

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

آموزش کد MCNP

تألیف: یاسر کاسه‌ساز - مصطفی حسن‌زاده

سرشناسه : کاسه‌ساز، یاسر، ۱۳۵۹
 عنوان و نام پدیدآور : آموزش کد MCNP / تألیف یاسر کاسه‌ساز، مصطفی حسن‌زاده.
 مشخصات نشر : تهران: گذار، ۱۳۹۱.
 مشخصات ظاهری : ۲۰۵ص.: مصور، جدول.
 شابک : 978-600-91350-4-2
 وضعیت فهرست نویسی: فیپا
 موضوع : روش‌مونت کارلو -- داده‌پردازی
 موضوع : مهندسی هسته‌ای -- داده‌پردازی
 شناسه افزوده : حسن‌زاده، مصطفی، ۱۳۵۴
 رده بندی کنگره : ۱۳۹۱ ۸آ۲ک/۲۹۸QA
 رده بندی دیویی : ۲۸۲/۵۱۹
 شماره کتابشناسی ملی : ۲۸۹۰۷۰۱



انتشارات گذار

نام کتاب: آموزش کد MCNP

تألیف: یاسر کاسه‌ساز - مصطفی حسن‌زاده

حروفچینی و صفحه‌آرایی: مریم احمدی

طراح جلد: مهدی منشی‌زاده

نوبت و تاریخ چاپ: اول / ۱۳۹۱

قیمت: ۱۰۰۰۰ تومان

تیراژ: ۱۰۰۰ نسخه

شماره استاندارد بین‌المللی کتاب (شابک): ۹۷۸-۶۰۰-۹۱۳۵۰-۴-۲

تقدیم بہ:

استاد شہید و کٹر محمد شہریاری

پیشگفتار

توسعه روزافزون فناوری هسته ای در ایران باعث گسترش استفاده از انواع کدها و نرم افزارهای محاسباتی هسته ای شده است. در این میان اقبال محققین به کد MCNP قابل توجه است، به طوری که در اکثر پایان نامه های ارشد و دکترا بخش وسیعی از تحقیقات بر اساس این کد صورت می گیرد. هدف اصلی از تالیف این کتاب شتاب بخشیدن به روند آموزش و توسعه استفاده از این کد در کشور می باشد.

کد MCNP یکی از قویترین کدهای محاسباتی در انجام محاسبات هسته ای است و بر اساس روش مونت کارلو کار می کند. این کد در طراحی راکتورهای هسته ای و بررسی ایمنی آنها، حفاظ سازی، طراحی آشکارسازها، چاه پیمایی هسته ای، طراحی هدف در شتابدهنده ها، پرتو پزشکی و کاربرد های 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 شد و در ادامه در سال ۲۰۰۰ نسخه 4C آن به بازار آمد. بعد از آن نسخه های X، X2.6 و 5 ارائه گردید. اساس این کتاب آموزش نسخه 4C می باشد ولی در جاهای مختلف تفاوت ها و قابلیت های نسخه X نیز آورده شده است.

برای استفاده از این کد بایستی یک فایل ورودی شامل اطلاعات مسئله با ساختار مشخص تهیه گردد. هر فایل ورودی شامل سه بخش اصلی است که بخش اول مربوط به تعریف سلول ها، بخش دوم تعریف سطوح و بخش آخر داده های مسئله مثل چشمه، مواد، نوع خروجی و... است. نحوه نوشتن فایل ورودی در فصل اول مورد بحث قرار می گیرد. در فصل دوم نحوه تعریف هندسه، انواع هندسه های ساده و تکرار شونده، ماکروبادی ها و غیره بیان شده است. فصل سوم به روش تعریف انواع مواد شامل مواد

ساده و مرکب (آلیاژ)، نوع سطح مقطع‌های مورد استفاده، دستورات Mix and Match و ... اختصاص دارد.

یکی از پارامترهای مهم در این کد تعریف چشمه ذرات می باشد. چشمه‌هایی که در نسخه 4C قابل تعریف اند سه نوع چشمه الکترون، فوتون و نوترون است ولی در نسخه‌های بالاتر انواع ذرات بیشتری در کد قابل ردگیری است. همچنین در نسخه‌های جدید امکان تعریف چشمه ذرات مختلف بطور همزمان (مثلاً چشمه نوترون و گاما) در یک برنامه وجود دارد که در فصل چهارم به این موضوع پرداخته شده است.

محاسبه کمیت‌های مورد نظر به کمک تعریف تالی‌ها در برنامه امکان پذیر است که موضوع فصل پنجم می باشد. در این کد انواع خروجی‌های مورد نظر شامل جریان، شار، انرژی و دز... قابل تعریف است. برخی کارت‌های جانبی وابسته به تالی‌ها در این فصل مورد بحث قرار می گیرد.

پس از معرفی هندسه، چشمه، مواد و تالی‌ها، برای اینکه یک فایل ورودی توسط کد قابل اجرا باشد لازم است چند کارت ضروری در بخش داده‌ها تعریف گردد. همچنین 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. این موارد در فصل ششم توضیح داده شده است.

در فصل هفتم به دستورهای مربوط به رسم شامل رسم هندسه، رسم نمودار سطح مقطع‌ها، رسم خروجی (تالی‌ها)، رسم kcode و رسم پارامترهای آماری (TFC) پرداخته شده است.

روش‌های کاهش واریانس روش‌های غیرآنالوگ در ترابرد ذرات در مونت کارلو می‌باشند. این روش برای کاهش زمان محاسبات در کد به کار می‌رود که فصل هشتم به

بررسی این موضوع اختصاص یافته است. همچنین چند مثال کاربردی مفید در موضوعات مختلف هسته ای در فصل نهم ارائه شده است.

جهت ارتباط مستمر با مولفین این کتاب می توانید به وبسایت www.MCNP.ir مراجعه نمایید. در این وبسایت علاوه بر مطالب آموزشی دیگر، فایل ورودی همه مثال های کتاب بعلاوه مثال های بیشتر قابل دسترسی می باشد.

این نوشته بدون شک کمبود هایی دارد و نیز عاری از اشتباهات نیست. مزید امتنان خواهد بود که صاحب نظران ارجمند، دانشجویان عزیز و کلیه خوانندگان گرامی بر ما منت نهاده و در رفع معایب و اشتباهات احتمالی کتاب ما را یاری نمایند.

ادب ایجاب می کند تا یادی از استاد شهید دکتر مجید شهریاری نمایم که سهم به سزایی در توسعه و آموزش این کد در کشور داشتند، روحش شاد و راهش پر رهرو باد. بر خود لازم می دانیم که از حمایت های بی دریغ استاد گرامی جناب آقای دکتر سید امیر حسین فقهی صمیمانه تشکر و قدردانی نمایم که تشویق هایشان باعث دلگرمی بود و نظرات ارزشمندشان غنای کتاب را افزود.

در پایان از تمام دوستانی که در این راه همواره مشوق ما بودند قدردانی می کنیم.

صبحدم شد زود برخیز ای جوان	رخت بربند و برس بر کاروان
آدمی چون کشتی است و بادبان	تا کی آرد باد را آن باد ران؟

یاسر کاسه ساز

مصطفی حسن زاده

پاییز ۹۱

فهرست مطالب

فصل اول: ساختار فایل ورودی و نحوه اجرای برنامه.....	۱
ساختار فایل ورودی.....	۱
ساختار عمودی.....	۳
آماده سازی و اجرای کد.....	۴
اجرای کد.....	۶
روش اول: استفاده از نرم افزار Textpad.....	۶
روش دوم: استفاده از Batch فایل.....	۷
روش سوم: استفاده از RUN در منوی Start ویندوز.....	۷
نحوه نامگذاری فایل های ورودی و خروجی.....	۷
فصل دوم: تعریف هندسه.....	۱۱
تعریف سلول ها.....	۱۱
تعریف سطوح.....	۱۴
استفاده از دستور # (به جز) در تعریف یک سلول.....	۲۵
سطوح ماکروبادی.....	۲۷
استوانه سر و ته بسته - RCC.....	۲۷
جعبه و مکعب - RPP و BOX.....	۲۸
استوانه با قاعده شش ضلعی - HEX یا RHP.....	۳۰
کره - SPH.....	۳۲
استوانه با قاعده بیضی - REC.....	۳۲
مخروط ناقص - TRC.....	۳۳

بیضی گون - ELL	۳۴
گوه - Wedge	۳۵
چند وجهی - ARB	۳۵
سطوح دوران یافته	۳۸
استفاده از دستور U=n و Fill=n	۴۲
ساختارهای تکرار شونده	۴۴
دستور Like n but	۴۵
دستورهای u, lat و fill	۴۹
فصل سوم: تعریف ماده	۶۵
تعریف یک ماده معمولی	۶۵
تعریف آلیاژ	۶۷
در نظر گرفتن درصد غنا در یک ماده	۶۸
تبدیل درصدهای وزنی و اتمی به یکدیگر	۶۹
تبدیل درصد وزنی به اتمی	۶۹
تبدیل درصد اتمی به وزنی	۷۰
مشخص کردن نوع سطح مقطع و کد شناسایی آن	۷۰
دستور MXn در نسخه X	۷۱
در نظر گرفتن اثر فوتونوترونی	۷۲
فصل چهارم: تعریف چشمه	۷۵
چشمه عمومی	۷۵
معرفی تابع توزیع برای پارامترهای چشمه	۸۰
تعریف توابع توزیع وابسته برای پارامترهای چشمه	۸۵

تعریف چشمه های حجمی با هندسه های غیر متعارف.....	۸۸
تعریف چشمه در ساختارهای تکرار شونده.....	۹۰
مثال های متنوع.....	۹۲
چشمه محاسبات بحرانی.....	۹۹
چشمه های سطحی پیشرفته (کارت های SSR و SSW).....	۱۰۰
فصل پنجم: تعریف انواع خروجی.....	۱۰۳
انواع خروجی های استاندارد (تالی ها).....	۱۰۳
تعریف خروجی در ساختارهای تکرار شونده.....	۱۰۹
برخی کارت های جانبی مفید در تعریف انواع خروجی.....	۱۱۴
کارت En.....	۱۱۴
کارت EMn.....	۱۱۵
کارت FMn.....	۱۱۵
کارت Cn.....	۱۱۷
کارت SDn.....	۱۱۸
کارت FCn.....	۱۱۸
کارت FQn.....	۱۱۹
کارت DEn و DFن.....	۱۲۰
کارت FTn.....	۱۲۱
کارت PERT.....	۱۲۲
کارت MESH TALLY.....	۱۲۴
کارت های مربوط به محاسبات مصرف سوخت.....	۱۲۵
فصل ششم: اجرای برنامه و فایل خروجی.....	۱۲۹

۱۲۹.....	داده‌های ضروری برای اجرای برنامه
۱۲۹.....	کارت Mode
۱۳۰.....	کارت Imp
۱۳۱.....	کارت های NPS و CTME
۱۳۲.....	اجرای برنامه
۱۳۴.....	چگونه از دقت و صحت نتایج محاسبات مطمئن شویم؟
۱۳۵.....	خطای نسبی
۱۳۷.....	ضریب شایستگی (FOM)
۱۳۸.....	واریانس واریانس (VOV)
۱۳۹.....	ادامه اجرای یک برنامه
۱۳۹.....	کارت prdmp
۱۴۱.....	فصل هفتم: دستورهای رسم
۱۴۱.....	رسم هندسه
۱۴۳.....	رسم سطح مقطع واکنش ها
۱۴۴.....	رسم خروجی ها (تالی ها)
۱۴۴.....	رسم خروجی همزمان با اجرای برنامه
۱۴۶.....	رسم خروجی با متوقف کردن موقت برنامه
۱۴۷.....	رسم خروجی پس از اجرای کامل برنامه
۱۴۸.....	رسم kcode
۱۴۸.....	رسم پارامترهای آماری TFC
۱۵۱.....	فصل هشتم: روش‌های کاهش واریانس
۱۵۳.....	روش های برشی

روش های مبتنی بر کنترل جمعیت آماری.....	۱۵۴
روش تکثیر/ رولت روسی.....	۱۵۴
کارت ESPLT.....	۱۵۶
کارت PHYS.....	۱۵۶
مولد پنجره وزنی WWG.....	۱۵۶
روش های مبتنی بر نمونه برداری اصلاح شده.....	۱۵۷
کارت EXT (انتقال نمایی).....	۱۵۷
کارت FCL (برخورد اجباری).....	۱۵۷
کارت SBn.....	۱۵۸
روش های شبه قطعی.....	۱۵۹
کارت DXT (DXTRAN SPHERE).....	۱۵۹
فصل نهم: مثال های کاربردی.....	۱۶۷
مثال (۱).....	۱۶۷
مثال (۲).....	۱۷۰
مثال (۳).....	۱۷۳
مثال (۴).....	۱۷۵
مثال (۵).....	۱۷۹
مثال (۶).....	۱۸۱
مثال (۷).....	۱۸۶

فصل اول

ساختار فایل ورودی و نحوه اجرای برنامه

ساختار فایل ورودی

برای استفاده از کد باید یک فایل ورودی شامل اطلاعات مسئله از جمله هندسه، مواد، چشمه پرتو، خروجی های مورد نظر، تنظیمات فیزیک مسئله، تنظیمات مربوط به نحوه نمونه برداری ترابرد ذرات، تنظیمات مربوط به دقت محاسبات، شروط خاتمه اجرای برنامه و... تهیه شود.

این فایل، یک فایل متنی است که می تواند با استفاده از یک نرم افزار ویرایش فایل های متنی نظیر WordPad, Notepad و ... نوشته شود.

هر فایل ورودی شامل سه قسمت اصلی است که هر قسمت با یک خط خالی (Blank Line) از قسمت قبلی و بعدی جدا شده است.

خط اول فایل ورودی می تواند خالی باشد و یا عنوان برنامه در آن نوشته شود. اولین قسمت اصلی بخشی است که شامل تعریف سلول های مسئله می باشد. منظور از سلول هر ناحیه ای از فضا است که توسط سطح یا سطوحی محدود شده است. مثلاً فضای درون یک کره، یک سلول است و یا فضای داخل یک جعبه. بعد از تعریف سلول ها یک خط خالی درج می شود.

دومین قسمت فایل ورودی شامل تعریف سطوحی است که در مسئله استفاده شده است.

سومین و آخرین قسمت اصلی فایل ورودی شامل داده های مسئله مثل چشمه، مواد، نوع خروجی و... می باشد. در پایان برنامه نیز یک خط خالی درج می شود. به طور کلی ساختار فایل ورودی به صورت زیر می باشد:

Title Card or Blank Line

Cell Cards

Blank Line

Surface Cards

Blank Line

Data Cards

Blank Line

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

- به جز این چهار خط خالی، هیچ خط خالی دیگری نباید در برنامه وجود داشته باشد.
- طول هر خط نباید از ۸۰ ستون تجاوز کند. اگر طول یک خط بیشتر از ۸۰ ستون است می توان از علامت & در انتهای آن خط (مثلاً در ستون ۸۰) و ابتدای خط بعد استفاده کرد و ادامه آن خط را بعد از علامت & 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 می شود).

- اگر در ابتدای یک خط حرف C به همراه یک فاصله (Space) درج شود، محتوای آن خط خوانده نمی شود. از این می توان برای جدا کردن بخش های مختلف و یا نوشتن توضیحات استفاده کرد.
- 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.
- در فایل ورودی نباید کارکتر Tab وجود داشته باشد. این کارکتر معمولاً بعد از کپی کردن اطلاعات از یک فایل دیگر (مثلاً از اکسل) و درج آن در فایل ورودی به وجود می آید. در صورت وجود این کارکتر، اجرای برنامه با نمایش پیام زیر متوقف می شود:

bad trouble in subroutine ckchar of imcn

bad trouble, 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 Tab را با کارکتر Space جایگزین می کنیم.
- هر گونه اطلاعاتی که پس از آخرین خط خالی موجود در انتهای برنامه نوشته شود، توسط کد خوانده نمی شود.
 - در نوشتن فایل ورودی حروف کوچک و بزرگ یکسان می باشند.
 - در هر یک از بخش های اصلی، نوشتن خطوط برنامه ترتیب خاصی ندارد.

ساختار عمودی

کارت داده ها را می توان به صورت عمودی نوشت. برای این کار از علامت # استفاده می کنیم. این علامت باید در محدوده ستون ۱ تا ۵ درج شود. به عنوان مثال می خواهیم اهمیت ذره در هر سلول، دما و حجم سلول ها را با ساختار عمودی تعریف کنیم:

# imp : n	imp : p	vol	tmp
1	1	v_1	t_1
1	1	v_2	t_2
1	1	v_3	t_3
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
0	0	v_n	t_n

یا مثلاً در تعریف توزیع احتمال در کارت چشمه:

# Spn	SIn
x_1	p_1
x_2	p_2
$\vdots$	$\vdots$
x_n	p_n

و یا تعریف DEn و DFn:

# DEn	DFn
E_1	F_1
E_2	F_2
E_3	F_3
$\vdots$	$\vdots$
E_m	F_m

آماده سازی و اجرای کد

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

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

- اگر خط اول آن به صورت زیر باشد:

Datapath=D:\MCNP\Mcnp4c\LIB

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 می کند، 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 کنید مثلاً BNCT.i. نام فایل ورودی به همراه پسوند آن نباید از ۸ کارکتر بیشتر باشد. نام BNCT.i شامل شش کارکتر است. البته در نسخه های بالاتر محدودیت تعداد کارکتر برای نام فایل ورودی حذف شده است به نحوی که می توان از نامهای با بیش از ۸ کارکتر نیز استفاده نمود.

یکای کمیت های مختلف تعریف شده در کد در جدول (۱) آورده شده است. برای نوشتن فایل ورودی باید این یکاها در نظر گرفته شود.

جدول (۱): یکای کمیت های مختلف در کد MCNP

یکای	کمیت
cm	طول
MeV	انرژی
Shakes (10^{-8} sec)	زمان
MeV (kT)	دما
atoms/barn-cm	چگالی اتمی
g/cm^3	چگالی جرمی
barns ($10^{-24} cm^2$)	سطح مقطع

اجرای کد

چند روش برای اجرای برنامه (RUN) وجود دارد که در اینجا به سه روش اصلی آن اشاره می‌کنیم:

روش اول: استفاده از نرم افزار TextPad

روش دوم: استفاده از Batch فایل

روش سوم: استفاده از RUN در منوی Start ویندوز

روش اول: استفاده از نرم افزار Textpad

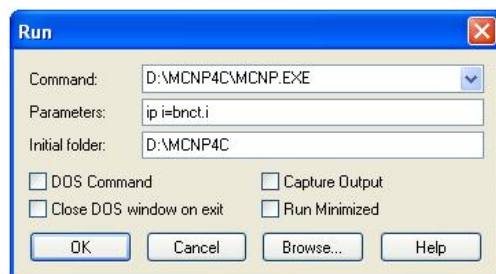
- ۱- فایل ورودی را که در شاخه اصلی کد ذخیره کرده اید را با TextPad باز کنید.
- ۲- در منوی Tools پنجره Run را باز کنید.
- ۳- در پنجره باز شده سه فیلد خالی وجود دارد، در فیلد Command کلیک کرده و سپس Browse را کلیک نمایید.
- ۴- از پنجره باز شده فایل MCNP.exe را انتخاب کنید (این تنظیمات فقط یکبار انجام می‌شود).
- ۵- دستورات اجرا در فیلد Parameters نوشته می‌شوند. مثلاً برای رسم هندسه مسئله، دستور زیر را در آنجا می‌نویسیم:

ip i=filename

بعد از ip یک فاصله خالی درج می‌شود. مثلاً:

ip i=bnct.i

ip i=core.i



ip علامتی است که برای رسم هندسه استفاده می شود (قابلیت ها و دستورات رسم هندسه را در بخش دستورات رسم بخوانید). پس از دیدن و بررسی کردن هندسه سیستم، مسئله را اجرا می کنیم، برای این کار عبارت ip را حذف می کنیم.

روش دوم: استفاده از Batch فایل

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

```
mcnp ip i=filename
```

سپس فایل را با پسوند bat. در شاخه اصلی ذخیره کنید. اکنون با دابل کلیک کردن روی این فایل برنامه اجرا می شود. پس از تولید این فایل برای اجرای برنامه های مختلف کافی است تنها نام فایل ورودی را در batch فایل تغییر دهیم و نیازی به تولید مجدد آن نیست. دقت شود که در بعضی موارد فایل با پسوند txt.bat. ذخیره می شود که باید آن را اصلاح نمود.

روش سوم: استفاده از RUN در منوی Start ویندوز

در منوی RUN در گزینه Browse مسیر پوشه اصلی کد را پیدا کرده و فایل MCNP.exe را انتخاب می کنیم، سپس مشابه قبل نام فایل ورودی را می نویسیم. با انتخاب گزینه ok برنامه اجرا می شود. در نسخه X برای اجرای برنامه در Batch فایل به جای عبارت MCNP عبارت MCNPX را می نویسیم و همچنین در روش های قبلی به جای فایل MCNP.exe از فایل MCNPX.exe استفاده می کنیم.

نحوه نامگذاری فایل های خروجی

هنگامی که برنامه را با دستور رسم اجرا می کنیم دو فایل با نام های پیش فرض outp و comout در شاخه اصلی تولید می شود. اگر برنامه را برای گرفتن تالی اجرا کنیم فایل های outp و runtpe تولید می شوند. اگر مسئله دارای چشمه بحرانی باشد یک فایل دیگر به نام srctp نیز تولید می شود.

اگر این فایل ها قبلاً با همین نام ها در شاخه اصلی وجود داشته باشند، فایل های جدید با نام های جدید تولید می شوند. نام گذاری های جدید فقط حرف آخر نام فایل را

به ترتیب حروف الفبا تغییر می‌دهد. مثلاً اگر outp موجود باشد، outq تولید می‌شود و اگر outq وجود داشته باشد outr تولید می‌شود و الی آخر. البته می‌توانیم نام فایل‌های تولیدی را به یک نام دلخواه تغییر دهیم:

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

$$n = \text{BNCT.i} \rightarrow \begin{cases} \text{outp} & \rightarrow \text{BNCT.io} \\ \text{runtpe} & \rightarrow \text{BNCT.ir} \\ \text{srctp} & \rightarrow \text{BNCT.is} \end{cases}$$

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 Batch فایل برنامه را اجرا می‌کنیم می‌توانیم با دستورهای زیر فایل‌های قبلی را ابتدا از شاخه پاک کرده و سپس برنامه را اجرا کنیم. برای این کار دستورات زیر را در Batch فایل می‌نویسیم^۱:

```
del      BNCT.io
del      BNCT.ir
del      BNCT.is
MCNP    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 outp و comout با نام‌های جدید تولید شده و شاخه کد شلوغ می‌گردد ولی با این روش هر بار فقط دو فایل به نام‌های outp و comout تولید و با فایل‌های موجود قبلی جایگزین می‌شود.

- 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
```

