

که t_i معرف بازه‌های زمانی و PI معرف نوع ذره می‌باشد. تعداد بازه‌های زمانی در این کارت باید کمتر از ۱۵ بازه باشد. این کارت مشابه کارت WWGE می‌تواند به سه حالت زیر باشد: حالت اول: اگر در برنامه ورودی این کارت حذف شود و از کارت پنجره وزنی استفاده شود، در این صورت تنها یک بازه زمانی تولید خواهد شد. حالت دوم: اگر این کارت در برنامه ورودی وجود داشته باشد، اما هیچ پارامتری در ورودی آن نوشته نشده باشد، در این حالت این کارت ده بازه زمانی به صورت زیر در نظر خواهد گرفت:

$$E_i = 10^{i-8} \text{ MeV for } i=1, 2, 3, \dots, 10.$$

حالت سوم: اگر این کارت در برنامه ورودی وجود داشته باشد و کارت پنجره وزنی وابسته به زمان هم تولید شده باشد، در این صورت تمام پارامترهای مورد نظر در فایل خروجی به نام WWOUT نوشته و ذخیره می‌شود.

۴-۳-۴-۹ کارت پارامترهای پنجره وزنی (WWP)

کارت WWP شامل پارامترهایی است که برای معرفی مرزهای پایین پنجره وزنی مشخص شده بر روی کارت WWN استفاده می‌شود. پیش فرض این کارت به صورت زیر می‌باشد، که در بیشتر مواقع به کاربران توصیه می‌شود از پیش فرض آن استفاده کنند:

WWP:p 5 3 5

اعداد ۵، ۳ و ۵ به ترتیب مقادیر حد بالای پنجره وزنی، حد بقای ذره در روش رولت روسی و حد پایین پنجره وزنی در روش تکثیر می‌باشند.

۵-۳-۴-۹ کارت مرزهای پنجره وزنی (WWN)

این کارت حد پایین پنجره وزنی را به صورت وابسته به مکان-انرژی و یا مکان-زمان مشخص می‌کند. این کارت را می‌توان در خط تعریف هر سلول و یا در قسمت داده‌ها برای همه سلول‌ها نوشت:

Form 1 (cell card entry): $WWN_i:pl=w_i$

Form 2 (data card): $WWN_i:pl \ w_{i1} \ w_{i2} \ \dots \ w_{ij}$

که PI نوع ذره و i شاخص انرژی یا زمان می‌باشد. برای w_i داریم:

آموزش کد MCNPX ۲۵۰

- اگر مقدار آن بزرگتر از صفر باشد، در این صورت حد پایین پنجره وزنی برای هر سلول و در بازه انرژی و یا زمانی i را مشخص می‌کند.
 - اگر مقدار آن صفر باشد، در این صورت هیچ نقشی در کارت پنجره وزنی ندارد.
 - اگر مقدار آن عدد ۱- باشد، در این صورت هر ذره که وارد سلول می‌شود را از بین می‌برد.
- و برای W_{ij} نیز داریم:
- اگر مقدار آن بزرگتر از صفر باشد، در این صورت حد پایین پنجره وزنی را در سلول j و برای بازه انرژی و یا زمانی i مشخص می‌کند.
 - اگر مقدار آن صفر باشد، در این صورت هیچ نقشی در کارت پنجره وزنی ندارد.
 - اگر مقدار آن عدد ۱- باشد، در این صورت هر ذره وارد سلول j می‌شود را از بین می‌برد.
- نکته: تعداد ورودی‌های این کارت باید برابر با تعداد سلول‌ها در مسئله باشد.

۹-۴-۳-۶ کارت انرژی‌های پنجره وزنی (WWE)

این کارت بازه‌های انرژی را برای مرزهای پنجره وزنی، که در کارت WWN مشخص شده است، به صورت زیر تعریف می‌کند:

$$WWE:Pl \ e_1 \ e_2 \ \dots \ e_i$$

که Pl معرف نوع ذره، e_i حد بالای انرژی در پنجره i ام و e_{i-1} حد پایین انرژی در پنجره $i-1$ ام می‌باشد. تعداد بازه‌های انرژی این کارت باید کمتر از ۹۹ بازه باشد.

مثال ۹-۴) در این مثال سه بازه انرژی در کارت WWE در نظر گرفته شده است که این سه گروه انرژی در کارت پنجره وزنی WWN دارای چهار پارامتر وزنی برای سلول‌های مورد نظر می‌باشند:

$$WWE:N \ e_1 \ e_2 \ e_3$$

$$WWN1:N \ w_{11} \ w_{12} \ w_{13} \ w_{14}$$

$$WWN2:N \ w_{21} \ w_{22} \ w_{23} \ w_{24}$$

$$WWN3:N \ w_{31} \ w_{32} \ w_{33} \ w_{34}$$

۹-۴-۳-۷ کارت زمانی پنجره وزنی (WWT)

این کارت بازه‌های زمانی را برای مرزهای پنجره وزنی، که در کارت WWN مشخص شده است، به صورت زیر تعریف می‌کند:

روش‌های کاهش واریانس ۲۵۱

$WWE: p1 \ t_1 \ t_2 \ \dots \ t_i$

که PI نوع ذره، t_i حد بالای انرژی در پنجره i ام و t_{i-1} حد پایین انرژی در پنجره $i-1$ ام می‌باشد. تعداد بازه‌های زمانی این کارت باید کمتر از ۹۹ بازه باشد.

۹-۳-۸ کارت وزنی فوتون (PWT)

از کارت‌های دیگر روش کاهش واریانس، PWT (کارت وزنی فوتون) می‌باشد که کمتر در مورد استفاده قرار می‌گیرد. ساختار این کارت در کد به صورت زیر می‌باشد:

$PWT: P1 \ w_1 \ w_2 \ \dots \ w_i \ \dots$

که w مقدار وزن آستانه نسبی فوتون‌هایی است که در اثر برخورد نوترون‌ها در سلول ایجاد می‌شوند و i تعداد سلول‌ها است.

در مورد کارت وزنی فوتون به نکات زیر توجه شود:

- نکته (۱): در این کد تنها فوتون‌های آبی حاصل از برخورد نوترون‌ها در نظر گرفته می‌شوند. از فوتون‌های تاخیری در این نسخه از کد چشم پوشی شده است.
- نکته (۲): اگر کارت پنجره وزنی فوتون ($WWP:P$) در برنامه ورودی کد وجود داشته باشد، دیگر نمی‌توان از این کارت استفاده نمود.

۹-۵ روش‌های مبتنی بر نمونه‌برداری اصلاح شده

در این روش‌ها نمونه‌برداری از فضای فاز به گونه‌ای اصلاح می‌شود که ذرات بیشتر به سمت جهت‌ها و مناطق مورد نظر از فضای فاز سوق داده می‌شوند. این روش‌ها عبارتند از:

- 1-Exponential Transform
- 2-Implicit Capture
- 3-Forced Collisions
- 4-Source Biasing
- 5-Neutron-Induced Photon Production Biasing

۹-۵-۱ کارت EXT (انتقال نمایی)

از این کارت برای وزن دهی به جهت حرکت ذره در یک راستای خاص درون یک سلول استفاده می‌گردد:

$EXT: p1 \ a_1 \ a_2 \ \dots \ a_n$

آموزش کد MCNPX ۲۵۲

که n تعداد سلول‌ها و $a_i = qV_m$ که V_m معرف یکی از سه راستای حرکت ذره، یعنی X ، Y و یا Z می‌باشد و q عددی است بین صفر و یک که مقدار سوق ذره در راستای مورد نظر را مشخص می‌کند.

مثال ۹-۵)

EXT:n 0 0 0.8y 17r 0 3r

در این مثال وزن جهت حرکت نوترون در راستای Y برای سلول‌های سوم تا بیستم برابر 0.8 است. یعنی نوترون‌ها در راستای Y بیشتر از راستاهای دیگر سوق داده می‌شوند.

نکته (۱): در این روش انتخاب جهت مرجع مهم می‌باشد.

نکته (۲): در این روش ارزش وزنی برخوردها به سمت جلو افزایش و در سایر جهات کاهش می‌یابد.

نکته (۳): روش انتقال نمایی معمولاً در یک بعد انجام می‌شود و در مسائل تک انرژی مناسب می‌باشد.

نکته (۴): استفاده از این روش در محیط‌های جاذب و با پراکندگی کم توصیه می‌شود.

نکته (۵): برای محاسبات حفاظ با طیف‌های شکافت و گداخت و با مواد بتون و خاک مقدار $q=0.7$ پیشنهاد می‌شود.

۹-۵-۲ کارت FCL (برخورد اجباری)

این روش باعث افزایش تعداد برهم کنش‌ها در یک سلول خاص خواهد شد. در این روش هر ذره به دو ذره تقسیم می‌شود، یکی ذره برخورد کرده و دیگری ذره برخورد نکرده. ذره برخورد نکرده همیشه تولید شده و وزن آن از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$W = W_0 \exp(-\sum_t d)$$

که در این رابطه، W_0 وزن ذره قبل از برخورد، d فاصله تا مرز سلول، $\sum_t$ سطح مقطع کل ماکروسکوپیک و W وزن ذره پس از برخورد می‌باشد. ذره برخورد کرده با احتمال P تولید شده و وزن آن از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$W = W_0 \frac{1 - \exp(-\sum_t d)}{P}$$

ساختار کارت FCL به صورت زیر می‌باشد:

$$FCL: p1 \ x_1 \ x_2 \ \dots \ x_i$$

که x معمولاً مقدار وزن ذره است و i تعداد سلول‌ها است.

مثال ۹-۶)

$$FCL: n \ 0 \ 19r \ 1 \ 0 \ 0$$

در این مثال، در سلولی که برخورد اجباری صورت می‌گیرد، عدد یک قرار داده شده است.

نکته: این کارت بهتر است برای جاهایی که دانسیته کم است (مانند گاز) و یا ذره تعداد برخورد کمتری انجام می‌دهد و یا در محیط‌هایی که جذب در آنها پایین است به کار رود.

۹-۵-۳ جذب مجازی^۱

یکی از عواملی که باعث می‌شود تا ذره به ناحیه تالی مورد نظر نرسد، جذب آن در طول مسیرش می‌باشد. اگر ذره در طول مسیرش جذب نشود، احتمال رسیدن آن به ناحیه تالی بیشتر خواهد بود. در این روش، کد از جذب واقعی ذره جلوگیری می‌کند و در عوض جذب را به صورت مجازی در نظر می‌گیرد. به این ترتیب که ذره اولیه به دو ذره جذب شده و جذب نشده تقسیم می‌شود. قسمت جذب شده، جذب و نابود می‌گردد قسمت جذب نشده با وزن $w' = w(1 - \frac{\sigma_a}{\sigma_t})$ توسط کد ترابرد می‌شود، که

$\frac{\sigma_a}{\sigma_t}$ برابر نسبت سطح مقطع جذب به سطح مقطع کل و w وزن اولیه ذره است. این

روش کاهش واریانس به طور پیش فرض توسط کد انجام می‌شود، اما می‌توان وقوع آن را توسط کارت Phys کنترل نمود (بخش ۷-۳-۲ را ببینید).

^۱ Implicit capture

۹-۵-۴ کارت SBn

یکی دیگر از کارت‌های مهم در کاهش واریانس، کارت SBn (کارت بایاس چشمه) می‌باشد، که در کارت SDEF در تعریف چشمه به کار می‌رود. این کارت نمونه برداری از پارامتر مورد نظر چشمه را بگونه‌ای تغییر می‌دهد که احتمال گسیل ذره با مشخصات مورد نظر افزایش یابد.

به عنوان مثال می‌دانیم که احتمال رسیدن ذرات به آشکارساز به نحوه توزیع فضایی ذرات چشمه بستگی دارد که با استفاده از کارت‌های توزیع SIn و SPn در کارت توزیع Dir=Dn در نظر گرفته می‌شود، ولی توسط کارت SBn می‌توان تعداد گسیل ذرات در یک جهت خاص را افزایش داد، به طوری که تعداد ذرات رسیده به آشکارساز افزایش یابد، بدون اینکه تغییری در فیزیک مسئله ایجاد نماید.

مثال ۹-۷) در مثال ۹-۲ چشمه نقطه‌ای فوتون، ذرات را در همه جهات به صورت همگن گسیل می‌کند. با توجه به هندسه مسئله بدیهی است ذراتی که زاویه گسیل آنها نسبت به جهت مثبت محور X در بازه ۹۰ تا ۱۸۰ درجه قرار دارند، هیچگونه تاثیری در پاسخ مسئله ندارند، لذا می‌توان از تولید و ترابرد این ذرات جلوگیری نمود. این کار با استفاده از کارت SBn قابل انجام است:

```
SDEF Vec=0 0 1 Dir=3
SI3 -1 0 1
SP3 0 1 1
SB3 0 0 1
```

در این مثال، احتمال واقعی گسیل ذرات چشمه در دو جهت یکسان و برابر ۵۰٪ می‌باشد اما نمونه‌برداری از جهت گسیل ذره به گونه‌ای تغییر داده شده است که ذرات بیشتر در جهت محور X گسیل شوند، بدون اینکه به فیزیک واقعی مسئله خللی وارد شود.

نکته (۱): پارامتر بایاس چشمه بستگی به شرایط چشمه توسط کاربر انتخاب می‌شود.

نکته (۲): توزیع زاویه‌ای ذرات در این کارت به صورت مخروط در نظر گرفته می‌شود. در این صورت وزن تمام ذرات درون این مخروط یکسان در نظر گرفته می‌شوند.

نکته (۳): اگر بایاس چشمه با روش رولت روسی با هم استفاده شوند، در این صورت مقدار FOM تا هشت برابر افزایش می‌یابد (بخش ۸-۴-۲ را ببینید).
نکته (۴): می‌توان بایاس چشمه را هم برای انرژی و هم برای جهت بکار برد.

۹-۶ روش‌های شبه قطعی

در این روش‌ها محاسبات و نمونه‌برداری به روش‌های نیمه قطعی صورت می‌گیرد و عبارتند از:

- 1-Point Detector
- 2-DXTRAN
- 3-Correlated Sampling

۹-۶-۱ کارت DXT

در مواردی که احتمال رسیدن ذره به یک ناحیه مورد نظر کم باشد، می‌توان از کارت DXT استفاده نمود. با این کارت یک کره فرضی اطراف ناحیه مورد نظر تعریف می‌شود و ذرات به صورت جبری از محل چشمه به این کره فرضی سوق داده می‌شوند. ساختار کارت DXT در کد به صورت زیر می‌باشد:

DXT: p1 X Y Z r_i r_o

که (X Y Z) مرکز مختصات کره فرضی، r_i شعاع داخلی و r_o شعاع بیرونی کره فرضی می‌باشد.

این کارت برخلاف روش بایاس چشمه، ذرات پراکنده را به سمت کره فرضی سوق می‌دهد. در واقع کاربر اطراف آن ناحیه کوچک را با استفاده از کره فرضی محصور می‌کند. کد ذرات را بدون برخورد به سمت آن کره ترابرد می‌کند. وزن ذرات به طور نمایی کاهش می‌یابد و مسیر ذره و زاویه پراکندگی تنظیم می‌شود. وقتی ذره به آن ناحیه مورد نظر رسید تاریخچه آن پایان یافته تلقی می‌شود.

نکته (۱): ذره اصلی بدون کاهش وزن ترابرد می‌شود.

نکته (۲): از کره DXT در مسائل شامل مسیرهای ضخیم با احتیاط استفاده شود.

نکته (۳): استفاده همزمان تالی آشکارساز نقطه‌ای و کره DXT در مسائل باعث افزایش زمان اجرای برنامه می‌شود.

نکته (۴): اگر ذره اصلی سعی کند وارد کره DXT شود، تاریخچه آن پایان یافته تلقی می‌شود.

۷-۹ برخی توصیه‌های مهم جهت استفاده از روش‌های کاهش واریانس

نکته (۱): یکی از پارامترهای کلیدی در تکنیک‌های کاهش واریانس در مسائل پارامتر FOM (بخش ۸-۴-۲ را ببینید) می‌باشد. هر چه قدر روش‌های کاهش واریانس در مسائل بهتر استفاده شود مقدار این پارامتر بهتر خواهد شد.

نکته (۲): در مسائل نفوذ به عمق، استفاده همزمان کارت‌های اهمیت سلول و پنجره وزنی موجب می‌شود که جمعیت ذره در سلول به طور نسبی بالا باشد.

نکته (۳): استفاده از روش پنجره وزنی نسبت به روش‌های رولت روسی و تکثیر مشکل‌تر است، اما وقتی که به طور صحیح انجام شود اثرپذیری بیشتری دارد. به هر حال روش تقسیم هندسی در یک سلول به طور نسبی آسان‌تر و مطمئن‌تر می‌باشد.

نکته (۴): استفاده مناسب از کارت‌های CUT، EPLT و PHYS باعث افزایش سرعت محاسبات تا ۱۰ برابر می‌شود.

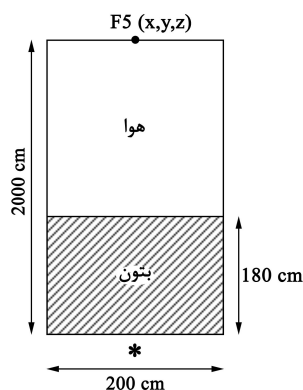
نکته (۵): استفاده از روش‌های کاهش واریانس در مسائل پیچیده نیاز به کسب تجربه و ممارست کاربر دارد.

۸-۹ حل یک مسئله نمونه با استفاده از روش‌های کاهش واریانس

به منظور درک بهتر انواع روش‌های کاهش واریانس و کاربرد آنها مثال زیر را بررسی کنید. توضیحات بیشتر در مورد این مثال را می‌توانید در مرجع [۶] ببینید.

مثال (۸-۹) مطابق شکل زیر، چاهی به عمق ۲۰ متر و قطر ۲ متر در نظر بگیرید که ته آن تا ارتفاع ۱۸۰ سانتی‌متر بتون ریزی و بقیه آن با هوا پر شده است. یک چشمه نقطه‌ای نوترون با توزیع انرژی داده شده، در پایین‌ترین نقطه چاه قرار دارد. شار نقطه‌ای بر روی سطح چاه را محاسبه کنید. چگالی هوا و بتون را به ترتیب برابر g/cm^3 و $2.03/0.3$ در نظر بگیرید.

$$P(E) = \begin{cases} 0.25 & E = 2 \\ 0.25 & 2 < E < 14 \\ 0.50 & E = 14 \end{cases}$$



مرحله اول:

در مرحله اول برنامه را بدون استفاده از روش‌های کاهش واریانس می‌نویسیم. جهت محاسبه شار نقطه‌ای از تالی F5 استفاده می‌کنیم. برنامه را برای مدت زمان ۳ دقیقه اجرا می‌کنیم. همانطور که در فایل خروجی دیده می‌شود، مقدار تالی و خطا هر دو برابر صفر می‌باشد، لذا از روش‌های کاهش واریانس استفاده می‌کنیم. فایل ورودی برنامه در مرحله (۱):

```
The Impossible Monte Carlo Problem - pass1
C -----
C VARIANCE REDUCTION MEASURES
C Geometry splitting
C -----
C CELL CARDS
1 0 (1 -21):-2 $ External void around and beneath shaft
C Concrete shield
2 1 -2.03 -1 -20 2
20 0 -1 -21 20 $ Void in shaft
21 1 -0.0203 -1 -22 21 $ Low density concrete plug
22 0 1 -22 21 -23 $ Void around top plug
23 0 22 $ External void at top
24 0 21 -22 23 $ External void

C SURFACE CARDS
1 CY 100.0
2 PY 0.0
20 PY 180.0
21 PY 2000.0
22 PY 2010.0
23 CY 201.0
```

آموزش کد MCNPX ۲۵۸

```

MODE N
IMP:N 0 1 1 1 1 0 0
C SOURCE DEFINITION
C Point source at origin
C 25% at 2MeV, 25% between 2MeV & 14MeV, 50% at 14MeV
SDEF POS=0 1.0E-4 0 ERG=D1
SI1 2.0 2.00000001 14.0 14.00000001
SP1 0 0.25 0.25 0.5
C TALLIES
C Point detectore tally
F5:N 200.0 2005.0 0.0 0.0
C Energy bins
E0 0.01 100.0
C MATERIAL CARD
C Material 1 is concrete
M1 1001.60C -0.01 6000.60C -0.001 8016.60C -0.529
13027.60C -0.034 14000.60C -0.337 26000.50C -0.014
CTME 3.0

```

بخشی از فایل خروجی برنامه مرحله (۱):

```

tally fluctuation charts
tally 5
nps mean error vov slope fom
1664000 0.0000E+00 0.0000 0.0000 0.0 0.0E+00
1792000 0.0000E+00 0.0000 0.0000 0.0 0.0E+00
1802018 0.0000E+00 0.0000 0.0000 0.0 0.0E+00
*****
dump no. on file runtpe nps = 1802018 coll =57102096
ctm = 3.00 nrn = 913875809
run terminated when it had used 3 minutes of computer time.