^۱ del=Delete

- 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
```

```
Blank Line
```

```
TiTle (or Blank Line)
```

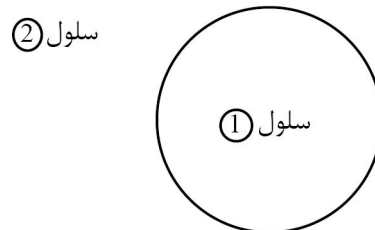
```
cell cards
```


فصل دوم

تعریف هندسه

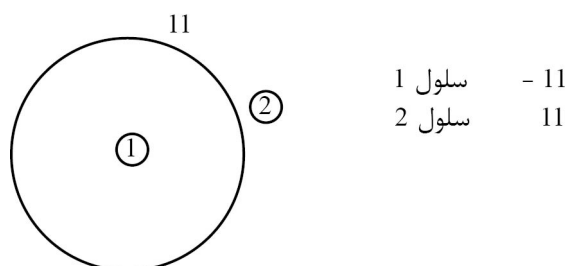
تعریف سلول ها

برای شبیه سازی توسط کد، هندسه سیستم باید به طور دقیق با ابعاد واقعی (برحسب سانتی متر) در فایل ورودی تعریف شود. تعریف هندسه توسط تعریف سلول ها و سطوح صورت می گیرد. سلول هر ناحیه ای از فضا است که توسط سطح یا سطوحی محدود شده باشد. هر سطح فضا را به دو قسمت تقسیم می کند، مثلاً یک سطح کروی فضا را به دو سلول درون و برون کره تقسیم می کند.

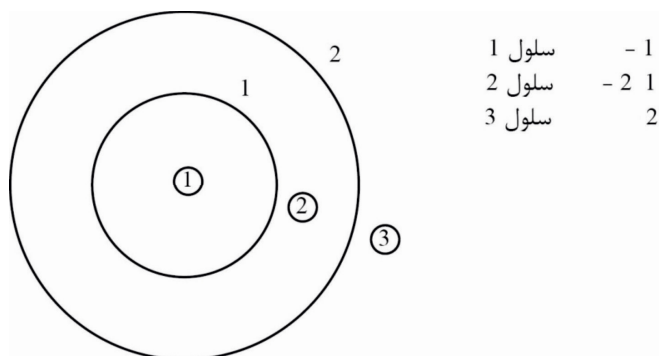


اگر معادله ریاضی یک سطح به صورت $S=F(x,y,z)=0$ باشد، آنگاه برای هر نقطه خارج این سطح S یا مثبت است و یا منفی. مثلاً S برای نقاط درون کره منفی و برای نقاط بیرون کره مثبت است.

برای تعریف یک سلول به هر سطح در فایل ورودی یک عدد نسبت می دهیم و به کمک آن عدد و علامت مثبت یا منفی سلول مورد نظر را تعریف می کنیم:



در این شکل عددی که کنار سطح نوشته شده شماره آن سطح و عددی که داخل دایره نوشته شده شماره سلول را نشان می دهد. اکنون دو کره هم مرکز را در نظر بگیرید. در اینجا سه سلول وجود دارد. سلول یک و سه با یک سطح تعریف می شوند ولی سلول شماره دو با دو سطح. این سلول حاصل اشتراک تمام نواحی خارج سطح ۱ و داخل سطح ۲ است. درج فاصله بین شماره سطوح در تعریف یک سلول مفهوم اشتراک دارد، لذا سلول شماره ۲ به صورت زیر تعریف می شود:



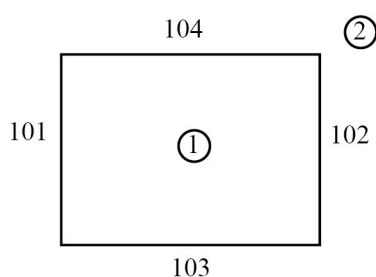
اکنون یک مکعب را در نظر بگیرید که با شش سطح تخت تعریف می شود. سلولی که داخل مکعب را تعریف می کند اشتراک نواحی مختلف نسبت به تک تک سطوح است:

101 -102 103 -104 105 -106

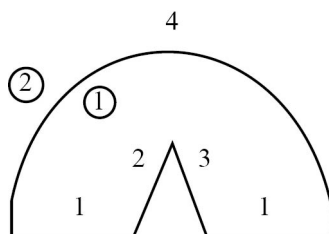
اما بیرون مکعب حاصل اجتماع نواحی مختلف است: تمام فضای سمت چپ سطح ۱۰۱ بعلاوه تمام فضای بالای سطح ۱۰۴ بعلاوه تمام فضای سمت راست سطح ۱۰۲ و

... بیرون مکعب را تعریف می کند. درج علامت : (دونقطه) بین شماره سطوح در تعریف یک سلول مفهوم اجتماع دارد:

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



گاهی لازم است که از ترکیب اجتماع و اشتراک نواحی مختلف استفاده کنیم، به این منظور می توان از علامت پرانتز استفاده کرد، به عنوان مثال شکل زیر را در نظر بگیرید:



برای تعریف سلول یک داریم:

$$-4 - (1\ 3):(1\ 2)$$

برای تعریف هر سلول به آن یک عدد حداکثر ۵ رقمی نسبت می دهیم که در ستون های یک تا پنج در فایل ورودی نوشته می شود. اگر درون سلول ماده ای وجود نداشته باشد، بعد از شماره سلول و درج حداقل یک فاصله، عدد صفر را می نویسیم و بعد از آن شماره سطوحی که سلول را ساخته اند را با علامت مناسب درج می کنیم. اگر سلول با ماده ای 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 می نویسیم و در ادامه شماره سطوح با علامت مناسب نوشته می شود. شماره ماده در قسمت کارت داده ها

تعریف می شود. اگر چگالی جرمی (gr/cm^3) نوشته شود آن را با علامت منفی و اگر چگالی اتمی (particle/barn.cm) نوشته شود آن را با علامت مثبت درج می کنیم. همچنین چند پارامتر دیگر را نیز می توان برای هر سلول در خط تعریف آن سلول وارد کرد. یکی حجم آن سلول بر حسب سانتی متر مکعب است که با دستور $\text{Vol}=v$ نوشته می شود، پارامتر دیگر اهمیت ذره در آن سلول است. اهمیت یک ذره به طور کلی به صورت صفر و یک فرض می شود. اگر ذره وارد سلولی شود که اهمیت ذره در آن سلول صفر باشد، ردگیری ذره متوقف می شود. برای تعریف اهمیت ذره در یک سلول از دستور imp به صورت زیر استفاده می شود:

$\text{imp} : n = 1$ یا $\text{imp} : n, p = 0$

اهمیت ذره در تک تک سلول های موجود در مسئله باید در فایل ورودی مشخص شود، لذا بهتر است در تعریف هر سلول اهمیت ذره در آن سلول را نیز مشخص کنیم. همچنین اهمیت ذره در سلولی با ابعاد بی نهایت را باید برابر صفر قرار دهیم.

سومین پارامتر دمای سلول است که با دستور $\text{TMP}=T$ داده می شود، که T دمای سلول بر حسب MeV است.

تعریف سطوح

به هر سطح یک عدد حداکثر ۵ رقمی نسبت می دهیم که در ستون یک تا پنج درج می شود. سطوح مختلفی در کد قابل تعریف هستند از جمله: کره، استوانه، بیضی گون، صفحه تخت و

هر نوع سطح با یک علامت مخصوص مشخص می شود. مثلاً کره ای که در مبدا قرار دارد با علامت SO مشخص می شود و با مشخص کردن شعاع آن، سطح کره تعریف می شود، به عنوان مثال کره ای به شعاع ۱۰ سانتی متر در مبدا به صورت زیر تعریف می شود:

99 SO 10

عدد ۹۹ شماره سطح است که در تعریف سلول ها از آن استفاده می شود.

صفحه ای که مثلاً در نقطه $x=3$ بر محور x ها عمود شده است به صورت PX تعریف می شود:

21 px 3

سطح جانبی استوانه‌ای که محور آن روی محور z ها قرار دارد و شعاع آن مثلاً ۴ سانتی متر است به صورت زیر تعریف می شود:

23 CZ 4

سطح جانبی استوانه‌ای که محور آن موازی با محور z هاست و شعاع آن مثلاً $3/5$ سانتی متر و مرکز آن در $(x,y)=(1,-1)$ است به صورت زیر تعریف می شود:

1001 C / Z 1 -1 3.5

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

با استفاده مناسب از همین سطوح و دقت در تعریف سلول ها، می توان حجم های با شکل های مختلف و پیچیده را تعریف نمود. به عنوان مثال در فانتوم MIRD اعضای درون قفسه سینه مانند قلب، ششها، کلیه ها و ... توسط سطح SQ و غیره به شیوه جالبی تعریف شده است (فایل ورودی این فانتوم در وبسایت www.MCNP.ir قابل دسترس است).

جدول (۱): صفحه تخت

Mnemonic	Description	Equation	Card Entires
P	General	$Ax + By + Cz - D = 0$	A,B,C,D
PX	Normal to X-axis	$x - D = 0$	D
PY	Normal to Y-axis	$y - D = 0$	D
PZ	Normal to Z-axis	$z - D = 0$	D

جدول (۲): کره

Mnemonic	Description	Equation	Card Entires
SO	Centered at Origin	$x^2 + y^2 + z^2 - R^2 = 0$	R
S	General	$(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2 - R^2 = 0$	x_0, y_0, z_0, R
SX	Centered on X-axis	$(x - x_0)^2 + y^2 + z^2 - R^2 = 0$	x_0, R
SY	Centered on Y-axis	$x^2 + (y - y_0)^2 + z^2 - R^2 = 0$	y_0, R
SZ	Centered on Z-axis	$x^2 + y^2 + (z - z_0)^2 - R^2 = 0$	z_0, R

جدول (۳): استوانه

Mnemonic	Description	Equation	Card Entires
C/X	Parallel to X-axis	$(y - y_0)^2 + (z - z_0)^2 - R^2 = 0$	y_0, z_0, R
C/Y	Parallel to Y-axis	$(x - x_0)^2 + (z - z_0)^2 - R^2 = 0$	x_0, z_0, R
C/Z	Parallel to Z-axis	$(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 - R^2 = 0$	x_0, y_0, R
CX	On X-axis	$y^2 + z^2 - R^2 = 0$	R
CY	On Y-axis	$x^2 + z^2 - R^2 = 0$	R
CZ	On Z-axis	$x^2 + y^2 - R^2 = 0$	R

جدول (۴): مخروط

Mnemonic	Description	Equation	Card Entires
K/X	Parallel to X-axis	$\left[(y - y_0)^2 + (z - z_0)^2 \right]^{\frac{1}{2}} - t(x - x_0) = 0$	$x_0, y_0, z_0, t^2, \pm 1$
K/Y	Parallel to Y-axis	$\left[(x - x_0)^2 + (z - z_0)^2 \right]^{\frac{1}{2}} - t(y - y_0) = 0$	$x_0, y_0, z_0, t^2, \pm 1$
K/Z	Parallel to Z-axis	$\left[(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 \right]^{\frac{1}{2}} - t(z - z_0) = 0$	$x_0, y_0, z_0, t^2, \pm 1$
KX	On X-axis	$\left[y^2 + z^2 \right]^{\frac{1}{2}} - t(x - x_0) = 0$	$x_0, t^2, \pm 1$
KY	On Y-axis	$\left[x^2 + z^2 \right]^{\frac{1}{2}} - t(y - y_0) = 0$	$y_0, t^2, \pm 1$
KZ	On Z-axis	$\left[x^2 + y^2 \right]^{\frac{1}{2}} - t(z - z_0) = 0$	$z_0, t^2, \pm 1$

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

Mnemonic	Description	Equation	Card Entires
SQ	Axis parallel to X- or Y- or Z- axis	$A(x - x_0)^2$ $+B(y - y_0)^2$ $+C(z - z_0)^2$ $+2D(x - x_0)$ $+2E(y - y_0)$ $+2F(z - z_0)$ $+G = 0$	A, B, C, D, E, F, G, x_0, y_0, z_0
GQ	Axis not parallel to X- or Y- or Z- axis	$Ax^2 + By^2 + Cz^2$ $+Dxy + Eyz + Fzx$ $+Gz + Hy + Jz + K = 0$	A, B, C, D, E, F, G, H, J, K

جدول (۶): چنبره با مقطع دایره یا بیضی

Mnemonic	Equation	Card Entires
TX	$\frac{(x-x_0)^2}{B^2} + \frac{\left[\frac{1}{C^2} \left[(y-y_0)^2 + (z-z_0)^2 \right] - A^2 \right]}{C^2}$ -1 = 0	$x_0, y_0, z_0,$ A, B, C
TY	$\frac{(y-y_0)^2}{B^2} + \frac{\left[\frac{1}{C^2} \left[(x-x_0)^2 + (z-z_0)^2 \right] - A^2 \right]}{C^2}$ -1 = 0	$x_0, y_0, z_0,$ A, B, C
TZ	$\frac{(z-z_0)^2}{B^2} + \frac{\left[\frac{1}{C^2} \left[(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2 \right] - A^2 \right]}{C^2}$ -1 = 0	$x_0, y_0, z_0,$ A, B, C

همان طوریکه گفته شد برای تعیین علامت فضا نسبت به یک سطح کافی است یک نقطه از فضای مورد نظر را در معادله آن سطح به صورت $S=F(x,y,z)=0$ قرار دهیم، علامت S علامت فضا نسبت به سطح خواهد بود. در مورد صفحه عمومی P می توان به جای وارد کردن ضرایب معادله سطح مختصات سه نقطه از صفحه را وارد کرد، در اینصورت جهت تعیین علامت فضای اطراف صفحه به مبداء مختصات توجه می کنیم. فضایی که مبداء در آن واقع است نسبت به صفحه مورد نظر دارای علامت منفی است.

اکنون به مثال های زیر توجه کنید.

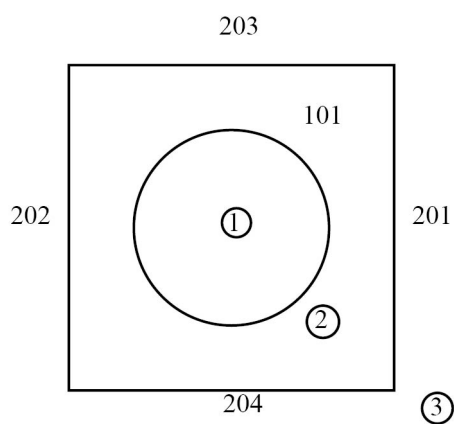
مثال (۱) کره ای به شعاع ۳ سانتی متر در مرکز یک مکعب به ضلع ۱۰ سانتی متر. مبداء را در مرکز کره و مکعب قرار داده و وجوه مکعب را عمود بر محورهای مختصات در نظر می گیریم.

1 0 -101

2 0 101 -201 202 -203 204 -205 206

3 0 201:-202:203:-204:205:-206

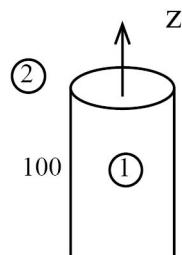
101 so 3
 201 px 5
 202 px -5
 203 py 5
 204 py -5
 205 pz 5
 206 pz -5



مثال ۲) استوانه‌ای به شعاع ۱۰ و ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر.
 این مسئله شامل سه سطح است. سطح جانبی استوانه و دو سطح تخت قاعده‌ها.

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

100 cz 10
 101 pz 0
 102 pz 20



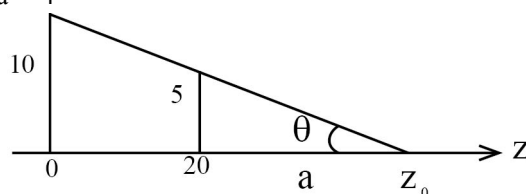
مثال ۳) یک مخروط ناقص به طول ۲۰ سانتی‌متر و قاعده‌های به شعاع ۵ و ۱۰ سانتی‌متر. در این مسئله نیز سه سطح وجود دارد، سطح جانبی مخروط و دو سطح تخت در قاعده‌ها. معادله ریاضی مخروطی که محور آن منطبق بر محور Z است عبارت است از:

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

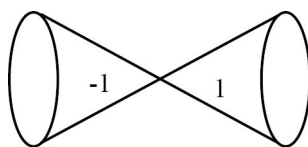
z_0 مختصات رأس و t تانژانت زاویه رأس مخروط است. با توجه به شکل زیر و با استفاده از قضیه تالس داریم:

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

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



هر سطح مخروطی شکل دو قسمت دارد. با درج علامت ± 1 در تعریف سطح، مشخص می‌کنیم که کدام قسمت مخروط مورد نظر است. در اینجا باید از علامت -1 استفاده کنیم:



$$\begin{array}{ccccccc} 11 & 0 & -100 & 101 & -102 \\ 12 & 0 & & 100 : -101 : 102 \end{array}$$

$$\begin{array}{ccccccc} 100 & kz & 40 & 0.0625 & -1 \\ 101 & pz & 0 & & \\ 102 & pz & 20 & & \end{array}$$

مثال ۴) در فانتوم استاندارد Snyder سر بیمار توسط سه لایه بیضی‌گون با معادلات زیر تعریف می‌شود. توموری به شکل کره به شعاع 1cm روی محور xها در نقطه $x = 3$ در نظر بگیرید و هندسه فانتوم به همراه تومور را بنویسید.

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

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

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

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:

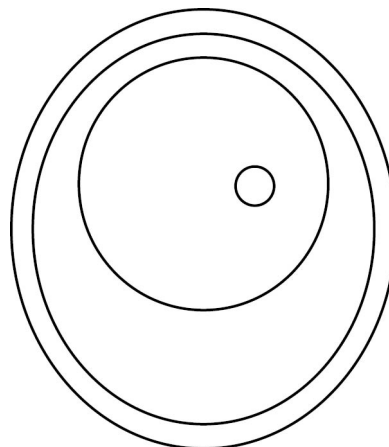
$$\frac{1}{36}x^2 + \frac{1}{81}y^2 + \frac{1}{42.25}(z-1)^2 - 1 = 0$$

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

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

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

$$G = -1$$



$$11 \quad 0 \quad -40$$

$$12 \quad 0 \quad -10 \quad 40$$

$$13 \quad 0 \quad 10 \quad -20$$

$$14 \quad 0 \quad 20 \quad -30$$

$$15 \quad 0 \quad 30$$

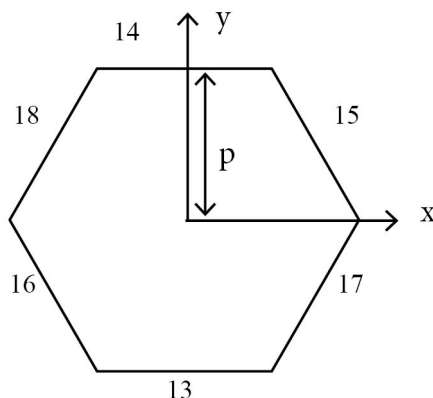
$$10 \quad \text{sq} \quad 0.0277778 \quad 0.0123456 \quad 0.0236666 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad -1 \quad 0 \quad 0 \quad 1$$

$$20 \quad \text{sq} \quad 0.02663 \quad 0.0104123 \quad 0.0145159 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad -1 \quad 0 \quad 0 \quad 0$$

$$34 \quad \text{sq} \quad 0.0187652 \quad 0.0094260 \quad 0.0129133 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad -1 \quad 0 \quad 0 \quad 0$$

$$40 \quad \text{sx} \quad 3 \quad 1$$

مثال ۵) استوانه‌ای به ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر با قاعده شش ضلعی به طول ضلع $L = 10 \text{ cm}$.



اگر محور استوانه را منطبق بر محور z و قاعده پایینی آن را در صفحه xy در نظر بگیریم، دو سطحی که قاعده‌ها را می‌سازند عبارتند از:

$$11 \quad pz \quad 0$$

$$12 \quad pz \quad 15$$

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

$$13 \quad py \quad -8.66$$

$$14 \quad py \quad 8.66$$

چهار سطح باقی‌مانده 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 و 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:

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

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

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

$$15 \quad p \quad 1.73 \quad 1 \quad 0 \quad 17.3$$

یا

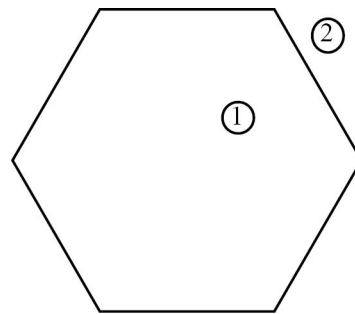
$$15 \quad p \quad 10 \quad 0 \quad 0 \quad 5 \quad 8.66 \quad 0 \quad 10 \quad 0 \quad 1$$

به همین ترتیب داریم:

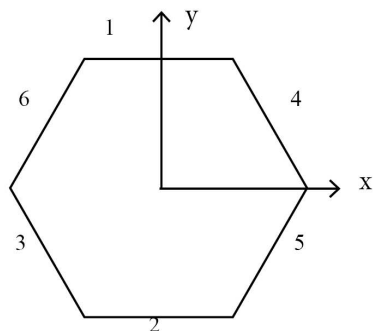
$$\begin{array}{l} 16 \quad p \quad -10 \quad 0 \quad 0 \quad -5 \quad -8.66 \quad 0 \quad -10 \quad 0 \quad 1 \\ 17 \quad p \quad 10 \quad 0 \quad 0 \quad 5 \quad -8.66 \quad 0 \quad 10 \quad 0 \quad 1 \\ 18 \quad p \quad -10 \quad 0 \quad 0 \quad -5 \quad 8.66 \quad 0 \quad -10 \quad 0 \quad 1 \end{array}$$

از آنجا که این سطوح را توسط مختصات سه نقطه از آنها تعریف کرده ایم لذا جهت تعیین علامت فضا نسبت به این سطوح، مبداء مختصات را در نظر می گیریم. با توجه به موقعیت مبداء فضای داخلی نسبت به تمام سطوح مورب دارای علامت منفی است، لذا سلول ها به صورت زیر تعریف می شوند:

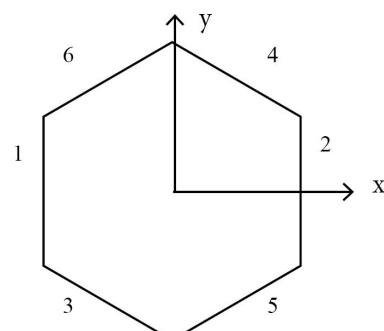
$$\begin{array}{l} 1 \quad 0 \quad 11 \quad -12 \quad 13 \quad -14 \quad -15 \quad -16 \quad -17 \quad -18 \\ 2 \quad 0 \quad -11:12:-13:14:15:16:17:18 \end{array}$$



شکل زیر معادلات عمومی صفحات را برای دو حالت مختلف نشان می دهد.

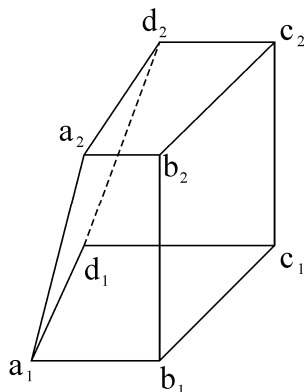


$$\begin{array}{ll} (1,2) & y=\pm p \\ (3,4) & \sqrt{3}x+y=\pm 2p \\ (5,6) & -\sqrt{3}x+y=\pm 2p \end{array}$$



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

مثال ۶) یک هرم ناقص با قاعده مربع (قاعده پایینی به ضلع ۱۰ سانتی متر و قاعده بالایی به ضلع ۴ سانتی متر) و طول ۱۴ سانتی متر.
در این مثال، ۶ سطح تخت وجود دارد که دو سطح تخت قاعده‌ها عمود بر محور z می‌باشند و چهار سطح دیگر صفحات تخت شیبدار هستند.



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

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

اما یک راه ساده‌تر این است که هر یک از آن‌ها را به کمک سه نقطه روی آن‌ها تعریف کنیم:

$$101 \quad p \quad x_1 \quad y_1 \quad z_1 \quad x_2 \quad y_2 \quad z_2 \quad x_3 \quad y_3 \quad z_3$$

با توجه به شکل، سطوح جانبی را به صورت زیر در نظر می‌گیریم:

101 سطحی که از سه نقطه a_1 و b_1 و b_2 می‌گذرد.

102 سطحی که از سه نقطه b_1 و c_1 و c_2 می‌گذرد.

103 سطحی که از سه نقطه c_1 و d_1 و d_2 می‌گذرد.

104 سطحی که از سه نقطه a_1 و d_1 و d_2 می‌گذرد.

لذا برای سطوح داریم:

$$201 \quad pz \quad 0$$

$$202 \quad pz \quad 14$$

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

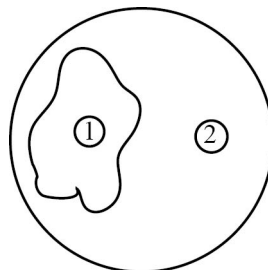
سلول های مسئله به صورت زیر تعریف می شوند:

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 کرده ایم لذا جهت تعیین علامت سطوح باید مبداء 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.

استفاده از دستور # (به جز) در تعریف یک سلول

شکل زیر را در نظر بگیرید:

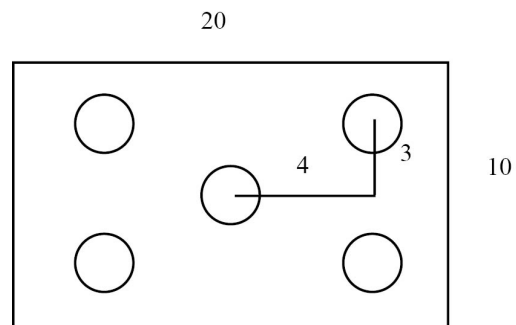


اگر سلول (۱) تعریف شده باشد، برای تعریف سلول (۲) می توان از دستور # استفاده کرد. سلول شماره دو عبارت است از درون کره، به جز سلول شماره یک:

2 0 -11 #1

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

مثال (۷) ۵ 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 30 و شعاع آنها 1 سانتی متر است.



به جز استوانه مرکزی که محورش بر محور zها منطبق است، بقیه استوانه‌ها موازی محور z هستند.

```

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
    
```

```

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
    
```

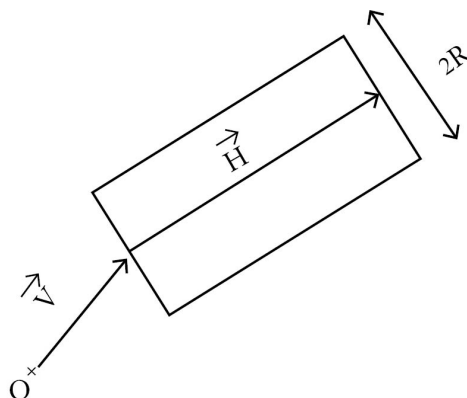
سطوح ماکروبادی

از ماکروبادی ها برای تعریف برخی سطوح بسته در یک خط استفاده می شود، مثل استوانه سر و ته بسته، مکعب مستطیل، هشت وجهی و غیره.

استوانه سر و ته بسته - RCC

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

$$j \quad RCC \quad V_x \quad V_y \quad V_z \quad H_x \quad H_y \quad H_z \quad R$$



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.

سطح زیر استوانه ای را تعریف می کند به ارتفاع ۱۰ و شعاع ۳ سانتی متر که مرکز قاعده پایینی آن در $(1,0,2)$ واقع است و موازی محور z می باشد.

$$99 \quad RCC \quad 1 \quad 0 \quad 2 \quad 0 \quad 0 \quad 10 \quad 3$$

می دانیم که سطح RCC از سه سطح تشکیل شده است، سطح جانبی و دو سطح تخت در قاعده ها. در کد به هر یک از این سطوح در RCC عددی نسبت داده می شود که به صورت زیر تعریف می شوند:

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. این امکان وجود دارد که به این سطوح عددی را نسبت دهیم و همین عدد را به عنوان شماره آن سطح در جای دیگری از برنامه استفاده کنیم. اگر به سطح RCC عدد n را نسبت داده باشیم، آنگاه عددی که کد به هر یک از این سطوح سه گانه نسبت می‌دهد به صورت زیر است:

- n.1
- n.2
- n.3

در مثال قبل سطح 99.1 سطح 3 CZ است و سطوح 99.2 و 99.3 به ترتیب PZ 12 و PZ 2 هستند.

جعبه و مکعب – RPP و BOX

دو نوع جعبه با ماکروبادی‌ها 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:

$$j \text{ RPP } x_{\min} \ x_{\max} \ y_{\min} \ y_{\max} \ z_{\min} \ z_{\max}$$

در حالتیکه مکعب دارای جهت گیری خاصی در فضا باشد از تعریف زیر استفاده می‌کنیم:

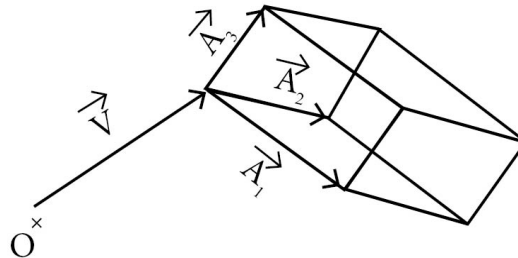
$$j \text{ BOX } V_x \ V_y \ V_z \ A_{1x} \ A_{1y} \ A_{1z} \ A_{2x} \ A_{2y} \ A_{2z} \ A_{3x} \ A_{3y} \ A_{3z}$$

بردار $\vec{V}$ برداری است از مبدا مختصات تا یک رأس مکعب.

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

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.



در اینجا نیز می‌توانیم از هر یک از سطوح شش گانه‌ای که جعبه را می‌سازند در برنامه استفاده کنیم. سطوح ۶ گانه BOX و RPP از نظر کد به صورت زیر نام‌گذاری می‌شوند:

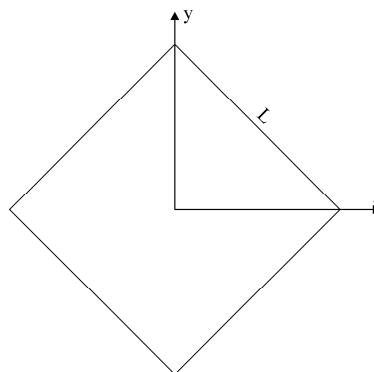
RPP:	۱	$x = x_{\max}$	صفحه
	۲	$x = x_{\min}$	صفحه
	۳	$y = y_{\max}$	صفحه
	۴	$y = y_{\min}$	صفحه
	۵	$z = z_{\max}$	صفحه
	۶	$z = z_{\min}$	صفحه

BOX:	۱	صفحه عمود بر بردار $\vec{A}_1$ در نقطه انتها
	۲	صفحه عمود بر بردار $\vec{A}_1$ در نقطه ابتدا
	۳	صفحه عمود بر بردار $\vec{A}_2$ در نقطه انتها
	۴	صفحه عمود بر بردار $\vec{A}_2$ در نقطه ابتدا
	۵	صفحه عمود بر بردار $\vec{A}_3$ در نقطه انتها
	۶	صفحه عمود بر بردار $\vec{A}_3$ در نقطه ابتدا

مثال ۸) مکعبی به ضلع ۱۰ سانتی‌متر که حول محور z 45° دوران کرده است. 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:

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

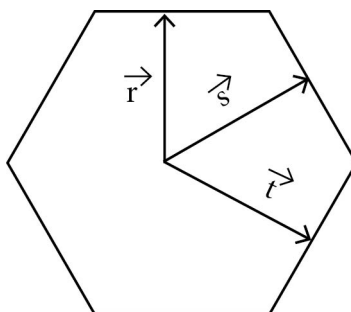
$$\begin{aligned}\bar{A}_1 &= \left(-\frac{\sqrt{2}}{2}L, \frac{\sqrt{2}}{2}L, 0\right) \\ \bar{A}_2 &= \left(-\frac{\sqrt{2}}{2}L, -\frac{\sqrt{2}}{2}L, 0\right) \\ \bar{A}_3 &= (0, 0, L)\end{aligned}$$



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

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_1 s_2 s_3 t_1 t_2 t_3

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 وسط وجه اولی.

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

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

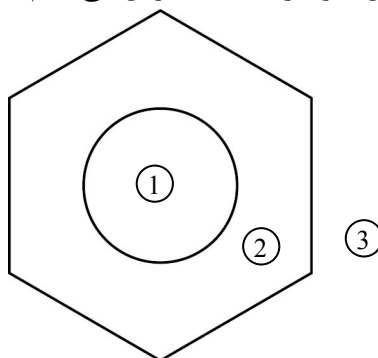
لازم به ذکر است که در حالت کلی نیازی نیست که بردارهای $\vec{s}$ و $\vec{t}$ را

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 صورت پیش فرض در نظر گرفته می‌شود، 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 (هندسه‌های تکرار با شبکه شش ضلعی).
در اینجا نیز می‌توان از سطوح ۸ گانه این شکل که به صورت زیر تعریف می‌شوند استفاده کرد:

- | | | |
|---|-------------------------------------|------------|
| ۱ | صفحه عمود بر انتهای بردار $\vec{t}$ | HEX یا RHP |
| ۲ | صفحه عمود بر ابتدای بردار $\vec{t}$ | |
| ۳ | صفحه عمود بر انتهای بردار $\vec{s}$ | |
| ۴ | صفحه عمود بر ابتدای بردار $\vec{s}$ | |
| ۵ | صفحه عمود بر انتهای بردار $\vec{t}$ | |
| ۶ | صفحه عمود بر ابتدای بردار $\vec{t}$ | |
| ۷ | صفحه عمود بر انتهای بردار $\vec{H}$ | |
| ۸ | صفحه عمود بر ابتدای بردار $\vec{H}$ | |

مثال ۹) دو استوانه هم محور هر یک به ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر که یکی دارای قاعده دایره‌ای به شعاع ۳ سانتی‌متر و دیگری با قاعده شش ضلعی به ضلع ۱۰ سانتی‌متر. برای تعریف سطوح از ماکروبادی‌ها استفاده می‌کنیم. محور استوانه‌ها را منطبق بر محور z و قاعده پایینی آن‌ها را در $z = -10$ فرض می‌کنیم.



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 p 0

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

سلول‌های مسئله به صورت زیر تعریف می‌شوند:

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

در نسخه‌های بعدی این کد موارد زیر نیز اضافه شده است:

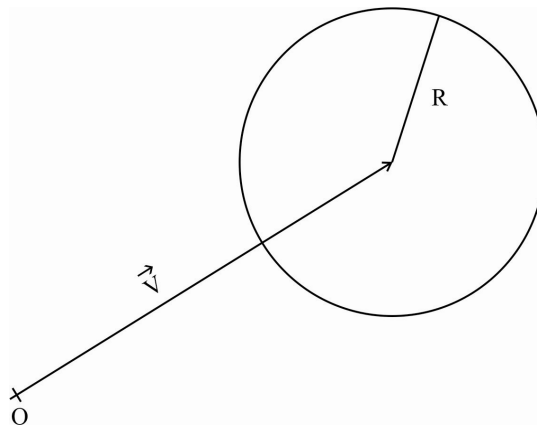
کره - SPH

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

j SPH V_x V_y V_z R

بردار $\vec{V}$ مختصات مرکز کره است.

R: شعاع کره



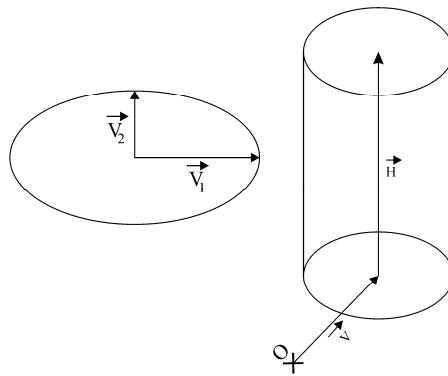
مثال ۱۰) کره‌ای به شعاع ۴۰ سانتی‌متر که مرکز آن در نقطه (۲۰,۲۰,۲۰) قرار دارد.

1 SPH 20 20 20 40

استوانه با قاعده بیضی - REC

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 V_{1x} V_{1y} V_{1z} V_{2x} V_{2y} V_{2z}



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.
 مثال (۱۱) یک استوانه با قاعده بیضی به ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر که روی محور y ها قرار دارد. مرکز آن در نقطه $(0, -5, 0)$ و قطرهای آن ۲۰ و ۴۰ سانتی‌متر می‌باشند.

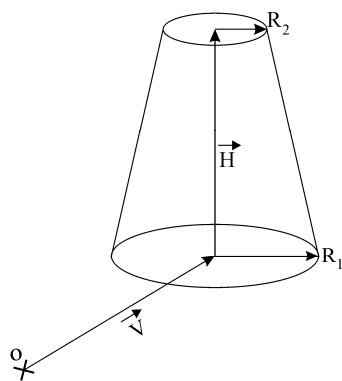
1	REC	0	-5	0	0	10	0	0	0	20	10	0	0
---	-----	---	----	---	---	----	---	---	---	----	----	---	---

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
1	TRC	-5	0	0	50	0	0	40	20

بردار $\vec{V}$ برداری است از مبدأ مختصات به مرکز قاعده اصلی
 بردار $\vec{H}$ برداری است مرکز قاعده پایینی تا مرکز قاعده بالایی
 R_1 : شعاع قاعده اصلی یا بزرگتر
 R_2 : شعاع قاعده بالایی یا کوچکتر
 مثال (۱۲) یک مخروط ناقص به ارتفاع 50 سانتی‌متر که روی محور x ها و مرکز قاعده پایینی آن در نقطه $(-5, 0, 0)$ قرار دارد و شعاع قاعده های آن 40 و 20 سانتی‌متر می‌باشد.

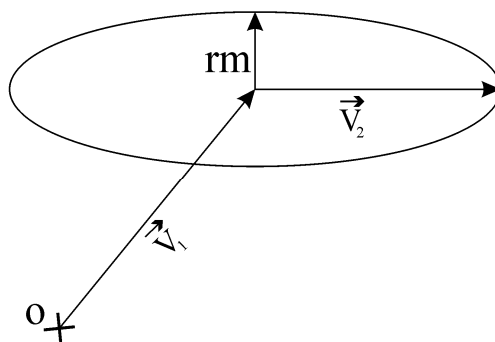


بیضی گون - ELL

برای تعریف یک بیضی گون از دستور ELL استفاده می کنیم:

$$j \text{ ELL } V_{1x} V_{1y} V_{1z} \quad V_{2x} V_{2y} V_{2z} \quad rm$$

که بردار $\vec{V}_1$ مختصات مرکز را نشان می دهد 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 می شود.



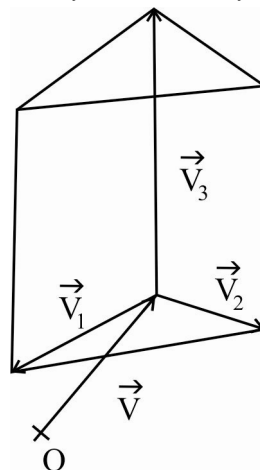
مثال ۱۳) یک بیضی گون که مرکز آن در مبدا و قطر بزرگ آن به طول ۶ سانتی متر روی محور Z قرار دارد و طول قطر کوچکش ۴ سانتی متر است:

$$1 \text{ ELL } 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 3 \ -2$$

گوه - Wedge

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

j WED $V_x V_y V_z V_{1x} V_{1y} V_{1z} V_{2x} V_{2y} V_{2z} V_{3x} V_{3y} V_{3z}$



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 (بردار ارتفاع).

مثال (۱۴) گوه ای راست گوشه به ارتفاع ۱۲ سانتی متر که راس آن در نقطه $(0,0,-6)$ قرار دارد و وجوه آن به ترتیب ۴ سانتی متر روی محور x ها و ۳ سانتی متر روی محور y ها و وتر آن به طول ۵ سانتی متر می‌باشد.

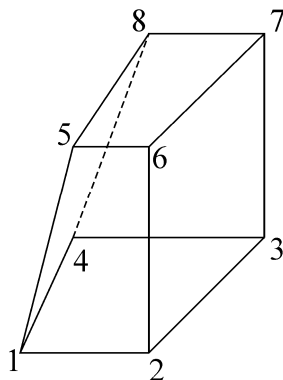
1 wed 0 0 -6 4 0 0 0 3 0 0 0 12

چند وجهی - ARB

برای تعریف چهار وجهی (هرم با قاعده مثلثی)، پنج وجهی (هرم با قاعده مربعی یا هرم ناقص با قاعده مثلثی) و شش وجهی (هرم ناقص با قاعده مربعی) از این ماکروبادی به صورت زیر استفاده می‌کنیم:

ARB $x_1 y_1 z_1 x_2 y_2 z_2 \dots x_8 y_8 z_8 n_1 n_2 n_3 n_4 n_5 n_6$

که در آن (x_i, y_i, z_i) ها مختصات هشت راس چند وجهی هستند. n_i ها در واقع معرف وجوه هندسی می باشند و هر کدام یک عدد چهار رقمی است که هر رقم آن شماره راسی است که در آن وجه قرار دارد (به ترتیبی که وارد شده اند). مختصات رئوسی که وجود ندارند را برابر صفر قرار می دهیم مثلاً برای هرم با قاعده مثلثی مختصات چهار راس دوم را به صورت 000 قرار می دهیم. در n_i ها اگر رقم چهارم صفر باشد راس چهارم در آن وجه در نظر گرفته نمی شود و در صورتی رقم چهارم غیر صفر باشد تمام چهار راس باید در یک صفحه قرار داشته باشند. برای چهار وجهی n_5 و n_6 برابر صفر و برای پنج وجهی n_6 را برابر صفر قرار می دهیم.



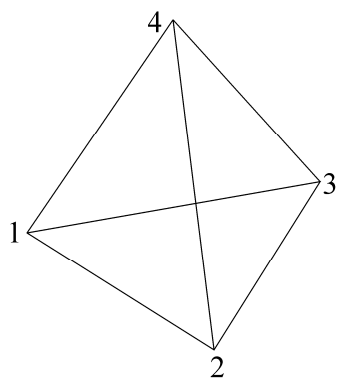
در شکل بالا اگر اول مختصات رئوس یک تا چهار وارد شود و بعد مختصات چهار راس بالایی، برای n_i ها داریم:

1234 5678 1256 3478 1458 2356

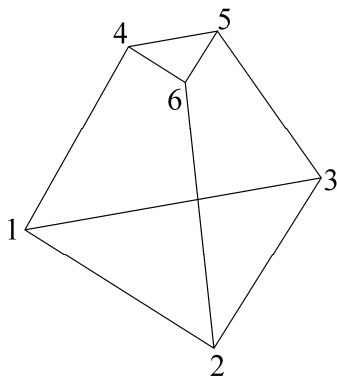
1234 یعنی وجهی که رئوس یک تا چهار روی آن قرار دارد.

برای تعریف یک هرم (یک راس در بالا) مختصات هر یک از سه راس بالایی دیگر که وجود ندارند را به صورت 000 قرار می دهیم. همچنین رقم آخر در n_i ها را صفر می گذاریم و n_6 را برابر صفر قرار می دهیم.

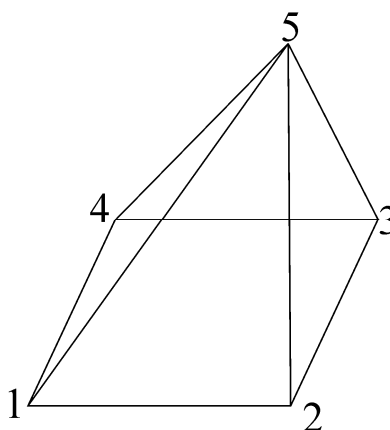
j ARB x1 y1 z1
x2 y2 z2
x3 y3 z3
x4 y4 z4
0 0 0
0 0 0
0 0 0
0 0 0
1230
1240
2340
1340
0
0



j ARB x1 y1 z1
x2 y2 z2
x3 y3 z3
x4 y4 z4
x5 y5 z5
x6 y6 z6
0 0 0
0 0 0
1230
1246
2356
1345
4560
0



```
j  ARB  x1 y1 z1
      x2 y2 z2
      x3 y3 z3
      x4 y4 z4
      x5 y5 z5
      0 0 0
      0 0 0
      0 0 0
      1234
      1250
      2350
      1450
      3450
      0
```



مثال ۱۵) هرمی با قاعده مربع به ضلع ۱۰ و ارتفاع ۱۸ سانتی متر که محور آن روی محور zها قرار دارد:

```
ARB  5 5 0  5 -5 0  -5 5 0  -5 -5 0  0 0 18 0 0 0 0 0 0 0 0
      1234 1250 1350 3450 2450 0
```

سطوح دوران یافته

گاهی پیدا کردن معادله ریاضی یک سطح کمی دشوار است و یا ترجیح می دهیم سطح را از یک معادله ساده تر بدست آوریم. این امکان وجود دارد که سطحی را تعریف کنیم ولی از دوران یافته آن سطح استفاده کنیم. برای این کار از دستور TRn استفاده می شود. با این دستور می توان یک سطح را دوران و یا به یک مکان دیگر انتقال داد. دستور TRn به صورت زیر تعریف می شود:

TRn O₁ O₂ O₃ B₁ B₂ B₉

n عددی است که به این دوران و انتقال نسبت می دهیم و در تعریف سطوح دوران یافته از آن استفاده می کنیم. O₁ ، O₂ و O₃ مختصات مبداء جدید نسبت به مبداء مختصات قدیم است. اگر فقط محورها دوران یافته باشند آنگاه این سه پارامتر صفر هستند. پارامترهای B₁ تا B₉ مؤلفه های ماتریس دوران به صورت زیر می باشند:

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

که x', y', z' محورهای مختصات دوران یافته و (x', x) زاویه بین محورهای x' و x است. اگر از دستور TRn * استفاده شود می توان به جای کسینوس زوایا، زوایا را برحسب درجه وارد کرد. دستور TRn یا TRn * در قسمت کارت داده ها نوشته می شود. سطوح دوران یافته به صورت زیر تعریف می شوند:

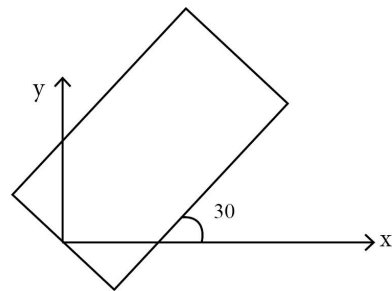
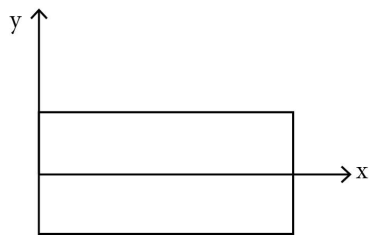
$$\begin{matrix} 11 & 1 & cz & 5 \\ 101 & 6 & px & 3 \end{matrix}$$

اعداد 1 و 6 به $TR1$ و $TR6$ اشاره دارند.

مثال ۱۶) استوانه ای به طول ۱۰ و شعاع ۳ سانتی متر که راستای آن با محور x زاویه ۳۰ درجه می سازد.

استوانه را روی محور x تعریف می کنیم و سپس سطوح آن را ۳۰ درجه دوران می دهیم. با توجه به شکل ماتریس دوران عبارت است از:

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



$$\begin{matrix} 1 & 0 & -100 & 101 & -102 \\ 2 & 0 & 100 & 100 & -101:102 \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} 100 & 4 & cx & 3 \\ 101 & 4 & px & 0 \\ 102 & 4 & px & 10 \end{matrix}$$

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 به راحتی تعریف نمود:

1 0 -101

2 0 101

101 RCC 0 0 0 8.66 5 0 3

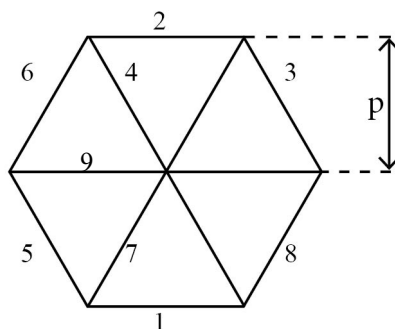
و یا

101 4 RCC 0 0 0 10 0 0 3

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

از دستور TRn می‌توان برای انتقال و دوران یک سلول نیز استفاده کرد این کار با استفاده از دستور Like n But انجام می‌گردد.

مثال ۱۷) هندسه زیر را در نظر بگیرید (طول ضلع $L = 10\text{ cm}$). 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 (60° و 120° 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:

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

و برای سطوح ۱ و ۲ عبارت است از:

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

که $P = \frac{\sqrt{3}}{2}L$ می باشد.

مولفه های ماتریس دوران حول محور z عبارت است از:

(۶۰ درجه) (0 90 90 60 150 30 60)

(۱۲۰ درجه) (0 90 90 120 210 30 120)

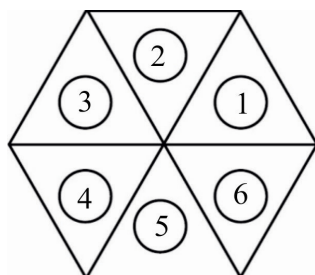
لذا برای تعریف سطوح داریم:

```
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
```

```
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
```

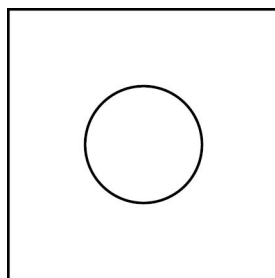
و برای سلول ها داریم:

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



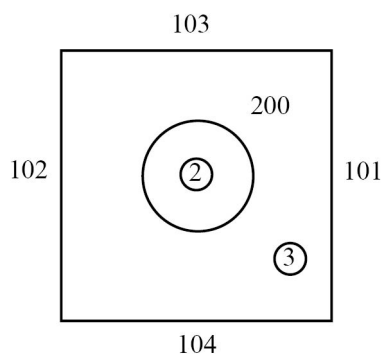
استفاده از دستور $U=n$ و $Fill=n$

از دستورهای $fill$ و u می توان برای پر کردن یک سلول با یک یا چند سلول دیگر استفاده کرد. مثلاً فرض کنید درون یک مکعب، کره ای به صورت زیر قرار دارد، با استفاده از این دستورها می گوییم سلول شماره یک را با سلول های شماره دو و سه پر کن!

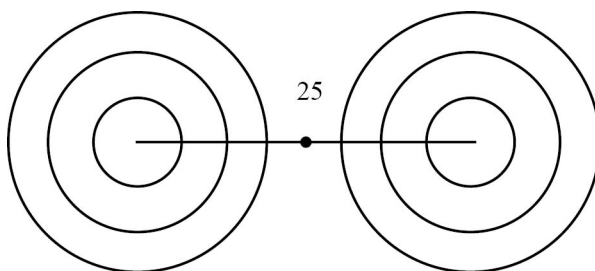


```
1  0  -101  102  -103  104  -105  106  fill = 4
2  0  -200  u = 4
3  0   200  u = 4
```

```
101  px   10
102  px  -10
103  py   10
104  py  -10
105  pz   10
106  pz  -10
200  so    6
```



دستور $fill=n$ در یک سلول، به این معنی است که این سلول را با سلول یا سلول هایی که به عنوان $u=n$ تعریف شده است پر کن! ممکن است سلول $u=n$ خود با سلول دیگری پر شده باشد. این روش در عین سادگی بسیار پرکاربرد است. فرض کنید ۲ میله استوانه ای کاملاً یکسان داریم که هر کدام دارای سه لایه هستند. از آنجا که این دو کاملاً یکسان هستند می توان تنها یکی از آنها را به صورت دقیق تعریف کرد و برای تعریف دیگری فقط مکان اولی را انتقال داد. کارت های زیر یکی از میله ها را تعریف می کند:



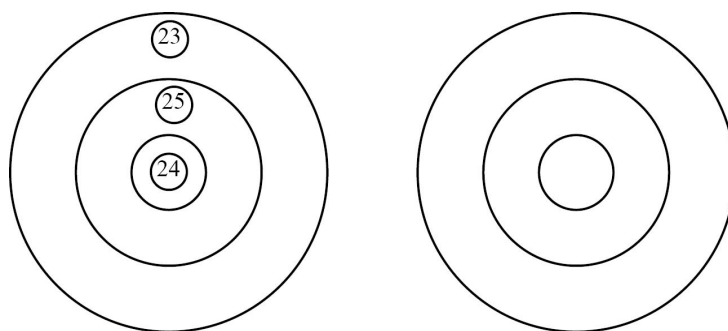
20	0	101		
21	0	-101	201	-202 fill = 2
22	0	-102		fill = 3 u = 2
23	0	102		u = 2
24	0	-103	u = 3	
25	0	103	u = 3	

```
101 cz 10
102 cz 6
103 cz 2
201 pz 0
202 pz 10
```

میله دومی در واقع همان سلول شماره ۲۱ است که مکانش نسبت به آن ۲۵ سانتی متر به سمت راست منتقل شده است و می توان آن را به صورت زیر تعریف نمود:

26 like 21 but trcl=(25 0 0)

سلول ۲۶ شبیه سلول ۲۱ است اما مکانش نسبت به آن ۲۵ سانتی متر به سمت راست منتقل شده است.



دستور like n But را در بخش ساختارهای تکرار شونده ببینید. اگر از دستورهای fill و u استفاده نمی شد تعداد سلول ها و سطوح برنامه چند برابر می شد. این روش برای وقتی که تعداد میله های یکسان زیاد باشد اهمیت پیدا می کند.

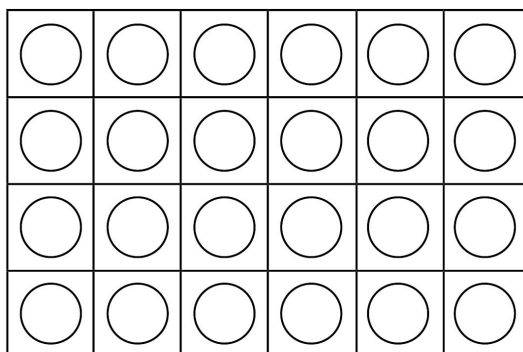
ساختارهای تکرار شونده

دو روش کلی برای شبیه سازی ساختارهای تکرار شونده وجود دارد:

۱- استفاده از دستور Like n But

۲- استفاده از دستورهای u, lat و fill

فرض کنید درون یک مکعب ۲۴ عدد میله استوانه ای یکسان مطابق شکل زیر قرار دارد (خطوط بین استوانه ها فرضی هستند). با استفاده از روش ساختارهای تکرار شونده می توان فقط یکی از میله ها را به طور دقیق تعریف کرد و بقیه میله ها را با استفاده از آن تولید نمود.



دستور Like n but

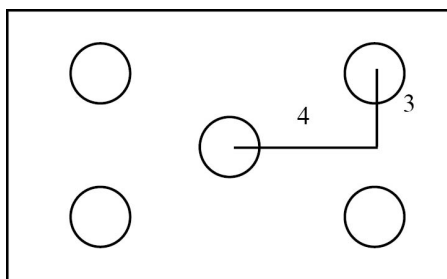
فرض کنید سلول n ام یکی از میله ها را به طور دقیق تعریف می کند. میله های دیگر شبیه سلول n ام هستند ولی مکان آنها نسبت به آن جابجا شده است. میزان جابجایی نسبت به سلول n ام را با دستور زیر تعیین می کنیم:

$$TRCL = (x \ y \ z)$$

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

می توان مولفه های انتقال و دوران را در قسمت کارت داده ها نیز وارد کرد. این کار می تواند از بزرگ شدن طول کارت سلول جلوگیری کند. برای این کار از $TRCL = m$ در خط تعریف سلول استفاده می کنیم، که m یک عدد درست است. سپس در کارت داده ها دستور TRm را نوشته و مولفه های انتقال و دوران را در ادامه آن می نویسیم. در

اینجا نیز در صورتی که از *TRM استفاده کنیم می توانیم به جای کسینوس زاویا، زاویا را بر حسب درجه وارد کنیم.
مثال ۱۸) ۵ استوانه کاملاً یکسان که مطابق شکل درون یک مکعب قرار دارند.



ابتدا استوانه مرکزی را تعریف می کنیم:

101 0 -200 201 -202

چهار استوانه دیگر شبیه استوانه مرکزی هستند ولی نسبت به آن جابجا شده

اند:

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
107 0 300

200 cz 1.5
201 pz 0
202 pz 21
300 rpp -6 6 -5 5 -30 30

TR5 -4 -3 0 1 0 0 0 1 0 0 0 1
TR6 4 -3 0 1 0 0 0 1 0 0 0 1

اگر سلولی از لحاظ هندسی شبیه سلول دیگر باشد ولی علاوه بر مکانش، ماده درون آن و یا چگالی ماده درون آن با سلول اصلی متفاوت باشد، برای تعریف ماده و چگالی آن از دستورهای MAT و RHO استفاده می کنیم:

$$25 \text{ like } 3 \text{ MAT} = 6 \text{ RHO} = -2.7 \text{ TRCL} = (3 \ 3 \ 0)$$

سلول ۲۵ مشابه سلول ۳ است ولی با ماده شماره شش، با چگالی جرمی $2/7 \text{ gr/cm}^3$ پر شده و نسبت به سلول شماره ۳ در مختصات (۰ و ۳ و ۳) قرار دارد. مثال ۱۹) تعداد هشت عدد استوانه مشابه ($R = 3\text{cm}$, $L = 12\text{cm}$) که مطابق شکل به صورت متقارن حول دایره‌ای به شعاع ۱۰cm قرار دارند. محور استوانه‌ها را در صفحه xy در نظر می گیریم. برای تعریف این هندسه از دستور like n But استفاده می کنیم. استوانه‌ای که در جهت مثبت محور x قرار دارد به صورت زیر تعریف می شود:

$$11 \text{ RCC } 10 \ 0 \ 0 \ 12 \ 0 \ 0 \ 3$$

و سلولی که این درون این استوانه را تعریف می کند 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 می شود. به این ترتیب داریم:

$$1 \ 0 \ -11$$

$$2 \text{ like } 1 \text{ But } \text{trcl} = 1$$

$$3 \text{ like } 1 \text{ But } \text{trcl} = 2$$

$$4 \text{ like } 1 \text{ But } \text{trcl} = 3$$

$$5 \text{ like } 1 \text{ But } \text{trcl} = 4$$

$$6 \text{ like } 1 \text{ But } \text{trcl} = 5$$

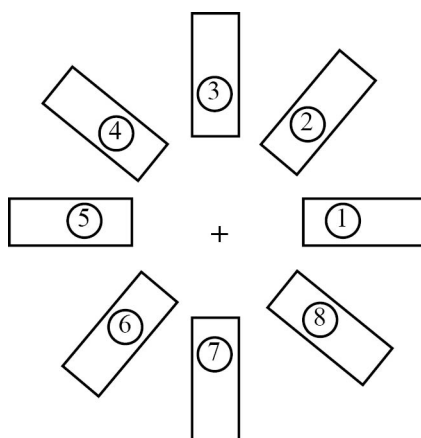
$$7 \text{ like } 1 \text{ But } \text{trcl} = 6$$

$$8 \text{ like } 1 \text{ But } \text{trcl} = 7$$

$$9 \ 0 \ \#1 \ \#2 \ \#3 \ \#4 \ \#5 \ \#6 \ \#7 \ \#8$$

$$11 \text{ RCC } 10 \ 0 \ 0 \ 12 \ 0 \ 0 \ 3$$

```
*tr1 0 0 0 45 45 90 135 45 90 90 90 0
*tr2 0 0 0 90 0 90 180 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
```



مثال ۲۰) شکل زیر را در نظر بگیرید. بلوک‌های مکعبی یکسان که با کره‌های یکسان پر شده‌اند. مرکز کره‌ها و بلوک‌ها همگی در یک صفحه‌اند.

در این مسئله از کارت‌های fill و u و نیز like n But استفاده می‌کنیم. ابتدا بلوک مرکزی را تعریف می‌کنیم. چون کره‌ها یکسان‌اند می‌توان برای تعریف آن‌ها از کارت like n But استفاده کرد. بعد از تعریف بلوک مرکزی با کارت like n But دو بلوک دیگر را تعریف می‌کنیم. برای تعریف این مسئله دو سطح مورد نیاز است: یکی مکعب (RPP) و دیگری کره:

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

برای سلول‌ها داریم:

```
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

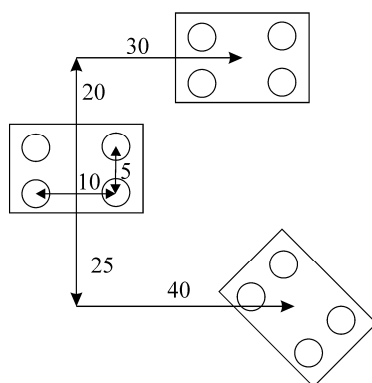
c uper block

7 like 1 But trcl = (20 30 0)

c lower block

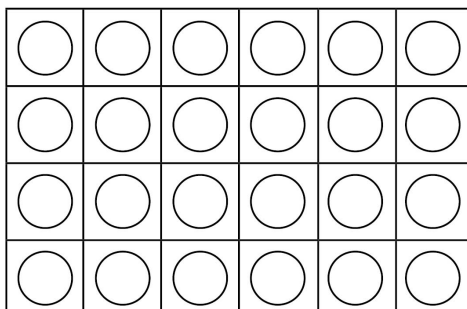
8 like 1 But *trcl = (30 -20 0 315 225 90 45 45 90 90 90 0)

9 0 #1 #7 #8



دستورهای u, lat و fill

اگر هندسه سیستم به گونه ای باشد که فاصله سلول های شبیه هم از یکدیگر یکسان باشد (مثلاً مطابق شکل زیر) می توان از این روش برای شبیه سازی آن استفاده کرد.



استفاده از این روش به بیان ساده عبارت است از:

۱- شبکه بندی سلول اصلی

۲- پر کردن عناصر شبکه

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

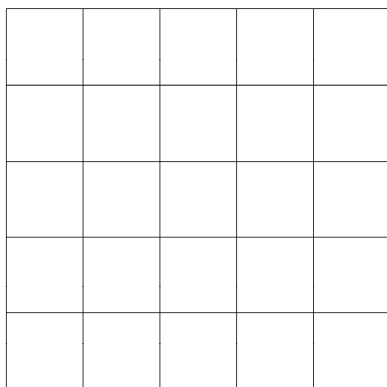
• شبکه بندی سلول اصلی

برای شبکه بندی سلول اصلی ابتدا آن را تعریف می کنیم، سپس سلول دیگری تعریف می کنیم که در واقع همان عناصر شبکه بندی است و نوع شبکه بندی را معرفی می کند، که قرار است سلول اصلی را پر کند. همان طوریکه که گفته شد تنها دو نوع شبکه بندی چهار ضلعی و شش ضلعی قابل تعریف است.