```

مرحله دوم:

ابتدا سلول شامل بتون را به ۱۸ قسمت تقسیم می‌کنیم، به طوری که ارتفاع هر قسمت ۱۰ سانتی‌متر باشد. سپس مقدار اهمیت سلول‌ها را به سمت بالای چاه افزایش می‌دهیم. در ادامه، کارت‌های پنجره وزنی WWP و WWG را برای تولید وزن‌های مناسب به ورودی اضافه می‌کنیم. همچنین از دستور CUT برای انرژی‌های کمتر از ۱ MeV استفاده می‌کنیم. فایل ورودی مرحله دوم در پایین آمده است. همانطور که مشاهده می‌شود، مقدار اهمیت با ضریب ۲m افزایش یافته است. همچنین اگر فایل خروجی برنامه مورد نظر را نگاه کنیم، می‌بینیم که کارت پنجره وزنی جدیدی به نام

روش‌های کاهش واریانس ۲۵۹

WWN تولید شده است. این کارت به تعداد سلول‌ها، وزن‌های جدیدی تولید می‌کند که می‌تواند در ورودی برنامه مرحله سوم استفاده شود.
بخشی از فایل ورودی برنامه در مرحله (۲):

```
MODE N
IMP:N 0 1 2M 2M 2M 2M 2M 2M 2M 2M 2M 2M 2M 2M 2M 2M 2M 2M
2M 2M 2M 0 0
WWP:N 5 3 5 0 0.25
WWG 5 2 0 0 0
C SOURCE DEFINITION
C Point source at origin
C 25% at 2MeV, 25% between 2MeV & 14MeV, 50% at 14MeV
SDEF POS=0 1.0E-4 0 ERG=D1
SI1 2.0 2.00000001 14.0 14.00000001
SP1 0 0.25 0.25 0.5
CUT:N J 0.01 0 0 $ ENERGY CUTOFF
C TALLIES
C Point detectore tally
F5:N 200.0 2005.0 0.0 0.0
PD5 0 19R 1 0 0 0
DD5 0.2
C Energy bins
E0 0.01 100.0
C MATERIAL CARD
C Material 1 is concrete
M1 1001.60C -0.01 6000.60C -0.001 8016.60C -0.529
13027.60C -0.034 14000.60C -0.337 26000.50C -0.014
CTME 3.0
```

بخشی از فایل خروجی برنامه مرحله (۲):

```
1weight-window cards from the weight-window generator print
table 200
wwp:n 5 3 5 0 0
wwn1:n -1.0000E+00 5.0000E-01 1.0645E-01 5.2296E-02 2.4710E-02
1.1535E-02 5.3779E-03 2.5088E-03 1.1639E-03 5.3925E-04
2.4874E-04 1.1428E-04 5.2221E-05 2.3691E-05 1.0738E-05
4.8373E-06 2.1752E-06 9.7635E-07 4.3719E-07 1.9606E-07
1.1230E-09 0.0000E+00 -1.0000E+00 -1.0000E+00
*****
Dump no. 2 on file runtpe nps = 2946629 coll = 90579059
ctm = 3.01 nrn = 1034093928
Run terminated when it had used 3 minutes of computer time.
```

آموزش کد MCNPX ۲۶۰

مرحله سوم:

برنامه قبلی را اجرا کنید. خروجی مرحله (۲) را مشاهده نمائید و کارت‌های WWP و Wwn1 را از آن جدا کنید و در فایل ورودی برنامه مرحله (۳) قرار دهید. ضمناً کارت‌های IMP، WWP، WWG را از برنامه ورودی حذف کنید. علاوه بر این از کارت WVE استفاده نمایید. فایل ورودی برنامه مرحله (۳) را در پایین مشاهده نمایید. می‌بینیم که برای همان مدت زمان ۳ دقیقه جواب با خطای ۱۸٪ بدست آمده است که خطای بالایی می‌باشد (خطای تالی F5 باید کمتر از مقدار ۵٪ باشد).

بخشی از فایل ورودی برنامه در مرحله (۳):

```
MODE N
C IMP:N 0 1 2M 2M 2M 2M 2M 2M 2M 2M 2M 2M 2M 2M 2M 2M 2M
2M 2M 2M 2M 0 0
C WWP:N 5 3 5 0 0.25
C WWG 5 2 0 0 0
wwp:n 5 3 5
wwe:n 1.0000E+02
wnn1:n -1.0000E+00 5.0000E-01 3.1348E-01 1.3830E-01 6.5887E-02
3.0621E-02 1.5618E-02 7.3854E-03 3.1013E-03 1.2799E-03
5.8430E-04 2.3027E-04 1.0050E-04 4.7083E-05 2.3870E-05
1.2410E-05 5.0343E-06 2.0813E-06 8.7971E-07 0
0.0000E+00 0.0000E+00 -1.0000E+00 -1.0000E+00
C SOURCE DEFINITION
C Point source at origin
C 25% at 2Mev, 25% between 2MeV & 14MeV, 50% at 14MeV
SDEF POS=0 1.0E-4 0 ERG=D1
SI1 2.0 2.00000001 14.0 14.00000001
SP1 0 0.25 0.25 0.5
CUT:N J 0.01 0 0 $ ENERGY CUTOFF
C TALLIES
C Point Detector tally
F5:N 200.0 2005.0 0.0 0.0
PD5 0 19R 1 0 0 0
DD5 0.2
C Energy bins
E0 0.01 100.0
C MATERIAL CARD
C Material 1 is concrete
M1 1001.60C -0.01 6000.60C -0.001 8016.60C -0.529
13027.60C -0.034 14000.60C -0.337 26000.50C -0.014
ctme 3.0
```

بخشی از فایل خروجی برنامه مرحله (۳):

The 10 statistical checks are only for the tally fluctuation chart bin and do not apply to other tally bins.

1tally fluctuation charts

```

          tally      5
      nps      mean    error  vov  slope    fom
3328000  5.4414E-17  0.1867  0.0661  0.0      11
3584000  5.3111E-17  0.1842  0.0621  0.0      10
3793891  5.0292E-17  0.1838  0.0621  0.0  9.8E+00
*****
Dump no. 2 on file runtpe nps = 3793891 coll = 92380245
ctm = 3.01 nrn = 1058784400
Run terminated when it had used 3 minutes of computer time.

```

مرحله چهارم:

در این مرحله از کارتهای WWG و WWGE با پنجره‌های انرژی مشخص شده استفاده می‌کنیم و آنها را به ورودی مرحله (۳) اضافه می‌کنیم تا فایل ورودی برنامه مرحله (۴) را ایجاد نماییم. فایل ورودی این قسمت از برنامه را در ذیل مشاهده نمایید.

بخشی از فایل ورودی برنامه در مرحله (۴):

```

MODE N
wwp:n 5 3 5
wwe:n 1.0000E+02
wwn1:n -1.0000E+00 5.0000E-01 3.1348E-01 1.3830E-01 6.5887E-02
      3.0621E-02 1.5618E-02 7.3854E-03 3.1013E-03 1.2799E-03
      5.8430E-04 2.3027E-04 1.0050E-04 4.7083E-05 2.3870E-05
      1.2410E-05 5.0343E-06 2.0813E-06 8.7971E-07 0
      0.0000E+00 0.0000E+00 -1.0000E+00 -1.0000E+00
WWG 15 2 0 0 0
WWGE:N 0.1 2.01 13.9 100.0
C SOURCE DEFINITION
C Point source at origin
C 25% at 2MeV, 25% between 2MeV & 14MeV, 50% at 14MeV
SDEF POS=0 1.0E-4 0 ERG=D1
SI1 2.0 2.00000001 14.0 14.00000001
SP1 0 0.25 0.25 0.5
CUT:N J 0.01 0 0 $ ENERGY CUTOFF
C TALLIES
C Point Detector tally
F15:N 200 2005 0 0
PD15 0 19R 1 0 0 0
DD15 0.2

```

آموزش کد MCNPX ۲۶۲

```
C      Energy bins
E0      0.01 100.0
C      MATERIAL CARD
C      Material 1 is concrete
M1      1001.60C -0.01 6000.60C -0.001 8016.60C -0.529
        13027.60C -0.034 14000.60C -0.337 26000.50C -0.014
ctme 3.0
```

دوباره خروجی برنامه مرحله (۴) را مشاهده نمایید. این خروجی شامل کارت‌های wwn1، wwn2، wwn3 و wwn4 می‌باشد. آن را کپی کرده و در فایل ورودی برنامه مرحله (۵) قرار دهید.

نکته (۱): چون ۴ بازه انرژی در کارت WWGE مشخص شده است، بنابراین ۴ کارت wwni به ما خواهد داد.

نکته (۲): نحوه تقسیم‌بندی انرژی به انرژی چشمه‌ها بستگی دارد.

بخشی از فایل خروجی برنامه مرحله (۴):

```
Weight-window cards from the weight-window generator print table 200
Wwp:n 5 3 5 0 0
Wwe:n      1.0000E-01  2.0100E+00  1.3900E+01  1.0000E+02
wnw1:n     -1.0000E+00  0.0000E+00  0.0000E+00  0.0000E+00  0.0000E+00
            0.0000E+00  0.0000E+00  0.0000E+00  0.0000E+00  0.0000E+00
            0.0000E+00  0.0000E+00  0.0000E+00  0.0000E+00  0.0000E+00
            0.0000E+00  0.0000E+00  0.0000E+00  4.1331E-06  4.8139E-07
            1.5809E-09  0.0000E+00 -1.0000E+00 -1.0000E+00
wnw2:n     -1.0000E+00  0.0000E+00  0.0000E+00  0.0000E+00  0.0000E+00
            0.0000E+00  0.0000E+00  0.0000E+00  0.0000E+00  0.0000E+00
            0.0000E+00  5.5400E-03  2.5406E-03  1.1618E-03  1.2595E-04
            4.9813E-05  1.0007E-05  2.2564E-06  7.9088E-07  2.5400E-07
            1.0445E-09  0.0000E+00 -1.0000E+00 -1.0000E+00
wnw3:n     -1.0000E+00  6.2556E-01  1.7253E-01  7.9432E-02  3.2416E-02
            1.4942E-02  6.6819E-03  2.8059E-03  1.2983E-03  5.4734E-04
            2.5103E-04  1.1424E-04  5.2918E-05  2.3913E-05  1.0747E-05
            5.0203E-06  2.2751E-06  1.1863E-06  7.5024E-07  3.9254E-07
            2.6491E-09  0.0000E+00 -1.0000E+00 -1.0000E+00
wnw4:n     -1.0000E+00  5.0000E-01  7.7123E-02  2.2492E-02  7.3559E-03
            3.2132E-03  1.1640E-03  4.5956E-04  2.6174E-04  8.7888E-05
            8.3737E-05  2.7078E-05  9.6207E-06  3.1725E-06  1.0407E-06
            3.4890E-07  4.8898E-07  1.5722E-07  5.2818E-08  1.7606E-08
            3.4387E-10  0.0000E+00 -1.0000E+00 -1.0000E+00
source energy bias cards from the generated weight window.
```

روش‌های کاهش واریانس ۲۶۳

مرحله پنجم:

در این مرحله، خروجی برنامه مرحله (۴) به همراه بقیه کارت‌های مورد نظر را در فایل ورودی برنامه مرحله (۵) قرار دهید سپس این برنامه را دوباره اجرا نمایید. بخشی از فایل ورودی این برنامه را در ذیل مشاهده نمایید.

بخشی از فایل ورودی برنامه در مرحله (۵):

```
MODE N
wwp:n 5 3 5
wwe:n 1.0000E-01 2.0100E+00 1.3900E+01 1.0000E+02
Wwp:n 5 3 5 0 0
Wwe:n 1.0000E-01 2.0100E+00 1.3900E+01 1.0000E+02
wnw1:n -1.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00
0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00
0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00
0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 4.1331E-06 4.8139E-07
1.5809E-09 0.0000E+00 -1.0000E+00 -1.0000E+00
wnw2:n -1.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00
0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00
0.0000E+00 5.5400E-03 2.5406E-03 1.1618E-03 1.2595E-04
4.9813E-05 1.0007E-05 2.2564E-06 7.9088E-07 2.5400E-07
1.0445E-09 0.0000E+00 -1.0000E+00 -1.0000E+00
wnw3:n -1.0000E+00 6.2556E-01 1.7253E-01 7.9432E-02 3.2416E-02
1.4942E-02 6.6819E-03 2.8059E-03 1.2983E-03 5.4734E-04
2.5103E-04 1.1424E-04 5.2918E-05 2.3913E-05 1.0747E-05
5.0203E-06 2.2751E-06 1.1863E-06 7.5024E-07 3.9254E-07
2.6491E-09 0.0000E+00 -1.0000E+00 -1.0000E+00
wnw4:n -1.0000E+00 5.0000E-01 7.7123E-02 2.2492E-02 7.3559E-03
3.2132E-03 1.1640E-03 4.5956E-04 2.6174E-04 8.7888E-05
8.3737E-05 2.7078E-05 9.6207E-06 3.1725E-06 1.0407E-06
3.4890E-07 4.8898E-07 1.5722E-07 5.2818E-08 1.7606E-08
3.4387E-10 0.0000E+00 -1.0000E+00 -1.0000E+00
WWG 15 2 0 0 0
WWGE:N 0.1 2.01 13.9 100.0
C SOURCE DEFINITION
C Point source at origin
C 25% at 2MeV, 25% between 2MeV & 14MeV, 50% at 14MeV
SDEF POS=0 1.0E-4 0 ERG=D1
SI1 2.0 2.00000001 14.0 14.00000001
SP1 0 0.25 0.25 0.5
CUT:N J 0.01 0 0 $ ENERGY CUTOFF
C TALLIES
C Point Detector tally
F15:N 0 1950 0 0 $ New Position
PD15 0 12R 1 5R 0 1 0 2R
DD15 0.2
C Energy bins
```

آموزش کد MCNPX ۲۶۴

```
E0 0.01 100.0
C MATERIAL CARD
C Material 1 is concrete
M1 1001.60C -0.01 6000.60C -0.001 8016.60C -0.529
    13027.60C -0.034 14000.60C -0.337 26000.50C -0.014
ctme 3.0
```

بخشی از فایل خروجی برنامه مرحله (۵):

```
weight-window cards from the weight-window generator print table 200
wwp:n 5 3 5 0 0
wwe:n 1.0000E-01 2.0100E+00 1.3900E+01 1.0000E+02
wnw1:n -1.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00
        0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00
        0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 4.1406E+02 3.7887E+00
        2.1796E-02 9.7376E-04 4.3401E-05 4.4503E-06 5.0507E-05
        2.0986E-07 0.0000E+00 -1.0000E+00 -1.0000E+00
wnw2:n -1.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00
        0.0000E+00 2.7975E+05 6.9399E+01 7.2350E+00 9.2865E-01
        1.8525E-01 2.7225E-02 5.8337E-03 1.2845E-03 2.8577E-04
        6.5743E-05 1.5745E-05 4.0728E-06 1.4404E-06 7.6887E-05
        2.9090E-07 0.0000E+00 -1.0000E+00 -1.0000E+00
wnw3:n -1.0000E+00 6.0913E-01 1.3968E-01 5.9804E-02 2.6559E-02
        1.1989E-02 5.4385E-03 2.4656E-03 1.1211E-03 5.0903E-04
        2.3048E-04 1.0414E-04 4.7062E-05 2.1285E-05 1.0046E-05
        4.8568E-06 2.4647E-06 1.3880E-06 1.0430E-06 8.2311E-05
        5.7649E-07 0.0000E+00 -1.0000E+00 -1.0000E+00
wnw4:n -1.0000E+00 5.0000E-01 6.9629E-02 2.7203E-02 1.1318E-02
        4.9403E-03 2.1774E-03 9.5500E-04 4.2948E-04 1.9640E-04
        9.2175E-05 4.2756E-05 2.0470E-05 9.6795E-06 4.8686E-06
        2.5706E-06 1.3974E-06 8.6808E-07 7.5497E-07 0.0000E+00
        0.0000E+00 0.0000E+00 -1.0000E+00 -1.0000E+00
source energy bias cards from the generated weight window.
```

مرحله آخر (۶):

خروجی برنامه مرحله (۵) شامل کارت‌های wwn1, wwn2, wwn3 و wwn4 را در فایل ورودی برنامه مرحله آخر قرار دهید. این کار به این خاطر انجام می‌شود تا وزن‌های مناسب برای تمام سلول‌ها تولید شود. ضمناً در این مرحله، از کارت‌های DXT, SBn, FCL و EXT نیز استفاده شده است. بعد از اجرای برنامه، فایل خروجی برنامه را مشاهده کنید. می‌بینیم که خطای برنامه بسیار کاهش یافته است. فایل ورودی برنامه مرحله آخر را در پایین مشاهده نمایید:

بخشی از فایل ورودی برنامه در مرحله (۶):

```
MODE N
wwp:n 5 3 5
wwe:n 1.0000E-01 2.0100E+00 1.3900E+01 1.0000E+02
```

۲۶۵ روش‌های کاهش واریانس

```

wnw1:n  -1.0000E+00  0.0000E+00  0.0000E+00  0.0000E+00  0.0000E+00
          0.0000E+00  0.0000E+00  0.0000E+00  0.0000E+00  0.0000E+00
          0.0000E+00  0.0000E+00  0.0000E+00  4.1406E+02  3.7887E+00
          2.1796E-02  9.7376E-04  4.3401E-05  4.4503E-06  5.0507E-05
          2.0986E-07  0.0000E+00 -1.0000E+00 -1.0000E+00
wnw2:n  -1.0000E+00  0.0000E+00  0.0000E+00  0.0000E+00  0.0000E+00
          0.0000E+00  2.7975E+05  6.9399E+01  7.2350E+00  9.2865E-01
          1.8525E-01  2.7225E-02  5.8337E-03  1.2845E-03  2.8577E-04
          6.5743E-05  1.5745E-05  4.0728E-06  1.4404E-06  7.6887E-05
          2.9090E-07  0.0000E+00 -1.0000E+00 -1.0000E+00
wnw3:n  -1.0000E+00  6.0913E-01  1.3968E-01  5.9804E-02  2.6559E-02
          1.1989E-02  5.4385E-03  2.4656E-03  1.1211E-03  5.0903E-04
          2.3048E-04  1.0414E-04  4.7062E-05  2.1285E-05  1.0046E-05
          4.8568E-06  2.4647E-06  1.3880E-06  1.0430E-06  8.2311E-05
          5.7649E-07  0.0000E+00 -1.0000E+00 -1.0000E+00
wnw4:n  -1.0000E+00  5.0000E-01  6.9629E-02  2.7203E-02  1.1318E-02
          4.9403E-03  2.1774E-03  9.5500E-04  4.2948E-04  1.9640E-04
          9.2175E-05  4.2756E-05  2.0470E-05  9.6795E-06  4.8686E-06
          2.5706E-06  1.3974E-06  8.6808E-07  7.5497E-07  0.0000E+00
          0.0000E+00  0.0000E+00 -1.0000E+00 -1.0000E+00

```

C WWG 15 2 0 0 0

C WWGE:N 0.1 2.01 13.9 100.0

C

C SOURCE DEFINITION

C Point source at origin

C Angular Biasing of the source

C 25% at 2MeV, 25% between 2MeV & 14MeV, 50% at 14MeV

SDEF VEC= 0 1 0 DIR=D2 POS=0 1.0E-4 0 ERG=D1

SI1 2.0 2.00000001 14.0 14.00000001

SP1 0 0.25 0.25 0.5

SB1 0 10 100 200

SI2 -0.99996 -0.866 -0.707 0 0.707 0.8066 1

SP2 0 1 1 1 1 1 1

SB2 0 1 3 3 4 10

CUT:N J 0.01 0 0 \$ ENERGY CUTOFF

C TALLIES

C point detector tally

F15:N 200 2005 0 0

PD15 0 19R 1 0 0 0

DD15 0.2

c RING DETECTOR TALLY

FC25 FLUX AT DESIRED LOCATION

FY25:N 2005 200 0

PD25 0 12R 1 5R 0 1 0 2R

C DD25 0.2

C EXPONENTIAL TRANSFORM IN THE CANCREAT IN THRE +Y DIRECTION

EXT:N 0 0.8Y 17R 0 4R

C FORCED COLLISIONS IN CELL 21 (PLUG AT TOP OF SHAFT)

آموزش کد MCNPX ۲۶۶

```
FCL:N 0 19R 1 0 2R
C DETERMINISTIC TRANSLATION DXTRAN
DXT:N 0 2000 0 100.2 100.2
C Energy bins
E0 1.0 100.0
C MATERIAL CARD
C Material 1 is concrete
M1 1001.60C -0.01 6000.60C -0.001 8016.60C -0.529
    13027.60C -0.034 14000.60C -0.337 26000.50C -0.014
ctme 3.0
```

خروجی فایل مرحله آخر را مشاهده نمایید. می‌بینیم خطای برنامه بسیار کاهش یافته است و در همان مدت زمان ۳ دقیقه خطای تالی کمتر از مقدار ۵٪ رسیده است.

بخشی از فایل خروجی برنامه مرحله (۶):

The 10 statistical checks are only for the tally fluctuation chart bin and do not apply to other tally bins.

Tally fluctuation charts

tally 15					
nps	mean	error	vov	slope	fom
3328000	6.2167E-17	0.0093	0.0139	3.8	4438
3584000	6.2011E-17	0.0089	0.0123	3.6	4462
3839553	6.1861E-17	0.0086	0.0110	3.6	4499

tally 25					
nps	mean	error	vov	slope	fom
3328000	6.2089E-17	0.0085	0.0006	10.0	5257
3584000	6.1955E-17	0.0083	0.0006	10.0	5227
3839553	6.1810E-17	0.0080	0.0005	8.9	5243

Dump no. 2 on file runtpe nps = 3839553 coll = 27412797 ctm = 3.01 nrm = 498090448

Run terminated when it had used 3 minutes of computer time.

همانطور که در این مثال مشاهده شد، با استفاده از روش‌های کاهش واریانس توانستیم در همان مدت زمان مورد نظر به جواب مناسب و با خطای کمتر از ۵٪ برای هر دو تالی F15 و F25 برسیم. کارت‌های روش‌های کاهش واریانس که در این مثال در نظر گرفته شده است شامل: کارت اهمیت (IMP) با افزایش مقدار آن با استفاده از روش تکثیر، کارت‌های پنجره وزنی (WWG، WWP و WWGE)، کارت قطع انرژی (CUT)، کارت بایاس چشمه (SB)، کارت برخورد اجباری (FCL) و کارت انتقال نمایی (EXT) بوده است. بنابراین استفاده مناسب از روش کاهش واریانس باعث کاهش زمان اجرا و خطای برنامه خواهد شد.

۱۰ کاربرد کد در محاسبات فیزیک راکتور

مقدمه

محاسبه پارامترهای نوترونی و دینامیکی قلب یکی از مهمترین بخش‌های طراحی و آنالیز ایمنی یک راکتور می‌باشند. این پارامترها شامل ضریب تکثیر موثر و بی‌نهایت، راکتیویته، توزیع شار و توان، راکتیویته اضافی، فاکتورهای پیک توان، فیدبک‌های دمایی، کسر نوترون‌های تاخیری، زمان متوسط تولید نوترون، میزان مصرف سوخت^۱ و غیره می‌باشند که می‌توان آنها را با استفاده از کد MCNPX محاسبه نمود. در این بخش روش محاسبه برخی از این پارامترها با استفاده از این کد را توضیح می‌دهیم.

۱-۱۰ محاسبه ضریب تکثیر موثر

همانطور که می‌دانیم این پارامتر به نوع چیدمان سوخت، ابعاد، مواد درون قلب و غیره بستگی دارد که می‌تواند مقادیر متفاوتی داشته باشد. معمولاً برای قلب تازه این مقدار از واحد بیشتر است که مقدار اضافه آن را راکتیویته اضافی می‌نامند. این مقدار اضافی برای حاشیه ایمنی راکتور، طول چرخه کاری، میزان مصرف سوخت و غیره در نظر گرفته می‌شود. این پارامتر را می‌توان به دو روش محاسبه نمود.

^۱ Burn up

روش اول: استفاده از کارت KCODE

ساده‌ترین راه برای محاسبه ضریب تکثیر موثر استفاده از کارت KCODE است (بخش ۵-۵ را ببینید).

مثال (۱-۱۰) یک سیستم کروی فرضی برهنه به شعاع ۸ سانتیمتر از جنس ^{235}U با چگالی ۱۸/۷۵ گرم بر سانتی متر مکعب در نظر بگیرید. مقدار ضریب تکثیر را برای این کره اورانیومی بدست آورید؟
فایل ورودی این مسئله به صورت زیر است:

```
c Uranium Sphere
1 1 -18.75 -1
2 0 1

1 so 9

kcode 50 1 5 30
sdef erg=d1 rad=d2
sp1 -3 $ Watt fission Spectrum
si2 0 9
sp2 0 1
imp:n 1 0
m1 92235.50c 1
print
```

نتیجه محاسبه به صورت زیر در فایل خروجی گزارش می‌شود:

```
Final result      keff= 1.02111      error= 0.01759
```

همانطور که مشاهده می‌شود، مقدار ضریب تکثیر موثر برابر $1/0.2111$ و میزان خطای آن $0/0.1759$ بدست آمده است البته این مقدار خطا بالا است که می‌توان با افزایش مقادیر مربوط به کارت KCODE مقدار خطا را کاهش داد. مثلاً اگر مقادیر این کارت را به صورت زیر افزایش دهیم:

```
kcode 5000 1 5 100
```

مقادیر ضریب تکثیر موثر و خطای آن در این حالت به ترتیب $1/0.5022$ و $0/0.0085$ خواهد شد که این مقدار خطا قابل قبول می‌باشد.

روش دوم: استفاده از کارت FM4

برای محاسبه پارامتر ضریب تکثیر موثر می‌توان از ترکیب کارت‌های F4، SD4 و FM4 استفاده نمود (بخش ۷-۱-۳ و ۷-۱-۶ را ببینید). اساس این روش، محاسبه نرخ شکافت و ضرب آن در تعداد نوترون‌های حاصل از هر شکافت است. نکته‌ای که در این روش بایستی توجه نمود این است که در کارت F4 باید شماره همه سلول‌های حاوی سوخت درون یک پرانتز نوشته شود. برای محاسبه میزان نرخ شکافت از کارت FM4 به صورت زیر استفاده می‌کنیم:

FM4 -1 m -6 -7

که عدد ۶- شماره واکنش شکافت، عدد ۷- به منزله ضرب تعداد نوترون‌های تولید شده به ازای هر شکافت و m شماره ماده مربوط به مواد شکافت پذیر می‌باشد. عدد ۱- معرف آن است که چگالی اتمی ماده‌ای که درون سلول‌ها وجود دارد (یعنی سوخت) برای محاسبات در نظر گرفته شود. همانطور که گفته شد، تالی F4 محاسبات را در واحد حجم سلول گزارش می‌کند برای اینکه شار را در کل حجم سلول محاسبه کنیم یا باید نتیجه را در حجم سلول ضرب کنیم و یا اینکه با استفاده از کارت SD4 حجمی را که شار بر آن تقسیم می‌شود را برابر واحد معرفی کنیم:

F4:n (C₁ C₂ ...)

Sd4 1

FM4 -1 m -6 -7

که C_iها شماره سلول‌های حاوی سوخت می‌باشند.

نکته (۱): از آنجا که اساس این روش محاسبه نرخ واکنش شکافت است، لذا برای سوخت‌های ترکیبی که دارای چند ماده شکافت پذیر می‌باشند به جای عدد ۱- باید چگالی اتمی ایزوتوپ‌های هدف نوشته شود.

مثال ۱۰-۲) به عنوان مثالی از کاربرد این روش، مثال ۱۰-۱ را به این روش حل

می‌کنیم:

c Sphere Uranium

1 1 -18.75 -1

2 0 1

1 so 9

kcode 5000 1 5 100

آموزش کد MCNPX ۲۷۰

```
sdef erg=d1 rad=d2
sp1 -3 $ Watt fission Spectrum
si2 0 9
Sp2 0 1
imp:n 1 0
m1 92235.50c 1
F4:n 1
sd4 1
FM4 -1 1 -6 -7
print
```

نتیجه به صورت زیر در فایل خروجی چاپ می‌شود:

```
Cell 1
Multiplier bin: -1.00000E+00 1 -6 -7
keff=1.05018E+00 error=0.0008
```

مقادیر ضریب تکثیر موثر و خطای آن برای این حالت به ترتیب $1/0.5018$ و 0.0008 بدست می‌آید که تقریباً مشابه مقادیر بدست آمده با روش اول می‌باشد.

۱۰-۲ محاسبه ضریب تکثیر بی‌نهایت

پارامتر ضریب تکثیر بی‌نهایت مشابه پارامتر ضریب تکثیر موثر می‌باشد اما برای راکتورهایی با ابعاد بسیار بزرگ بکار برده می‌شود. همچنین این پارامتر را می‌توان برای حالتی که نشت نوترون‌ها در قلب راکتور بسیار ناچیز باشد هم بکار برد. در اینجا نیز دو روش برای محاسبه این پارامتر ارائه می‌گردد.

روش اول: استفاده از سطوح انعکاسی

در این روش سطوحی که قلب را محدود می‌کنند را به صورت سطوح انعکاسی یا بازتابنده تعریف می‌کنیم. برای این کار شماره سطوح مورد نظر را با علامت ستاره با می‌نویسیم. ذرات هنگام برخورد با این سطح و یا سطوح منعکس می‌شوند در این صورت از نشت نوترون جلوگیری می‌گردد. با این کار گویی ابعاد قلب بی‌نهایت شده است.

برای محاسبه این پارامتر مشابه حالت قبل از کارتهای KCODE و KSRC یا SDEF استفاده می‌کنیم.

مثال ۱۰-۳ ضریب تکثیر بی‌نهایت را برای هندسه مثال ۱۰-۱ بدست آورید.

فایل ورودی مسئله به صورت زیر نوشته می‌شود:

کاربرد کد در محاسبات فیزیک راکتور ۲۷۱

```
c Sphere Uranium
1 1 -18.75 -1
2 0 1

*1 so 9

kcode 5000 1 5 100
sdef erg=d1 rad=d2
sp1 -3 $ Watt fission Spectrum
si2 0 9
sp2 0 1
imp:n 1 0
m1 92235.50c 1
Print
```

نتیجه خروجی به صورت زیر خواهد بود:

```
Final result keff=2.31191 error=0.00111
```

مقادیر ضریب تکثیر بی‌نهایت و خطای آن در این حالت به ترتیب $2/31191$ و $0/00111$ خواهد شد.

همانطور که انتظار می‌رفت، مقدار پارامتر ضریب تکثیر بی‌نهایت به دلیل عدم نشت نوترون‌ها از قلب و یا به عبارتی دیگر بازتاباندن نوترون‌ها به سمت قلب، بیشتر از مقدار ضریب تکثیر موثر می‌باشد.

روش دوم: در نظر گرفتن مواد بازتابنده در اطراف قلب

در این روش بجای استفاده از سطوح انعکاسی، یک بازتابنده مانند، آب سنگین، گرافیت و یا حتی اورانیوم 238 در اطراف قلب در نظر گرفته می‌شود که در این صورت تا حدودی از نشت نوترون به خارج قلب جلوگیری خواهد شد. به این ترتیب می‌توان از این طریق نیز این پارامتر را محاسبه نمود.

۱۰-۳ محاسبه ضریب آلبدو

ضریب بازتابش ذرات به ویژه نوترون‌ها از سطوح مختلف را ضریب آلبدو می‌نامند. این پارامتر می‌تواند در جاهای مختلف کاربردهای متفاوتی داشته باشد. یکی از کاربردهای این پارامتر، تحلیل پارامترهای نوترونی در فیزیک راکتور می‌باشد. برای مثال این پارامتر می‌تواند جهت محاسبه میزان تغییرات نشت نوترون در یک سطح و یا سطوح قلب بکار گرفته شود.

آموزش کد MCNPX ۲۷۲

برای محاسبه این پارامتر از کارت‌های F1 و C1 (بخش ۷-۱-۴ را ببینید) و با در نظر گرفتن رابطه زیر امکان پذیر می‌باشد:

$$\alpha = \frac{j_{out}}{j_{in}}$$

که در این رابطه، α ضریب آلوده، j_{out} میزان خروج نوترون از یک سطح و یا سطوح و j_{in} میزان ورود نوترون به یک سطح و یا سطوح می‌باشد.

مثال (۱۰-۴) کره‌ای از جنس اورانیوم و به شعاع ۲ سانتی‌متر در نظر بگیرید که اطراف آن لایه‌ای از آب به ضخامت ۲ سانتی‌متر قرار دارد. مقدار ضریب آلوده نوترون را به صورت تقریبی با استفاده از کد محاسبه نمایید.

برنامه ورودی:

```
c Cylinder Uranium
1 1 -18.75 -1
2 2 -1 -2 1
3 0 2

1 so 2
2 so 3

sdef erg=d1 rad=d2 axs= 0 0 1
sp1 -3 $Watt Spectrum built in for simulation
si2 0 3
sp2 0 1
imp:n 1 1 0
m1 92235.50c 1
m2 1001 2 8016 1
f1:n 1
c1 0 1
nps 100000
print
```

برنامه خروجی:

```
c1(-1 0)=1.22464E-01 error=0.0093
c1( 0 1)=9.76370E-01 error=0.0032
```

همانطور که در این مثال مشاهده می‌شود با اجرای این برنامه در کد، مقدار پارامتر ضریب آلوده نوترون برای یک کره اورانیومی با بازتابنده آب تقریباً مقدار ۰/۱۲۵ بدست می‌آید. بنابراین این پارامتر بستگی به نوع بازتابنده و مواد درون قلب و پارامترهای دیگر می‌تواند مقادیر متفاوتی داشته باشد.

۱۰-۴ پارامتر سطح مقطع شکافت

پارامتر سطح مقطع شکافت یکی از پارامترهای فیزیکی مهم در فیزیک راکتور می‌باشد که برای محاسبه پارامترهای نوترونی و سینتیکی مختلفی مانند ضریب تکثیر موثر و بی‌نهایت، شار و توان نوترون، فیدبک‌های دمایی، کسر نوترون‌های تاخیری، زمان متوسط تولید نوترون، میزان مصرف سوخت و غیره به کار می‌رود. برای محاسبه این پارامتر با استفاده از کارت FMn مقدار دو کمیت زیر را محاسبه می‌کنیم که نسبت این دو مقدار، برابر با سطح مقطع شکافت خواهد بود:

$$F4 = \int \phi(E) dE$$

$$F14 = n \int \phi(E) \sigma_f(E) dE$$

به این منظور از کارت‌های زیر استفاده می‌کنیم:

F4:n (C₁ C₂ ...)

F14:n (C₁ C₂ ...)

Fm14 -1 1 -6

که حاصل تقسیم پارامترهای F14 بر F4 برابر با پارامتر سطح مقطع شکافت خواهد

بود.

مثال (۱۰-۵) یک استوانه‌ای به شعاع و ارتفاع به ترتیب ۲ و ۱۰ سانتی‌متر را در نظر بگیرید. مقدار پارامتر سطح مقطع شکافت را به صورت تقریبی با استفاده از کد محاسبه نمایید.

برنامه ورودی:

```
c Cylinder Uranium
1 1 -18.75 -1 2 -3
2 0 #1
```

```
1 cy 2
2 py 0
3 py 10
```

```
sdef erg=d1 rad=d2 ext=d3 axs= 0 1 0
sp1 -3 $Watt Spectrum built in for simulation
si2 0 2
sp2 0 1
si3 0 5
sp3 0 1
imp:n 1 0
```

آموزش کد MCNPX ۲۷۴

```
m1 92235.50c 1
f4:n 1
f14:n 1
sd14 1
fm14 -1 1 -6
nps 100000
print
```

برنامه خروجی:

```
f4= 2.6882E-02 error=0.0038
f14=2.0115E-01 error=0.0038
```

همانطور که در این مثال مشاهده می‌شود با اجرای این برنامه در کد، مقدار پارامتر سطح مقطع شکافت برای یک استوانه اورانیومی به طور میانگین مقدار ۷/۴۸۳ بارن (بدون در نظر گرفتن طیف انرژی نوترون‌ها) بدست می‌آید.

۱۰-۵ محاسبه تعداد نوترون‌های تولیدی به ازای هر شکافت

این پارامتر نیز یکی از پارامترهای نوترونی ارزشمند در یک راکتور می‌باشد که برای محاسبه پارامترهای نوترونی و سینتیکی مختلفی مانند کسر نوترون‌های تاخیری، زمان متوسط تولید نوترون، میزان مصرف سوخت و غیره بکار برده می‌شود. برای محاسبه این پارامتر با استفاده از کارت FMn مقدار دو کمیت زیر را محاسبه می‌کنیم که نسبت این دو مقدار، برابر با تعداد نوترون‌های تولیدی به ازای هر شکافت (ν) خواهد بود:

```
Fm14 -1 1 -6 -7
Fm24 -1 1 -6
```

تالی‌های F14 و F24 مقدار کمیت‌های زیر را محاسبه می‌کنند، که حاصل تقسیم پارامترهای F14 بر F24 برابر با ν خواهد بود:

$$F14 = nv \int \phi(E) \sigma_f(E) dE$$

$$F24 = n \int \phi(E) \sigma_f(E) dE$$

۱۰-۶ محاسبه راکتیویته

راکتیویته یکی دیگر از پارامترهای نوترونی مهم در یک راکتور می‌باشد که برای محاسبه ارزش کل میله‌های کنترل، راکتیویته اضافی، حاشیه ایمنی راکتور، میزان

کاربرد کد در محاسبات فیزیک راکتور ۲۷۵

مصرف سوخت و غیره بکار برده می‌شود. همانطور که می‌دانیم این پارامتر به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\rho = \frac{1 - k_{eff}}{k_{eff}}$$

که در این رابطه، ρ راکتیویته و k_{eff} ضریب تکثیر موثر می‌باشد. لذا برای محاسبه این پارامتر کافی است ضریب تکثیر موثر را توسط کد محاسبه کنیم. مثلاً در مثال ۱-۱۰ مقدار ضریب تکثیر موثر عدد $1/0.5022$ بدست آمد در این صورت مقدار راکتیویته با استفاده از رابطه بالا برابر 0.478 خواهد شد که اگر در مقدار 1×10^5 ضرب شود مقدار آن 4780 pcm - بدست می‌آید (معمولاً یکی از واحدهای رایج برای راکتیویته pcm می‌باشد).