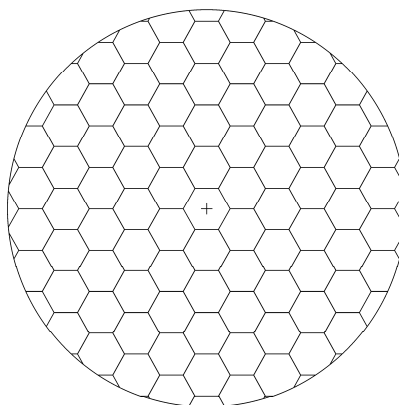
برای شبکه بندی سلول اصلی از دستور $fill=n$ در ادامه کارت تعریف آن سلول استفاده می کنیم. n عدد درستی است و شماره ای است که به عنصر شبکه بندی با دستور $u=n$ منتسب کرده ایم. سلولی که به عنوان سلول شبکه بندی تعریف شده است را با کارت lat مشخص می کنیم. نوع شبکه بندی را با دستور $lat=1$ یا $lat=2$ در ادامه کارت تعریف سلول شبکه بندی مشخص می کنیم.

نکته (۱): برای شبکه بندی چهار ضلعی از دستور $lat=1$ و برای شش ضلعی از $lat=2$ استفاده می کنیم.

نکته (۲): بهتر است هیچ یک از سطوحی که برای تعریف سلول اصلی تعریف کرده ایم بر سطوح سلول شبکه بندی منطبق نباشد.



lat=1

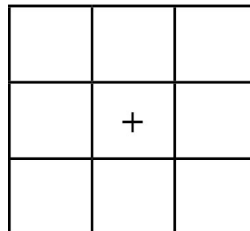


lat=2

مثال (۲۱) مکعبی به ضلع ۹ سانتی متر را به صورت $3 \times 3 \times 3$ شبکه بندی کنید.

```
1  0  -11  fill = 1
2  0  -12  lat = 1  u = 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 شود. سلولی که به عنوان lat تعریف کرده ایم دارای مختصات (0 0 0) است.

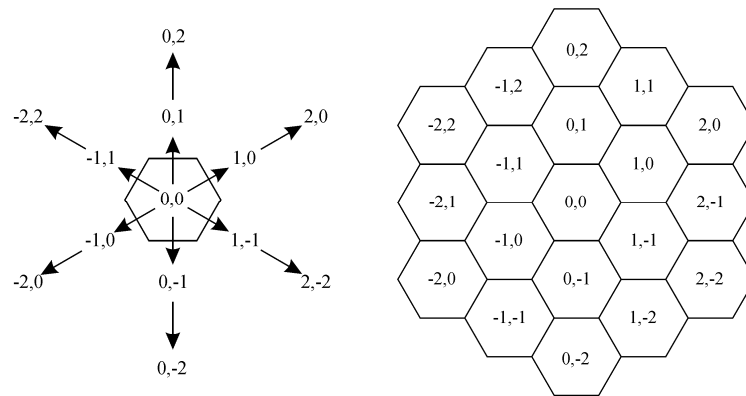
- توجه: در تعریف سلول lat باید دقت کرد که شماره سطوحی که با هم موازی اند باید به دنبال یکدیگر نوشته شوند در غیر اینصورت برنامه با خطا متوقف می شود.
- نحوه شماره گذاری عناصر شبکه به ترتیب نوشتن سطوح در سلول lat بستگی دارد، شکل زیر را ببینید.

-1,1	0,1 4	1,1
-1,0 1	0,0 2 3	1,0
-1,-1	0,-1	1,-1

11 0 -2 1 -4 3 u=1 lat=1

1,1	0,1 4	-1,1
1,0 1	0,0 2 3	-1,0
1,-1	0,-1	-1,-1

11 0 1 -2 -4 3 u=1 lat=1



شبکه بندی در یک یا چند بعد

گاهی هندسه مسئله تنها در یک یا دو بعد تکرار می شود که در اینصورت 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:

31	32			
12	0	31	-32	u=1 lat=1

برای دو بعد سلول lat با چهار سطح تعریف می شود:

	2	
1	+	3
	4	

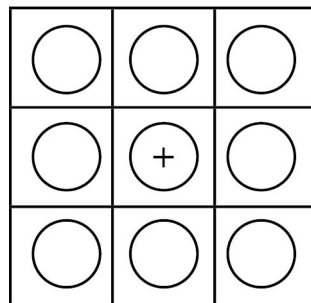
30 0 1 -3 4 -2 u=1 lat=1

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

• پر کردن عناصر شبکه

برای پر کردن عناصر شبکه از دستور fill و u استفاده می‌کنیم. ابتدا سلول یا سلول هایی که قرار است عناصر شبکه را پر کنند را تعریف می‌کنیم و در ادامه خط تعریف آن سلول ها دستور $u=n$ را درج می‌کنیم. اکنون کافی است که در سلول lat دستور $fill=n$ را وارد کنیم.

مثال (۲۲) تمام عناصر شبکه‌بندی مثال (۲۱) را با کره‌ای به شعاع یک سانتی‌متر پر کنید.



```
1  0  -11  fill = 1
2  0  -12  u = 1 lat = 1 fill = 6
3  0  -30  u = 6      $ inside of the sphere
4  0   30  u = 6      $ outside of the sphere
5  0   11
```

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 (u های مختلف). گفتیم که پس از شبکه بندی، هر یک از عناصر شبکه دارای یک مختصات عنصری می‌شود، به کمک همین مختصات می‌توان پر کردن عناصر شبکه را مدیریت کرد.

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

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

عدد 2 یعنی اینکه عنصر مشخص شده را با $u=2$ پر کن!

یا عناصر $\begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$ تا $\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$ را با $u=2$ پر کنیم:

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

در اینجا سه عنصر مشخص شده است لذا باید سه عدد u درج شود.

و یا عناصر $\begin{bmatrix} -2 & 0 & 0 \end{bmatrix}$ تا $\begin{bmatrix} 2 & 0 & 0 \end{bmatrix}$ را با $u=3$ پر کنیم به جز عنصر $\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$ که آن

را با $u=4$ پر می‌کنیم.

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

همان طوریکه ملاحظه نمودید باید به تعداد عناصر شبکه ای که با مختصات

عنصری معین شده است، عدد u درج شود. اگر تعداد عنصر مشخص شده که با یک نوع

u پر شده اند زیاد باشد می توان از کارت nr استفاده کرد (یعنی عدد قبلی را n 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 پایین ترین مرتبه مولفه

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

مرتبه آن، در ادامه به ازای پایین ترین مرتبه مولفه سوم و به ازای مرتبه بعدی مولفه

دوم، از پایین ترین مرتبه مولفه اول تا بالا ترین 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:

$\begin{bmatrix} -2 & -1 & 0 \end{bmatrix}$, $\begin{bmatrix} -1 & -1 & 0 \end{bmatrix}$, $\begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$, $\begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 \end{bmatrix}$, $\begin{bmatrix} 2 & -1 & 0 \end{bmatrix}$

$\begin{bmatrix} -2 & 0 & 0 \end{bmatrix}$, $\begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$, $\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$, $\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$, $\begin{bmatrix} 2 & 0 & 0 \end{bmatrix}$

$\begin{bmatrix} -2 & 1 & 0 \end{bmatrix}$, $\begin{bmatrix} -1 & 1 & 0 \end{bmatrix}$, $\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$, $\begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}$, $\begin{bmatrix} 2 & 1 & 0 \end{bmatrix}$

$\begin{bmatrix} -2 & -1 & 1 \end{bmatrix}$, $\begin{bmatrix} -1 & -1 & 1 \end{bmatrix}$, $\begin{bmatrix} 0 & -1 & 1 \end{bmatrix}$, $\begin{bmatrix} 1 & -1 & 1 \end{bmatrix}$, $\begin{bmatrix} 2 & -1 & 1 \end{bmatrix}$

$\begin{bmatrix} -2 & 0 & 1 \end{bmatrix}$, $\begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$, $\begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$, $\begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$, $\begin{bmatrix} 2 & 0 & 1 \end{bmatrix}$

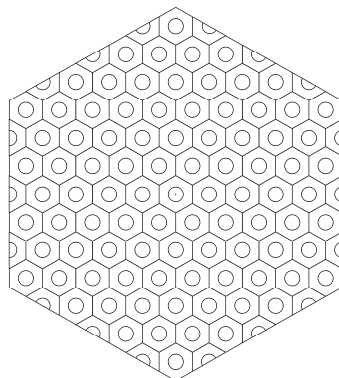
$\begin{bmatrix} -2 & 1 & 1 \end{bmatrix}$, $\begin{bmatrix} -1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$, $\begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}$, $\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$, $\begin{bmatrix} 2 & 1 & 1 \end{bmatrix}$

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 ۲۳) شبکه‌بندی شش ضلعی.



برای تعریف این مسئله سطوح زیر مورد نیازند:

سلول اصلی: ۱۰۱

سلول شبکه بندی: (lat = 2) ۱۰۲

استوانه به شعاع ۱cm: ۱۰۳

استوانه به شعاع 1.5cm: ۱۰۴

```
101 hex 0 0 0 0 0 10 20 0 0
102 hex 0 0 0 0 0 10 2 0 0
103 rcc 0 0 0 0 0 10 1
104 rcc 0 0 0 0 0 10 1.5
```

برای سلول‌ها داریم:

```
99 0 101
11 0 -101 fill = 1
12 0 -102 u = 1 lat = 2 fill = 4
13 0 -103 u = 4
14 0 103 u = 4
15 0 -104 u = 3
16 0 104 u = 3
```

تا اینجا تمام عناصر شبکه با $u = 4$ پر شده‌اند.

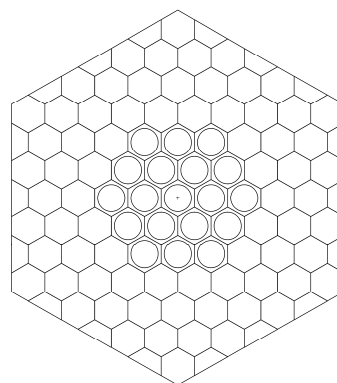
برای مدیریت در پر کردن عناصر شبکه باید مؤلفه‌های ماتریسی هر عنصر شبکه را

بدانیم.

اکنون فرض کنید می‌خواهیم هندسه زیر را تعریف کنیم:

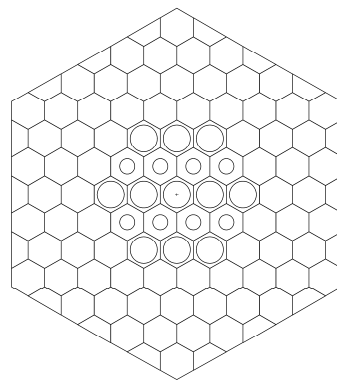
برای این کار داریم:

```
12 0 -102 u=1 lat=2 fill=-3:3 -2:2 0:0
      0 0 0 3 3 3 0
      0 0 3 3 3 3 0
      0 3 3 3 3 3 0
      0 3 3 3 3 0 0
      0 3 3 3 0 0 0
```

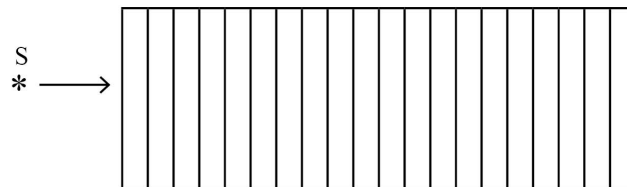


می‌توانیم سطرها را یکی در میان با $u=4$ و $u=3$ پر کنیم:

```
0 0 0 3 3 3 0
0 0 4 4 4 4 0
0 3 3 3 3 3 0
0 4 4 4 4 0 0
0 3 3 3 0 0 0
```



مثال ۲۴) فرض کنید می‌خواهیم شار یا دز را در فاصله‌های مختلف از یک چشمه پرتو محاسبه کنیم. برای این کار باید سلول ۱۰۲ را تقسیم‌بندی کنیم و کمیت مورد نظر را در هر قسمت محاسبه کنیم. برای تقسیم‌بندی این سلول می‌توان از کارتهای u و lat استفاده کرد.



فرض کنید محور استوانه منطبق بر محور x است ($L = 40\text{cm}, R = 8\text{cm}$) و مرکز آن در مبدا مختصات قرار دارد:

11 RCC 0 0 0 40 0 0 8

در اینجا باید از شبکه‌بندی در یک بعد استفاده کنیم ($lat = 1$). سلول شبکه‌بندی را با دو سطح تعریف می‌کنیم:

21 px 0

22 px 2

برای تعریف سلول‌ها داریم:

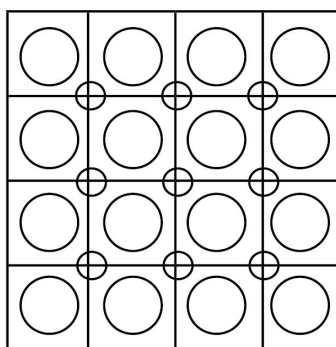
101 0 11

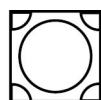
102 0 -11 fill=1

103 0 21 -22 u=1 lat=1

به این ترتیب سلول شماره ۱۰۲ را به ۲۰ قسمت مساوی تقسیم کردیم.

مثال (۲۵) به شکل مقابل دقت کنید. برای تعریف این هندسه به تعداد ۹ عدد u مختلف نیاز داریم.





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 (lat = 1): ۱۰۲

۳- استوانه به شعاع ۲cm: ۱۰۳

۴- استوانه های به شعاع ۱cm 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 $u = 23$
 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:

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

```

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

```

مثال ۲۶) می‌خواهیم مثال قبلی را با استفاده از ۳ واحد u مختلف تعریف می‌کنیم. همان طوریکه که ملاحظه می‌شود عناصر $u = 22$ تا $u = 25$ (همچنین $u = 26$ تا $u = 29$) شبیه هم هستند و 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 سلول اصلی 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)
22(1)	21	21	26(3)
22	26	26	22(3)

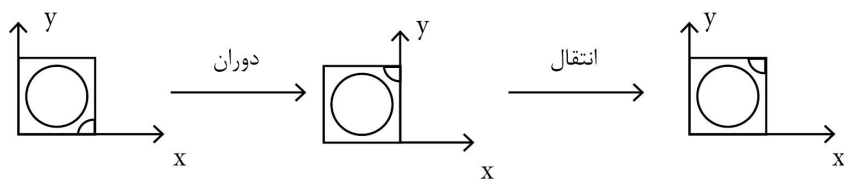
اعداد داخل پرانتز به کارت TRn یا TRn* اشاره دارند.

*TR1 5 0 0 90 0 90 180 90 90 90 0

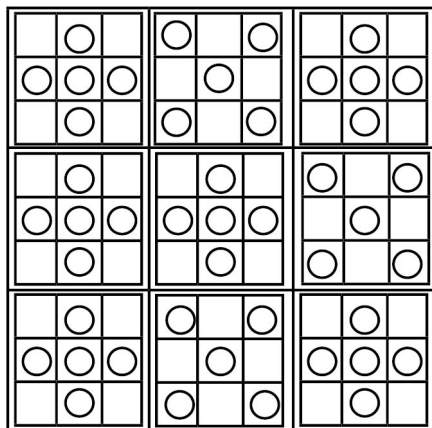
*TR2 5 5 0 180 90 90 270 180 90 90 0

*TR3 0 5 0 270 180 90 0 270 90 90 0

باید دقت داشت که دوران نسبت به مبدا 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:



مثال (۲۷) شکل زیر را در نظر بگیرید که با دو نوع بلوک مختلف پر شده است. استوانه‌ها کاملاً یکسان هستند. ($L = 10\text{cm}$, $R = 2\text{cm}$).



ابتدا سطوح مورد نیاز را می‌نویسیم.

۱- سطوح 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
    22 21 22
    21 22 21
```

21	22	21
22	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 $u = 21$ fill = 31

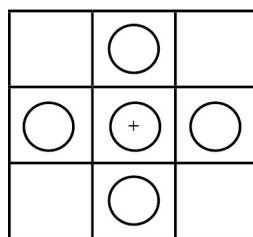
41 0 103 $u = 21$

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

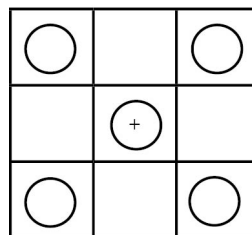
42 0 103 $u = 22$

32 0 -104 $u = 22$ lat = 1 fill: -1:1 -1:1 0:0

40 0 40

0 40 0

40 0 40



نکته پایانی در تعریف هندسه

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 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.

اگر سلول یا سلول‌هایی درست تعریف نشده باشند، ذرات در آن نواحی گم می‌شوند و اگر تعداد ۱۰ ذره توسط کد گم شود برنامه با نمایش پیغام زیر متوقف می‌شود:

geometry error in newcel

10 particles get 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. همان طور یک 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 or 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.

1 lost particle no. 2 no cell found in subroutine newcel history no. 4

the neutron currently being tracked has reached surface 10; there appears to be no cell on the other side of the surface from cell 103 at that point.

the neutron is in cell 103.

x,y,z coordinates:	-5.77129E+00	-1.88376E-01	-7.72301E-01
u,v,w direction cosines:	9.71002E-01	-5.66522E-02	-2.32262E-01

energy = 1.40000E+01 weight = 1.00000E+00 time = 6.49662E-02
the distance to surface 10 from the last event is 1.04454E+00
the distance to collision from the last event is 1.00000E+37
the number of neutron collisions so far in this history is 0.

فصل سوم

تعریف ماده

هر ماده ای که سلولی را پر کرده است باید در قسمت کارت داده ها تعریف شود. هر ماده در قسمت داده ها به صورت Mn شماره گذاری می شود که n یک عدد درست و حداکثر پنج رقمی است و ماده مورد نظر به کمک این عدد فراخوانی می شود.

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 می نامیم، به شکل زیر تعریف می شود:

$${}^A_ZX : 1000 \times Z + A$$

به عنوان مثال:

$${}^1_1H : 1001$$

$${}^6_3Li : 3006$$

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

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

برای تعریف یک ماده باید ایزوتوپ های تشکیل دهنده آن و درصد وزنی یا درصد اتمی آنها در ماده مورد نظر را مشخص کنیم. یک ماده به طور کلی به صورت زیر تعریف می شود:

Mn ZAID₁ f₁ ZAID₂ f₂

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 می کنیم. اگر شکل مولکولی ماده معلوم باشد استفاده از درصد اتمی راحت تر 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 می شود:

M36 1001 0.333 8016 0.6667

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

M8 13026 1

برای تعریف یک عنصر به صورت طبیعی (شامل ایزوتوپ های مختلف) آن را به صورت $1000 \times A$ تعریف می کنیم.

نوترون های کم انرژی می توانند 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 (اثر مولکول یا شبکه) برای برخی مواد، از کارت MTn (که n شماره ماده مورد نظر در کارت Mn است) استفاده می کنیم. مثلاً برای آب داریم:

ml 1001 2 8016 1

mtl LWTR.0lt

مقادیر مختلف MT در صفحه G-4 منوال کد آمده است.

تعریف آلیاژ

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

مثال (۱) ماده فلوننتال آلیاژی از AlF_3 و Al و LiF با چگالی $2.9 \frac{gr}{cm^3}$ می باشد که برای طراحی بیم نوترون در تحقیقات BNCT ابداع و استفاده شده است. با توجه به درصدهای وزنی مواد داده شده، درصد وزنی Al و Li و F را بدست آورید.

ماده	AlF_3	Al	LiF
درصد وزنی	0.69	0.30	0.01

برای محاسبه درصد وزنی عناصر داریم:

$$M(Al) = 27 \quad M(AlF_3) = 84$$

$$M(Li) = 7 \quad M(Al) = 27$$

$$M(F) = 19 \quad M(LiF) = 26$$

$$wf(Al) = 0.69 \left(\frac{M(Al)}{M(AlF_3)} \right) + 0.3 \left(\frac{M(Al)}{M(Al)} \right) = 0.521786$$

$$wf(F) = 0.69 \left(\frac{3M(F)}{M(AlF_3)} \right) + 0.01 \left(\frac{M(F)}{M(LiF)} \right) = 0.475522$$

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

چگالی یک آلیاژ را می توان از رابطه زیر بدست آورد:

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

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

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:

$$af_i = \omega f_i \frac{M_{\text{elm}}}{M_i}$$

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

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 ۲) ترکیب UO_2 با غنای ۲۰ درصد را در نظر بگیرید. می‌خواهیم درصد وزنی

^{238}U و ^{235}U و O را محاسبه کنیم:

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

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

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

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

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

به این ترتیب داریم:

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

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

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

تبدیل درصدهای وزنی و اتمی به یکدیگر

تبدیل درصد وزنی به اتمی

برای هر ایزوتوپ، درصد وزنی آن را بر جرم آن تقسیم می کنیم و آنرا P_i می نامیم. همه P_i ها را با یکدیگر جمع می کنیم و حاصل را $P(\text{total})$ می نامیم.

$$af_i = \frac{P_i}{P(\text{total})} \text{ درصد اتمی ایزوتوپ } i \text{ برابر خواهد بود با:}$$

مثلاً برای آب داریم:

$$wf_H = \frac{2}{16} = 0.11111$$

$$wf_O = \frac{16}{18} = 0.88889$$

$$P_H = \frac{wf_H}{M_H} = \frac{0.11111}{1} = 0.11111$$

$$P_O = \frac{wf_O}{M_O} = \frac{0.88889}{16} = 0.0555$$

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

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

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

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.

$$\text{درصد وزنی ایزوتوپ } i \text{ برابر خواهد بود. } wf_i = \frac{P_i}{P(\text{total})}$$

به عنوان مثال برای آب داریم:

$$af_H = \frac{2}{3} \Rightarrow P_H = \frac{2}{3} \times 1 = \frac{2}{3}$$

$$af_O = \frac{1}{3} \Rightarrow P_O = \frac{1}{3} \times 16 = \frac{16}{3}$$

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

$$wf_H = \frac{P_H}{P(\text{total})} = \frac{\frac{2}{3}}{6} = \frac{2}{18} = 0.1111$$

$$wf_O = \frac{P_O}{P(\text{total})} = \frac{\frac{16}{3}}{6} = \frac{16}{18} = 0.8889$$

مشخص کردن نوع سطح مقطع و کد شناسایی آن

نتایج محاسبات کد به نوع سطح مقطع‌های مورد استفاده بستگی دارد و اینکه سطح مقطع‌های تولید شده از کدام پایگاه داده می‌باشد.

به طور کلی هفت نوع سطح مقطع در کد تعریف شده است:

۱- پیوسته (C)

۲- گسسته (D)

۳- حرارتی (T)

۴- دزیمتری (Y)

۵- فوتون (P)

۶- الکترون (E)

۷- چند گروهی (M)

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:

ZAID.nnX

که X نوع سطح مقطع و nn کد شناسایی پایگاه داده می‌باشد، مثلاً: 1001.60C، همچنین می‌توان از کارت‌های $nnX = NLIB$ برای نوترون، $nnX = PLIB$ برای فوتون و $nnX = ELIB$ برای الکترون در تعریف ماده استفاده کرد مثلاً:

M23 1001 2 8016 1 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 می‌کند. مقدار پیش فرض، اولین حالتی است که در فایل xsdir تعریف شده است.

فایل xsdir یک رابط بین کد و کتابخانه سطح مقطع‌ها می‌باشد. در ابتدای این فایل جرم اتمی ایزوتوپ‌های مختلف و در ادامه سطح مقطع‌های قابل تعریف و موجود در کتابخانه کد (قابل تعریف توسط کاربر) آمده است.

به عنوان مثال برای ایزوتوپ ۱۰۰۱ (هیدروژن) سطح مقطع‌های 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

1001.50d 0.999170 drmcscs2 0 2 1 3175 1024 512 2.5300E-08

1001.30y 1.007820 lldos2 0 2 1 209 1024 512

1001.50m 0.999172 mgxsnp2 0 2 1 3249 1024 512

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

دستور MXn در نسخه X

اصولاً سطح مقطع‌ها به صورت تجربی تهیه شده‌اند. گاهی وقت‌ها لازم است برای شرایط خاص 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 دستور MXn به صورت زیر، استفاده می‌شود:

MXn: (Pℓ) ZAID1 ZAID2 ...

n : شماره ماده در دستور Mn می‌باشد.

(pℓ): نوع ذره یا چشمه تعریف شده در برنامه ورودی

ZAID_i: جایگزین سطح مقطع ایزوتوپ i ام در کارت Mn با مدل فیزیکی و یا تجربی ایزوتوپ دیگر.

مثال ۳) فرض کنید ماده UO₂ در یک سلولی وجود دارد به طوری که سطح مقطع برای اکسیژن ¹⁶O تا انرژی 150 MeV به صورت داده کتابخانه‌ای موجود است ولی برای اورانیوم تا انرژی 20 MeV داده‌های تجربی وجود دارد. بنابراین در این حالت با توجه به متفاوت بودن داده‌های کتابخانه‌ای سطح مقطع، از دستور MXn که به صورت زیر استفاده می‌شود:

M1 8016 2 92238 1 NLIB=.60C

MX1:n j Model

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

مثال ۴)

M11 1002 1 1003 1 6012 1 20040 1 NLIB=.24C

MX11:n j Model 6000 20000

MX11:h Model j j j

در این مثال برای ذره نوترون، تریتون از مدل فیزیکی پیروی می‌کند ولی برای ذره پروتون، دوترون از مدل فیزیکی پیروی می‌کند.

در نظر گرفتن اثر فوتونوترونی

برای چشمه‌های فوتونوترونی یا واکنش (γ,n) بایستی برای تعریف مواد از دستور MPNn به همراه دستور Mn استفاده شود که به صورت زیر تعریف می‌شود:

MPNn ZA1 ZA2

که n شماره ماده در دستور Mn و ZA_i مربوط به عنصر ایزوتوپی است.

مثال ۵)

M2 4009 1 1002 2

MPN2 4009 1002

یعنی برای ایزوتوپ‌های 4009 و 1002 مسئله فوتونوترون در نظر گرفته شود.

مشخصات برخی مواد پر کاربرد در وبسایت www.MCNP.ir آمده است.

فصل چهارم

تعریف چشمه

تعریف چشمه

هر فایل ورودی باید دارای یک چشمه ذرات باشد. چشمه هایی که در نسخه 4C قابل تعریف اند سه نوع چشمه الکترون، فوتون و نوترون است ولی در نسخه های بالاتر تعداد انواع ذرات بیشتری در کد به عنوان چشمه قابل تعریف می باشد. همچنین در نسخه های جدید امکان تعریف چشمه ذرات مختلف بطور همزمان (مثلاً چشمه نوترون و گاما) در یک برنامه وجود دارد.

چشمه عمومی

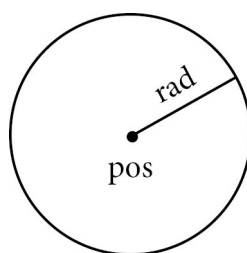
یک چشمه به طور کلی با دستور SDEF در قسمت داده ها تعریف می شود. پارامترهای بسیاری وجود دارد که می توان برای SDEF تعریف کرد مانند نوع ذره، انرژی، مکان، جهت گسیل ذرات و جدول (۱) انواع پارامترهای قابل تعریف برای چشمه SDEF را نشان می دهد.

با توجه به جدول (۱) اگر دستور SDEF به تنهایی وارد شود و هیچ پارامتر دیگری برای آن تعریف نشود، یک چشمه نقطه ای نوترون، تک انرژی 14MeV در مبدا مختصات که ذرات را به صورت همگن در همه جهت ها گسیل می کند تعریف می شود.