۷-۱۰ محاسبه ارزش میله کنترل

این پارامتر یکی از پارامترهای نوترونی بسیار ارزشمند برای کنترل یک راکتور است و به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\rho_w = \frac{k_0 - k_i}{k_0 \times k_i}$$

که در این رابطه، ρ_w راکتیویته کل میله کنترل، k_0 مقدار ضریب تکثیر موثر زمانی که تمام میله‌های کنترل خارج از قلب باشند (همان ضریب تکثیر موثر یا k_{eff} می‌باشد) و k_i مقدار ضریب تکثیر موثر زمانی که تمام میله‌های کنترل داخل قلب باشند، می‌باشد.

برای محاسبه این پارامتر در کد، بایستی با وارد کردن کل یا بخشی از طول میله کنترل در داخل قلب، مقدار ارزش کل یا بخشی از میله کنترل را بدست آورد. علاوه بر این، برای بدست آوردن تغییرات ارزش میله کنترل در داخل قلب به صورت دیفرانسیلی یا جزیی می‌توان با تقسیم کردن کل ارتفاع میله کنترل به طور یکسان و وارد نمودن آن در داخل قلب انجام داد.

۸-۱۰ محاسبه راکتیویته اضافی

راکتیویته اضافی یکی از پارامترهای نوترونی حائز اهمیت است که در محاسبه حاشیه ایمنی راکتور، طول چرخه کاری، میزان مصرف سوخت و غیره کاربرد دارد و به صورت زیر تعریف می شود:

$$\rho_{ex} = \frac{k_o - 1}{k_o}$$

که در این رابطه، ρ_{ex} راکتیویته اضافی و k_o مقدار ضریب تکثیر موثر در حالتی است که تمام میله های کنترل خارج از قلب باشند. برای محاسبه این پارامتر بایستی تمام میله های کنترل از قلب خارج شوند تا مقدار دقیق آن بدست آید. البته در این صورت قلب در حالت سرد، تازه و بدون سموم نوترونی (مانند زینان، ساماریوم و غیره) در نظر گرفته می شود.

۹-۱۰ محاسبه حاشیه خاموش سازی یا راکتیویته ایمن

حاشیه خاموش سازی، یا راکتیویته ایمن، مقدار راکتیویته ای است که توسط آن راکتور از حالت کاری به حالت زیر بحرانی قرار گیرد. این پارامتر یکی از پارامترهای ایمنی بسیار مهم در یک راکتور می باشد. پارامتر راکتیویته ایمن با استفاده از اختلاف بین راکتیویته حاصل از میله های کنترل و راکتیویته اضافی قلب بدست می آید و به صورت زیر تعریف می شود:

$$\rho_s = \rho_{ex} - \rho_w$$

که در این رابطه، ρ_s راکتیویته ایمن، ρ_{ex} راکتیویته اضافی قلب و ρ_w راکتیویته میله های کنترل می باشد.

۱۰-۱۰ محاسبه شار و یا توان

یکی دیگر از پارامترهای نوترونی مهم در طراحی راکتورها، پارامتر شار و یا توان راکتور می باشد. این پارامترها در تعیین سایر پارامترهای نوترونی مانند نسبت توان بیشینه به توان متوسط، طول عمر میانگین نوترون، مقدار مصرف سوخت و غیره نقش بسزایی دارند.

کاربرد کد در محاسبات فیزیک راکتور ۲۷۷

برای محاسبه میانگین شار نوترون از کارت‌های F2 یا F4 و یا F5 و برای محاسبه توان از کارت F7 استفاده می‌کنیم (فصل ششم را مشاهده نمایید).

نکته: در کارت F7 جهت محاسبه توان باید تمام سلول‌هایی که سوخت در آنها قرار دارند، در نظر گرفته شوند.

بنابراین با استفاده از رابطه‌ی زیر (در صورت مشخص بودن شار نوترون) می‌توان مقدار دقیق توان برای هر راکتوری را بدست آورد:

$$P = \frac{\Phi \sum_f \times v}{3.450908 \times E + 10}$$

که در این رابطه، P، توان راکتور برحسب وات، v، تعداد نوترون‌های تولید شده به ازای هر شکافت Φ ، شار نوترون و $\sum_f$ ، سطح مقطع شکافت ماکروسکوپی، می‌باشد. علاوه بر این، می‌توان از طریق کد توزیع شار و یا توزیع توان را برحسب انرژی‌های مختلف محاسبه نمود. برای این کار از کارت‌های Fn و En (بخش ۷-۱-۱ را ببینید) استفاده می‌شود.

۱۰-۱۱ محاسبه ضرایب پیک توان‌های شعاعی و محوری

ضرایب پیک توان‌های شعاعی و محوری، در واقع نسبت توان بیشینه به توان متوسط برای حالت‌های شعاعی و محوری قلب یک راکتور می‌باشند. این پارامترها از جمله پارامترهای ایمنی قلب هستند که در طراحی راکتور از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشند.

برای بدست آوردن ضریب پیک توان شعاعی و محوری قلب یک راکتور، باید کل قلب را به صورت شعاعی یا محوری با مش‌بندی مکانی به طور یکسان در نظر گرفت سپس این پارامترها را در آن سلول‌های مش‌بندی شده محاسبه نمود. در نهایت مقادیر بیشینه و میانگین توان را در راستای شعاعی و محوری بدست آورد. با تقسیم این مقادیر (بیشینه بر میانگین) ضرایب پیک شعاعی و محوری توان قلب یک راکتور بدست می‌آیند. ضریب پیک توان کل، حاصل ضرب ضرایب توان‌های شعاعی در محوری می‌باشد. بنابراین با استفاده از روابط زیر می‌توان ضرایب پیک شعاعی و محوری توان قلب یک راکتور را بدست آورد.

$$P_{avg} = \frac{\sum P_i}{N}$$

$$\text{Radial and Axial PPF} = \frac{P_i(\text{Max})}{P_{avg}}$$

که P_i توان هر کدام از مجتمع‌های سوخت است، N تعداد مجتمع‌های سوخت، P_{avg} توان متوسط و Radial and Axial PPF ضرایب پیک توان‌های شعاعی و محوری می‌باشند.

نکته (۱): این پارامترها را می‌توان برای یک میله سوخت و یا یک مجتمع سوخت نیز بدست آورد.

نکته (۲): برای تقسیم‌بندی مکانی شعاعی و یا محوری می‌توان از کارت FSn (بخش ۷-۱۳-۱ را ببینید) و یا Tmesh (بخش ۶-۴ را ببینید) استفاده نمود.

۱۰-۱۲ محاسبه کسر نوتون‌های تاخیری و موثر

یکی از پارامترهای سینتیکی مهم در یک راکتور کسر نوترون‌های تاخیری (β) و موثر (β_{eff}) می‌باشند. برای محاسبه این پارامترهای از کارت‌های KCODE، PHYS و TOTNU استفاده می‌شود. تعاریف زیر را در نظر بگیرید:

$$\beta = 1 - \left(\frac{k_p}{k_d} \right)$$

$$\beta_{eff} = 1 - \left(\frac{k_p}{k_{eff}} \right)$$

که K_{eff} ضریب تکثیر با در نظر گرفتن طیف نوترون‌های تاخیری و تولید نوترون‌های آنی و تاخیری؛ K_d ضریب تکثیر بدون در نظر گرفتن طیف نوترون‌های تاخیری و با در نظر گرفتن تولید نوترون‌های آنی و تاخیری؛ K_p ضریب تکثیر بدون در نظر گرفتن طیف نوترون‌های تاخیری و نیز در نظر گرفتن فقط نوترون‌های آنی، می‌باشد.

جهت کنترل تولید یا عدم تولید نوترون‌های تاخیری از کارت TOTNU (بخش ۷-۱۲) و جهت استفاده یا عدم استفاده از طیف نوترون‌های تاخیری از پارامتر چهارم کارت PHYS:n (بخش ۷-۳-۱) به صورت زیر استفاده می‌کنیم:

کاربرد کد در محاسبات فیزیک راکتور ۲۷۹

برای محاسبه مقدار K_{eff} :

PHYS:n j j j -1
Totnu

برای محاسبه مقدار K_d :

PHYS:n j j j 0
totnu

برای محاسبه مقدار K_p :

PHYS:n j j j 0
C totnu

۱۰-۱۳ پارامتر فیدبک‌های دمایی و خلاء

یکی دیگر از پارامترهای نوترونی مهم در فیزیک راکتور، پارامترهای فیدبک‌های دمایی و خلاء (Void) می‌باشند. این پارامترها در ایمنی قلب و در طراحی راکتورها نقش بسزایی دارند.

برای محاسبه فیدبک‌های دمایی در کد بایستی به نکات زیر توجه کرد.
نکته (۱): ابتدا بایستی چگالی‌های مواد درون قلب و سطح مقطع‌ها برحسب دماهای مورد نظر محاسبه شوند.

نکته (۲): در کد سطح مقطع‌ها را برای برخی از دماها محاسبه کرده است اما در دماهای دیگر می‌توان از کد MAKXSف موجود در نسخه این کد (برای نحوه استفاده از این کد مرجع [۷] را ببینید) و یا کدهای دیگر برای مثال کد NJOY استفاده نمود.
برای دماهایی که کد در آن سطح مقطع‌ها را تولید کرده است می‌توان از کارت TMP استفاده نمود (بخش ۷-۳-۱). با استفاده از این کارت می‌توان دمای تمام سلول‌های مورد نظر را تعریف نمود و سپس مقادیر ضریب تکثیر موثر را برای مواد مختلف مانند سوخت، خنک کننده، کند کننده و غیره به طور جداگانه محاسبه نمود. در نهایت تغییرات راکتیویته یا ضریب تکثیر موثر را برحسب دماهای مورد نظر بدست آورد.

برای محاسبه ضریب فیدبک خلاء، بایستی مقدار چگالی بخار یا Void برحسب دما برای خنک کننده‌های موجود در قلب بدست آورده شود (محاسبه این فیدبک معمولاً برای راکتورهای آبی و یا نمک مذاب که خنک کننده آنها آب یا مواد مذاب هستند،

آموزش کد MCNPX ۲۸۰

مناسب می‌باشد). با تغییر دما میزان چگالی آب کم می‌شود و چگالی بخار افزایش می‌یابد. این حالت بایستی در کارت مواد و چگالی موجود در کارت سلول دیده شود. با این روش می‌توان تغییر راکتیویته را برحسب چگالی بخار یا Void محاسبه نمود.

۱۰-۱۴ پارامتر چهار فاکتوره

یکی از مهمترین پارامترهای نوترونی در فیزیک راکتور، فرمول چهاره فاکتوره یا ضریب تکثیر ذاتی می‌باشد. این پارامتر مستقل از شکل و هندسه راکتور است و در برگیرنده مواد سوخت و کندکننده بدون در نظر گرفتن میزان نشت نوترون می‌باشد که در طراحی راکتورها بکار برده می‌شود:

$$K=f \times p \times \eta \times \varepsilon$$

که، K ضریب تکثیر ذاتی، f ضریب بهره حرارتی، p احتمال فرار از رزناس، η ضریب تکثیر و ε ضریب شکافت سریع می‌باشد.

برای محاسبه این چهار پارامتر به صورت زیر عمل شود:

برای محاسبه ضریب شکافت سریع (ε) بایستی تعداد کل نوترون‌های سریع حاصل از کل شکافت را محاسبه نموده و بر تعداد کل نوترون‌های سریع ناشی از شکافت نوترون‌های حرارتی تقسیم نمود.

برای محاسبه احتمال فرار از رزناس (p) بایستی تعداد کل نوترون‌های حرارتی که به انرژی حرارتی می‌رسند را محاسبه نموده و بر تعداد کل نوترون‌های سریع که کند می‌شوند تقسیم نمود.

علاوه بر این، برای محاسبه ضرایب بهره حرارتی (f) و تکثیر (η) با توجه به روابط پایین، کافی است که سطح مقطع‌های شکافت و جذب را در سوخت و دیگر مواد موجود در قلب را محاسبه نمایید (بخش ۱۰-۴).

کاربرد کد در محاسبات فیزیک راکتور ۲۸۱

همچنین می‌توان تعداد نوترون‌های تولید شده به ازای هر شکافت و شار نوترون‌ها را نیز از طریق کد محاسبه نمایید (بخش‌های ۶-۱ و ۱۰-۵ را ببینید). در این صورت می‌توان ضرایب بهره حرارتی (f) و تکثیر (η) را با استفاده از روابط زیر محاسبه نمود:

$$f = \frac{\sum_a^U}{\sum_a^U + \sum_a^m + \sum_a^p}$$

$$\eta = \frac{\sum_f^U \times \phi^U \times v}{\sum_a^U \times \phi^U}$$

که در این روابط، $\sum_a^p$ سطح مقطع شکافت اورانیوم، $\sum_a^m$ سطح مقطع جذب در کند کننده، $\sum_a^U$ سطح مقطع جذب در سموم، U ، تعداد نوترون‌های تولید شده به ازای هر شکافت و Φ ، شار نوترون می‌باشد.

۱۰-۱۵ محاسبه طول عمر نوترون آنی

طول عمر نوترون آنی به عنوان یک پارامتر سینتیکی مهم در تمام راکتورهای هسته‌ای نقش بسیار مهمی در تجزیه و تحلیل رفتار دینامیکی راکتورها دارد. طول عمر نوترون آنی به عنوان یکی از خروجی‌های اصلی کد در فایل خروجی چاپ می‌شود (مانند پویش آزاد میانگین) و نیازی به استفاده از کارت خاصی در فایل ورودی نمی‌باشد. مقدار این پارامتر در جدول ۱۲۶ فایل خروجی و درون یک کادر چاپ می‌شود.

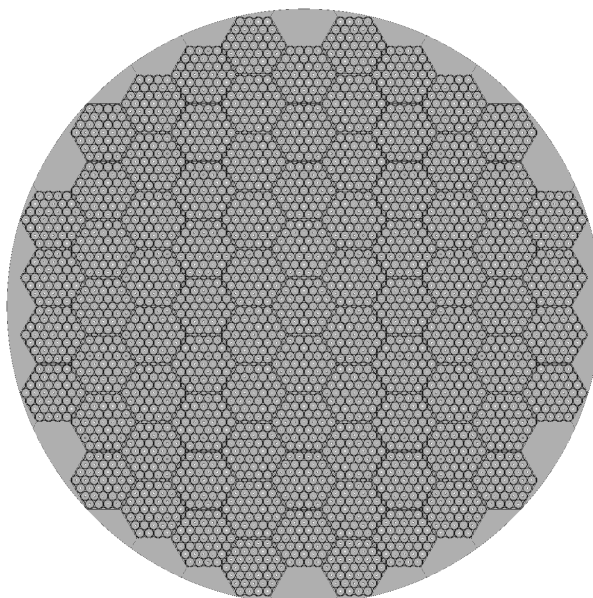
همچنین می‌توان با استفاده از کارت‌های F4 و (-2 -1) FM4 (عدد ۲- به منزله طول عمر نوترون آنی است) مقدار این پارامتر را محاسبه نمود.

مثال (۱۰-۶) یک راکتور استوانه‌ای شکل به قطر ۱۹۰ cm و ارتفاع ۱۸۰ cm شامل ۸۵ عدد مجموعه سوخت هگزاگونال می‌باشد. مجموعه سوخت در داخل کند کننده گرافیتی قرار دارد. هر مجموعه سوخت شامل ۳۷ عدد میله سوخت از جنس کربن به همراه اکسید اورانیوم UO_2 است که به صورت همگن مخلوط شده است. میله سوخت به شکل استوانه‌ای به قطر ۲۹ mm است و در داخل غلافی به ضخامت ۱/۵ mm و از جنس زیرکالوی قرار دارد. غنای سوخت ۶٪ می‌باشد. مطلوب است الف) مقادیر ضریب

آموزش کد MCNPX ۲۸۲

تکثیر موثر و بی‌نهایت؛ ب) تعداد نوترون‌های تولید شده به ازای هر شکافت؛ ج) کسر نوترون‌های تاخیری موثر؛ د) طول عمر نوترون آنی.

همانطور که در شکل پایین مشاهده می‌شود، در این مسئله هندسه شامل یک شبکه هگزاگونال با میله‌های سوخت استوانه‌ای است. پس از تعریف هندسه شامل سلول‌ها و سطوح به کمک ساختار تکرار شونده از نوع شبکه چند وجهی، جهت محاسبه ضریب تکثیر از کارت kcode استفاده می‌نماییم.



```
In the name of god
c   Burnup and K Calculations with using of MCNPX code for
Core
c   cell card
10 0 10                                imp:n=0
11 1 -1.6 -10                            fill=1      imp:n=1
$ PWR Graphite core
12 1 -1.6 -20.1 -20.2 -20.3 -20.4 -20.5 -20.6 u=1 lat=2
fill=2 imp:n=1 $ Graphite Hexagonal Core
13 1 -1.6 -30.1 -30.2 -30.3 -30.4 -30.5 -30.6 u=2 lat=2
fill=3 imp:n=1 $ fuel Assembly
14 2 -6.5 -41 u=3 fill=4 imp:n=1 $ Zr4
15 1 -1.6 #14 u=3          imp:n=1
16 1 -1.6 -42 u=4 fill=5 imp:n=1 $ Graphite
17 2 -6.5 #16 u=4          imp:n=1
```

کاربرد کد در محاسبات فیزیک راکتور ۲۸۳

```

18 1 -1.6 -35 u=5 fill=6 imp:n=1 $ Graphite
19 1 -1.6 #18 u=5 imp:n=1
20 1 -1.6 31 -32 33 -34 lat=1 u=6 fill=-4:4 -4:4 0:0 7 80r
imp:n=1 $ Graphite
21 17 -2.30 -43 u=7 fill=8 imp:n=1 $ High Density PyC
22 1 -1.6 #21 u=7 imp:n=1
23 18 -2.50 -44 u=8 fill=9 imp:n=1 $ SiC
24 17 -2.30 #23 u=8 imp:n=1
25 4 -10.4 -45 u=9 imp:n=1 $ UO2
26 18 -2.50 #25 u=9 imp:n=1

c surface card
10 rcc 0 0 -90 0 0 180 100
20 hex 0 0 -90 0 0 180 0 9.78031356 0
30 hex 0 0 -90 0 0 180 1.54 0 0
31 px -0.047
32 px 0.047
33 py -0.047
34 py 0.047
35 cz 0.423
41 cz 1.45
42 cz 1.3
43 cz 0.046
44 cz 0.040
45 cz 0.035

c data card
mode n
Kcode 3000 1 10 30
ksrc 0 0 0
m1 6000.50c 1 $
Graphite
m2 40000.57c -0.982 50000.40c -0.0145 24052.60c -0.001 $
Zr4
26056.60c -0.002 72000.60c -0.0001
m4 92235.60c -0.053 92238.60c -0.828 8016.60c -0.119 $
UO2
m17 6012.50c 1 $ High Density PyC
m18 6012.50c -0.5 14000.60c -0.5 $ SiC
f14:n 11
fm14 (-1 1 -6 -7)
sd14 1
f24:n 11
fm24 (-1 1 -6)
sd24 1
c PHYS:n j j j -1

```

آموزش کد MCNPX ۲۸۴

```

c PHYS:n j j j 0
c totnu
c PHYS:n j j j
c totnu
print
c prdmp 1000000 1000000
c void

```

الف) برای محاسبه ضریب تکثیر موثر از کارت kcode استفاده می‌شود. با استفاده از سطوح انعکاسی نیز می‌توان مقدار ضریب تکثیر بی‌نهایت را بدست آورد بدین صورت که پشت آخرین سطح یا سطوح را با علامت ستاره مشخص نماییم. در واقع با استفاده از این روش، از نشت نوترون در قلب جلوگیری می‌شود. برای این مثال، ضرایب تکثیر موثر و بی‌نهایت با استفاده از کد به ترتیب به صورت تقریبی مقادیر 0.79113 و 0.83443 بدست آمده است.