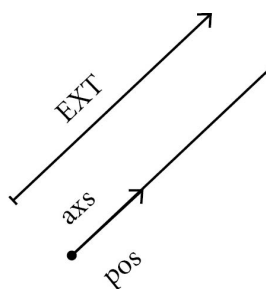
جدول (۱) پارامترهای قابل تعریف برای چشمه

متغیر	توضیحات	مقدار پیش فرض
CEL	سلولی که ذره در آن تولید می‌شود	با توجه به مختصات
SUR	سطحی که ذرات روی آن تولید می‌شوند	صفر
ERG	انرژی ذرات	14MeV
TME	زمان تولید ذرات	0
VEC	بردار مرجع برای تعیین جهت حرکت ذرات	چشمه سطحی: بردار عمود بر سطح و چشمه حجمی: همگن
DIR	جهت اولیه ذرات نسبت به بردار مرجع	همگن
NRM	بردار عمود بر سطح	+1
POS	نقطه مرجع برای انتخاب مکان اولیه ذرات	0 0 0
RAD	فاصله شعاعی ذرات نسبت به مقدار POS یا AXS	0
EXT	فاصله محور ذرات از مقدار POS در امتداد AXS	0
AXS	بردار مرجع برای انتخاب EXT و RAD	در هیچ جهت خاص
X,Y,Z	مختصات محل تولید ذرات	هیچ مکان خاص
ARA	مساحت چشمه سطحی	ندارد
PAR	پارامتر تعیین کننده نوع ذره PAR=1 نوترون PAR=2 فوتون PAR=3 الکترون	1
WGT	وزن ذرات	1
CCC	طرد یک سلول درون سلول دیگر	هیچ سلول خاص

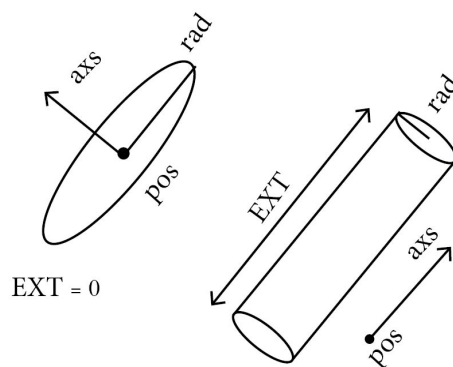
۱- پارامتر POS علاوه بر اینکه برای تعریف مختصات مکانی یک چشمه نقطه‌ای به کار می‌رود، نقطه مرجع برای متغیرهای RAD و EXT است. از پارامترهای POS و RAD می‌توان برای تعریف چشمه‌های سطحی و حجمی کروی استفاده می‌شود.



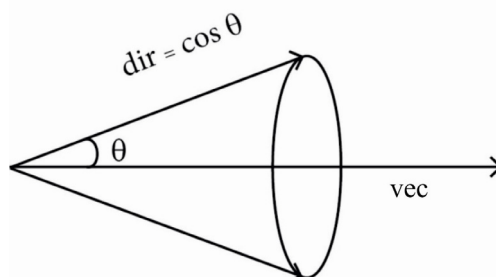
۲- پارامتر AXS، بردار مرجع برای پارامترهای RAD و EXT است. پارامتر RAD فاصله محوری از AXS و EXT فاصله از نقطه POS در راستای بردار AXS است. از پارامترهای POS و AXS و EXT می‌توان برای تعریف چشمه‌های خطی با جهت‌گیری خاص در فضا استفاده کرد.



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.

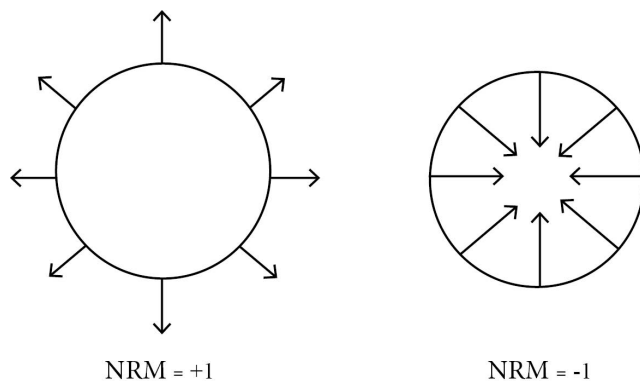


۴- پارامترهای VEC و DIR همراه هم به کار می‌روند و برای تعریف جهت خروج ذرات از چشمه استفاده می‌شوند. بردار VEC بردار مرجع برای پارامتر DIR است. پارامتر DIR کسینوس زاویه بین جهت خروج ذره و بردار VEC می‌باشد.



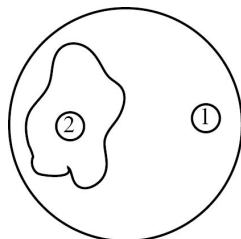
۵- اگر چشمه سطحی روی یکی از سطوح استفاده شده در تعریف سلول‌ها قرار داشته باشد، پارامتر SUR مورد استفاده قرار می‌گیرد. پارامتر SUR شماره آن سطح را مشخص می‌کند. برای تعریف یک چشمه دایره‌ای، دیسک و ... روی سطح مورد نظر از ترکیب پارامترهای SUR، POS، RAD و ... استفاده می‌کنیم.

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 تعریف چشمه‌های حجمی شامل سلول‌های مسئله استفاده می‌شود، مثلاً اگر سلول ۱ درون سلول ۲ قرار داشته باشد و همهٔ حجم سلول ۱ به جز سلول ۲، چشمه باشد می‌توان با تعریف این پارامتر سلول ۲ را مستثنی کرد.

```
SDEF cel=1 ccc=2 pos=0 0 0 rad=d1
SI1 0 10
SP1 0 1
```



یعنی چشمه درون سلول ۱ است به جز سلول ۲.

۸- در قسمت PAR در نسخه‌های بالاتر کد، ۳۵ نوع ذره قابل تعریف است که مهمترین آن‌ها عبارتند از:

یون‌های سنگین # یا ۳۵	تریتون	t یا ۳۲	پروتون	h یا ۹
هلیوم ۳-		s یا ۳۳	پوزیترون	-e یا ۳-
آلفا		a یا ۳۴	دوترون	d یا ۳۱

پس از تعریف چشمه برای بررسی شرایط آن و اطمینان از اینکه چشمه درست تعریف شده است، می‌توانیم جدول 110 را در فایل خروجی ملاحظه کنیم. برای چاپ جدول 110 در خروجی از کارت 110 print در فایل ورودی و در بخش داده‌ها استفاده می‌کنیم.

پس از اجرای برنامه برای تعداد کمی تاریخچه، جدول 110 در خروجی را بررسی می‌کنیم. در این جدول مشخصات 50 ذره اول تولیدی در چشمه، نمایش داده می‌شود، مانند مختصات مکان تولید، شماره سلولی که ذرات در آن تولید شده‌اند، شماره سطح، کسینوس‌های هادی جهت خروج ذره از چشمه، انرژی و

nps	x	y	z	cell	surf	u	v	w	energy
1	-9.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	1	0	5.085E-01	4.733E-01	7.193E-01	1.400E+01
2	-9.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	1	0	8.952E-01	-4.447E-01	-2.944E-02	1.400E+01
3	-9.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	1	0	-6.184E-01	-4.495E-01	6.446E-01	1.400E+01
4	-9.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	1	0	9.710E-01	-5.665E-02	-2.323E-01	1.400E+01
5	-9.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	1	0	5.861E-01	1.496E-01	-7.963E-01	1.400E+01
6	-9.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	1	0	-6.489E-02	-1.626E-01	9.845E-01	1.400E+01
7	-9.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	1	0	-7.068E-02	3.263E-02	-9.970E-01	1.400E+01
8	-9.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	1	0	-3.915E-01	4.664E-01	-7.932E-01	1.400E+01
9	-9.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	1	0	-2.368E-01	9.215E-01	-3.079E-01	1.400E+01
10	-9.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	1	0	1.946E-01	-3.204E-01	9.271E-01	1.400E+01

مثال (۱) یک چشمه نقطه ای الکترون که در نقطه (5 3 0) قرار دارد و ذرات را با انرژی 20 MeV به صورت همگن در همه جهات گسیل می‌کند:

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

معرفی تابع توزیع برای پارامترهای چشمه

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. تعریف تابع توزیع به طور کلی برای ۵ حالت مختلف امکان پذیر است.

۱- حالت گسسته

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

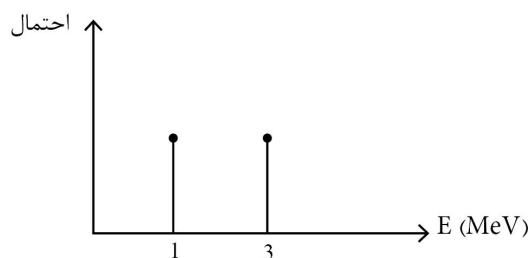
$$\begin{array}{l} \text{Var} = \text{dn} \\ \text{SIn} \quad \text{L} \quad \text{Val}_1 \quad \text{Val}_2 \quad \dots \\ \text{SPn} \quad \quad \text{P}_1 \quad \text{P}_2 \quad \dots \end{array}$$

Val_i مقادیر مختلف پارامتر Var و P_i احتمال هر مقدار آن است. حرف L نشان دهنده توزیع گسسته می باشد. بدیهی است تعریف تابع توزیع گسسته فقط برای پارامترهایی امکان پذیر است که ذاتاً گسسته اند، مثل pos و cell، sur، ... و یا قابلیت توزیع گسسته دارند مثل dir و erg و

مثال (۲) دو چشمه نقطه ای در مختصات (2 0 0) و (0 0 -3) هر یک با انرژی 2MeV که با احتمال های مساوی ذرات را گسیل می کنند:

$$\begin{array}{l} \text{SDEF} \quad \text{POS} = \text{dl} \quad \text{ERG} = 2 \\ \text{SII} \quad \text{L} \quad -3 \quad 0 \quad 0 \quad 2 \quad 0 \quad 0 \\ \text{SPI} \quad \quad \quad 1 \quad \quad \quad 1 \end{array}$$

مثال (۳) یک چشمه نقطه ای در مختصات (1 2 4) که ذرات را با دو انرژی 1 و 3MeV با احتمال های مساوی ساطع می کند:

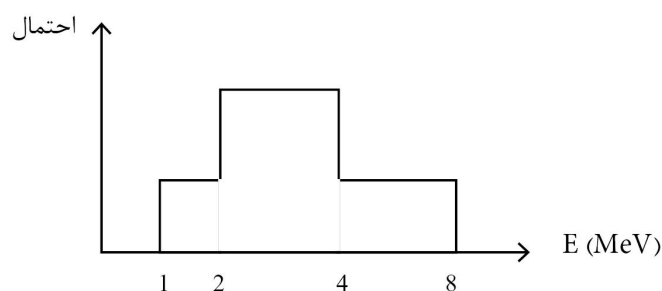


```
SDEF POS=1 2 4 ERG=d6
SI6 L 1 3
SP6 1 1
```

۲- 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. مثلاً فرض کنید احتمال اینکه انرژی ذره در بازه 2-4 MeV باشد 2 برابر احتمال این است که انرژی در بازه 1-2 MeV و یا 4-8 MeV باشد و در بقیه جاها احتمال صفر است:



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

۳- حالت پیوسته: دارای تابع توزیع ریاضی

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

```
SPn f a b
```

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 (۲) انواع توابع توزیع قابل تعریف در کد را نشان می‌دهد.

جدول (۲) انواع توابع توزیع قابل تعریف در کد

مقدار پیش فرض پارامترها	پارامترها	شکل تابع ریاضی	نوع متغیر قابل تعریف	f
$a = 1.2895 \text{ MeV}$	a	$C\sqrt{E} e^{-E/a}$	ERG	-2
$a = 0.965 \text{ MeV}$ $b = 2.29 \text{ MeV}^{-1}$	a,b	$Ce^{-E/a} \sinh \sqrt{bE}$	ERG	-3
$a = -0.01 \text{ MeV}$ $b = -1$	a,b	$Ce^{-\left(\frac{E-b}{a}\right)^2}$	ERG	-4
$a = 1.2895 \text{ MeV}$	a	$CEe^{-E/a}$	ERG	-5
$a = -0.01 \text{ MeV}$ $b = -1$	a,b	$Ce^{-\left(\frac{\sqrt{E}-\sqrt{b}}{a}\right)^2}$	ERG	-6
-	a,b	قابل تعریف توسط کاربر با تغییر در فایل فرترن کد	ERG	7
DIR : $a = 1$ RAD : $a = 2$ یا $a = 1$ (وجود AXS) EXT : $a = 0$	a	$C x ^a$	DIR - RAD - EXT	-21
$a = 0$	a	$Ce^{a/\mu}$	DIR - EXT	-31
مقدار خاصی ندارد $b = 0$	a,b	$Ce^{-\left[1.6651092\left(\frac{t-b}{a}\right)\right]}$	TME	-41

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

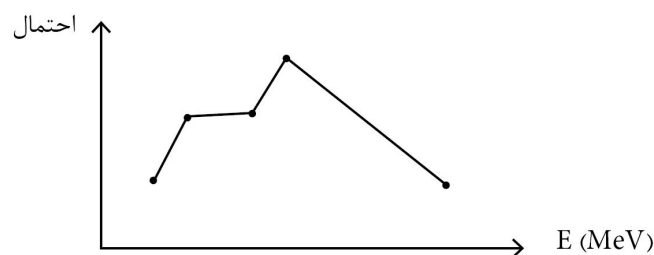
اگر چند نقطه از یک تابع توزیع معلوم باشد می توان آن نقاط را تعریف کرد. کد نقاط تعریف شده را به صورت خطی به یکدیگر متصل می کند و شکل تابع توزیع را مشخص می کند.

به منظور تعریف این حالت از حرف A در کارت SIn استفاده می کنیم:

SIn A val₁ val₂ val₃

SPn p₁ p₂ p₃

کد نقاط (val₁, p₁) ، (val₂, p₂) و (val₃, p₃) را به صورت خطی به یکدیگر متصل می کند و احتمال را برای همه نقاط بدست می آورد. به عنوان مثال شکل زیر را ملاحظه نمایید.



۵- تعریف توابع توزیع مختلف برای بازه های مختلف یک پارامتر

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

SIn S dn₁ dn₂

SPn p₁ p₂

SIn₁

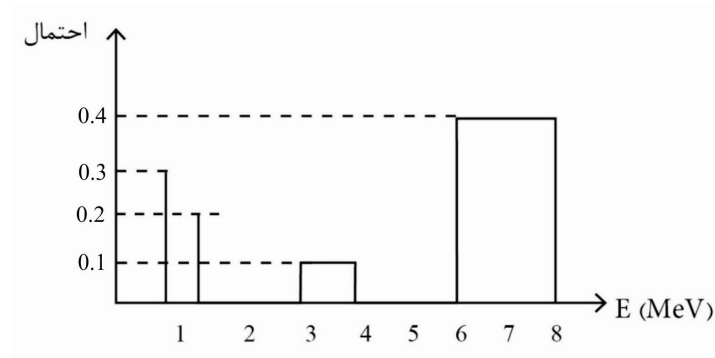
SPn₁

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_1 و dn_2 حذف کرد. n_1 و n_2 اعداد درست دلخواهی هستند.

مثال (۴) تعریف چشمه‌ای دارای توزیع انرژی به صورت زیر:



```
SDEF  ERG = d2
SI2 S  11  12
SP2    1    1
SII1 L  1   1.5
SP11   0.3  0.2
SII2 H  3   4   6   8
SP12   0   0.1  0   0.4
```

تعریف توابع توزیع وابسته برای پارامترهای چشمه

فرض کنید دو چشمه نقطه‌ای در مختصات $(1\ 0\ 0)$ و $(-1\ 0\ 0)$ داریم که هر یک دارای توابع توزیع مشخص هستند، در اینجا انرژی چشمه وابسته به مکان است. در این حالت انرژی را به صورت زیر می‌نویسیم:

```
POS = d1  ERG = FPOS = d2
```

پارامتر FPOS یعنی تابعی از پارامتر POS است. در چنین حالت هایی از کارت های DS_n و SI_n و SP_n استفاده می کنیم. در اینجا نیز ۵ حالت امکان پذیر است.

حالت ۱:

اگر مقادیر پارامتر وابسته (در اینجا ERG) نسبت به پارامتر مستقل (در اینجا POS) گسسته باشد (مثلاً چشمه های نقطه ای، تک انرژی باشند) در کارت DS_n از حرف L استفاده می کنیم و بعد از آن مقادیر مختلف آن پارامتر را می نویسیم. مثلاً برای دو چشمه نقطه ای تک انرژی داریم:

```
SDEF POS = d1 ERG = FPOS = d2
SII L x1 y1 z1 x2 y2 z2
SP1 p1 p2
DS2 L E1 E2
```

حالت ۲:

اگر پارامتر وابسته نسبت به پارامتر مستقل دارای توابع توزیع مختلفی باشد، از حرف S در کارت DS_n استفاده می کنیم و در ادامه شماره توزیع های مختلف را می نویسیم و سپس توابع توزیع را با کارت های SI_n و SP_n مشخص می کنیم. مثلاً اگر دو چشمه نقطه ای یکی دارای توزیع انرژی گسسته و دیگری دارای طیف هیستوگرام باشد داریم:

```
SDEF POS = d1 ERG = FPOS = d2
SII x1 y1 z1 x2 y2 z2
SP1 p1 p2
DS2 S 8 9
SI8 L E1 E2 E3
SP8 p'1 p'2 p'3
SI9 H E4 E5 E6
SP9 0 α1 α2 α3
```

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:

DS2 H (or blank) J₁ J₂ ...

حالت ۴:

فرض کنید چشمه‌ای همسانگرد با یک طیف انرژی مشخص تعریف کرده‌ایم. در این چشمه اگر ذره‌ای دارای انرژی E_1 باشد در جهت مثبت و اگر دارای انرژی E_2 باشد در جهت منفی محور z ساطع می‌شود، در اینجا می‌توان از کارت DSn به همراه حرف T در ادامه آن استفاده کرد:

$$\text{DSn} \quad \text{T} \quad \text{I}_1 \quad \text{J}_1 \quad \text{I}_2 \quad \text{J}_2 \quad \text{I}_3 \quad \text{J}_3 \quad \dots$$

در اینجا در هر بار نمونه‌برداری از پارامتر مستقل، اگر مقدار آن I_1 باشد، آنگاه مقدار پارامتر وابسته J_1 خواهد بود در غیر این صورت مقدار پارامتر وابسته، مقدار پیش فرض در نظر گرفته می‌شود:

SDEF		ERG = d1			VEC = 001		DIR = FERG = d2
SII	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 2MeV در جهت محور z ($\text{dir} = 1$) و ذرات با انرژی 3MeV در خلاف جهت محور z ($\text{dir} = -1$) و بقیه ذرات به صورت همسانگرد گسیل می‌شوند.

حالت ۵:

اگر پارامتر وابسته در بازه‌های مختلف پارامتر مستقل، دارای توابع توزیع مختلفی باشد از کارت DSn به همراه حرف Q در ادامه آن استفاده می‌کنیم.

$$\text{DSn} \quad \text{Q} \quad \text{V}_1 \quad \text{S}_1 \quad \text{V}_2 \quad \text{S}_2 \quad \text{V}_3 \quad \text{S}_3$$

S_i ها شماره توابع توزیع هستند که با کارت‌های S_{In} 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:

DS3 Q 1 21 1.5 22 6 23

SI21

SP21

SI22

SP22.....

SI23

SP23.....

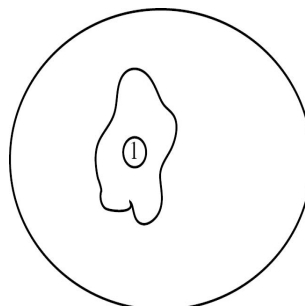
در این مثال اگر پارامتر مستقل بین ۶-۱/۵ باشد، مقدار پارامتر وابسته از توزیع شماره 23 محاسبه می‌شود.

تعریف چشمه های حجمی با هندسه های غیر متعارف

برای تعریف یک سلول به عنوان چشمه حجمی از روش طرد استفاده می‌کنیم. در این روش به کمک پارامترهای POS، RAD، AXS، EXT ... 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 Sin و SPn احتمال گسیل ذره از هر سلول را مشخص می‌کنیم:

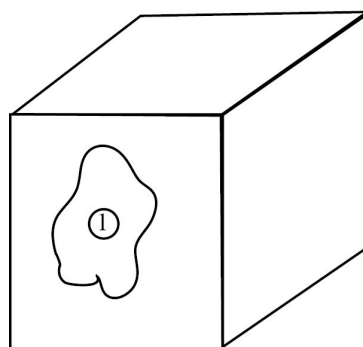
مثال (۵)

SDEF pos = 0 0 0 rad = dl cel = 1
SII 0 10
SP1 0 1



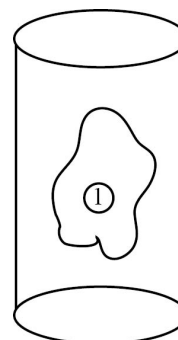
مثال ۶

```
SDEF x = d1 y = d2 z = d3 cel = 1
SI1 0 10
SP1 0 1
SI2 0 10
SP2 0 1
SI3 0 10
SP3 0 1
```



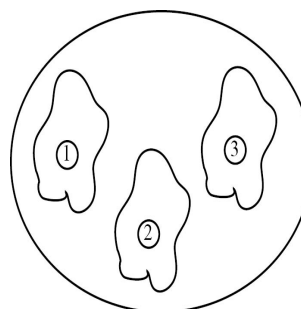
مثال ۷

```
SDEF pos = 0 0 0 axs = 0 0 1 rad = d1 ext = d2 cel = 1
si1 0 6
sp1 0 1
si2 -10 10
sp2 0 1
```



مثال ۸

```
SDEF pos = 0 0 0 cel = d1 rad = d2
SI1 L 1 2 3
SP1 1 1 1
SI2 0 10
SP2 0 1
```



تعریف چشمه در ساختارهای تکرار شونده

در هندسه‌های شامل ساختارهای تکرار شونده، برای تعریف چشمه‌های نقطه‌ای، حجمی و باید با استفاده از پارامتر cel، سلولی را که چشمه در آن قرار دارد را معین کنیم. مثال ۹) فرض کنید سه مکعب یکسان داریم که آن‌ها را با دستور like n But تعریف کرده‌ایم:



سلول‌های ۲ و ۳ شبیه سلول ۱ هستند و نسبت به آن جابه‌جا شده‌اند. اکنون یک چشمه نقطه‌ای در مرکز مکعب ۲ تعریف می‌کنیم:

SDEF pos = 0 0 0 cel = 2

نقطه (0 0 0) درون سلول ۱ قرار دارند (مرکز مکعب است) اما چون سلول ۲ شبیه سلول ۱ است موقعیت آن در سلول ۲ نیز، مرکز مکعب می‌باشد.

یا مثلاً یک چشمه سطحی کروی در سلول شماره ۳ به صورت زیر تعریف می‌شود:

SDEF pos = 0 0 0 rad = 6 cel = 3

اکنون فرض کنید که سه چشمه سطحی کروی درون تمام مکعب‌ها داریم:

SDEF pos = 0 0 0 rad = 4 cel = dl

sil L 1 2 3

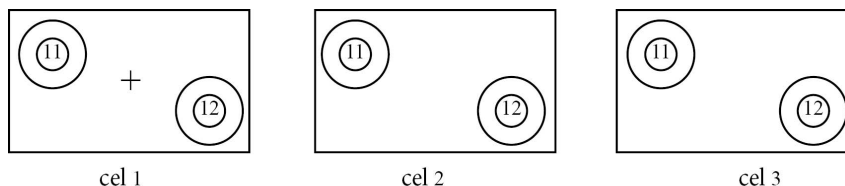
spl 1 1 1

اگر سلول‌ها با دستورهای fill و u پر شده باشند باید شماره سلول را در پارامتر cel به صورت زیر وارد کنیم:

$c_1 : c_2 : c_3 : \dots$

c_i ها شماره سلول‌ها هستند که از بیرونی‌ترین سلول تا سلول مورد نظر به ترتیب نوشته می‌شوند.

مثال ۱۰) شکل زیر را در نظر بگیرید:



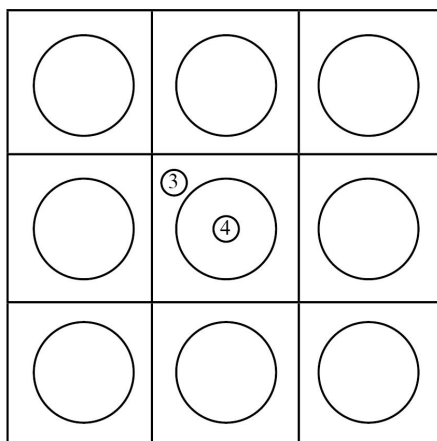
برای تعریف یک چشمه نقطه‌ای در مرکز سلول ۱۱ واقع در سلول شماره ۲ داریم:

SDEF pos = -3 3 0 cel = 2:11

سلول‌های ۱۱ و ۱۲ و ۱۳ با دستور $u = n$ درون سلول ۱ را پر کرده‌اند و سلول‌های ۲ و ۳ با دستور like n But تعریف شده‌اند.

در صورتی که هندسه شامل دستورهای 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 ۱۱) شکل زیر را در نظر بگیرید:



مکعب اصلی: cel 1
cel 2 : lat = 1

برای تعریف یک چشمه نقطه‌ای در مرکز کره (شعاع کره‌ها ۲ سانتی متر است) واقع

در عنصر (0 0 0) داریم:

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

برای تعریف تمام سلول ۴ (چشمه حجمی) واقع در عنصر (1,1,0) داریم:

SDEF pos = 0 0 0 rad = dl cel = 1:2(1 1 0):4

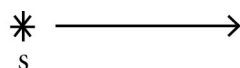
SII 0 5

SP1 0 1

مثال های متنوع

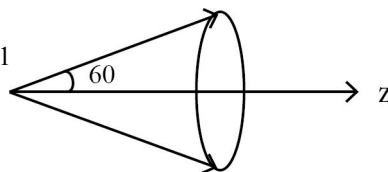
(۱) چشمه نقطه‌ای

مثال (۱۲) چشمه نقطه‌ای در جهت یکنواخت

POS = 0 0 0 vec = 0 0 1 dir = 1 

مثال (۱۳) یک چشمه نقطه‌ای که ذرات را درون یک مخروط با زاویه رأس 60° گسیل می‌کند.

pos = 0 0 0 vec = 0 0 1 dir = dl
sil 0.5 1
spl 0 1



(۲) چشمه خطی

مثال (۱۴)

x = dl y = 0 z = 0

sil 0 15

spl 0 1

یا

pos = 0 0 0 axs = 1 0 0 ext = dl

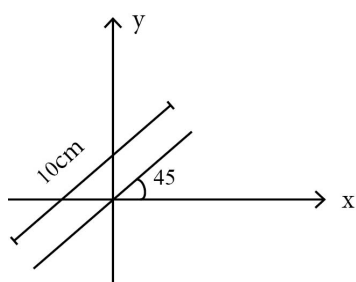
sil 0 15

spl 0 1

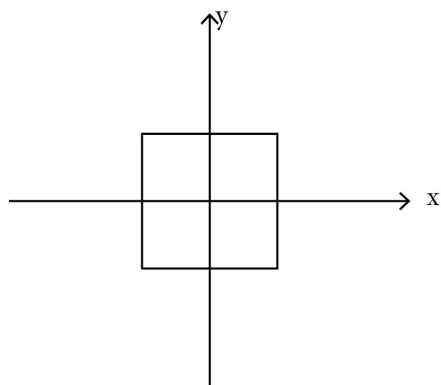


مثال ۱۵)

```
pos = 0  0  0  axs = 0.7  0.7  0  ext = dl
sil  -5  5
spl   0  1
```



مثال ۱۶) ۴ میله ۱۰ سانتی متری به شکل مربع که ذرات را در جهت محور z گسیل می کنند:

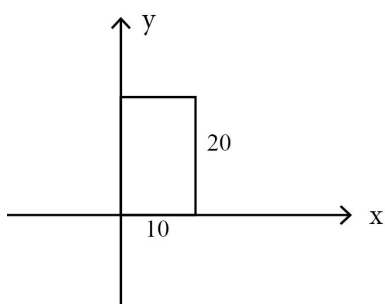


```
pos = dl  vec = 0  0  1  dir = 1  ext = d2  axs = fpos = d3
SI1  L  5  0  0  -5  0  0  0  5  0  0  -5  0
SP1           1           1           1           1
SI2  -5  5
SP2   0  1
DS3   0  1  0  0  1  0  1  0  0  1  0  0
```

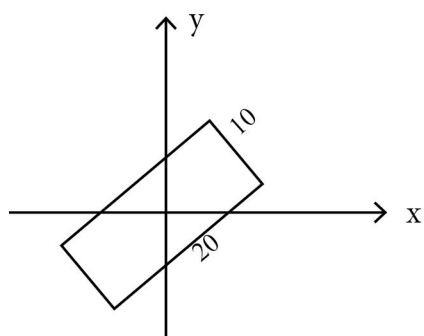
۳) صفحه مستطیلی به ابعاد 10×20 سانتی متر مربع

مثال ۱۷)

x = d1 y = d2 z = 0
 si1 0 10
 si2 0 20
 sp1 0 1
 sp2 0 1



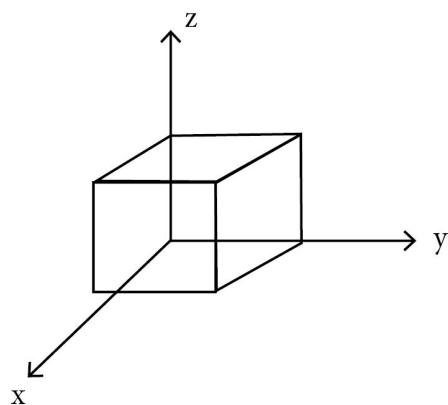
مثال ۱۸)



X = d1 y = d2 z = 0 pos = 0 0 0 axs = 0.7 0.7 0
 si1 0 10
 si2 0 10
 sp1 0 1
 sp2 0 1

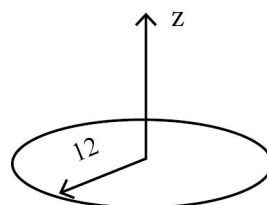
(۴) مکعب به ابعاد $10 \times 10 \times 10$ سانتی متر مکعب
مثال (۱۹)

$x = d1 \quad y = d2 \quad z = d3$
 $si1 \quad 0 \quad 10$
 $sp1 \quad 0 \quad 1$
 $si2 \quad 0 \quad 10$
 $sp2 \quad 0 \quad 1$
 $si3 \quad 0 \quad 10$
 $sp3 \quad 0 \quad 1$



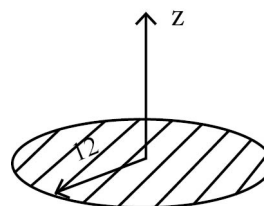
(۵) حلقه، دیسک و استوانه به شعاع ۱۲ سانتی متر
مثال (۲۰)

$pos = 0 \quad 0 \quad 0 \quad rad = 12 \quad axs = 0 \quad 0 \quad 1$



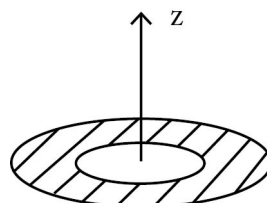
مثال (۲۱)

$pos = 0 \quad 0 \quad 0 \quad rad = d1 \quad axs = 0 \quad 0 \quad 1$
 $si1 \quad 0 \quad 12$
 $sp1 \quad 0 \quad 1$



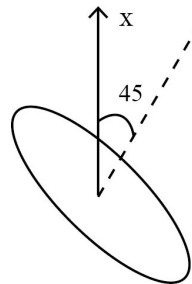
مثال (۲۲)

$rad = d1 \quad pos = 0 \quad 0 \quad 0 \quad axs = 0 \quad 0 \quad 1$
 $si1 \quad 2 \quad 4$
 $sp1 \quad 0 \quad 1$



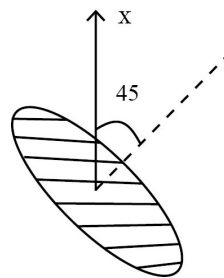
مثال ۲۳)

pos = 0 0 0 rad = 12 axs = 0.7 0.7 0



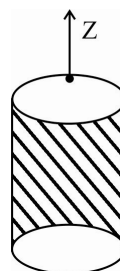
مثال ۲۴)

pos = 0 0 0 rad = d1 axs = 0.7 0.7 0
 sil 0 12
 spl 0 1



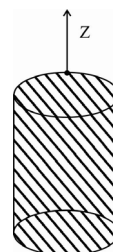
مثال ۲۵) سطح جانبی استوانه

pos = 0 0 0 rad = 12 axs = 0 0 1 ext = d2
 si2 0 10
 sp2 0 1



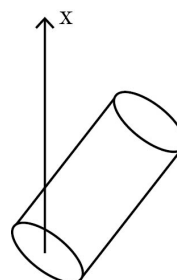
مثال ۲۶) چشمه حجمی استوانه ای

pos = 0 0 0 rad = d1 axs = 0 0 1 ext = d2
 si1 0 12
 sp1 0 1
 si2 0 10
 sp2 0 1



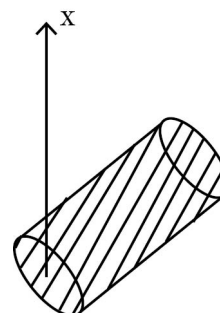
مثال ۲۷) سطح جانبی استوانه با جهت گیری دلخواه

pos = 0 0 0 rad = 12 axs = 0.7 0.7 0 ext = d2
 si2 0 10
 sp2 0 1



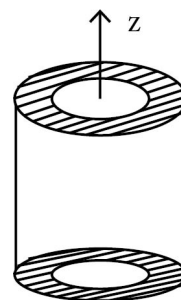
مثال ۲۸)

pos = 0 0 0 rad = d1 axs = 0.7 0.7 1 ext = d2
 si1 0 12
 sp1 0 1
 si2 0 10
 sp2 0 1



مثال ۲۹)

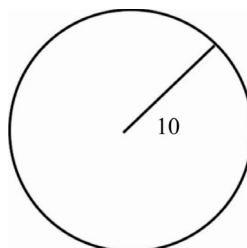
```
pos = 0 0 0  axs = 0 0 1  rad = d1  ext = d2
sil  2  6
spl  0  1
si2  0  10
sp2  0  1
```



۶ چشمه کروی

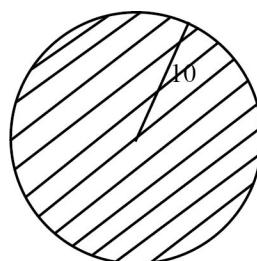
مثال ۳۰)

```
pos = 0 0 0  rad = 10
```



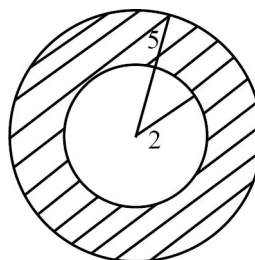
مثال ۳۱)

```
pos = 0 0 0  rad = d1
sil  0  1
spl  0  1
```



مثال (۳۲)

pos = 0 0 0 rad = dl
sil 2 5
spl 0 1



چشمه محاسبات بحرانی

برای انجام محاسبات بحرانی از چشمه Kcode استفاده می شود که به صورت زیر تعریف می شود:

Kcode NSRCK RKK IKZ KCT
KSRC $x_1 y_1 z_1$
 $x_2 y_2 z_2$
 $x_3 y_3 z_3$

که در آن:

NSRCK تعداد ذراتی است که در هر سیکل رد گیری می شوند.

RKK عددی است که برای K_{eff} حدس می زنیم (معمولاً عدد یک)

IKZ تعداد سیکل هایی است که دور ریخته می شوند.

KCT تعداد کل سیکل هایی است که باید طی شوند.

دستور KSRC به همراه دستور Kcode نوشته می شود. در این دستور باید مختصات نقاطی را وارد نمود که درون ماده شکافت پذیر قرار دارند. این نقاط نباید روی سطوح مرزی سلول ها قرار داشته باشند.

با اجرای برنامه شامل چشمه بحرانی یک فایل به نام SRCTP ساخته می شود که توزیع نوترون های چشمه را نشان می دهد. بنابراین اگر به دلایلی کارت KSRC در مسئله وجود نداشته باشد، در این صورت برنامه فایل SRCTP را به عنوان چشمه اولیه بحرانی در نظر می گیرد. همچنین می توان دستور Kcode را به همراه دستور SDEF به کار برد که در این صورت نیازی به تعریف نقاط KSRC نمی باشد.

چشمه های سطحی پیشرفته (کارت های SSR و SSW)

فرض کنید یک چشمه نوترون داریم که در اثر برهمکنش با مواد مورد نظر پرتوهای گاما تولید می کند. می خواهیم از این سیستم به عنوان چشمه گاما استفاده کنیم. برای انجام این کار می توان 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 ماده ای که گاما تولید می کند کره ای تعریف کنیم با اجرای برنامه کلیه اطلاعات مربوط به پرتوهای گامای رسیده به سطح کره را در یک فایل دیگر ثبت کنیم (کارت ²SSW) و سپس این سطح کروی را به عنوان چشمه گاما در یک برنامه دیگر فراخوانی نماییم (کارت ³SSR). نحوه تعریف دستورات چشمه های سطحی SSW و SSR در کد به صورت زیر می باشد.

برای نوشتن چشمه ثانویه سطحی جدید از کارت SSW استفاده می شود. دستور استفاده از این کارت به صورت زیر می باشد.

SSW S₁ S₂ S_n S_k(C₁....C_k) PTY CEL

Si: شماره سطوح جدید (توجه: قبلاً این سطوح در برنامه ورودی تعریف شده اند).

Si: شماره سلول های جدید

PTY: نوع ذره ای که بایستی ردیابی شود. معمولاً N، P، E می توان در نظر گرفت.

CEL: لیستی از سلول هایی که چشمه های شکافت نوترونی در آن قرار دارند و بایستی تعریف شوند.

توجه: کارت SSW به همراه دستور SDEF استفاده می شود و می تواند جایگزین کارت Kcode شود.

پس از اینکه این کارت در برنامه ورودی قرار گرفت. اکنون برنامه را با شرایط جدید اجرا می کنیم. این برنامه در هنگام اجرا یک فایل به نام WXXA ایجاد می کند و بعد از اتمام اجرای برنامه نام این فایل به WSSA تبدیل خواهد شد (توجه: تبدیل فایل WXXA به WSSA بایستی توسط کد صورت گیرد نه کاربر).

² Surface Source Write Card

³ Surface Source Read Card

مثال (۳۳)

SSW 1 2(3 4) CEL 8 9 PTY = N

در این مثال یک چشمه نوترونی در سطح 2 که در سلول‌های 3 و 4 قرار دارد و در سطح 1 وجود دارد و ذرات ایجاد شده حاصل از شکافت در سلول‌های 8 و 9 ثبت خواهند شد.

همان طور 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 دستور SSR در کد به صورت زیر می‌باشد:

SSR OLD CEL NEW COL WGT....

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

CEL: مشابه گزینه OLD می‌باشد ولی برای سلول‌هایی که در دستور Kcode نقش شکاف نوترونی دارند.

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 1 باشد ذراتی از چشمه سطحی در نظر گرفته می‌شود که برخورد انجام داده اند، اگر برابر 1- 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 (۳۴)

SSW 1 2 3 :اجرای قبلی

SSR OLD 3 2 NEW 6 7 COL 1 :اجرای جدید

در این مثال ذرات ثبت شده در سطوح 2 و 3 در سطوح جدید 7 و 6 قرار خواهند گرفت.

فصل پنجم

تعریف انواع خروجی

انواع خروجی های استاندارد (تالی ها)

به کمک تعریف تالی ها در برنامه، می توان کمیت های مورد نظر را محاسبه کرد. به طور کلی ۷ نوع تالی در کد قابل تعریف است که برخی از آن ها برای الکترون و فوتون قابل تعریف نمی باشند. یک تالی با مشخص کردن نوع آن و نوع ذره به صورت $F_n : p^\ell$ تعریف می شود که n یک عدد حداکثر سه رقمی است که رقم آخر آن نوع تالی را مشخص می کند. p^ℓ نوع ذره را مشخص می کند و می تواند p برای فوتون، e برای الکترون و n برای نوترون باشد. در نسخه های بالاتر h برای پروتون، d برای دوترون و... قابل تعریف است. انواع تالی های قابل تعریف در کد در جدول (۱) آمده است.

با استفاده از علامت $*$ در کارت F_n به صورت $*F_n$ می توان یکای تالی مورد نظر را تغییر داد. جدول (۲) یکای انواع تالی ها را نشان می دهد.

جدول (۱) انواع تالی‌های قابل تعریف در کد

F1:n	F1:P	F1:e	جریان سطحی
F2:n	F2:p	F2:e	شار سطحی
F4:n	F4:p	F4:e	شار حجمی
F5a:n	F5a:p	-	شار در یک نقطه یا حلقه
F6:n	F6:p	- F6:n,p	انرژی تخلیه شده در سلول
F7:n	-	-	انرژی تخلیه شده ناشی از شکاف
F8:n	F8:p	F8:e F8:P,e	ارتفاع پالس
		+F8:e	بار تخلیه شده در سلول

جدول (۲): یکای تالی‌های مختلف

نوع تالی	واحد Fn	واحد *Fn
F1	تعداد ذره	MeV
F2	$\frac{\text{تعداد ذره}}{\text{cm}^2}$	MeV/cm^2
F4	$\frac{\text{تعداد ذره}}{\text{cm}^2}$	MeV/cm^2
F5a	$\frac{\text{تعداد ذره}}{\text{cm}^2}$	MeV/cm^2
F6	MeV/gr	Jerks/gr
F7	MeV/gr	Jerks/gr
F8	تعداد پالس	MeV
+F8	مقدار بار	MeV

$$1\text{Jerks} = 10^9 \text{ J}$$

شار یک کمیت نقطه‌ای است و در روش مونت کارلو تعاریف مختلفی برای آن بیان شده است. اصولاً در کد MCNP محاسبه شار به دو طریق انجام می‌گیرد که عبارتند از:

$$۱- \text{ تخمین بر اساس طول مسیر } (\Phi = \frac{T_\ell}{V}).$$

$$۲- \text{ تخمین بر اساس چگالی برخورد } (\Phi = \frac{R}{\Sigma}).$$

فرض کنید طول مسیر طی شده را با T_ℓ (Track Length) و میانگین پوشش آزاد را با $\bar{\lambda}$ نمایش دهیم در این صورت داریم:

$$\text{تعداد برخوردها} = \frac{\text{کل مسیر طی شده توسط ذره}}{\text{میانگین پوشش آزاد ذره}} = \frac{T_\ell}{\bar{\lambda}} = \Sigma_t \Phi \cdot V \rightarrow \Phi = \frac{T_\ell}{V} \quad (1)$$

که در این رابطه V ، حجم ناحیه مورد نظر، Σ_t ، سطح مقطع کل و از طرفی

$$\bar{\lambda} = \frac{1}{\Sigma_t}$$

می‌توان هر یک از تالی‌های بیان شده در جدول (۲) را به صورت زیر نوشت:

– تالی جریان یا نوع F1

$$F1: \iiint_{A \mu t E} \vec{J}(\vec{r}, E, t, \mu) dE dt d\mu dA \quad (2)$$

– تالی شار سطحی یا نوع F2

$$F2: \iint_{A t E} \phi(\vec{r}, E, t) dE dt \frac{dA}{A} \quad (3)$$

– تالی شار حجمی یا نوع F4

$$F4: \iiint_{V t E} \phi(\vec{r}, E, t) dE dt \frac{dV}{V} \quad (4)$$

– تالی شار نقطه‌ای یا نوع F5

$$F5: \iint_{t E} \phi(\vec{r}, E, t) dE dt \quad (5)$$

– تالی انرژی یا نوع F6,7

$$F6,7: \rho_a / \rho_g \int_V \int_t \int_E H(E) \phi(\vec{r}, E, t) dE dt dV/V \quad (6)$$

که در این روابط:

ϕ شار عبوری برحسب $\# / \text{cm}^2.s$

E انرژی برحسب MeV

t زمان برحسب ثانیه

μ کسینوس زاویه برحسب درجه

J بردار جریان

A مساحت سطح یک ناحیه

V حجم یک ناحیه

ρ_a چگالی اتمی $\left(\frac{\text{atoms}}{\text{barn} - \text{cm}} \right)$

ρ_g چگالی جرمی $\left(\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \right)$

$H(E)$ میزان انباشت انرژی می باشد.

اما در کد MCNP برای محاسبه تالی‌ها هیچ رابطه انتگرالی حل نمی‌شود. بلکه به

صورت مجموع یا $\sum$ در نظر گرفته می‌شود. به عنوان مثال، تالی نوع F2 و نوع F4

به صورت زیر بیان می‌شود:

$$F2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{\omega_i}{A|\mu|} \quad (7)$$

$$F4 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{\omega_i T_{\ell_i}}{V} \quad (8)$$

که در روابط بالا:

ω_i وزن هر ذره

N تعداد کل ذرات

A مساحت سطح

۷ حجم ناحیه

μ کسینوس زوایا

$T_{\ell i}$ طول مسیر پیموده شده توسط هر یک از ذرات بر حسب سانتی متر می باشد.

– تالی نوع F5

تالی نوع F5 یا شار نقطه‌ای در کد به صورت زیر بیان می‌شود:

$$F5: \langle P\ell \rangle \ X \ Y \ Z \pm r_0$$

که $\langle P\ell \rangle$ نوع ذره، (X, Y, Z) مختصات مکان مورد نظر جهت محاسبه تالی و r_0 شعاع آن ناحیه است که اگر با علامت مثبت باشد بر حسب سانتی متر و اگر با علامت منفی باشد بر حسب مسافت میانگین آزاد (mfp) بیان می‌شود.

– نوع دوم تالی F5 که به آن شار رینگ دتکتور هم گفته می‌شود در کد به صورت

زیر بیان می‌شود:

$$F5a: \langle P\ell \rangle \ a_0 \ r \pm R_0$$

که در این دستور $\langle P\ell \rangle$: نوع ذره، متغیر a می‌تواند x یا y یا z باشد، a_0 : مقدار طول x ، y یا z : شعاع رینگ بر حسب سانتی متر و R_0 : ضخامت رینگ بر حسب سانتی متر.

– تالی نوع F6

تالی F6 در واقع مقدار انرژی حاصل از اندرکنش ذره بر واحد جرم یک سلول بیان

می‌شود که گاهی این تالی کرما نیز نامیده می‌شود و به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$F6 = \frac{W \cdot T_{\ell} \cdot \sigma_t(E) \cdot H(E) \cdot \rho_a}{m} \quad (9)$$

که در این رابطه: W : وزن ذره، T_{ℓ} : طول مسیر طی شده توسط ذره، σ_t : سطح مقطع کل میکروسکوپی، $H(E)$: میزان انباشت انرژی، ρ_a : چگالی اتمی بر حسب

m : جرم ناحیه مورد نظر یا سلول بر حسب گرم. $\left(\frac{\text{atoms}}{\text{barn} - \text{cm}} \right)$

F7 - تالی نوع

این تالی میزان انباشت انرژی حاصل از شکافت در واحد حجم سلول مورد نظر را بیان می‌کند و بدیهی است که فقط برای نوترون قابل تعریف است.

$$F7 = \frac{W.T_\ell.\sigma_f(E).Q\rho_a}{m} \quad (10)$$

این رابطه مشابه رابطه (۹) می‌باشد ولی در این رابطه، $\sigma_f(E)$: سطح مقطع شکافت و Q : انرژی حاصل از هر شکافت برحسب MeV است.

F8 - تالی نوع

این تالی، تالی ارتفاع پالس (Pulse Height Tally) نامیده می‌شود که در واقع مقدار فراوانی انرژی ثبت شده در هر سلول را بیان می‌کند. اگر از تالی F8 * استفاده شود می‌توان برای محاسبه دز در هر سلول یا ناحیه مورد نیز استفاده نمود به شرطی که بر واحد جرم هر سلول تقسیم گردد.

می‌توان یک تالی را برای چند سطح یا سلول تعریف کرد:

F1:n 101 102 103 104 T

F6:p 2 3 7 8

درج حرف T باعث می‌شود تا مجموع تالی روی تمام سطوح یا سلول‌های مورد نظر نیز محاسبه شود.

جهت آشنایی بیشتر با تالی‌ها به فصل ۲ منوال کد مراجعه شود.

می‌توان یک نوع تالی را چندین بار در یک برنامه تعریف کرد:

F1:n 101

F11:n 200

F351:e 12

می‌توان با درج علامت پرانتز میانگین یک تالی را روی چند سطح یا درون چند سلول محاسبه کرد:

F1:n (101 102) 103 T

F24:p 11 (12 13) (5 6 7)

با دقت نمود که کلیه محاسبات به ازای یک ذره از چشمه انجام خواهد شد.

مثال ۱) کره‌ای توخالی به شعاع R که یک چشمه نقطه‌ای نوترون با انرژی 3MeV در مرکز آن قرار دارد. مقدار F_1 ، $*F_1$ ، F_2 و $*F_2$ را روی سطح کره و F_4 و $*F_4$ را درون کره محاسبه کنید.

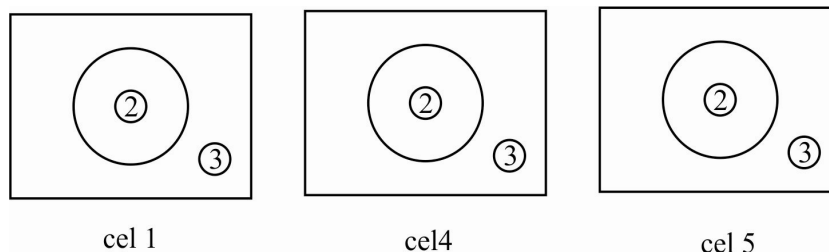
چون هیچ ماده‌ای درون کره وجود ندارد لذا تمام ذرات خروجی از چشمه از سطح کره خارج می‌شوند بنابراین انتظار داریم که F_1 برابر یک باشد. برای بقیه تالی‌ها داریم:

تالی	$*F_4$	F_4	$*F_2$	F_2	$*F_1$	F_1
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

تعریف خروجی در ساختارهای تکرار شونده

در این نوع هندسه‌ها از ترکیب علامت‌های پرانتز () و کوچکتر (<) می‌توان برای تعریف تالی در یک یا چند سلول خاص استفاده کرد.

مثال ۲) شکل زیر را در نظر بگیرید:



```

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 #4 #5

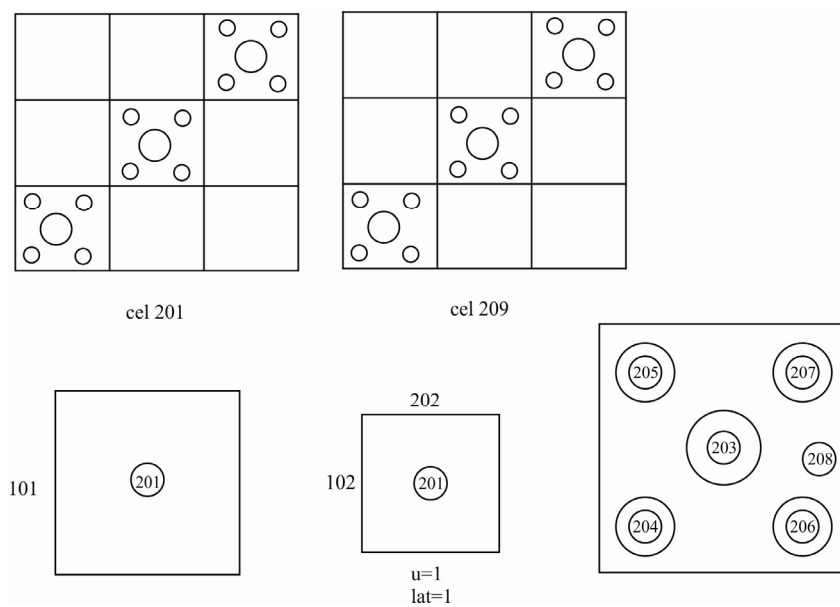
```

• میانگین در سلول ۱ (یک خروجی):

$F_4:n \ 1$ یا $((2 \ 3) < 1)$

- میانگین در سلول ۱ درون سلول ۴ (یک خروجی):
 $(2 < 4)$
 - میانگین در سلول ۳ درون سلول ۵ (یک خروجی):
 $(3 < 5)$
 - میانگین در سلول ۲ درون سلول ۱ و میانگین درون سلول ۳ درون سلول ۱ (دو خروجی):
 $(2 < 1)(3 < 1)$ یا $(2 < 3 < 1)$
 - میانگین در سلول ۲ درون سلول‌های ۱، ۴ و ۵ (سه خروجی):
 $(2 < U = 4)$ یا $(2 < 5)(2 < 4)(2 < 1)$ یا $(2 < 1 \ 4 \ 5)$
 - میانگین در سلول‌های ۲ و ۳ درون سلول‌های ۱ و ۴ و ۵ (شش خروجی):
 $(2 < 5)(3 < 4)(3 < 1)(2 < 5)(2 < 4)(2 < 1)$ یا $(2 < 3 < 1 \ 4 \ 5)$
یا $(2 < u = 4)$
 - میانگین در مجموع سلول‌های ۲ و ۳ درون سلول‌های ۱، ۴ و ۵ (سه خروجی):
 $((2 \ 3) < 5)((2 \ 3) < 4)((2 \ 3) < 1)$ یا $((2 \ 3) < 1 \ 4 \ 5)$
یا $(2 \ 3) < U = 4$ یا $1 \ 4 \ 5$
 - میانگین همه سلول‌های ۲ در مسئله (یک خروجی):
 $(2 < (u = 4))$ یا $(2 < (1 \ 4 \ 5))$ یا 2
 - 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)
- از ترکیب مناسب علامت‌های پرانتز (،)، کوچکتر (<) و براکت ([]) می‌توان برای تعریف تالی در سلول‌های مختلف استفاده کرد.

مثال ۳) 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)

• میانگین در کل سلول ۲۰۱ (یک خروجی):

F4:n 201 یا (202 < 201)

• میانگین در کل سلول ۲۰۹ (یک خروجی):

209 یا (202 < 209)

• میانگین در مجموع کل سلول‌های ۲۰۱ و ۲۰۹ (یک خروجی):

202 یا (u = 1) یا (202 < (201 209)) یا (201 209)

• میانگین در همه سلول‌های ۲۰۴ موجود در مسئله (یک خروجی):

$(204 < (u = 2))$ یا $(204 < (201 \ 209))$ یا 204

یا $(204 < (202[-1:1 \ -1:1 \ 0:0]))$

• میانگین در همه سلول‌های ۲۰۴ موجود در سلول ۲۰۹ (یک خروجی):

$(204 < (u = 2) < 209)$ یا $(204 < 209)$

یا $(204 < (202[-1:1 \ -1:1 \ 0:0])) < 209)$

• میانگین در مجموع همه سلول‌های ۲۰۴ و ۲۰۵ موجود در مسئله (یک خروجی):

$((204 \ 205) < (201 \ 209))$ یا $((204 \ 205) < (u = 2) < (201 \ 209))$

یا $((204 \ 205) < (202[-1:1 \ 1:1 \ 0:0])) < (201 \ 209))$

• 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

$((203 \ 204 \ 205 \ 206 \ 207 \ 208) < (201 \ 209))$

• میانگین در سلول ۲۰۲ واقع در عنصر $[-1 \ -1 \ 0]$ 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 u های مختلف، نحوه پر شدن عناصر شبکه را مدیریت کرده باشیم.

• میانگین در تک‌تک عناصر شبکه (نه خروجی):

$(202 < 202[-1:1 \ -1:1 \ 0:0] < 201)$

یا

$(202 < 202[1] \ 202[2] \dots [9] < 201)$

- میانگین در تک تک سلول های ۲۰۸ که در سلول ۲۰۱ وجود دارند (سه خروجی):

$$(208 < u = 2 < 201)$$

$$(208 < 202[-1:1 \quad -1:1 \quad 0:0] < 201)$$

(شش خروجی که سه تایی آنها غیر صفر است)

- میانگین در سلول ۲۰۸ درون سلول ۲۰۱ واقع در عنصر $[1 \ 0 \ 0]$ شبکه (یک خروجی):

$$(208 < 202[1 \ 0 \ 0] < 201)$$

- میانگین در تک تک سلول های ۲۰۸ موجود در مسئله (شش خروجی):

$$(208 < u = 2 < 201 \quad 209)$$

یا

$$(208 < u = 2 < 201)(208 < u = 2 < 209)$$

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:

$$F4:n \quad 201 \quad 209$$

وقتی شماره دو یا چند سلول درون یک پیرانتز تعریف می شود میانگین تالی در همه آن سلول ها محاسبه می شود و نتیجه به صورت یک عدد در خروجی تولید می شود:

$$F4:n \quad (204 \ 205)$$

از علامت ($<$) برای تعریف سلول ها در یک سطح (Level) خاص استفاده می شود:

سلول 202 که داخل سلول 201 است ($202 < 201$)

اگر سلولی در دو یا چند سلول دیگر وجود دارد برای تعریف تالی در آن سلول می توان از تعریف های زیر استفاده کرد:

$$(202 < 201 \ 209) \quad \text{یا} \quad (202 < 209) \quad (202 < 201)$$

تعریف زیر شش خروجی دارد:

$$(204 \ 205 \ 206 < 201 \ 209)$$

که عبارتند از:

$$(204 < 201) \ (204 < 209)$$

$$(205 < 201) \ (205 < 209)$$

$$(206 < 201) \ (206 < 209)$$

برای تعریف تالی در یک سلول واقع در یک عنصر خاص از شبکه، باید از مختصات ماتریسی آن عنصر استفاده کنیم:

$$(208 < 202[1 \ 0 \ 0] < 201)$$

سلول ۲۰۸ درون سلول ۲۰۲ در عنصر $[1 \ 0 \ 0]$ ، درون سلول ۲۰۱. اگر سطح آخر یعنی (< 201) را تعریف نکنیم تالی به صورت میانگین روی تمام $(208 < 202[1 \ 0 \ 0])$ های ممکن، محاسبه می‌شود.