ب) برای محاسبه تعداد نوترون‌های تولید شده به ازای هر شکافت می‌توان از کارت‌های fm14 و fm24 استفاده نمود. بدین صورت که پس از اجرای برنامه با تقسیم مقادیر کارت‌های fm14 به fm24 تعداد نوترون‌های تولید شده به ازای هر شکافت بدست می‌آید. برای این مثال تعداد نوترون‌های تولید شده به ازای هر شکافت با استفاده از کد مقدار $2/437$ بدست آمده است.

ج) برای این مثال ضریب کسر نوترون‌های تاخیری موثر به صورت تقریبی با خطای $10 \cdot \text{pcm}$ و با مقدار تقریبی $400 \cdot \text{pcm}$ بدست آمده است. البته بهتر است برای بدست آوردن مقدار دقیق این پارامتر، مقادیر مربوط به کارت kcode را افزایش داد تا خطای بدست آمده کمتر از $10 \cdot \text{pcm}$ شود.

د) برای طول عمر نوترون آنی با استفاده از کد مقدار 69 میکرو ثانیه بدست آمده است.

۱۰-۱۶ محاسبه میزان مصرف سوخت (برناپ)

یکی دیگر از پارامترهای نوترونی و دینامیکی مهم در فیزیک راکتور، پارامتر میزان مصرف سوخت و یا برناپ می‌باشد. این پارامتر در ایمنی و در طراحی قلب راکتور دارای اهمیت ویژه‌ای است. همانطور که می‌دانیم با افزایش زمان، میزان مصرف سوخت در قلب یک راکتور افزایش می‌یابد، در نتیجه مواد جدیدی در قلب تولید خواهند شد که اثر مهمی روی پارامترهای نوترونی و دینامیکی قلب دارند. بنابراین بایستی این

کاربرد کد در محاسبات فیزیک راکتور ۲۸۵

پارامترها برحسب زمان در قلب یک راکتور محاسبه شوند. این محاسبات با استفاده از کارت BURN در نسخه X2.6 قابل انجام است (بخش ۶-۶ را ببینید). با استفاده از این کارت می‌توان مقدار مصرف سوخت را از رابطه زیر بدست آورد:

$$\text{Burnup} = \text{Burnup in previous step} + \frac{(\text{PowerLevel} \times \text{PowerFraction} \times \text{Time} \times \text{PFRAC})}{\text{MTU}}$$

که در این رابطه Burnup مقدار مصرف سوخت برحسب گیگا وات روز بر متریک، Power level میزان توان برحسب مگاوات، Power fraction مقدار کسر توان برحسب مگاوات، TIME گام زمانی برحسب روز، PFRAC توان راکتور در هر بازه زمانی، MTU مقدار متریک تن اورانیوم می‌باشد. همچنین در این رابطه کسر توانی با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\text{Power fraction} = \frac{(\phi \times \sum_f v \times Q)_i}{\sum_i (\phi \times \sum_f v \times Q)_i}$$

که در این رابطه، Φ شار نوترون، Σ_f سطح مقطع شکافت، Q میزان گرمای واکنش شکافت برحسب MeV، V حجم سلول مورد نظر و شاخص i برای ایزوتوپ‌های مختلف می‌باشد. برای آشنایی با نحوه محاسبه‌ی این پارامتر از به مثال زیر توجه نمایید.
مثال (۷-۱۰) برنامه ورودی زیر را نظر بگیرید

```
burn example
c cell card
11 3 -1 -10 fill=1 imp:n=1 vol=1
10 3 -1 3 -4 5 -6 lat=1 u=1 imp:n=1 vol=1 fill=-2:2 -2:2
0:0
      1 1 1 1 1
      1 3 2 2 1
      2 2 3 2 3
      1 1 1 1 1
      1 1 1 1 1
1      1 -19.0 -1 u=2 imp:n=1 vol=192.287 $ fuel
2      2 -6.49 1 -2 u=2 imp:n=1 vol=66.43 $ clad
3      3 -1.0 2 u=2 imp:n=1 vol=370.82 $ water
4      1 -19.0 -1 u=3 imp:n=1 vol=192.287 $ fuel
5      2 -6.49 1 -2 u=3 imp:n=1 vol=66.43 $ clad
6      4 -1.0 2 u=3 imp:n=1 vol=370.82 $ water
12     0 10 imp:n=0

c surface card
1 cz 5
```

آموزش کد MCNPX ۲۸۶

```

2  cz    6
3  px   -6
4  px    6
5  py   -6
6  py    6
10 cz   10

c data card
kcode 1e3 1 5 50
ksrc 0 0 0
BURN  TIME=50,500
      MAT=1,4
      POWER=1.0
      PFRAC=1.0 0.2
      OMIT=1,8,6014,7016,8018,9018,90234,91232,95240,95244
           4,8,6014,7016,8018,9018,90234,91232,95240,95244
      BOPT=1.0,4
      MATVOL=384.57 384.57
      MATMOD=1
           1
           1 -1 1 94238 1e-6
M1    8016.70c 4.5854e-4
      92235.70c 1.4456e-1
      92238.70c 1.9939e-4
M2    2004 -1.0
M3    40090.70c -1.0
mt3   zr/h.01t
M4    1001.70c 4.7716e-2
      8016.70c 2.3858e-2
      5010.70c 3.6346e-6
      5011.70c 1.6226e-5
MT4   lwtr.01t
c nps  100000
c ctme 1
print

```

فایل‌های خروجی برنامه شامل سه قسمت است: قسمت اول فایل خروجی شامل:

گام اجرایی، مدت و زمان برحسب روز، ضریب تکثیر موثر، توان برحسب مگاوات، شار، متوسط تعداد نوترون‌ها به ازای هر شکافت، متوسط انرژی شکافت، میزان برناپ برحسب گیگا وات روز بر متریک و قدرت چشمه برحسب تعداد نوترون‌ها بر ثانیه می‌باشد.

کاربرد کد در محاسبات فیزیک راکتور ۲۸۷

قسمت دوم فایل خروجی شامل: فهرست آکتینیدهای تولید شده برای مواد تعریف شده برحسب گام‌های زمانی در نظر گرفته شده در فایل ورودی برنامه می‌باشند. در این قسمت فایل خروجی، مقدار فعالیت برحسب کوری، فعالیت ویژه برحسب کوری بر گرم، چگالی اتمی برحسب (atom/barn-cm)، کسرهای اتمی و جرمی برای ایزوتوپ‌های تولید شده برحسب زمان وجود دارد.

قسمت سوم فایل خروجی شامل: فهرست غیر آکتینیدهای تولید شده برای مواد تعریف شده برحسب گام‌های زمانی در نظر گرفته شده در فایل ورودی برنامه می‌باشند. در این قسمت فایل خروجی، مقادیر فعالیت بر حسب کوری، فعالیت ویژه برحسب کوری بر گرم، چگالی اتمی بر حسب (atom/barn-cm)، کسرهای اتمی و جرمی برای ایزوتوپ‌های تولید شده برحسب زمان وجود دارد.

قسمت اول فایل خروجی برنامه:

Neutronics and burnup data

step	duration	time	power	keff	flux	ave.nu	ave.q	burnup	source
(days)	(days)	(days)	(MW)					(Gwd/MTU)	(nts/sec)
0	0	0	1	1.42402	6.235E+14	2.534	200.958	0.000E+00	7.869E+16
1	50	50	1	1.42197	6.278E+14	2.533	200.957	6.846E+00	7.868E+16
2	50	550	0.2	1.41755	1.268E+14	2.534	200.957	2.054E+01	1.574E+16

در این بخش فایل خروجی، برای سه گام زمانی پارامترهای ضریب تکثیر موثر، توان برحسب مگاوات، شار، متوسط تعداد نوترون‌ها به ازای هر شکافت، متوسط انرژی شکافت، میزان برناپ برحسب گیگا وات روز بر متریک و قدرت چشمه برحسب تعداد نوترون‌ها بر ثانیه محاسبه شده است. نتایج این مثال نشان می‌دهد که به دلیل مصرف سوخت با افزایش زمان مقدار ضریب تکثیر موثر کاهش ولی میزان برناپ افزایش می‌یابد.

قسمت دوم فایل خروجی (فهرست آکتینیدها):

actinide inventory for material 1 at end of step 1, time 5.000E+01 (days), power 1.000E+00 (MW)

no.	zaid	mass	activity	spec.act.	atom den.	atom fr.	mass fr.
		(gm)	(Ci)	(Ci/gm)	(a/b-cm)		
1	92234	1.871E-01	1.163E-03	6.217E-03	1.252E-06	2.572E-05	2.573E-05
2	92235	7.233E+03	1.563E-02	2.161E-06	4.819E-02	9.901E-01	9.948E-01
3	92236	9.945E+00	6.431E-04	6.467E-05	6.597E-05	1.356E-03	1.368E-03
4	92237	2.354E-03	1.921E+02	8.160E+04	1.555E-08	3.196E-07	3.239E-07
5	92238	1.017E+01	3.419E-06	3.361E-07	6.691E-05	1.375E-03	1.399E-03
6	92239	5.862E-06	1.964E+02	3.351E+07	3.840E-11	7.889E-10	8.063E-10
7	93237	5.269E-03	3.713E-06	7.047E-04	3.480E-08	7.151E-07	7.247E-07

۲۸۸ آموزش کد MCNPX

8	93238	1.378E-06	3.571E-01	2.591E+05	9.067E-12	1.863E-10	1.896E-10
9	93239	8.464E-04	1.963E+02	2.319E+05	5.544E-09	1.139E-07	1.164E-07
10	94238	1.520E-01	9.175E-06	6.035E-05	1.000E-06	2.055E-05	2.091E-05
11	94239	1.156E-02	7.167E-04	6.203E-02	7.569E-08	1.555E-06	1.589E-06
12	94240	1.396E-05	3.167E-06	2.269E-01	9.105E-11	1.871E-09	1.920E-09
	totals	7.253E+03	5.853E+02	8.069E-02	4.832E-02	9.929E-01	9.977E-01

قسمت سوم فایل خروجی (فهرست غیر آکتینیدها):

nonactinide inventory for material 1 at end of step 1, time 5.000E+01 (days), power 1.000E+00 (MW)

no.	zaid	mass (gm)	activity (Ci)	spec.act. (Ci/gm)	atom den. (a/b-cm)	atom fr.	mass fr.
1	6013	2.157E-05	0.000E+00	0.000E+00	2.598E-09	5.337E-08	2.967E-09
2	8016	1.575E+00	0.000E+00	0.000E+00	1.542E-04	3.168E-03	2.166E-04
3	8017	2.829E-05	0.000E+00	0.000E+00	2.606E-09	5.354E-08	3.891E-09
4	40093	1.293E+00	3.253E-03	2.515E-03	2.180E-05	4.479E-04	1.779E-04
5	42095	8.504E-02	0.000E+00	0.000E+00	1.403E-06	2.883E-05	1.170E-05
6	43099	1.227E+00	2.100E-02	1.712E-02	1.942E-05	3.990E-04	1.687E-04
7	44101	1.160E+00	0.000E+00	0.000E+00	1.800E-05	3.699E-04	1.595E-04
8	54131	6.404E-01	0.000E+00	0.000E+00	7.661E-06	1.574E-04	8.809E-05
9	54134	2.337E+00	0.000E+00	0.000E+00	2.732E-05	5.615E-04	3.214E-04
10	55133	1.624E+00	0.000E+00	0.000E+00	1.914E-05	3.933E-04	2.234E-04
11	55137	1.879E+00	1.635E+02	8.704E+01	2.149E-05	4.415E-04	2.584E-04
12	56138	2.071E+00	0.000E+00	0.000E+00	2.352E-05	4.832E-04	2.849E-04
13	59141	6.998E-01	0.000E+00	0.000E+00	7.777E-06	1.598E-04	9.625E-05
14	60143	1.140E+00	0.000E+00	0.000E+00	1.249E-05	2.567E-04	1.568E-04
15	60145	1.256E+00	5.164E-14	4.112E-14	1.357E-05	2.788E-04	1.727E-04
	totals	1.699E+01	1.635E+02	9.627E+00	3.478E-04	7.145E-03	2.337E-03

۱۰-۱۷ تمرین

- ۱- مقدار ضریب تکثیر ذاتی یا رابطه چهار فاکتوره را از طریق کد برای یک کره اورانیومی با غنای ۲۰٪ (شامل اورانیوم‌های ۲۳۵ و ۲۳۸) به شعاع ۹ cm و به چگالی 19 g/cm^3 محاسبه نموده و نتیجه را روش KCODE مقایسه نمایید؟
- ۲- مقادیر کسر نوترون‌های تاخیری موثر و طول عمر نوترون را برای تمرین شماره ۱ بدست آورید؟
- ۳- مقدار فیدبک‌های دمایی سوخت و خنک کننده را برای مثال ۱۰-۶ در دماهای ۲۵، ۶۰۰ و ۹۰۰ درجه بدست آورید و سپس منحنی راکتیویته را برحسب دما رسم نمایید.
- ۴- مقادیر پیک توان محوری، شعاعی و کل را برای مثال ۱۰-۶ بدست آورید.
- ۵- توزیع محوری و شعاعی شار نوترون‌های حرارتی، فوق حرارتی و سریع را برای مثال ۱۰-۶ بدست آورید.

۱۱ چند مثال کاربردی

۱- یک چشمه نقطه‌ای نوترون با انرژی ۲ MeV در مرکز یک کره به شعاع ۱۰cm در نظر بگیرید. اگر داخل کره از آب سبک، آب سنگین و یا گرافیت پر شده باشد، آنگاه انرژی متوسط نوترون و فوتون خروجی از سطح کره را محاسبه نمایید.

حل) هندسه مسئله بسیار ساده و شامل تنها یک سطح کروی و دو سلول درون و بیرون کره است. بیرون کره خلاء و داخل کره را هر بار با یکی از مواد مورد نظر پر می‌کنیم. چشمه نقطه‌ای نوترون را در مبداء مختصات و مرکز کره فرض می‌کنیم. انرژی میانگین نوترون از تقسیم نتیجه تالی F11* بر F21 و انرژی میانگین فوتون از تقسیم نتیجه تالی F31* بر F41 بدست می‌آید:

```
1 2 -1.0 -100 imp:n,p=1
2 0 100 imp:n,p=0
```

```
100 so 10
```

```
mode n p
sdef pos=0 0 0 erg=2
F11:n 100
F21:n 100
F31:p 100
F41:p 100
m1 1001 2 8016 1
```

آموزش کد MCNPX ۲۹۲

```
mt1 lwtr.01t
m2 1002 2 8016 1
mt2 hwtr.01t
m3 6012 1
mt3 grph.01t
nps 1e7
```

۲- به کمک کارت FMn، گرمای واکنش $^{10}\text{B}(n,\alpha)^7\text{Li}$ را محاسبه کنید.

حل) ابتدا باید یک هندسه ساده شامل چشمه نوترون در نظر بگیریم. مثال فوق برای این کار مناسب است. اکنون با استفاده از کارت‌های F4 و FM4 نرخ واکنش و نیز حاصلضرب نرخ واکنش در گرمای واکنش را محاسبه می‌کنیم. از تقسیم این دو خروجی، گرمای واکنش محاسبه می‌گردد.

```
F4:n 1
M4 5010 1
FM4 (1 4 107) $ reaction rate
      (1 4 107 -4) $ Q-value *reaction rate
```

دقت کنید که چون تقسیم دو عدد مورد نظر بوده است لذا عدد اول در هر دو پرانتز برابر یک قرار داده شده است. نتیجه این محاسبات عدد $2/34 \text{ MeV}$ را خواهد داد.

۳- سطح مقطع واکنش $^{10}\text{B}(n,\alpha)^7\text{Li}$ را بر حسب انرژی تا انرژی 1 MeV محاسبه کنید.

حل) این محاسبه با استفاده از کارت FM4 امکان پذیر است. به این ترتیب که در یک برنامه نرخ انجام واکنش و نیز شار را بر حسب انرژی محاسبه می‌کنیم. تقسیم نرخ واکنش بر شار در آن بازه انرژی برابر سطح مقطع واکنش در آن بازه خواهد بود. از هندسه مثال قبل استفاده می‌کنیم:

```
F14:n 1
F24:n 1
M4 5010 1
FM4 (1 4 107) $ reaction rate
E0 1e-7 8i 1e-6 8i 1e-5 8i 1e-4 8i 1e-3 8i 1e-2 8i 1e-1 8i 1
```

۴- یکی از چشمه‌های نوترونی موجود، چشمه فوتونوترونی $^{124}\text{Sb}/\text{Be}$ است. آنتیمونی با

نیمه عمر $60/2$ روز در هر واپاشی گامای پر انرژی $1/691 \text{ MeV}$ و با احتمال $0/47$

گسیل می‌کند که در بر همکنش با برلیوم -۹ منجر به تولید نوترون می‌گردد. یک

چشمه آنتیمونی به صورت استوانه‌ای به طول 6 cm و شعاع $0/42 \text{ cm}$ با فعالیت 1 Ci

در نظر بگیرید. این استوانه را درون یک استوانه از جنس برلیوم به شعاع $5/43 \text{ cm}$ قرار

چند مثال کاربردی ۲۹۳

دهید و انرژی میانگین نوترون خروجی از سطح جانبی استوانه برلیومی را محاسبه نمایید (مرجع [۸] را ببینید).

حل) هندسه مسئله شامل دو لایه استوانه‌ای است. جهت در نظر گرفتن اثر فوتونوترونی از کارت Phys:p استفاده می‌کنیم. کل استوانه آنتیمونی به عنوان یک چشمه حجمی همگن فرض شده است. از کارت MX1 برای در نظر گرفتن مدل برای برلیوم استفاده شده است. از آنجا که وزن اتمی آنتیمونی در فایل Xsdir موجود نیست، از کارت awtab برای تعریف وزن اتمی آن استفاده می‌شود. از تقسیم خروجی تالی ۳۱ بر تالی ۱۱ انرژی میانگین نوترون محاسبه می‌گردد.

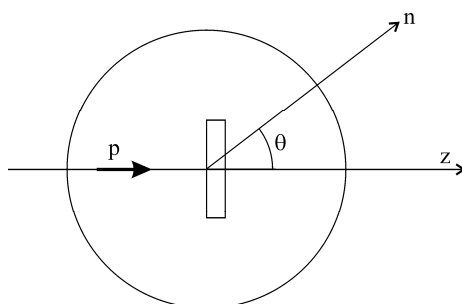
```
1 2 -6.697      -1      imp:n,p=1
2 1 -1.2        1 -2     imp:n,p=1
4 0              2      imp:n,p=0

1 RCC -3 0 0 6 0 0 0.43
2 RCC -3 0 0 6 0 0 5.43

sdef par=2  axs=1 0 0 ext=d1 rad=d2 erg=1.691
si1 -3 3
sp1 0 1
si2 0 0.43
sp2 0 1
mode p n
m1 4009 1 $ 9Be
mx1:p 4009
fm11 1.74E+10 $ 3.7e10 * 0.47 (A(Bq)*B.ratio)
nps 1e8
phys:p 1000 j j 1 j j
m2 51124 1 $ 124Sb
awtab 51124 123.90
F11:n 2.1
*F31:n 2.1
```

۵- باریکه‌ای از پروتون‌های ۳ MeV با شدت جریان ۰/۲ mA را در نظر بگیرید که روی هدف لیتیومی به شعاع ۱ cm و ضخامت ۲ mm تابیده می‌شود. توزیع فضایی و انرژی نوترون‌های تولیدی را محاسبه نمایید.