برای تعریف تالی در یک سلول واقع در چندین عنصر شبکه داریم:

$$(208 < 202[-1:1 \ -1:1 \ 0:0] < 201)$$

اگر سلولی به عنوان $u = n$ تعریف شده باشد می‌توان از تعریف زیر استفاده کرد:

$$(208 < u = 2 < 201)$$

برخی کارت‌های جانبی مفید در تعریف انواع خروجی

کارت En

گاهی لازم است که تالی را برحسب انرژی بدست آوریم. مثلاً شار نوترون‌های حرارتی، فوق حرارتی و سریع درون حجم یک سلول. به کمک کارت En (n شماره‌ای وابسته به تالی Fn) این کار انجام می‌شود:

$$En \ E_1 \ E_2 \ E_3 \dots E_i$$

مثال (۴)

$$F14:n \ 1 \ 2$$

$$E14 \ 0.5e-6 \ 10e-3 \ 10$$

تالی 14 درون سلول‌های 1 و 2 در بازه‌های انرژی داده شده محاسبه می‌شود.

در تقسیم‌بندی انرژی می‌توانیم از nI به صورت زیر استفاده کنیم:

$$E_{14} \quad E_1 \quad nI \quad E_2$$

با این دستور فاصله بین E_1 تا E_2 به $(n+1)$ بازه مساوی تقسیم می‌شود. دو کارت

زیر معادل یکدیگرند:

$$E_{14} \quad 1 \quad 8I \quad 10$$

$$E_{14} \quad 1 \quad 2 \quad 3 \quad 4 \quad 5 \quad 6 \quad 7 \quad 8 \quad 9 \quad 10$$

در کارت E_n اگر $n=0$ باشد تقسیم‌بندی انرژی برای همه تالی‌های موجود در

مسئله در نظر گرفته می‌شود.

کارت EM_n

این کارت به همراه کارت E_n به کار می‌رود و با استفاده از آن می‌تون مقدار تالی در هر

بازه انرژی را در یک عدد دلخواه ضرب کرد:

$$F4 : n \quad 3$$

$$E4 \quad E_1 \quad E_2 \quad E_3 \quad \dots \quad E_i$$

$$EM4 \quad \alpha_1 \quad \alpha_2 \quad \alpha_3 \quad \dots \quad \alpha_i$$

کارت FM_n

این کارت بسیار پر کاربرد است و به کاربر اجازه می‌دهد تا تالی‌های جدیدی را تعریف

کند. این کارت به طور ساده برای ضرب خروجی تالی در یک عدد خاص استفاده

می‌شود:

$$F4 \quad : \quad n \quad 2$$

$$FM4 \quad \alpha$$

$$F14 \quad : \quad n \quad 2$$

$$E14 \quad E_1 \quad E_2$$

$$EM14 \quad a_1 \quad a_2$$

$$FM14 \quad \alpha$$

در مثال‌های فوق نتیجه دو تالی در عدد α ضرب می‌شود.

از کارت FMn با تالی‌های نوع F4، F2 و F1 برای محاسبه کمیت‌هایی به صورت زیر استفاده می‌شود:

$$C \int \phi(E) R(E) dE$$

در اینجا جهت محاسبه شار از تعریف دوم آن ($\phi = \frac{R}{\Sigma}$) استفاده می‌شود. مثلاً برای محاسبه نرخ واکنش جذب نوترون در واحد حجم در یک سلول خاص باید کمیت زیر محاسبه شود (N چگالی اتمی ماده):

$$N \int \phi(E) \sigma_a(E) dE$$

برای انجام چنین محاسباتی از کارت FMn به صورت زیر استفاده می‌شود:

$$FMn \ (c \ m \ R)$$

c چگالی اتمی ماده

m شماره ماده مورد نظر

R شماره مربوط به واکنش مورد نظر

اگر ماده در سلولی که تالی در آن محاسبه می‌شود وجود داشته باشد می‌توان c را برابر ۱- قرار داد. در جدول (۳) شماره برخی واکنش‌ها آمده است (پیوست G منوال). برای محاسبه مجموع دو واکنش R_1 و R_2 داریم:

$$FMn \ (c \ m \ R_1 : R_2)$$

گاهی لازم است تا حاصلضرب دو واکنش محاسبه شود:

$$FMn \ (c \ m \ R_1 \ R_2)$$

با کارت FMn می‌توان میزان تضعیف باریکه را نیز محاسبه کرد:

$$FMn \ c \ -1 \ m_1 \ p_1 x_1 \ m_2 \ p_2 x_2$$

که حاصل آن عبارت است از:

$$c \int \phi(E) e^{-\sigma_{1a} p_1 x_1 - \sigma_{2a} p_2 x_2} dE$$

$p_i x_i$ حاصلضرب چگالی ماده در ضخامت آن است.

جدول (۳): 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)
Photons:	104	(n,d)
	105	(n,t)
	106	(n, ^3He)
	107	(n, α)
	-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

کارت Cn

برای تالی F1 یا جریان روی یک سطح می‌توان جهت خروج ذره از سطح مورد نظر را تقسیم‌بندی کرده و مقدار تالی در هر بازه زاویه‌ای را بدست آورد، برای این کار از دستور Cn یا *Cn استفاده می‌کنیم:

F1 : n 1

C1 μ_1 μ_2 μ_3

که μ_i کسینوس زاویه بین بردار عمود بر سطح و جهت خروج ذره است. عدد اول در این کارت نباید ۱- باشد. عدد ۱- به صورت پیش فرض در کد وجود دارد. اگر از Cn^* استفاده کنیم می توان به جای μ_i ، زاویا را برحسب درجه وارد کرد:

$*C1 \theta_1 \theta_2 \theta_3 \dots$

از دستور nl می توان برای تقسیم بندی زاویا نیز استفاده کرد. در Cn اگر $n=0$ باشد این تقسیم بندی برای همه تالی های نوع ۱ تعریف شده در فایل ورودی در نظر گرفته می شود.

کارت SDn

در برخی هندسه ها کد قادر به محاسبه مساحت یک سطح، حجم یا جرم یک سلول برای محاسبه تالی در آن سطح یا سلول نمی باشد، در این صوت برنامه با خطا متوقف می شود. در این حالت باید مساحت، حجم یا جرم را با دستور SDn تعریف کنیم:

F6: n 1 2 3

F4: n 1 2 3

F2: n 11 12 13

SD6 $m_1 m_2 m_3$ (جرم)

SD4 $v_1 v_2 v_3$ (حجم)

SD2 $A_1 A_2 A_3$ (مساحت)

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 می کنیم:

F4: n 1

FC4 Boron Dose in Tumor

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 چاپ شود و یا در هر بازه زاویه، برحسب انرژی؟
کارت FQn به صورت زیر نوشته می‌شود:

FQn	a_1	a_2		a_8
$a_i = F$	Cell, Surface, or Detector			
D	Direct or Flagged			
U	User			
S	Segment			
M	Multiplier			
C	Cosine			
E	Energy			
T	Time			

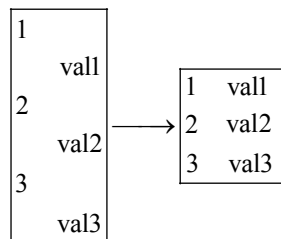
نحوه چاپ خروجی به این صورت است:

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 جدول a_7 و عناصر جدول مقادیر تالی هستند، نمایش داده می‌شود:

a_1	(1)		
a_2	(1)		
$\vdots$			
a_7	(1)	a_8 (1)	a_8 (2)
a_7	(1)	val1	val2
a_7	(2)		

به این ترتیب با تعویض ترتیب F، E، C، M و... در کارت FQn می‌توان نحوه چاپ خروجی را تغییر داد. تغییر نحوه چاپ خروجی پس از اجرای کامل برنامه نیز امکان پذیر است (بخش "ادامه اجرای یک برنامه" در فصل شش را ملاحظه نمایید).

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 است ولی می‌توان با تعریف این کارت طوری عمل نمود که اعداد دو ستون دقیقاً مقابل یکدیگر چاپ شوند:



کارت DFn و DEn

اگر لازم باشد تا نتایج یک تالی در یک تابع پاسخ (برحسب انرژی) ضرب شوند به کمک این کارت می‌توان چندین نقطه از آن تابع پاسخ را معرفی کرد. کد می‌تواند بین نقاط داده شده به صورت خطی یا لگاریتمی درونیابی کند. در کارت DEn انرژی (به صورت صعودی) و در کارت DFn مقادیر تابع پاسخ وارد می‌شود:

DEn E₁ E₂ E₃
DFn F₁ F₂ F₃

محورهای انرژی و مقدار تابع پاسخ به صورت پیش فرض، لگاریتمی هستند ولی می‌توان با استفاده از درج Log یا Lin پس از DEn یا DFn آن‌ها را به صورت دلخواه تغییر داد:

DEn Lin E₁ E₂ E₃
DFn Lin F₁ F₂ F₃

این کارت برای تبدیل شار به دز کاربرد بسیاری دارد.

اگر $n = 0$ باشد تابع پاسخ برای همه تالی‌های موجود در مسئله در نظر گرفته می‌شود.

کارت FTn

کارت FTn کارتی است که رفتار به خصوص تالی‌ها را در نظر می‌گیرد. ساختار کارت در کد به صورت زیر می‌باشد:

$$FTn \quad ID_i \quad P_{i,1} \quad P_{i,2} \quad \dots P_{i,n}$$

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 زمان)، ELC (تالی جریان الکترون) و... می‌باشد. در این قسمت بعضی از کاربردهای این کارت بیان می‌شود.

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 دستور FRV در کارت FTn در کد به صورت زیر می‌باشد:

$$FT1 \quad FRV \quad V_1 \quad V_2 \quad V_3$$

که V_i ها مولفه‌های بردار مرجع V هستند.

(مثال ۵)

$$F1:n \quad 15 \quad 16$$

$$*cl \quad 180 \quad 17i \quad 0$$

$$FT1 \quad FRV \quad 0 \quad 0 \quad -1$$

متغیر GEB

FTn GEB a b c

این کارت را می‌توان برای محاسبه FWHM برای تالی F8 به کار برد که در کد به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$FWHM(E) = a + b\sqrt{E + cE^2}$$

a, b و c مقادیر ثابت هستند که از روی برازش منحنی تابع پاسخ انرژی بدست آورده می‌شود. a بر حسب MeV، b بر حسب $\text{MeV}^{1/2}$ ، وارد می‌شود و c یک پارامتر بدون بعد است. دستور لازم برای محاسبه FWHM در کد به صورت زیر می‌باشد:

F8: $\langle P\ell \rangle$ 1
FT8 GEB a b c

کارت PERT

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، مورد نظر می‌باشد. این امکان وجود دارد که بدون نوشتن و اجرای برنامه‌ای دیگر، این اثرات را در همان برنامه اصلی بررسی نمود. به این منظور از کارت PERT به صورت زیر استفاده می‌شود:

PERTn: $\langle P\ell \rangle$ KEYWORD = Value

n یک عدد درست دلخواه است. $\langle P\ell \rangle$ نوع ذره مورد نظر است (n,p,e) می‌باشد. KEYWORD می‌تواند CELL (سلول)، MAT (ماده)، RHO (چگالی)، METHOD (روش)، ERG (انرژی) و RXN (نرخ اندرکنش) باشد.

مثال ۶) سلول شماره ۳ با ماده شماره ۵ پر شده است. برای بررسی اثرات ناشی از تغییر درصد وزنی ایزوتوپ‌های تشکیل دهنده آن می‌توان نوشت:

M5 1001 0.334 8016 0.666
 M6 1002 0.667 8016 0.333
 M7 1002 0.660 8016 0.340
 PERT2:n,p CELL = 3 MAT = 6
 PERT3:n,p CELL = 3 MAT = 7

در این برنامه تالی مورد نظر سه بار در خروجی تولید می شود، یک بار به ازای ماده شماره ۵ و دوبار دیگر به ازای دو ماده دیگر.

مثال (۷) امکان دارد ترکیب ماده تغییر نکند ولی چگالی آن عوض شود:

M5 1001 0.334 8016 0.666
 PERT8:n,p CELL = 3 RHO = -1.001
 PERT9:n,p CELL = 3 RHO = -0.999

مثال (۸) می توان سلول های مورد نظر را از ماده خالی کرد:

M4 1001 0.334 8016 0.666
 PERT1:n,p CELL = 1 8i 10 RHO = 0

در این مثال سلول های ۱ تا ۱۰ از ماده خالی می شوند.

با درج این کارت در فایل ورودی، محاسبات بر اساس روش اختلال صورت می گیرد که توضیحات آن در فصل دوم منوال کد آمده است. می توان مرتبه اختلال را نیز مشخص کرد.

مثال (۹)

3 1 -1 1 -2 3 -4 5 -6
 12 1 -1 -7
 :

M1 1001 0.334 8016 0.666
 M8 1002 0.667 8016 0.333
 PERT2:n,p CELL = 3,12 MAT = 8 RHO = -1.2 METHOD = 1

در این مثال، اگر METHOD = 1 فرض شود، که حالت پیش فرض آن است،

مجموعه اختلال های مرتبه اول و دوم را در نظر می گیرد. اگر METHOD = 2 فرض

شود فقط اختلال مرتبه اول را در نظر می گیرد. اگر METHOD = 3 فرض شود فقط

اختلال مرتبه دوم را در نظر می گیرد.

نکته (۱): برای درک مفهوم اختلال‌های مرتبه ۱، ۲ و ۳ به فصل ۲ منوال کد مراجعه شود.

نکته (۲): اگر در سلولی ماده وجود نداشته باشد نمی‌توان از دستور PERT استفاده نمود.

کارت MESH TALLY

در نسخه‌های بالاتر کد MCNP جهت محاسبه تالی‌ها و رسم خروجی‌ها به صورت سه‌بعدی از Mesh Tally استفاده می‌شود که در اینجا به صورت مختصر معرفی می‌شود. با این قابلیت هندسه مورد نظر به صورت دلخواه مش بندی می‌شود و کمیت مورد نظر در هر مش محاسبه می‌گردد. سه نوع مش بندی دکارتی، استوانه‌ای و کروی قابل استفاده می‌باشد. برای نوشتن مش تالی در کد به صورت زیر عمل شود:

```
TMESH
CMESHn (or RMESHn or SMESHn) Keyword
CORAn
CORBn
CORCn
ENDMD
```

که CMESH، RMESH و SMESH به ترتیب برای مش بندی استوانه‌ای، مکعبی و کروی می‌باشد. n یک عدد حداکثر سه رقمی است که رقم آخر آن نوع تالی را مشخص می‌کند (۱، ۲، ۳ و ۴). Keyword پارامتری را مشخص می‌کند که قرار است محاسبه شود و می‌تواند شار (flux)، انباشت انرژی (Pedep)، دز (Dose) و... باشد. گزینه‌های CORAn و CORBn و CORCn به ترتیب در حالت مکعبی مقادیر $X_1...X_n$ ، $Y_1...Y_n$ و $Z_1...Z_n$ (برحسب cm)، در حالت استوانه‌ای از 0 تا R، از 0 تا H (برحسب cm) و از $-\theta$ تا θ (برحسب درجه) و در حالت کروی از 0 تا R (برحسب cm)، از 0 تا θ و از 0 تا ϕ (برحسب درجه) می‌باشند.

مثال ۷) شار را در داخل یک سلول استوانه‌ای به شعاع 17cm و ارتفاع 50cm با مش‌های یک سانتی متری محاسبه کنید:

```
TMESH
CMESH1: n Flux
CORA1 0 16I 17
CORB1 0 49I 50
CORC1 0 358I 360
ENDMD
```

پس از اجرای برنامه یک فایل به نام پیش فرض mdata در شاخه اصلی کد تولید می‌شود که خروجی مش تالی در آن قرار دارد. برای خواندن این فایل ابتدا باید آن را توسط کد gridconv.exe تبدیل به یک فایل قابل خواندن نمود. برای رسم نمودارهای مش تالی می‌توان از نرم افزارهای MATLAB، Excell، Tecplot و یا هر نرم افزار مناسب دیگر در این زمینه استفاده نمود. مش تالی قابلیت‌های فراوانی دارد، برای اطلاعات بیشتر به منوال کد X2.6 مراجعه نمایید.

کارت‌های مربوط به محاسبات مصرف سوخت

در نسخه‌های قبلی این کد امکان محاسبه مصرف سوخت وجود نداشت لذا با ترکیب کد CINDER90 و کد MCNPX، نسخه جدید آن (MCNPX 2.6) تولید شد که می‌توان با آن مسائل مربوط به محاسبات مصرف سوخت را انجام داد. در این قسمت نحوه محاسبه میزان مصرف سوخت با استفاده از کد MCNPX نسخه ۲/۶ آن ارائه می‌شود. کتابخانه داده‌های این کد برای ۳۴۵۶ ایزوتوپ طراحی شده است که شامل واپاشی ایزوتوپ‌های محصول شکافت، بهره محصولات شکافت، مقادیر واپاشی ایزوتوپ‌های آکتینیدهای کم مقدار و غیره می‌باشد. همچنین در این کد سطح مقطع مواد برای ۶۳ گروه انرژی در نظر گرفته شده است. ساختار ورودی کد MCNPX جهت محاسبه مصرف سوخت شامل موارد زیر می‌باشد.

- ۱- انتخاب گام‌های زمانی مناسب جهت محاسبه میزان تولید و یا واپاشی یک ایزوتوپ در واحد زمان.
 - ۲- وارد نمودن مقدار توان کل برحسب مگا وات برای انجام محاسبه میزان مصرف سوخت.
 - ۳- در نظر گرفتن مواد مصرف شده و یا پرتودیدیده جهت محاسبه غلظت‌های ایزوتوپی مواد تولید و یا نابود شده.
 - ۴- وارد نمودن حجم کل سوخت برای هر ماده در نظر گرفته شده در کارت محاسبه مصرف سوخت.
 - ۵- در نظر گرفتن کارت‌های ورودی جهت محاسبه غلظت‌های ایزوتوپی محصولات شکافت و آکتییدهای کم مقدار.
 - ۶- توانایی تولید خروجی‌های مناسب مانند مقدار ضریب تکثیر مؤثر، میزان مصرف سوخت، شار، تعداد نوترون‌های چشمه، انرژی قابل بازیافت، مقدار اکتیویته ایزوتوپ‌ها، مقدار کسر جرمی آن‌ها و غیره برحسب زمان.
- کارت مناسب جهت محاسبه مصرف سوخت، کارت BURN می‌باشد که شامل کارت‌های TIME (انتخاب بازه زمانی مناسب برحسب روز)، MAT (انتخاب مواد مورد نظر جهت مصرف سوخت)، POWER (توان کل راکتور برحسب مگاوات)، PFRAC (کسر توانی و یا گاهی ضریب نرمالیزاسیون هم می‌باشد)، MATVOL (حجم کل مواد سوخت برحسب سانتی متر مکعب)، OMIT (ایزوتوپ‌هایی که می‌تواند در نظر گرفته نشود و یا چندان مهم نمی‌باشند)، BOPT (کارت‌های کنترلی جهت چاپ خروجی مثلاً برحسب کسر اتمی و یا جرمی و غیره)، AFMIN (کسر اتمی ایزوتوپ‌هایی که در محاسبه ترابرد در نظر گرفته می‌شود) و غیره می‌باشد. ضمناً واحد مصرف سوخت در کد MCNPX گیگا وات روز بر متریک می‌باشد.

مثال ۸)

```
BURN    TIME = 100 70
          MAT = 1 3 4
          POWER = 1.0
          PFRAC = 1.0 1.0
          BOPT = 1.0 -12 1
```

در این مثال میزان مصرف سوخت برای دو بازه زمانی 100 و 70 روز و برای مواد با شماره‌های 1، 3 و 4 برای راکتوری با توان 1MW محاسبه شده است. کارت BOPT یک کارت کنترلی است که شامل سه ورودی است. ورودی اول برای چاپ خروجی برحسب 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 ۹)

```
BURN    TIME = 50 , 10 , 500
          MAT = 1 , 4
          POWER = 1.0
          PFRAC = 1.0 , 0 , 0.2
          OMIT = 1 , 5 , 6014 , 7016 , 8018 , 9018 , 90234 ....
          BOPT = 1.0 , -4
          MATVOL = 384.57 384.57
```

در مثال بالا میزان مصرف سوخت برای مواد شماره‌های 1 و 4 در بازه‌های زمانی 50، 10 و 100 روز برای یک راکتور با توان 1MW انجام شده است. همچنین میزان مصرف تعداد 5 مواد شامل 6014، 7016، 8018، 9018 و 90234 در نظر گرفته نشده است. گزینه PFRAC شامل ۳ ورودی است که هر ورودی در توان اولیه ضرب شده و برحسب زمان برای مواد در نظر گرفته شده محاسبه می‌شود. کارت MATVOL، مقدار حجم سلول شامل مواد 1 و 4 را برحسب سانتی‌مکعب را در نظر می‌گیرد.

فصل ششم

اجرای برنامه و فایل خروجی

داده‌های ضروری برای اجرای برنامه

تاکنون هندسه، چشمه، مواد و تالی‌ها را معرفی کردیم. برای اینکه یک فایل ورودی توسط کد اجرا گردد و مقادیر تالی محاسبه شود چند کارت ضروری در بخش داده‌ها باید تعریف شود که عبارتند از:

- 1 – Mode
- 2 – Imp
- 3 – NPS or CTME

کارت Mode

این دستور یک دستور اساسی است و حتماً باید در فایل ورودی نوشته شود. این دستور مشخص می‌کند که چشمه چه نوع ذره‌ای را گسیل می‌کند و اینکه آیا ذرات حاصل از واکنش‌های این ذره ردگیری شوند یا خیر؟ مثلاً چشمه نوترون مورد نظر است و واکنش گامازای نوترون برای ما اهمیت دارد، لذا باید این موضوع را در برنامه مشخص کنیم. دستور mode به صورت زیر نوشته می‌شود:

	mode	n
برای چشمه نوترون	mode	n p
	mode	n p e
	mode	p
برای چشمه فوتون	mode	p e

mode e
mode e p
برای چشمه الکترون

البته در نسخه‌های بالاتر این کد می‌توان ۳۵ نوع ذره را تعریف نمود.

کارت Imp

برای ذراتی که در کارت mode تعریف می‌شوند باید کارت imp برای هر یک از انواع ذرات در تمام سلول‌ها تعریف شود. مثلاً در صورتی که mode n p تعریف شود باید برای همه سلول‌ها imp:n و imp:p را مشخص نماییم.

اهمیت ذره در هر سلول را می‌توان در ادامه خط تعریف آن سلول معین کرد:

1 0 -11 imp:n=1

و یا در بخش داده‌ها در یک خط برای همه سلول‌ها تعریف نمود:

imp:n 1 1 1 0

(به ترتیبی که سلول‌ها در فایل ورودی نوشته شده‌اند)

برای مشخص کردن اهمیت چند نوع ذره می‌توان از حالت‌های زیر استفاده کرد:

imp:n,p,e=1 یا imp:n=1 imp:p=1 imp:e=1

یا

imp:n 1 1 1 0

imp:p 1 1 1 0

imp:e 1 1 1 0

یا

imp:n,p,e 1 1 1 0

می‌توان از کارت nr (n مرتبه تکرار عدد قبلی) استفاده کرد:

imp:n 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0

imp:n 1 8r 0

در سلول‌هایی که دارای ابعاد نامحدود هستند باید اهمیت ذرات در آن‌ها را برابر

صفر قرار دهیم.

کارت های NPS و CTME

اساس کار کد، روش مونت کارلو و ذخیره تاریخچه ذرات و نهایتاً میانگین گیری روی نتایج حاصل از همه تاریخچه‌ها است. در اینجا دو عامل مهم در دقت نتایج خروجی تاثیر می گذارند:

۱- تا چه زمانی یک ذره رد گیری و تاریخچه آن ثبت گردد؟

۲- چه تعداد ذره رد گیری و تاریخچه آنها ثبت گردد؟

یک ذره تا جایی رد گیری می شود که جذب ماده شود و یا وارد سلولی شود که اهمیت ذره در آن سلول برابر صفر است و یا انرژی آن کمتر از انرژی خاصی شود که کاربر تعیین می کند. این انرژی خاص با دستور CUT به صورت زیر استفاده می شود:

cut : n E

که E حد پایین انرژی ذره است، به این معنی که اگر انرژی ذره در هر کجای مسئله کمتر از این مقدار شود، دیگر ردگیری نخواهد شد. اینک که چه تعداد ذره خروجی از چشمه ردگیری شوند را با دستور NPS به صورت زیر مشخص می کنیم:

NPS N

که N عدد درستی است و تعداد ذراتی که باید ردگیری شوند را مشخص می کند. می توان به جای دستور NPS از دستور CTME استفاده کرد که مدت زمان اجرای برنامه را بر حسب دقیقه مشخص می کند. در این دستور تعداد ذرات رد گیری 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 زمان اجرای برنامه بر حسب دقیقه می باشد.

نکته (۱): 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 می کنیم مفهوم زمان در فیزیک مسئله را ندارد، این زمان مثلاً زمان پرتودهی نیست!!

نکته (۲): معمولاً هرچه تعداد NPS و یا مدت زمان اجرای برنامه بیشتر باشد، دقت نتایج نیز بیشتر خواهد بود.

نکته (۳): نتایج خروجی که در فایل خروجی ثبت می شوند به ازای یک ذره خروجی از چشمه است و برای یافتن جواب واقعی باید این خروجی را در قدرت چشمه ضرب کرد. مثلاً چشمه ای داریم که ۱۵۰۰ ذره در ثانیه گسیل می کند و تعداد ذرات عبوری از سطحی که چشمه را محاط کرده است را با دستور F1 محاسبه کرده ایم. با ضرب خروجی کد در ۱۵۰۰، تعداد ذرات عبوری از سطح در یک ثانیه بدست می آید. البته کاربر می تواند با نوشتن دستور FMn در فایل ورودی، قدرت چشمه را در خروجی تالی n ضرب کند. که در اینصورت خروجی بدست آمده در واقع همان نتیجه واقعی مسئله خواهد بود.

اجرای برنامه

با تکمیل شدن فایل ورودی اکنون می توانیم کد را اجرا کنیم. برای اجرای کد و گرفتن خروجی کد را با دستور زیر اجرا می کنیم:

```
mcnp i = filename
```

اگر هیچ خطای اساسی (fatal error) وجود نداشته باشد، برنامه تا پایان یافتن زمان مشخص شده با CTME و یا به تعداد ذرات مشخص شده با NPS اجرا می شود. پس از پایان اجرای برنامه، نتایج محاسبات در فایل خروجی به نام پیش فرض outp ذخیره می گردد. فایل خروجی حاوی اطلاعات زیادی شامل فایل ورودی، فرآیند محاسبات آماری، نتایج خروجی و ... است. این اطلاعات در غالب 32 جدول در فایل خروجی قابل نمایش است. در جدول (۱) شماره جدول های خروجی و اطلاعات آنها آمده است.

برخی از این جدول ها اساسی هستند و نمی توان چاپ شدن یا نشدن آنها را کنترل کرد، برخی دیگر به صورت پیش فرض چاپ می شوند و می توان آنها را چاپ نکرد (default) و بقیه جدول ها را در صورت نیاز می توان چاپ کرد. به منظور کنترل چاپ شدن یا نشدن جدول ها از کارت print استفاده می کنیم:

```
print n1 n2
```

n_i شماره جدول‌ها هستند که اگر با علامت (+) درج شوند در فایل خروجی نمایش داده می‌شوند و اگر با علامت منفی درج شوند، نمایش داده نمی‌شوند. اگر کارت print به تنهایی وارد شود، همه جدول‌ها چاپ می‌شوند.