آموزش کد MCNPX ۲۹۴



الف) فایل ورودی برنامه را در پایین مشاهده نمایید:

```
1 0 10 imp:n,h=0
2 0 -10 20 imp:n,h =1
3 11 -0.534 -20 imp:n,h =1
```

```
10 so 5
20 rcc 0 0 0 0 0 0.2 1
```

```
Mode n h
Sdef par=9 erg=3 pos=0 0 -1 vec=0 0 1 dir=1
F1:n 20
FT1 FRV 0 0 1
FM1 3.34e15
Nps 1e5
print
```

برای محاسبه توزیع انرژی و زاویه‌ای نوترون‌ها از تالی F1 و کارت‌های C1 برای تقسیم‌بندی زاویه و E1 برای تقسیم‌بندی انرژی استفاده می‌کنیم. برای تعیین توزیع زاویه‌ای نسبت به جهت باریکه فرودی، از کارت FT1 و پارامتر FRV استفاده می‌کنیم:

```
FT1 FRV 0 0 1
```

جهت بهنجار کردن نتایج، خروجی را به کمک کارت FM1 در عدد $3/34 \times 10^{15}$ ضرب می‌کنیم (بخش ۸-۷-۲ را ببینید).

۶- یک چشمه نقطه‌ای ^{60}Co به قدرت یک کوری در نظر بگیرید: الف) اگر چشمه در محیط آب قرار داشته باشد، آهنگ دز در فاصله یک متری چشمه چقدر است؟

ب) اگر چشمه درون هوا باشد و با یک حفاظ آلومینیومی به ضخامت یک میلیمتر پوشیده شده باشد، آهنگ دز در فاصله یک متری چقدر است؟

چند مثال کاربردی ۲۹۵

ج) اگر چشمه درون یک ظرف سربی نگهداری شود، ضخامت ظرف چقدر باشد تا آهنگ دز در سطح آن $2/5 \text{ mrem/h}$ گردد؟

الف) برای محاسبه آهنگ دز از ضرایب تبدیل شار به دز استفاده می‌کنیم که در زیر آمده است.

الف) فایل ورودی برنامه به صورت زیر است:

```
1 0 10      imp:p=0
2 1 -1 -10 30 imp:p=1
3 1 -1 -30   imp:p=1
```

```
10 so 120
30 sx 100 2
```

```
Mode p
Sdef par=2 erg=d1
Si1 1 1.17 1.33
Sp1 1 1
F4:p 4
DF4 iu=1 fac=1 INT=log IC=10 $ (rem/h)
FM4 7.4e10
Nps 1e5
print
```

برای محاسبه آهنگ دز از تالی F4 و توابع استاندارد تبدیل شار به دز استفاده می‌کنیم.

اکنون باید شدت چشمه را اعمال نماییم. چون فعالیت چشمه یک کوری است، لذا در هر ثانیه تعداد $3/7 \times 10^{10}$ واپاشی رخ می‌دهد. همچنین در هر واپاشی ۲ ذره فوتون از چشمه ساطع می‌شود. لذا این چشمه در هر ثانیه $7/4 \times 10^{10}$ فوتون گسیل می‌کند. از کارت FM4 برای ضرب خروجی کد در شدت چشمه به شکل زیر استفاده می‌کنیم:

```
FM4 7.4e10
```

ب) در این قسمت، فقط هندسه سیستم کمی تغییر می‌کند و محاسبات مشابه قسمت (الف) صورت می‌گیرد.

ج) در این قسمت برای یافتن ضخامت بهینه سرب کافی است برنامه را برای ضخامت‌های مختلف سرب تکرار کنیم و در هر بار ضخامت را چند سانتی‌متر افزایش دهیم تا به حد آهنگ دز مورد نظر برسیم.

آموزش کد MCNPX ۲۹۶

۷- باریکه‌ای موازی از نوترون‌های حاصل از شکافت با شار $(n.cm^{-2}.s^{-1}) \times 10^{12} \times 2/5$ به صورت عمود از یک دیسک به شعاع ۵ cm گسیل می‌شود. پولکی از جنس طلا (^{197}Au) با چگالی $19/32 g/cm^3$ ، به شعاع ۱ cm و ضخامت ۱ mm در مقابل این باریکه در نظر بگیرید. پولک به مدت یک ساعت پرتودهی شود: الف) میزان فعالیت ^{198}Au (با نیمه عمر ۲/۷ روز) در زمان پایان پرتودهی چقدر است؟ ب) میزان فعالیت را ۱۰ ساعت پس از پایان پرتودهی محاسبه نمایید.

حل الف) کمیتی که باید محاسبه شود عبارت است از:

$$A(t) = (1 - e^{-\lambda t}) n V S \int \sigma(E) \phi(E) dE$$

که t مدت زمان پرتودهی، n چگالی اتمی طلا، λ ثابت واپاشی ^{198}Au ، V حجم پولک، S شدت چشمه (n/s) ، $\sigma(E)$ سطح مقطع واکنش $^{197}Au(n,\gamma)^{198}Au$ و $\phi(E)$ شار نوترون در محل پولک به ازای یک ذره از چشمه می‌باشد. به جز قسمت انتگرالی، بقیه کمیت‌ها دارای مقادیر ثابتی هستند که می‌توان همه آنها را به عنوان یک ضریب ثابت مانند C در نظر گرفت:

$$\begin{aligned} C &= [(1 - e^{-\lambda t})][n][V][S] \\ &= [1.064E-02][5.907E-02][3.142E-01][7.854E+01 \times 2.500E+12] \\ &= 3.877E10 \end{aligned}$$

قسمت انتگرالی در واقع نرخ واکنش $^{197}Au(n,\gamma)^{198}Au$ است. برای محاسبه این کمیت از کارت FM4 استفاده می‌کنیم:

```
M1 79197 1 $ 197Au
FM4 (3.877E10 1 102)
```

عدد ۱۰۲ شماره مربوط به واکنش (n,γ) است.

ب) این قسمت را به عنوان تمرین حل کنید.

۱-۱۱ تمرین

- ۱- یک چشمه نقطه‌ای نوترون با انرژی ۱ MeV در مرکز کره‌ای به شعاع ۱۰ cm واقع است. مقادیر F_1, F_2, F_4 را روی سطح و داخل کره بدست آورید و با محاسبات تحلیلی مقایسه کنید.
 - ۲- چشمه نقطه‌ای نوترون ۲ MeV در مرکز استوانه‌ای به شعاع ۱۰ cm و ارتفاع ۲۰ cm واقع است. مقدار شار نوترون را روی قاعده‌های پایینی و بالایی به ازای $nps=10,000,000$ بدست آورید.
 - ۳- مسئله ۲ را برای حالتی که استوانه پر از آب باشد به ازای $nps=10,000,000$ حل کرده و مقادیر شار نوترون و گاما را روی دو قاعده بدست آورید.
 - ۴- یک چشمه نوترون ۱ MeV در مرکز کره‌ای از آب به شعاع ۲۰ cm واقع است. طیف انرژی نوترون‌های کند شده را با توجه به تقسیم بندی انرژی زیر در داخل کره بدست آورده و شکل پاسخ را رسم کنید.
- | | | | | | | | | | | |
|---|------|-----|------|----|------|----|------|----|------|----|
| E4 | 1E-9 | 8i | 1E-8 | 8i | 1E-7 | 8i | 1E-6 | 8i | 1E-5 | 20 |
| ۵- در مسئله ۴ طیف پرتوهای گامای تولید شده بر روی سطح کره را برای با توجه به تقسیم بندی انرژی زیر بدست آورده و شکل پاسخ را رسم کنید. | | | | | | | | | | |
| E2 | 0.5 | 59i | 6.5 | | | | | | | |
- مسئله را به ازای چشمه ۱۰ MeV تکرار کنید.
 - ۶- یک چشمه نقطه‌ای گامای ۳ MeV در مرکز کره‌ای آهنی به شعاع ۲۰ cm واقع است. مقدار شار گاما در فاصله ۱۰ سانتیمتری از مرکز کره را با استفاده از تالی‌های F_2, F_4, F_5 محاسبه و نتایج را مقایسه نمایید.
 - ۷- یک چشمه نقطه‌ای بتا با انرژی ۰/۵ MeV در مرکز کره‌ای از سرب به شعاع ۲ mm واقع است. طیف فوتون‌های تولید شده را در سطح کره بدست آورده و شکل پاسخ را رسم کنید. (بازه‌های انرژی را ۱۰ keV انتخاب کنید).
 - ۸- یک چشمه نقطه‌ای نوترون به انرژی ۵ MeV در فاصله ۳۰ cm از مرکز کره‌ای به شعاع ۱۰ cm که با آب پر شده است قرار دارد. مقادیر F_1, F_2, F_4 و F_6 را در حجم و روی سطح کره بدست آورید؟

- ۹- مسئله ۸ را برای کره‌ای از جنس آلومینیوم به شعاع ۲۰ cm تکرار کنید. مقدار شار در فاصله ۱۰ سانتی متری از مرکز کره را بدست آورید؟
- ۱۰- یک چشمه سطحی و یکنواخت گاما به انرژی ۱ MeV به صورت یک دیسک به شعاع ۲۰ cm در نظر بگیرید. دیسک را به ۱۰ ناحیه با ضخامت یکسان تقسیم کنید (برای این کار به ۹ سطح استوانه‌ای نیاز دارید). توزیع مکانی ذرات تولید شده را بدست آورید؟
- ۱۱- یک مکعب به ضلع ۱۵ cm از جنس آب در نظر بگیرید. باریکه‌ای از پروتون‌های ۱۰۰ MeV در فاصله یک سانتی متری یکی از وجوه مکعب فرض کنید که عمود بر آن به مکعب می‌تابد. محل قله براگ را بدست آورید. (این یک مثال از کاربرد کد در پروتون تراپی است).
- ۱۲- تولید مولیبدن-۹۹ از واکنش شکافت، یکی از رویکردهای جدید برای تولید این رادیوایزوتوپ استراتژیک است. صفحه‌ای از جنس اکسید اورانیوم با غنای ۲۰ درصد را در مقابل باریکه‌ای از نوترون‌های شکافت با شدت 10^{13} (n/s) در نظر بگیرید. اگر این صفحه به مدت هفت ساعت پرتودهی شود، چند گرم مولیبدن-۹۹ حاصل از شکافت تولید خواهد شد؟ ضخامت صفحه را یک میلی‌متر و طول و عرض آن را ۱۰ سانتی‌متر فرض کنید.
- ۱۳- الف) یک چشمه گامای ۲ MeV و یک آشکارساز استوانه‌ای به شعاع ۲ cm و ارتفاع ۴ cm در راستای محور X در نظر بگیرید. مقدار فاکتور هندسی را در حالت‌های زیر محاسبه کنید: الف) چشمه نقطه‌ای در مبدأ مختصات و در فاصله ۳۰ سانتی‌متری از آشکارساز، ب) چشمه خطی به طول ۳۰ cm و در فاصله ۱۰ سانتی‌متری از چشمه و هم محور با آن، ج) چشمه حجمی استوانه‌ای هم محور با آشکارساز و در فاصله ۸ سانتی‌متری از آن و به شعاع ۱۵ cm و ارتفاع ۱۰ cm. منظور از فاکتور هندسی، نسبت پرتوهای رسیده به آشکارساز به پرتوهای گسیلی از چشمه می‌باشد.
- ۱۴- فرض کنید یک آشکارساز BF_3 به شکل استوانه‌ای به قطر ۴ cm و ارتفاع ۳۰ cm با گازی در فشار ۱ atm پر شده است. چگالی این گاز $3/67 \text{ g/cm}^3$ می‌باشد. نرخ واکنش $^{10}B(n,\alpha)^7Li$ را برای نوترون‌های با انرژی ۲ MeV بدست آورید؟

۱۲ دستوره‌های رسم

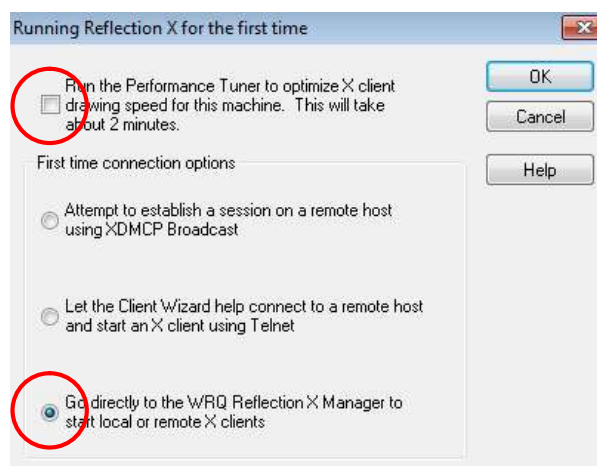
۱-۱۲ رسم با استفاده از رابط گرافیکی

نسخه X به تنهایی هیچگونه قابلیت گرافیکی ندارد. برای رسم و نمایش هندسه، نتایج خروجی و غیره باید از نرم‌افزارهای گرافیکی رابط، مانند Reflection استفاده کنیم. جهت استفاده از این رابط گرافیکی، با نوشتن خط دستور زیر در خط اول بچ فایل اجرای برنامه، این نرم‌افزار را به کد پیوند دهیم:

```
set display=localhost:0  
mcnpx ip i=filename
```

نکته مهم اینکه قبل از اجرای بچ فایل باید برنامه ReflectionX را اجرا کنیم و پنجره آن را باز نگه داریم. نصب نرم‌افزار Reflection بسیار ساده است. مسیر نصب را طی نمایید. در مرحله‌ای که از شما نوع نصب را می‌خواهد باید نوع costum را انتخاب نمایید.

پس از نصب، هنگامی که ReflectionX را برای اولین بار اجرا می‌کنید در پنجره باز شده، تنها گزینه آخر را تیک بزنید.



نرم افزار دیگری که از قابلیت های بیشتری برخوردار است، نرم افزار Visual editor است. از مهمترین قابلیت های می توان به موارد زیر اشاره نمود:

- ۱- امکان نمایش هندسه در دو صفحه مختلف به صورت هم زمان
- ۲- امکان تغییر زاویه دید و انتقال مبدا به سادگی
- ۳- امکان نمایش سه بعدی از هندسه
- ۴- امکان انتقال هندسه از نرم افزار Autocad و تبدیل آن به فایل ورودی کد
- ۵- امکان نمایش ذرات چشمه از نظر توزیع مکانی و انرژی و موارد بسیار دیگر.

آموزش استفاده از این نرم افزار خارج از موضوع این کتاب است. ضمن اینکه یادگیری و استفاده از آن بسیار ساده است. برای آشنایی با این نرم افزار مرجع [۴] را ببینید و یا به وبسایت آن^۱ مراجعه نمایید.

۱۲-۲ رسم بدون استفاده از رابط گرافیکی

جهت رسم بدون استفاده از نرم افزارها و رابط های گرافیکی، از کارت notek در خط اجرای برنامه استفاده می کنیم:

MCNPX ip i=input.i notek

با اجرای این دستور، پنجره ورود دستورات رسم باز می شود و کاربر می تواند از تمام قابلیت های رسم کد استفاده نماید، اما پنجره ای برای نمایش هندسه، تالی و غیره باز

^۱ <http://www.mcnpvised.com>

دستورهای رسم ۳۰۱

نمی‌شود، بلکه تمام مواد مورد نظر در یک فایل با پسوند ps. که قابل تبدیل به فایل pdf است، ذخیره می‌شود. این فایل در شاخه اصلی کد تولید می‌شود. این قابلیت در مواردی که هندسه بسیار پیچیده است، مثلاً هندسه‌های تکراری با شبکه‌بندی‌های ریز، بسیار مفید خواهد بود.

۱۲-۳ قابلیت‌های رسم

هفت نوع قابلیت رسم در کد وجود دارد:

- ۱- رسم هندسه
- ۲- رسم نمودار سطح مقطع‌ها
- ۳- رسم نتایج تالی‌های معمولی
- ۴- رسم نتایج مش تالی
- ۵- رسم نتایج تالی رادیوگرافی
- ۶- رسم kcode
- ۷- رسم پارامترهای آماری (TFC)

۱۲-۳-۱ رسم هندسه

برای رسم هندسه، برنامه را با دستور زیر اجرا می‌کنیم:

ip i=filename

- برای نمایش هندسه در یک صفحه مختصات خاص، مثلاً در صفحه xy دستور $pz=0$ را وارد کرده و enter می‌کنیم. با این دستور هندسه سیستم از نقطه $z=0$ برش خورده و از همان مقطع نمایش داده می‌شود.
- با کارت origin یا or می‌توانیم برای جابه‌جا کردن مبدا مختصات و حرکت در صفحه نمایش استفاده کنیم:

Or X_0 Y_0 Z_0

- با کارت extent یا ex می‌توانیم پنجره نمایش هندسه را کوچک یا بزرگ کنیم:
- ex H V
- با این کارت هندسه سیستم در یک پنجره به ابعاد $2V \times 2H$ که مرکز آن در مبدا است نمایش داده می‌شود. اگر تنها H را وارد کنیم، پنجره نمایش مربعی به ضلع $2H$ می‌شود.

آموزش کد MCNPX ۳۰۲

- با کارت label یا lab می‌توانیم شماره سطوح، شماره سلول‌ها، شماره ماده در هر سلول، چگالی ماده در هر سلول و ... را نمایش دهیم:

1a S C DES

نمادهای S و C به طور کلی اعداد صفر و یک می‌گیرند، S مربوط به نمایش شماره سطوح و C مربوط به نمایش شماره سلول است (صفر برای عدم نمایش). برای نمایش شماره ماده در هر سلول و ... باید پارامتر DES را وارد کنیم که مقادیر مختلفی می‌گیرد. مثلاً برای نمایش شماره ماده در هر سلول به جای DES مقدار MAT را وارد می‌کنیم:

1a 0 1 MAT

به جای DES می‌توان مقادیر زیر را وارد کرد:

شمار سلول (پیش فرض) CEL

اهمیت نوترون در هر سلول IMP:n

شماره ماده MAT

چگالی جرمی سلول RHO

چگالی اتمی سلول DEN

حجم سلول VOL

جرم سلول MAS

- برای چرخاندن هندسه نمایش داده شده از کارت THETA استفاده می‌کنیم:
THETA 0

0 زاویه دوران برحسب درجه است.

- برای کوچک و بزرگ کردن هندسه نمایش داده شده از کارت FACTOR استفاده می‌کنیم:

FACTOR F

با این کارت هندسه 1/F برابر می‌شود.

- برای نمایش محورهای مختصات در لبه‌های صفحه نمایش از کارت Scales استفاده می‌کنیم:

Scales 1 درج محورهای مختصات

Scales 2 درج محورهای مختصات و خطوط شبکه

Scales 0 (حذف محورها)

دستورهای رسم ۳۰۳

- کارت مهم دیگری که وجود دارد، کارت File است. با این کارت می‌توانیم هندسه نمایش داده شده را به صورت یک فایل با پسوند ps. (که قابلیت تبدیل به فایل pdf را دارد) بسازیم. این فایل در شاخه اصلی کد تولید می‌شود:

File نمایش، فعلی، ذخیره می‌شود

File All نمایش فعلی و تمام نمایش‌های بعدی ذخیره می‌شود

File none نمایش فعلی و هیچ نمایش دیگری ذخیره نمی شود

- در صورت استفاده از کارت help یا علامت سؤال (؟) پارامترهای قابل استفاده در رسم هندسه به صورت فهرست نمایش داده می‌شود.

۱۲-۳-۲ رسم سطح مقطع واکنش‌ها

برای رسم سطح مقطع واکنش‌ها، برنامه را با دستور زیر اجرا می‌کنیم:

```
Ixz i=filename
```

سیس دستور زیر را وارد می‌نمایم:

$$XS=M$$

که پارامتر M می‌تواند، Mn (که n شماره ماده مورد نظر است که در ورودی تعریف شده است) یا ZAI یک ایزوتوپ خاص باشد.

برای رسم سطح مقطع یک واکنش خاص، شماره آن واکنش را با دستور زیر وارد می‌کنیم:

$$MT=n$$

که n شماره واکنش تعریف شده برای کد است (جدول ۷-۱).

می‌توانیم نوع ذره واکنش‌دهنده را نیز مشخص کنیم:

$$\text{PAR}=n \cup \text{PAR}=p$$

می‌توانیم چند سطح مقطع را با دستور Coplot یا Cop در یک نمودار رسم کنیم
برای مثال:

XS 1001.60c cop xs 8016.60

برای ذخیره کردن نمودار رسم شده در یک فایل با پسوند ps. دستور File را وارد می‌کنیم.

آموزش کد MCNPX ۳۰۴

دستورهای مربوط به محورهای مختصات و صفحه نمایش که می‌توان هم در رسم سطح مقطع واکنش‌ها و هم در رسم تالی‌ها استفاده کرد، در جدول ۱۲-۱ آمده است.

جدول ۱۲-۱ دستورهای رسم مشترک

File	ذخیره نمودار رسم شده در فایل ps.
	نمایش محورهای مختصات در لبه‌های صفحه نمایش و شبکه‌بندی آن
Scales n	n=۱ نمایش محورها n=۲ نمایش محورها و شبکه‌بندی صفحه n=۰ حذف محورها و خطوط شبکه
linlin	محور X خطی، محور Y خطی
linlog	محور X خطی، محور Y لگاریتمی
loglin	محور X لگاریتمی، محور Y خطی
loglog	محور X لگاریتمی، محور Y لگاریتمی
xlims xmin xmax nsteps	محدوده نمایش و بازه درج اعداد روی محورها
ylims ymin ymax nsteps	nsteps فقط برای محورهای خطی
BAR NOERR	نمایش یا عدم نمایش خطا روی نمودارهای تالی
TiTitle n "aa"	درج عنوان برای نمودار و محورها
XTiTitle "aa"	۲ یا n=۱ شماره خطی است که عنوان درج می‌شود.
YTiTitle "aa"	درج عنوان نمودار در زیر آن
Below	
Lable "aa"	درج برچسب برای نمودارها
FACTOR a f s	ضرب اعداد محور a (X یا Y) در عدد f و جمع نتیجه با عدد s

۱۲-۳-۳ رسم تالی‌های معمولی

اگر خروجی بر حسب انرژی، سلول، سطح، زاویه و ... تقسیم‌بندی شده باشد می‌توان خروجی را بدون انتقال (به مثلاً اکسل) در همان محیط کد رسم و نمودار را درون یک فایل ps. ذخیره کرد.

دستورهای رسم ۳۰۵

به دو صورت می‌توان خروجی را رسم کرد:

۱- همزمان با اجرای برنامه.

۲- پس از اجرای کامل برنامه.

۱۲-۳-۱ رسم خروجی همزمان با اجرای برنامه

به دو صورت می‌توان خروجی را همزمان با اجرای برنامه رسم کرد، یا با متوقف

کردن موقت برنامه و یا با نوشتن دستور رسم در فایل ورودی.

دستور رسم تالی در فایل ورودی برنامه به صورت زیر نوشته شود:

Mplot tally n free x

با این کارت نمودار تالی شماره n برحسب متغیر x همزمان با اجرای برنامه نمایش

داده می‌شود. در جدول ۱۲-۲ برخی مقادیری که پارامتر x می‌تواند داشته باشد آمده است.

جدول ۱۲-۲ برخی مقادیر مختلف x در کارت Mplot

X	توضیح
F	سلول، سطح، آشکارساز
E	انرژی
C	کسینوس زاویه
T	زمان
S	تقسیم‌بندی با کارت SFn
U	تقسیم‌بندی با کارت FMn

نمودار تالی مورد نظر به ازای هر ۵۰۰۰ تاریخچه به صورت متوالی رسم می‌شود. با

نوشتن دستور زیر در ادامه کارت Mplot می‌توان فاصله بین نمایش نمودار تالی را تغییر داد:

Freq n

که n تعداد تاریخچه‌های مورد نظر است. مثلاً اگر n برابر ۱۰۰۰۰ باشد، نمایش

نمودار تالی به ازای هر ۱۰۰۰۰ تاریخچه صورت می‌گیرد. می‌توانیم به جای تاریخچه‌ها،

زمان را نیز وارد کنیم، برای این کار دوره زمانی مورد نظر را به صورت یک عدد منفی

آموزش کد MCNPX ۳۰۶

وارد می‌کنیم. دستور زیر نمودار تالی مورد نظر را به ازای هر یک دقیقه، نمایش می‌دهد:

Freq -1

فرض کنید یک تالی در چند سلول و با تقسیم‌بندی انرژی محاسبه می‌شود. می‌توانیم تالی را در یک سلول خاص برحسب انرژی رسم کرد و یا به ازای یک انرژی خاص بر حسب سلول‌ها. برای این کار از دستور زیر در ادامه کارت Mplot استفاده می‌کنیم:

Fixed q n

یعنی تالی را در قسمت nام پارامتر q رسم کن! در مثال زیر تالی، F4 در ۴ سلول و برحسب ۵ گروه انرژی محاسبه می‌شود:

F4:n 1 4 7 3

E4 0.2 0.5 1 10 15

با کارت زیر می‌توان مقدار تالی در بازه گروه سوم (۰/۵-۱ MeV) را برحسب سلول رسم کرد:

Mplot tally 4 free f fixed e 3

یا تالی را در سلول دوم (سلول ۴) برحسب انرژی رسم کرد:

Mplot tally 4 free e fixed f 2

برای رسم دو یا چند تالی در یک نمودار از دستور coplot یا cop استفاده می‌کنیم:

Mplot tally 4 free f cop tally 6

Mplot tally 4 free f fixed e 2 cop fixed e 3

نکته: وقتی تالی برحسب انرژی رسم می‌شود، مقدار نمایش داده شده به صورت tally/MeV است، یعنی مقدار تالی بر بازه انرژی تقسیم شده و سپس نمایش داده می‌شود، همچنین هنگامی که برحسب کسینوس زاویه رسم می‌شود به صورت tally/Stradian نمایش داده می‌شود.

۱۲-۳-۲ رسم خروجی با متوقف کردن موقت برنامه

درحالی که برنامه در حال اجراست، با کلیدهای ctrl+c برنامه متوقف و منتظر ورود اطلاعات می‌شود. در این حالت اگر حرف s را وارد کنیم، تعداد تاریخچه‌ها، مدت زمان اجرای برنامه و به طور کلی اطلاعات مربوط به حالت فعلی برنامه نمایش داده می‌شود. اگر حرف m را وارد کنیم به حالت mcplot می‌رویم و می‌توان از امکانات و دستورات رسم خروجی که در بخش قبل گفته شد استفاده کرد. با وارد کردن حرف q برنامه با

دستورهای رسم ۳۰۷

ذخیره کردن خروجی تا همان تاریخچه خاص پایان می‌یابد و با وارد کردن حرف k برنامه با پاک کردن خروجی پایان می‌یابد.

۱۲-۳-۳ رسم خروجی پس از اجرای کامل برنامه

پس از اجرای کامل برنامه، یک فایل با نام پیش فرض runtpe تولید می‌شود که به کمک آن می‌توان به صفحه mcplot رفت. برای این کار برنامه را با دستور زیر اجرا می‌کنیم:

```
iz r=runtpe
```

با نمایش صفحه mcplot می‌توان از قابلیت‌ها و دستورهای رسم خروجی استفاده نمود.

۱۲-۳-۴ رسم مش تالی

رسم نتایج مش تالی به دو صورت امکان پذیر است. یکی با استفاده از فایل mdata و تبدیل آن به ساختار دلخواه با استفاده از کد gridconv (بخش ۶-۴-۵ را ببینید) و سپس رسم نتایج توسط نرم‌افزارهای مناسب مانند Origin، MATLAB و غیره. روش دیگر، رسم نتایج به کمک فایل runtpe و نرم‌افزار Reflection به صورت مش‌بندی شده روی هندسه مسئله است. برای این کار از فایل runtpe مسئله پس از اجرای برنامه استفاده می‌کنیم. همانطور که اشاره شد نرم‌افزار گرافیکی مرتبط با نسخه X نرم‌افزار reflection است که باید به کمک بچ فایل، آن را فراخوانی نمود (بخش ۱۲-۱ را ببینید). بچ فایل مربوط به رسم و اجرای کد را باز می‌کنیم و دستور زیر را در آن می‌نویسیم و سپس فایل را ذخیره می‌کنیم:

```
MCNPX Z r=runtpe
```

اکنون نرم‌افزار reflection را باز می‌کنیم. سپس بچ فایل را اجرا می‌کنیم و در پنجره باز شده، دستور plot را وارد می‌کنیم. در ادامه برای رسم نتایج مش تالی دستورهای زیر را وارد می‌نماییم:

```
Plot> la 0 1 taln color on la 0 0
```

که n شماره مش تالی مورد نظر است. با این کار نتایج مش تالی روی هندسه مسئله نمایش داده می‌شود. می‌توان با دستورهای px و غیره نتایج را از زوایای مختلف مشاهده نمود.

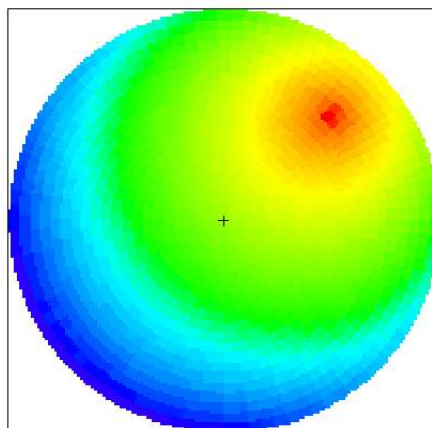
۳۰۸ آموزش کد MCNPX

مثال ۱۲-۱) به عنوان یک مثال ساده، مسئله زیر را در نظر بگیرید. یک مکعب شامل آب به ضلع ۲۰ سانتی‌متر که یک چشمه نوترونی 1eV در مختصات (۵، ۵، ۰) درون آن قرار دارد. به کمک مش‌تالی نوع ۱ شار در نقاط مختلف هندسه محاسبه می‌شود. نوع مش‌بندی کروی است. نتایج این محاسبات در شکل زیر نشان داده شده است.

```
11 1 -1 -100 imp:n,p=1
12 0 100 imp:n,p=0

100 RPP -10 10 -10 10 -10 10

Mode n p
Sdef pos=5 5 0 erg=1e-6
M1 1001 2 8016 1
Tmesh
Smesh11:n flux
Cora11 0 20i 10
Corb11 180
Corc11 1 98i 360
Endmd
Nps 1e6
```



۱۲-۳-۵ رسم تالی رادیوگرافی

رسم نتایج تالی رادیوگرافی نیز به دو صورت امکان پذیر است. یک روش، تبدیل فایل metal به ساختار دلخواه با استفاده از کد gridconv و سپس رسم نتایج توسط نرم‌افزارهای مناسب مانند Origin، MATLAB و غیره است. روش دیگر، رسم نتایج به کمک فایل runtpe و نرم‌افزار Reflection است. به این منظور، بچ فایل مربوط به رسم و

دستورهای رسم ۳۰۹

اجرای کد را باز می‌کنیم و دستور زیر را در آن می‌نویسیم و سپس فایل را ذخیره می‌کنیم:

MCNPX Z r=runtpc

اکنون نرم‌افزار Reflection را باز و بچ فایل را اجرا می‌کنیم و در پنجره باز شده دستور زیر را می‌نویسیم:

Free sc

مثال ۱۲-۲) مسئله زیر یک نمونه از رسم تالی رادیوگرافی را نشان می‌دهد:

Radiography Tally

1 5 -25.0 -1 4 5 imp:p=1

2 0 1 -2 imp:p=1

3 0 2 imp:p=0

4 0 -4 imp:p=1

5 0 -5 imp:p=1

1 RCC 0 0 0 0 0 1 4

2 RPP -30 30 -30 30 -30 30

4 s 3 0 0.5 0.4

5 RPP -1 1 -1 1 0.1 0.8

mode p

nps 100 5

sdef pos=0 0 -20 axs=0 0 1 rad=d1 ext=0 vec=0 0 1 dir=d2

erg=6

si1 0 0.1

sp1 -21 1

si2 -1 1

sp2 -21 1

m5 92238 1

print

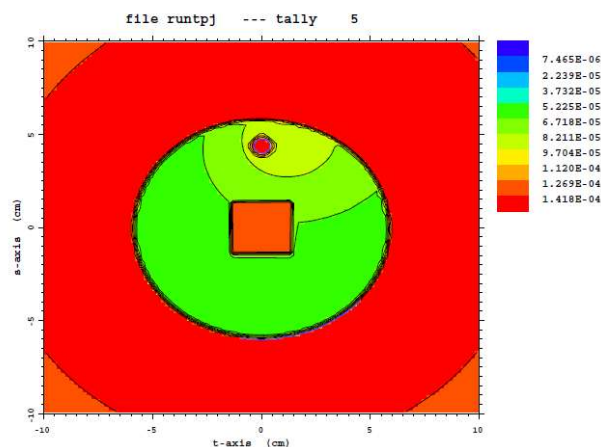
prtmp 2j 1

tir5:p 0 0 10 0 0 0 -100 0 100 0

fs5 -10. 99i 10.

c5 -10. 99i 10.

۳۱۰ آموزش کد MCNPX



۱۲-۳-۶ رسم kcode

برای رسم kcode از کارت زیر در فایل ورودی استفاده می‌کنیم.

Mplot kcode i

که مقادیر مختلف i عبارتند از:

- 1 k (collision)
- 2 k (absorption)
- 3 k (track)
- 4 prompt removal lifetime (collision)
- 5 prompt removal lifetime (absorption)
- 11-15 the quantity corresponding to i-10, averaged over the cycles so far in the problem
- 16 average col / abs / trk-len k_{eff} and one estimated standard deviation
- 17 average col / abs / trk-len k_{eff} and one estimated standard deviation by cycle skipped. Can not plot fewer than 10 active cycles
- 18 average col / abs / trk-len k_{eff} figure of merit
- 19 average col / abs / trk-len k_{eff} relative error

۱۲-۳-۷ رسم پارامترهای آماری TFC

برای رسم پارامترهای آماری برحسب NPS از تعریف زیر در فایل ورودی استفاده

می‌کنیم:

Mplot TFC x

دستورهای رسم ۳۱۱

که x می‌تواند مقادیر زیر را داشته باشد:

M	mean
E	relative error
F	figure of merit
L	201 largest tallies vs. x (NONORM of frequency vs x)
N	cumulative number fraction of $f(x)$ vs x
P	probability $f(x)$ vs x (NONORM for number frequency vs x)
S	SLOPE of the high tallies as a function of NPS
T	cumulative tally fraction of $f(x)$ vs x
V	VOV as a function of NPS
1-8	1 to 8 moments of $f(x) * x^{1to8}$ vs x (NONORM for $f(x) * \Delta x * x^{1to8}$ vs x)
1c-8c	1 to 8 cumulative moments of $f(x) * x^{1to8}$ vs x

این مقادیر برای اولین تالی نوشته شده رسم می‌گردد و در صورتی که به صفحه mplot برویم می‌توانیم برای تک‌تک تالی‌ها این پارامترها را رسم کنیم. برای این کار باید ابتدا تالی را رسم کنیم و سپس با دستور TFC پارامترهای آماری برای آن تالی را رسم نماییم.

۱۳ مراجع

1. Briesmeister, Judith F. MCNP4C--A general Monte Carlo code for neutron and photon transport. Los Alamos National Laboratory, 1986.
2. McConn Jr, R. J., et al. "Compendium of material composition data for radiation transport modeling." PNNL-15870 Rev 1.4 (2011).
3. 2. B. P. Denise, MCNPX User's Manual Version 2.6.0, Los Alamos National Laboratory, LA-CP-07-1473, 2008.
4. Schwarz, A. L., R. A. Schwarz, and L. L. Carter. "MCNP/MCNPX Visual Editor Computer Code Manual." Released February (2008).
5. Hendriks, P. H. G. M., Marko Maučec, and R. J. De Meijer. "MCNP modelling of scintillation-detector γ -ray spectra from natural radionuclides." Applied Radiation and Isotopes 57.3 (2002): 449-457.
6. Booth, Thomas Edward. Sample problem for variance reduction in MCNP. No. LA-10363-MS. Los Alamos National Lab., NM (USA), 1985.
7. Brown, Forrest B. "The makxsf Code with Doppler Broadening." Los Alamos National Laboratory (2006).
8. Fantidis, J. G., G. E. Nicolaou, and N. F. Tsagas. "A transportable neutron radiography system based on a SbBe neutron source." Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment 606.3 (2009): 806-810.

۱۴ نمایه

Cmn.....	۱۷۲
Cn.....	۱۷۲, ۱۷۱, ۱۵۶, ۱۵۵, ۱۵۴, ۱۳۵
COL.....	۱۲۳, ۱۲۲
Comout	۱۸, ۱۷
Continue.....	۲۲۸
Coplot.....	۳۰۳
CTME	۲۵۸, ۲۰۸, ۲۰۶, ۲۰۵, ۲۰۳, ۵ ۲۵۹
CUT	۲۵۸, ۲۵۶, ۲۴۱, ۲۴۰, ۲۳۹, ۲۰۵ ۲۶۶, ۲۶۵, ۲۶۳, ۲۶۱, ۲۶۰, ۲۵۹
CZ	۵۷, ۵۶, ۵۴, ۵۲, ۴۰, ۳۱, ۲۸, ۲۷ ۷۲
D	
Datapath	۱۲
Decode	۱۹
Den	۱۷۷, ۱۷۶, ۱۲
Dfn	۱۷۷, ۱۷۶, ۱۲
Dgb	۱۹۶, ۱۹۴
DIR	۲۶۵, ۱۱۱, ۱۰۴, ۱۰۲
DMMP	۱۸۶
Dnb	۱۹۱

A

ACE.....	۹۷
ARA	۱۰۲
ARB	۵۰, ۴۹, ۴۸
Autocad	۳۰۰

B

Bad Character	۲۳۲, ۱۱
Bad Trouble.....	۲۳۲, ۲۲۹, ۱۱
BAR	۳۰۴
Basis.....	۷۹
Bnum	۱۹۷, ۱۹۶
BOPT	۲۸۶, ۲۳۳, ۱۶۴, ۱۶۳, ۱۶۰
BOX.....	۴۲, ۴۱, ۴۰
BURN,	۱۶۴, ۱۶۳, ۱۶۰, ۱۵۷, ۱۵۶, ۱۱ ۲۸۶, ۲۸۵, ۲۳۳, ۱۸۹

C

CCC.....	۱۰۵, ۱۰۴, ۱۰۲
CEL	۳۰۲, ۱۲۲, ۱۲۱, ۱۱۶, ۱۰۲
Cfn	۱۸۲
Cmesh.....	۱۴۷

File ۳۰۴, ۳۰۳
 Fill ۲۳۴, ۶۸, ۵۸, ۵۷
 Fism ۱۹۳, ۱۹۱
 Fixed ۳۰۶
 Fmn, ۲۱۲, ۱۷۱, ۱۷۰, ۱۶۷, ۱۶۶, ۱۵۰
 ۲۷۴, ۲۷۳
 Fqn ۱۷۴, ۱۷۳
 Freq ۳۰۶, ۳۰۵
 FRV ۲۹۴, ۱۷۹, ۱۷۸
 Fsn., ۱۸۳, ۱۵۶, ۱۵۵, ۱۵۴, ۱۳۷, ۱۳۵
 ۲۷۸, ۱۸۴
 Ftn ۱۷۹, ۱۷۸, ۱۷۲, ۱۳۶
G
 GEB ۱۷۹, ۱۷۸
 GQ ۲۹
 Gridconv ۳۰۸, ۳۰۷, ۱۵۱, ۱۴۶
H
 HEX ۷۲, ۴۴, ۴۳, ۴۲
 Hlib ۹۲
I
 Ibad ۱۹۷, ۱۹۶
 Ic ۲۴۷, ۱۴۹
 Ides ۱۹۶, ۱۹۴
 IE ۲۴۷
 IKZ ۱۲۰, ۱۱۹
 Illegal Entry ۲۳۰
 Imp ۲۱۷, ۲۱۲, ۲۱۱, ۲۰۴, ۲۰۳
 INT ۲۹۵, ۱۷۸, ۱۷۷
 Iphot ۱۹۷, ۱۹۶

Dose ۱۷۳, ۱۴۹
 Dsn ۱۱۵, ۱۱۴, ۱۱۳
 DXT ۲۶۶, ۲۶۴, ۲۵۶, ۲۵۵, ۲۴۷
 DXTRAN ۲۶۶, ۲۵۵, ۲۰۹, ۵
E
 Ean ۱۹۹, ۱۹۱
 ELC ۱۷۹
 Elib ۹۲
 ELL ۴۷, ۴۶
 ELPT ۲۴۱, ۲۴۰
 Emax ۲۰۱, ۱۹۹, ۱۹۶, ۱۹۱
 Emcpf ۱۹۴
 Emn ۱۶۶
 En ۲۷۷, ۱۶۶, ۱۶۵, ۱۳۷, ۱۳۵
 Encode ۱۹
 Endmd ۳۰۸, ۱۴۷
 Enum ۱۹۸, ۱۹۶
 ERG, ۲۵۸, ۱۸۰, ۱۱۳, ۱۱۱, ۱۰۹, ۱۰۲
 ۲۶۵, ۲۶۳, ۲۶۱, ۲۶۰, ۲۵۹
 Ergshn ۱۵۰
 ESPLT ۲۴۵, ۵
 EXT, ۲۵۱, ۲۴۶, ۱۱۶, ۱۱۱, ۱۰۳, ۱۰۲
 ۲۶۶, ۲۶۵, ۲۶۴, ۲۵۲
 Extent ۳۰۱
F
 FAC ۱۷۷
 FACTOR ۳۰۴, ۳۰۲
 FCL ۲۶۶, ۲۶۴, ۲۵۳, ۲۵۲
 Fcn ۱۷۳

MAT ,۱۸۱ ,۱۸۰ ,۱۶۴ ,۱۶۳ ,۱۶۰ ,۶۰
 ۳۰۲ ,۲۸۶
 MATMOD ۲۸۶ ,۱۶۴ ,۱۶۱ ,۱۶۰
 MATVOL ۲۸۶ ,۱۶۴ ,۱۶۳ ,۱۶۰
 Mcplot ۳۰۷ ,۳۰۶
 MCT ۱۸۶
 Mctal ,۲۱۰ ,۱۸۶ ,۱۵۶ ,۱۵۱ ,۱۴۶
 ۳۰۸ ,۲۲۳ ,۲۲۱ ,۲۱۴ ,۲۱۳ ,۲۱۲
 Mdata ۳۰۷ ,۱۵۱ ,۱۴۶
 Message ۱۸
 MFACT ۱۴۹
 Mn ۳۰۳ ,۹۶ ,۹۳ ,۸۶ ,۸۵
 Mode ,۲۱۲ ,۲۱۱ ,۲۰۴ ,۲۰۳ ,۱۳۵ ,۹۲
 ۳۰۸ ,۲۹۵ ,۲۹۴ ,۲۳۳ ,۲۱۷
 MPI ۱۶
 Mplot ۳۱۰ ,۳۰۶ ,۳۰۵
 Mshmf ۱۴۹
 Mxn ۹۶
N
 NDM ۱۸۶
 NDMP ۱۸۶
 Ni ۱۷۲ ,۱۶۵
 NJOY ۹۷
 Nlib ۹۲
 Nlog ۱۶۶ ,۱۶۵
 Nocoh ۱۹۵ ,۱۹۴
 Nodop ۱۹۵ ,۱۹۴
 Noecho ۱۹
 NOERR ۳۰۴
 NONU ۱۸۸

Ispn ۱۹۵ ,۱۹۴
 Istrg ۲۰۱ ,۲۰۰ ,۱۹۹ ,۱۹۷ ,۱۹۶
 It ۲۴۷
 Iu ۱۴۹
 Iunr ۱۹۱
K
 Kcode ,۲۳۳ ,۱۲۲ ,۱۲۱ ,۱۲۰ ,۱۱۹
 ۲۸۳
 KCT ۱۲۰ ,۱۱۹
 KSRC ۲۷۰ ,۱۲۰
 KX ۳۵ ,۳۴ ,۲۹
 KY ۲۹
 KZ ۳۲ ,۲۹
L
 Label ۳۰۲
 Lah150h ۱۶۹ ,۱۶۷
 Lat ... ,۶۹ ,۶۸ ,۶۷ ,۶۶ ,۶۵ ,۶۴ ,۶۳ ,۵۹
 ,۱۲۹ ,۱۱۹ ,۷۷ ,۷۶ ,۷۵ ,۷۲ ,۷۱ ,۷۰
 ۲۸۵ ,۲۸۳ ,۲۸۲ ,۲۳۲ ,۱۴۳
 Legal Data Symbol ۲۳۰
 LIB ۱۲
 Like N But ۱۴۱ ,۵۳
 Linlin ۳۰۴
 Linlog ۳۰۴
 Loglin ۳۰۴
 Loglog ۳۰۴
 Lost Particle ۷۹
M
 MAKXS ۲۷۹ ,۹۷

Pnlib ۹۲
 Popul ۱۴۹
 POS ,۲۵۸ ,۱۱۶ ,۱۱۳ ,۱۰۴ ,۱۰۳ ,۱۰۲
 ۲۶۵ ,۲۶۳ ,۲۶۱ ,۲۶۰ ,۲۵۹
 POWER ۲۸۶ ,۱۶۴ ,۱۶۳ ,۱۶۰
 Prdmp ,۲۱۷ ,۲۱۲ ,۱۸۶ ,۱۵۱ ,۱۴۶
 ۳۰۹ ,۲۸۴
 Print ۲۷۱ ,۱۲۳
 PTY ۱۲۲ ,۱۲۱
 PWT ۲۵۱
 PX .. ۲۳۱ ,۵۷ ,۵۳ ,۵۲ ,۳۵ ,۳۴ ,۳۰ ,۲۷
 PY ۲۵۷ ,۵۷ ,۵۴ ,۳۶ ,۳۰ ,۲۷
 PZ ... ,۵۶ ,۴۰ ,۳۸ ,۳۵ ,۳۲ ,۳۱ ,۳۰ ,۲۷
 ۵۷
R
 RCC ,۷۶ ,۷۳ ,۷۲ ,۶۱ ,۵۳ ,۴۴ ,۴۰ ,۳۹
 ۳۰۹ ,۲۹۳
 READ ۱۸
 Recl ۲۰۰ ,۱۹۹ ,۱۹۳ ,۱۹۱
 Reflection ۳۰۸ ,۳۰۷ ,۲۹۹
 RES ۱۸۰
 RHP ۴۳ ,۴۲
 RKK ۱۲۰ ,۱۱۹
 Rmesh ۱۴۷
 Rnok ۱۹۸ ,۱۹۶
 RPP. ,۷۶ ,۷۳ ,۶۹ ,۶۵ ,۶۴ ,۶۲ ,۴۱ ,۴۰
 ,۲۳۱ ,۲۱۷ ,۲۱۲ ,۲۱۱ ,۱۲۹ ,۱۲۸
 ۳۰۹ ,۳۰۸ ,۲۴۴
 Runtpe ۳
 RXN ۱۸۰

Notek ۳۰۰
 NPD ۱۸۶
 NPS ,۲۰۷ ,۲۰۶ ,۲۰۵ ,۲۰۳ ,۱۸۶ ,۴
 ,۳۱۰ ,۲۳۳ ,۲۲۸ ,۲۲۷ ,۲۱۲ ,۲۰۸
 ۳۱۱
 NRM ۱۰۴ ,۱۰۲
 NSRCK ۱۲۰ ,۱۱۹
 Nsteps ۳۰۴
 Ntal ۲۱۴ ,۱۸۷
 Numb ۱۹۹ ,۱۹۶
 Number Of Entries ۲۳۰

O

OMIT ۲۸۶ ,۱۶۴ ,۱۶۰
 Origin ,۲۶۳ ,۲۶۱ ,۲۶۰ ,۲۵۹ ,۲۵۸ ,۷۹
 ۳۰۸ ,۳۰۷ ,۳۰۱ ,۲۶۵
 Outp ,۲۰۸ ,۱۸۶ ,۱۵۶ ,۱۵۱ ,۱۸ ,۱۷
 ۲۲۹ ,۲۱۶ ,۲۱۴

P

PAR ۳۰۳ ,۱۰۵ ,۱۰۲
 PAR=SF ۱۰۵
 Pedep ۱۴۹
 PERT ۱۸۲ ,۱۸۰
 PFREC ۱۶۴ ,۱۶۳ ,۱۶۰
 Phys
 E ۱۹۹ ,۱۹۶
 H ۲۰۰
 N ۱۹۴ ,۱۹۱
 P ۲۹۳ ,۱۹۴
 Pin ۱۵۴
 Plib ۹۲

Tmesh ۳۰۸ , ۲۷۸ , ۱۴۷
 TMP ۲۷۹ , ۱۹۰ , ۲۶ , ۴
 Tn ۱۳۷ , ۱۳۵
 Too Many Entries ۲۳۱
 TOTNU ۲۷۸ , ۱۸۸
 TRANS ۱۵۰ , ۱۴۸
 TRC ۴۶ , ۴۵
 TRCL ۵۹ , ۵۶ , ۵۵ , ۵۱ , ۴
 Trn ۱۵۰ , ۷۵ , ۵۶ , ۵۵ , ۵۳ , ۵۲ , ۵۱
 TX ۳۰
 TY ۳۰
 TZ ۳۳ , ۳۰

U

U= ۱۴۶ , ۱۴۲ , ۱۱۸ , ۷۴ , ۷۳ , ۵۷

V

Vals ۲۱۵ , ۲۱۴ , ۱۸۷
 VEC ۲۶۵ , ۱۰۴ , ۱۰۲
 Visual Editor ۳۰۰
 VOID ۱۸۹ , ۴
 Vol ۱۳۸ , ۲۵

W

WED ۴۸ , ۴۷
 Weight Window ۲۶۴ , ۲۶۲ , ۲۴۶
 WGT ۲۳۹ , ۱۲۲ , ۱۰۲
 WL ۲۴۶
 WS ۲۴۶
 WU ۲۴۶
 WWE ۲۶۰ , ۲۵۱ , ۲۵۰ , ۲۴۷ , ۵

S

Sbn ۲۶۴ , ۲۵۴
 Sdn ۲۳۱ , ۱۷۳ , ۱۷۲ , ۱۳۸ , ۱۳۷
 Sfn ۱۸۲
 Sin , ۱۱۳ , ۱۱۲ , ۱۱۱ , ۱۱۰ , ۱۰۹ , ۱۲
 ۲۵۴ , ۱۱۶ , ۱۱۵
 Smesh ۱۴۷
 SO ۱۲۹ , ۶۹ , ۳۵ , ۳۰ , ۲۸ , ۲۷ , ۲۶
 SPH ۴۴
 Spn , ۱۱۵ , ۱۱۳ , ۱۱۲ , ۱۱۰ , ۱۰۹ , ۱۲
 ۲۵۴ , ۱۱۶
 SQ ۳۳ , ۳۲ , ۲۹ , ۲۷
 Srctp ۳
 SSR ۱۲۳ , ۱۲۲ , ۱۲۱
 SSW ۱۲۲ , ۱۲۱
 SUR ۱۰۴ , ۱۰۲
 SWTM ۲۴۰ , ۲۳۹

T

Tabl ۱۹۹ , ۱۹۲ , ۱۹۱
 Tally Volumes Or Areas , ۱۳۸ , ۱۳۷
 ۲۳۱ , ۱۷۲
 TFC ۳۱۱ , ۳۱۰ , ۳۰۱ , ۲۰۹
 THETA ۳۰۲
 THTME ۱۹۰ , ۴
 Tien ۱۵۵ , ۱۵۴
 TIME ۲۸۶ , ۲۸۵ , ۱۶۴ , ۱۶۳ , ۱۶۰
 Tim ۱۵۵ , ۱۵۴
 Title ۳۰۴
 TMC ۱۷۸
 TME ۱۱۱ , ۱۰۲

Xnum..... ۱۹۸ , ۱۹۶

XS ۳۰۳ , ۱۲

XSD..... ۹۸

Xsdir ۲۳۰ , ۹۲ , ۱۲

Xtitle ۳۰۴

Y

Ylims ۳۰۴

Ytitle ۳۰۴

Z

ZAID..... ۳۰۳ , ۹۶ , ۹۵ , ۹۴ , ۹۳ , ۹۲ , ۸۵

Zero Lattice Element Hit..... ۲۳۲

WWG , ۲۶۰ , ۲۵۹ , ۲۵۸ , ۲۴۷ , ۲۰۹

۲۶۶ , ۲۶۵ , ۲۶۳ , ۲۶۱

WWGE , ۲۶۲ , ۲۶۱ , ۲۴۹ , ۲۴۸ , ۲۴۷ , ۵

۲۶۶ , ۲۶۵ , ۲۶۳

WWGT ۲۴۸ , ۲۴۷ , ۵

WWN ۲۵۹ , ۲۵۰ , ۲۴۹ , ۲۴۷ , ۲۴۶

WWOUT..... ۲۴۹ , ۲۴۸ , ۲۴۷

WWP , ۲۵۸ , ۲۵۱ , ۲۴۹ , ۲۴۷ , ۲۴۶

۲۶۶ , ۲۶۰ , ۲۵۹

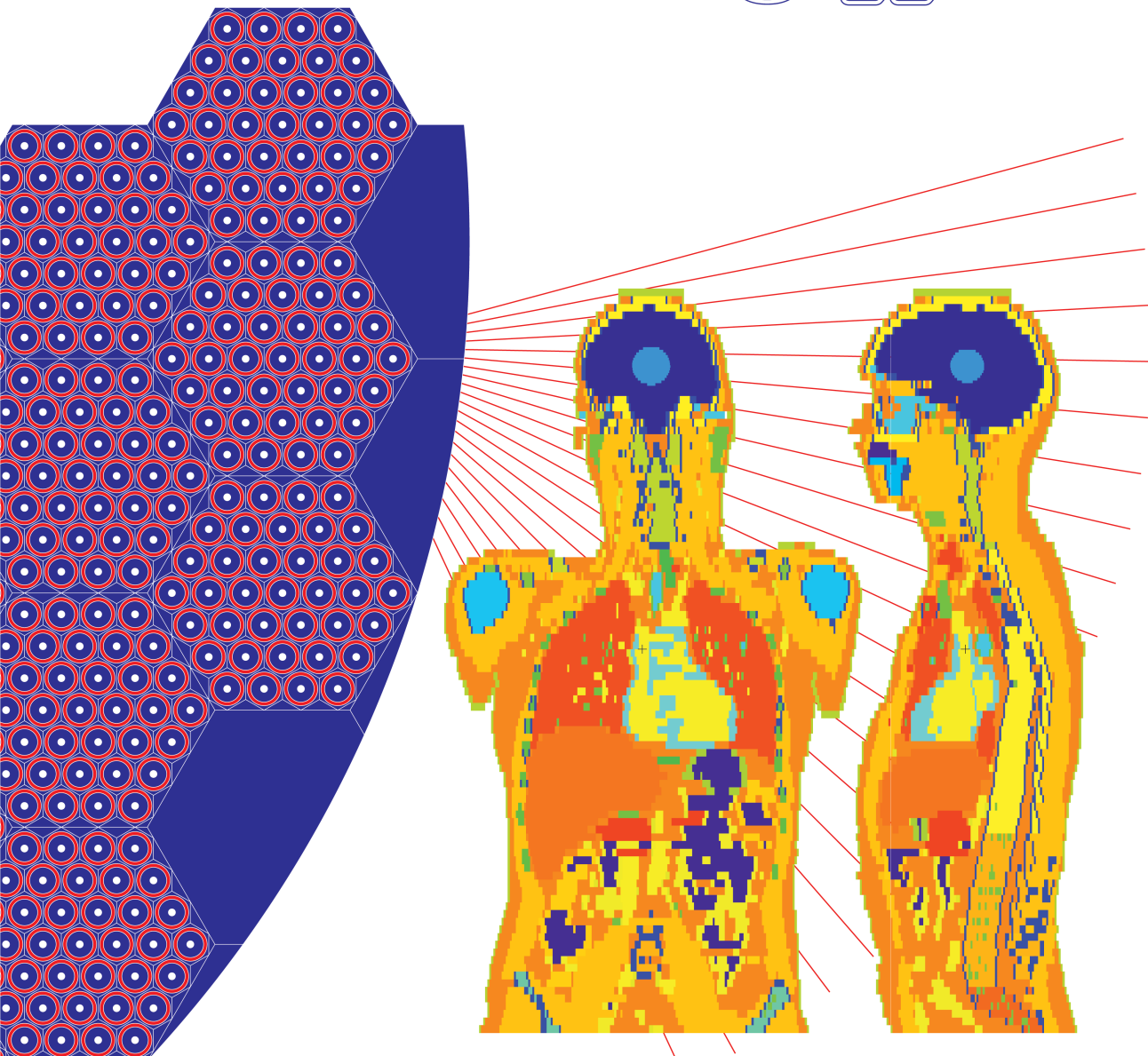
WWT ۲۵۰ , ۲۴۷ , ۵

WXXA ۱۲۱

X

Xlims ۳۰۴

آموزش کد MCNPX



تالیف: یاسر کاسه‌ساز - مصطفی حسن‌زاده

آموزش کد MCNPX

تالیف: یاسر کاسه‌ساز - مصطفی حسن‌زاده



شهید دکتر مجید شهریاری

راز موفقیت شهید شاهد، دکتر شهریاری و آقران وی، پی بردن به حقیقت علم (اولاً) و هجرت از آن به معلوم (ثانیاً) و ترغیب به چنین هجرت (ثالثاً) است، زیرا علم، تفسیر و شرح معلوم است و معلوم، خلقت خداست نه طبیعت، و تبیین خلقت، تفسیر فعل خداست، و تحریر فعل خدا همانند شرح قول خدا فقط دینی است. لذا در صدر و ساقه مراکز علمی (اعم از حوزه و دانشگاه) علم غیر دینی وجود ندارد؛ آنکه علم را سکولاری می‌ندارد، نه حقیقت دانش را شناخت و نه به‌گونه معلوم پی برد. این استاد و الامقام همانند سایر اساتید وزین و برجسته دینمدار، به کمک علم به معلوم رسیدند و نشان آفریدگار را در آن و نیز در خود که مخلوق کریم خداست مشاهده نمودند و جامع علم و دین شدند که این دو در حقیقت متلازم یکدگرند.

حضرت آیت ا... جوادی آملی

مطالب تکمیلی و پشتیبانی، در وب سایت mcnp.ir

حق چاپ محفوظ است.

بخشی از درآمد حاصل از فروش کتاب صرف توسعه و آموزش کدهای محاسباتی می‌شود. لطفاً نسخه اصلی کتاب را تهیه نمایید.

دفاتر پخش:

شماره ۱: مرکز آموزش و توسعه کدهای محاسباتی - ۰۹۳۵۵۵۶۸۷۵۸

شماره ۲: خ کارگر جنوبی - ابتدای خ آذربایجان پلاک ۱۹۵ - سروش ولایت

۶۶۹۰۰۸۵۵ - ۶۶۹۳۲۲۵۹

کلیه حقوق برای ناشر محفوظ است

آدرس فروشگاه: خ انقلاب، بین ۱۲ فروردین و اردیبهشت، فروشگاه انتشارات صانعی

تلفن: ۶۶۴۰۵۳۸۵ فاکس: ۶۶۴۰۹۹۲۴

آدرس دفتر: خ انقلاب، ۱۲ فروردین، خ وحید نظری، پلاک ۲۰۷ واحد ۱

تلفن: ۶۶۴۱۲۳۹۵ فاکس: ۶۶۴۰۸۱۶۵

شابک: ۹۷۸-۹۶۴-۷۴۲۰-۸۴-۶

ISBN: 978 - 600 - 04-3375-8



9 786000 433758