جدول (۱): اطلاعات جدول‌های خروجی *(d)=default; (b)=basic*

Table No.	Table Description	Table No.	Table Description
10	Source information	120	Importance function analysis
20	Weight windows information	126	Cell particle activity
30	Tally descriptions	128 (b)	Universe map
35	Coincident detectors	130	Particle weight balances
40	Material compositions	140	Neutron / photon nuclide activity
50	Cell voles & masses; surface areas	150	DXTRAN diagnostics
60 (b)	Cell importances	160 (d)	TFC bin tally analysis
62 (b)	Forced coll; expon. transform	161 (d)	$P(x)$ tally PDF plot
70	Surface coefficients	162 (d)	Cumulative $P(x)$ plot
72 (b)	Cell temperatures	170	Source frequency; surface source
85	Electron range & straggling	175	Estimated k_{eff} by cycle
90	KCODE source data	178	Estimated k_{eff} by batch size
98	Physics const. & compile options	180	WWG bookkeeping summary
100 (b)	Cross section tables	190 (b)	WWG summary
102	$S(\alpha, \beta)$ nuclide assignment	198	WW from multigroup fluxes
110	First 50 startig histories	200(b)	WW generated windows

بخشی که نتایج محاسبات را برای هر تالی نشان می‌دهد با خط زیر آغاز می‌شود:

1 tally n NPS =

که n شماره تالی مورد نظر است، به عنوان مثال:

```
1tally 4      nps = 1000000
tally type 4  track length estimate of particle flux.  units  1/cm**2
tally for  neutrons
```

volumes

```
cell: 102      103
      4.54735E+02 8.46605E+02
```

cell 102 مقدار تالی
1.11895E-03 0.0205

cell 103 خطای نسبی
 9.91161E-04 0.0223

در ادامه این خط می‌توان نتایج محاسبات را یافت. در کنار هر نتیجه، خطای نسبی (Relative Error) نیز نمایش داده می‌شود.

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. 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.

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:

$$E(x) = \int xp(x)dx \quad (1)$$

$p(x)dx$ 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 دستورات رسم را ببینید) در عوض مقدرا میانگین تالی توسط کد طبق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum x_i \quad (2)$$

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.

$$S^2 = \frac{1}{N-1} \sum (x_i - \bar{x})^2 \approx \overline{x^2} - \bar{x}^2 \quad (3)$$

$$\overline{x^2} = \frac{1}{N} \sum x_i^2 \quad (4)$$

به این ترتیب برای واریانس $\bar{x}$ داریم:

$$S_{\bar{x}}^2 = \frac{1}{N} S^2 \quad (5)$$

و برای خطای نسبی داریم:

$$R = \frac{S_{\bar{x}}}{\bar{x}} \quad (6)$$

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 68 درصد در بازه $\bar{x}(1 \pm R)$ ، با احتمال 95 درصد بازه $\bar{x}(1 \pm 2R)$ و با احتمال 99 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 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:

$$R^2 = \frac{S_{\bar{x}}^2}{\bar{x}^2} = \frac{S^2}{N\bar{x}^2} = \frac{1}{N} \left(\frac{\bar{x}^2}{\bar{x}^2} - 1 \right) = \frac{\sum_{i=1}^N x_i^2}{\left(\sum_{i=1}^N x_i \right)^2} - \frac{1}{N} \quad (7)$$

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 (7) می‌توان نوشت:

$$R^2 = \frac{\sum x_i^2}{\left(\sum x_i \right)^2} - \frac{1}{N} = \left[\frac{\sum_{x_i \neq 0} x_i^2}{\left(\sum_{x_i \neq 0} x_i \right)^2} - \frac{1}{qN} \right] + \left[\frac{1-q}{N} \right] \quad (8)$$

در رابطه (8) جمله اول ناشی از تاریخچه‌های با سهم غیر صفر و جمله دوم ناشی از تاریخچه‌های با سهم صفر در مقدار تالی است. رابطه (8) را به صورت زیر بازنویسی می‌کنیم:

$$R^2 = R_{\text{int}}^2 + R_{\text{eff}}^2 \quad (9)$$

$$R_{int}^2 = \frac{\sum_{x_i \neq 0} x_i^2}{\left(\sum_{x_i \neq 0} x_i^2 \right)^2} - \frac{1}{qN} \quad (10)$$

$$R_{eff}^2 = \frac{1-q}{qN}$$

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:

1 analysis of the results in the tally fluctuation chart bin (tfc) for tally 4 with nps = 10000

normed average tally per history = 1.11895E-03 unnormed average tally per history = 5.08826E-01

estimated tally relative error = 0.0205 (۱) estimated variance of the variance = 0.0010

relative error from zero tallies = 0.0167 (۲) relative error from nonzero scores = 0.0119 (۳)

number of nonzero history tallies = 2637 (۴) efficiency for the nonzero tallies = 0.2637

history number of largest tally = 6083 largest unnormalized history tally = 6.21004E+00

(largest tally)/(average tally) = 1.22046E+01 (largest tally)/(avg nonzero tally) = 3.21836E+00

$n : 4$ $R_{int} : 3$ $R_{eff} : 2$ $R : 1$

ضریب شایستگی (FOM)

این پارامتر به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$FOM = \frac{1}{R^2 T} \quad (11)$$

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 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 $T \sim \frac{1}{R^2.FOM}$ 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 دستورات رسم را ببینید).

واریانس واریانس (VOV)

این پارامتر به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\text{VOV} = \frac{S^2(S_{\bar{x}}^2)}{S_{\bar{x}}^2} = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^4}{\left[\sum (x_i - \bar{x})^2\right]^2} - \frac{1}{N} \quad (12)$$

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 دستورات رسم 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 chart							
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	decrease	0.02	yes	yes	0.00	yes	yes
passed?	no	yes	yes	yes	yes	yes	yes

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 صورتیکه 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.

کارت prdmp

همان گونه که گفته شده، نتایج به صورت پیش فرض پس از اتمام برنامه نمایش داده می شود، اما می توان این حالت را تغییر داد به گونه ای که بتوان نتایج محاسبات را به ازای هر مدت زمان خاص یا به ازای هر تعداد معینی تاریخچه، در فایل خروجی و در حین اجرای کد مشاهده کرد. به این منظور از کارت prdmp در فایل ورودی و در بخش داده ها استفاده می کنیم:

```
prdmp NPD NDM MCT NDMP DMMP
```

این پنج پارامتر عبارتند از:

NPD: اگر با علامت مثبت (یا بدون علامت) درج شود تعداد تاریخچه‌ها را مشخص می‌کند و اگر با علامت منفی نوشته شود فاصله زمانی را تعیین می‌کند. مثلاً مقدار ۱۰۰۰۰ یعنی نتایج خروجی را به ازای هر ۱۰۰۰۰ تاریخچه چاپ و 3- یعنی هر سه دقیقه نتایج چاپ شوند.

NDM: مانند NPD است به ازای تعداد مشخص شده تاریخچه یا مدت زمانی داده شده، فایل runtpe به روز می‌شود. مقدار پیش فرض 15 دقیقه می‌باشد. در محاسبات بحرانی NPD و NDM تعداد سیکل را مشخص می‌کند.

MCT: این پارامتر جهت تولید فایلی با نام پیش فرض mctal است که حاوی اطلاعات خالص در مورد نتایج محاسبات و تالی‌هاست و اطلاعات اضافی موجود در فایل outp را ندارد. استفاده از این فایل می‌تواند در برخی موارد مفید باشد (مثلاً در برنامه‌نویسی و خواندن خروجی)

NDMP: تعداد دامپ‌های ثبت شده در فایل runtpe را کنترل می‌کند. مثلاً $NDMP=4$ دامپ آخر ثبت می‌شوند.

DMMP: این پارامتر چاپ اطلاعات مربوط به پارامترهای آماری، TFC را کنترل می‌کند.

اگر بخواهیم برخی پارامترها را به صورت پیش فرض تعریف کنیم، از حرف z به جای آن پارامتر استفاده می‌کنیم. مثلاً فرض کنید می‌خواهیم تولید فایل Mctal را کنترل کنیم و بقیه پارامترها دارای مقادیر پیش فرض خود باشند:

prdmp J J 1 J J

فصل هفتم

دستورهای رسم

پنج نوع رسم در کد وجود دارد:

- رسم هندسه
- رسم نمودار سطح مقطع ها
- رسم خروجی (تالی ها)
- رسم kcode
- رسم پارامترهای آماری (TFC)

رسم هندسه

برای رسم هندسه سیستم، برنامه را با دستور زیر اجرا می کنیم:

ip i=filename

برای نمایش هندسه در یک صفحه مختصات خاص مثلاً در صفحه xy دستور

pz=0 را وارد کرده و enter می کنیم. با این دستور هندسه سیستم از نقطه $z=0$

برش خورده و از همان مقطع نمایش داده می شود.

با کارت origin یا or می توانیم برای جابه جا کردن مبداء مختصات و حرکت در

صفحه نمایش استفاده کنیم:

or x_0 y_0 z_0

با کارت extent یا ex می توانیم پنجره نمایش هندسه را کوچک یا بزرگ کنیم:

ex H V

با این کارت هندسه سیستم در یک پنجره به ابعاد 2H و 2V که مرکز آن در مبدا است نمایش داده می شود. اگر تنها H را وارد کنیم، پنجره نمایش مربعی به ضلع 2H می شود.

با کارت label یا lab می توانیم شماره سطوح، شماره سلول ها، شماره ماده در هر سلول، چگالی ماده در هر سلول و ... را نمایش دهیم:

la S C DES

نماد های S و C به طور کلی اعداد صفر و یک می گیرند، 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 می گیرد. مثلاً برای نمایش شماره ماده در هر سلول به جای DES مقدار MAT را وارد می کنیم:

la 0 1 MAT

به جای DES می توان 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 می کنیم:

THETA θ

θ زاویه دوران بر حسب درجه است.

برای کوچک و بزرگ کردن هندسه نمایش داده شده از کارت FACTOR استفاده می کنیم:

FACTOR F

با این کارت هندسه $1/F$ برابر می شود.

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)

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 نماش فعلی ذخیره می‌شود

File All نماش فعلی و تمام نمایش‌های بعدی ذخیره می‌شود

File none نماش فعلی و هیچ نمایش دیگری ذخیره نمی‌شود

در صورت استفاده از کارت help یا ؟ پارامترهای قابل استفاده در رسم هندسه به صورت فهرست نمایش داده می‌شود.

رسم سطح مقطع واکنش‌ها

برای رسم سطح مقطع واکنش‌ها، برنامه را با دستور زیر اجرا می‌کنیم:

ixz i = filename

سپس دستور زیر را وارد می‌نماییم:

XS = M

که پارامتر M می‌تواند، Mn (که n شماره ماده مورد نظر است که در ورودی تعریف شده است) یا ZAID 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 (۱) فصل ۶).
می‌توانیم نوع ذره واکنش‌دهنده را نیز مشخص کنیم:

$PAR = n$ یا $PAR = p$

می‌توانیم چند سطح مقطع را با دستور Coplot یا Cop در یک نمودار رسم کنیم
مثلاً:

XS 1001.60C cop xs 8016.60

برای ذخیره کردن نمودار رسم شده در یک فایل با پسوند ps. دستور File را وارد
می‌کنیم.

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 (۲) آمده است.

رسم خروجی‌ها (تالی‌ها)

اگر خروجی بر حسب انرژی، سلول، سطح، زاویه و ... تقسیم بندی شده باشد می‌توان
خروجی را بدون انتقال به مثلاً Excel در همان محیط کد رسم کرد و نمودار را درون
یک فایل ps. ذخیره کرد.

به دو صورت می‌توان خروجی را رسم کرد:

۱- رسم خروجی در حالی که برنامه در حال اجراست.

۲- رسم خروجی پس از اجرای کامل برنامه.

رسم خروجی همزمان با اجرای برنامه

به دو صورت می‌توان خروجی را رسم کرد، یکی با متوقف کردن موقت برنامه و یکی به
صورت real-time

برای رسم به صورت real-time باید 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 (۱) برخی مقادیری که پارامتر x می‌تواند داشته باشد آمده است.

جدول (۱): برخی مقادیر مختلف x در کارت mplot

X	توضیح
F	سلول، سطح، آشکارساز
E	انرژی
C	کسینوس زاویه
T	زمان

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 وارد می‌کنیم. دستور زیر نمودار تالی مورد نظر را به ازای هر یک دقیقه اجرا، 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 n پارامتر q رسم کن! در مثال زیر تالی، F4 در 4 سلول و برحسب 5 گروه انرژی محاسبه می شود:

```
F4:n 1 4 7 3
E4 0.2 0.5 1 10 15
```

با کارت زیر می توان مقدار تالی در بازه گروه سوم (0.5–1MeV) 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 می کنیم:

```
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 می شود، مقدار نمایش داده شده به صورت

$\frac{\text{tally}}{\text{MeV}}$ است، یعنی مقدار تالی بر بازه انرژی تقسیم شده و سپس نمایش داده می شود،

همچنین هنگامی که برحسب کسینوس زاویه رسم می شود به صورت $\frac{\text{telly}}{\text{Stradian}}$ نمایش داده می شود.

رسم خروجی با متوقف کردن موقت برنامه

درحالی که برنامه در حال اجراست با کلید های Ctrl+c برنامه متوقف و منتظر ورود اطلاعات می شود. در این حالت اگر حرف s را وارد کنیم، تعداد تاریخچه ها، مدت زمان اجرای برنامه و به طور کلی اطلاعات مربوط به حالت فعلی برنامه نمایش داده می شود. اگر حرف m را وارد کنیم به حالت mcplot می رویم و می توان از امکانات و دستورات رسم خروجی که در بخش قبل گفته شد استفاده کرد. با وارد کردن حرف q برنامه با ذخیره کردن خروجی تا همان تاریخچه خاص پایان می یابد و با وارد کردن حرف k برنامه با پاک کردن خروجی پایان می یابد.

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 دستوره‌های رسم خروجی استفاده کرد.

جدول (۲): دستوره‌های رسم مشترک

File	ذخیره نمودار رسم شده در فایل .ps
Scales n	نمایش محورهای مختصات در لبه‌های صفحه نمایش و شبکه‌بندی صفحه آن $n = 1$ نمایش محورها $n = 2$ نمایش محورها و شبکه‌بندی صفحه $n = 0$ حذف محورها و خطوط شبکه
linlin linlog loglin loglog	محور x خطی، محور y خطی محور x خطی، محور y لگاریتمی محور x لگاریتمی، محور y خطی محور x لگاریتمی، محور y لگاریتمی
xlims xmin xmax nsteps ylim y min ymax nsteps	محدوده نمایش و بازه درج اعداد روی محورها $nsteps$ فقط برای محورهای خطی
BAR NOERR	نمایش یا عدم نمایش خطا روی نمودارهای تالی
TiTitle n "aa" XTiTitle "aa" YTiTitle "aa" Below Lable "aa" FACTOR a f s	درج عنوان برای نمودار و محورها $n = 1$ یا ۲ شماره خطی است که عنوان درج می‌شود. درج عنوان نمودار در زیر آن درج برچسب برای نمودارها ضرب اعداد محور a (x یا y) در عدد f و جمع نتیجه با عدد s

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

رسم پارامترهای آماری TFC

برای رسم پارامترهای آماری برحسب NPS از تعریف زیر در فایل ورودی استفاده می‌کنیم:

mplot TFC x

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 می گردد و در صورتی که به صفحه
 mplot برویم می توانیم برای تک تک تالی ها 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.

فصل هشتم

روش‌های کاهش واریانس

دیدیم که خطای نسبی، R متناسب با $\frac{1}{\sqrt{N}}$ است، از طرفی عموماً زمان کل محاسبات، T با تعداد ذرات متناسب است لذا:

$$R = \frac{C}{\sqrt{T}}$$

با توجه به رابطه اخیر، برای کاهش خطا 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، این کار باعث کاهش پارامتر C می‌گردد.

روش‌های کاهش واریانس یک روش غیرآنالوگ در برابر ذرات در روش مونت کارلو می‌باشد. این روش برای کاهش زمان محاسبات در کد MCNP به کار می‌رود. می‌دانیم یکی از معایب کد MCNP زمان بر بودن محاسبات آن است بنابراین با روش کاهش واریانس این مشکل تا حدودی بر طرف خواهد شد. روش‌های کاهش واریانس بر اساس ویژگی‌های ذاتی به چهار گروه تقسیم می‌شوند:

۱- روش‌های برشی^۱

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:

^۱ - Truncation Methods

1) Energy Cutoff

2) Time Cutoff

۲- روش‌های مبتنی بر کنترل جمعیت آماری^۱

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 شود. این روش‌ها عبارتند از:

1) Geometry Splitting and Russian Roulette

2) Energy Splitting / Roulette

3) Weight Cutoff

4) Weight Windows

۳- روش‌های مبتنی بر نمونه‌برداری اصلاح شده^۲

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 شوند. این روش‌ها عبارتند از:

1) Exponential Transform

2) Implicit Capture

3) Forced Collisions

4) Source Biasing

5) Neutron – Induced Photon Production Biasing

۴- روش‌های شبه قطعی^۳

در این روش‌ها محاسبات و نمونه‌برداری به روش‌های نیمه قطعی صورت می‌گیرد و عبارتند از:

1) Point Detector

2) DXTRAN

3) Correlated Sampling

^۱ - Population Control Methods

^۲ - Modified Sampling Methods

^۳ - Partially-Deterministic Methods

در ادامه به برخی از مهمترین روش های کاهش واریانس اشاره می گردد. جهت آشنایی با این روش ها می توان به منوال اصلی کد مراجعه نمود.

روش های برشی

یکی از کارت های مناسب در روش کاهش واریانس دستور CUT می باشد که فرم دستور آن به صورت زیر است:

$$CUT: \langle P\ell \rangle \quad T \quad E$$

T: زمان برحسب shake

E: انرژی برحسب MeV

نکته: مقادیر در نظر گرفته شده در این کارت برای T و E یک مقدار شرطی می باشند.

فرض کنید در این کارت مقدار E، 1eV باشد یعنی ذره ای که انرژی آن به 1eV رسید دیگر در نظر گرفته نمی شود. این کارت برای حذف نویزها که معمولاً در انرژی کم رخ می دهند و برای ذراتی که انرژی آن به یک حدی رسید که تأثیری در پاسخ مسئله ندارند به کار می رود. البته باید توجه داشت که برای حذف انرژی در مواردی مانند چشمه های نوترونی بایستی با احتیاط عمل نمود.

اگر به دلایلی یکی از دو موارد کارت CUT در نظر گرفته نشود از علامت z استفاده می شود.

مثال (۱)

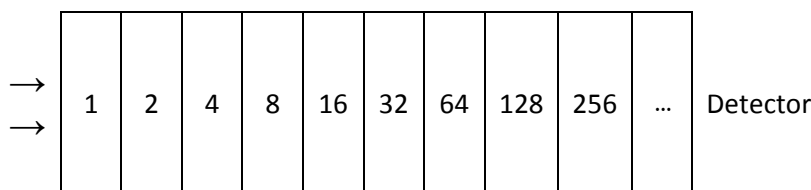
$$CUT: n \quad j \quad E$$

در این کارت مقدار شرط زمانی در نظر گرفته نشده است (به صورت پیش فرض مقداردهی می شود).

روش های مبتنی بر کنترل جمعیت آماری

روش تکثیر / رولت روسی

وقتی ذره ای جذب سیستم شود و یا از آن فرار می کند و به منطقه تالی نمی رسد، سهمی در مقدار تالی ندارد. رد گیری چنین ذره ای توسط کد بی فایده و زمان بر است. روش تکثیر / رولت روسی به همراه هم، جهت افزایش تاریخچه های سهمی در مقدار تالی به کار می روند. در این روش هندسه به چندین سلول تقسیم و برای هر سلول imp خاصی تعریف می شود. تعریف imp به گونه ای انجام می شود که مقدار آن به سمت ناحیه تالی افزایش و به سمت نواحی کم اهمیت کاهش یابد.



هنگامی که ذره از ناحیه با اهمیت کمتر به ناحیه با اهمیت بیشتر می رود تکثیر صورت می گیرد و برعکس، هنگامی که از ناحیه با اهمیت بیشتر به ناحیه با اهمیت کمتر می رود رولت روسی اعمال می شود.

فرض کنید ذره از سلولی با اهمیت I_i وارد سلول با اهمیت I_j شود و $\omega = \frac{I_i}{I_j}$ باشد در اینصورت اگر $\omega > 1$ باشد آنگاه رولت روسی رخ می دهد، یعنی ذره

با احتمال ω زنده می ماند و ردگیری می شود، در اینصورت وزن آن $\frac{1}{\omega}$ ام می گردد.

اگر $\omega < 1$ باشد تکثیر اتفاق می افتد و ذره به ω ذره تقسیم می شود و وزن هر یک $\frac{1}{\omega}$ ام می گردد. این ذرات جدید تک تک رد گیری می شوند و برای هر یک از آنها در

عبور از مرز دو سلول تکثیر / رولت روسی رخ خواهد داد.

در روش تکثیر/رولت روسی ذره ای که از چشمه خارج می شود همیشه زنده خواهد ماند تا به ناحیه تالی برسد، به این ترتیب می توان با NPS کمتر به خطای مناسب تری در محاسبه تالی دست یافت.

برای درک این مفهوم از یک مثال ساده استفاده می نماییم. فرض کنید یک چشمه نوترونی 1000 ذره تولید می کند و تعداد 400 ذره در ناحیه ای جذب و یا نابود می شوند و تعداد 600 ذره باقی می ماند. یعنی به ازای یک ذره از چشمه، 0.6 ذره از آن ناحیه عبور کرده است یا اگر وزن اولیه ذره 1 باشد وزن جدید ذره عبوری 0.6 خواهد شد. به همین ترتیب اگر این ذره با وزن جدید وارد ناحیه های بعدی شود وزن آن به صورت $W_0 = 1 \rightarrow W_1 = 0.6 \rightarrow W_2 = 0.36 \dots$ کاهش می یابد. یعنی همان یک نوترون را در نظر می گیریم و به دنبال آن ذره می رویم تا جایی که وزن ذره به 0.36 برسد به عبارتی اگر مقدار 100 نوترون تولید می شد 36 ذره زنده می ماند. مفهوم این جمله این است که به جای ثبت هزار تاریخچه می توان یکصد تاریخچه را در نظر گرفت و به همان نتیجه قبلی رسید. می توان یک شرط وزنی در نظر گرفت که هر گاه وزن ذره از آن مقدار کمتر شد، دیگر ثبت نشود.

مثلاً اگر شرط وزنی را $W_n = 0.001$ در نظر بگیریم، در این صورت به جای اینکه تعداد ۱۰۰۰ نوترون را رد گیری کنیم، تا ۱ نوترون عبور کند، که از نظر زمانی بسیار طولانی است، با این روش عملاً یک نوترون را در نظر گرفتیم اما با وزن 0.001، در این صورت زمان محاسبات را کاهش داده ایم.

نکته ۱: معیار تقسیم بندی سلولی براساس 1 mfp ذره می باشد. مثلاً برای ضخامت ۱۰۰ سانتی متر بتون، اگر $\text{mfp} = 5 \text{ cm}$ باشد در این صورت می توان کل سلول را به ۲۰ قسمت مساوی تقسیم نمود. به طوری که هر ضخامت هر قسمت 5 cm در نظر گرفته شود.

نکته ۲: نحوه انتخاب imp برای سلول ها به صورت 2^n می باشد، یعنی به سمت ناحیه تالی imp هر سلول دو برابر imp سلول قبلی می باشد.

روش های تکثیر و رولت روسی در کارت های ESPLT، WW، DXT و غیره استفاده می شوند.

¹ - Mean Free Path

کارت ESPLT

از کارت‌های مناسب دیگر در روش کاهش واریانس، کارت ESPLT می‌باشد. این کارت از روش‌های شرح داده شده در بالا برای انرژی به کار می‌رود. فرم دستور ESPLT به صورت زیر می‌باشد.

$$\text{ESPLT:} \langle P \ell \rangle N_1 E_1 N_2 E_2 \dots N_5 E_5$$

که N: تعداد ذره و E: انرژی ذره می‌باشد.

مثال (۲)

$$\text{ESPLT:} n \quad 2 \quad 0.1 \quad 0.25 \quad 0.001$$

در مثال بالا، وقتی انرژی ذره به مقدار 0.1 MeV رسید وزن آن دو برابر می‌گردد و اگر انرژی ذره به مقدار 0.001 MeV رسید وزن آن به $\frac{1}{4}$ مقدارش کاهش می‌یابد.

کارت PHYS

یکی از پر کاربردترین کارت‌ها در روش کاهش واریانس، کارت phys می‌باشد که برای ذرات مختلف متفاوت است. در اینجا فقط به حالت عمومی این کارت اشاره می‌شود. برای ذرات مختلف می‌توان از کارت phys مربوط به آن ذره از منوال کد استفاده نمود. به طور کلی کارت phys در کد MCNP به صورت زیر در نظر گرفته می‌شود:

$$\text{phys:} \langle P \ell \rangle E_{\max} E_{\text{I.C.}}$$

که $E_{\max}$: حد بالای انرژی ذره می‌باشد و $E_{\text{I.C.}}$ حد پایین انرژی ذره که کمتر از آن در نظر گرفته نمی‌شود. این کارت تا حدودی مشابه کارت CUT می‌باشد.

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 کارت‌های WWGE و WWG پیشنهاد می‌گردد و به صورت زیر بیان می‌شود:

$$\text{WWGE:} \langle P \ell \rangle E_1 E_2 \dots E_i \quad (i < 15)$$

$$\text{WWG} \quad I_t \quad I_c \quad W_g \quad X_i \quad Y_i \quad Z_i \quad j$$

که E_i در کارت WWGE تقسیم بندی انرژی چشمه مورد نظر، I_i : در کارت WWG شماره تالی مورد نظر جهت محاسبه خروجی، I_c : سلول مرجع که معمولاً چشمه است، $X_i Y_i Z_i$: مکان ذره مورد نظر که ذره به سمت آن حرکت می کند و اگر $j=0$ عدم چاپ خروجی مورد نظر برنامه و اگر $j=1$ باشد خروجی مورد نظر چاپ خواهد شد.

روش های مبتنی بر نمونه برداری اصلاح شده

کارت EXT (انتقال نمایی)

برای جاهایی که طول پویش آزاد زیاد است و مخصوصاً در محیط هایی که پراکندگی وجود دارد می توان از این کارت استفاده نمود. همچنین می توان با این کارت تعداد ذرات چشمه را به صورت نمایی در یک جهت خاص افزایش داد. ساختار کارت EXT در کد به صورت زیر می باشد:

$$EXT: \langle P \ell \rangle a_1 a_2 \dots a_n$$

که n تعداد سلول ها و $a_i = QV_m$ که Q مقدار سوق و کشیدگی و V_m جهت سوق می باشد.

مثال ۳)

$$EXT: N \ 0 \ 0.8y \ 17r \ 0 \ 4r$$

در این مثال، نوترون ها در جهت y سوق داده می شوند و به طور نمایی افزایش می یابند.

کارت FCL (برخورد اجباری)

این روش باعث افزایش تعداد برهم کنش ها در یک سلول خاص خواهد شد. در این روش هر ذره به دو ذره تقسیم می شود، یکی ذره برخورد کرده و دیگری ذره برخورد نکرده. ذره برخورد نکرده همیشه تولید شده و وزن آن از رابطه زیر بدست می آید:

$$W = W_0 \exp\left(-\sum_t d\right)$$

که در رابطه فوق، 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:

$$W = W_0 \frac{1 - \exp(-\sum_t d)}{P}$$

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 آن کم می‌باشد به کار رود. ساختار کارت FCL در برنامه ورودی کد MCNP به صورت زیر می‌باشد:

$$\text{FCL:} \langle P \ell \rangle X_1 X_2 \dots X_n$$

(مثال ۴)

$$\text{FCL:N} \quad 0 \quad 19r \quad 1 \quad 0 \quad 0$$

در سلولی که برخورد اجباری صورت می‌گیرد عدد یک قرار داده شده است.

کارت SBn

یکی دیگر از کارت‌های مهم در کاهش واریانس، کارت SBn می‌باشد که در کارت SDEF در تعریف چشمه به کار می‌رود. این کارت نمونه برداری از پارامتر مورد نظر چشمه را بگونه ای 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 ذرات چشمه بستگی دارد که با استفاده از کارت‌های توزیع SIn و SPn در کارت توزیع DIR = Dn در نظر گرفته می‌شود (به بخش تعریف چشمه مراجعه گردد) ولی 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. این کار توسط کارت SBn صورت می‌گیرد.

مثال ۵)

SDEF VEC = 0 0 1 DIR = Dn
 SIn L -1 1
 SPn 0.5 0.5
 SBn 0.2 0.8

در مثال فوق احتمال واقعی گسیل ذرات چشمه در دو جهت یکسان و برابر 50% می باشد اما نمونه برداری از جهت گسیل ذره به گونه ای تغییر داده شده است که ذرات بیشتر در جهت محور Z گسیل شوند بدون اینکه به احتمال واقعی خروج هر یک از ذرات خللی وارد شود.

روش های شبه قطعی

کارت DXT (DXTRAN SPHERE)

در مواردیکه احتمال رسیدن ذره به یک ناحیه خاص و مورد نظر کم باشد می توان از کارت DXT استفاده نمود. با این کارت یک کره فرضی اطراف ناحیه مورد نظر تعریف می شود و ذرات به صورت جبری از محل چشمه به این کره فرضی سوق داده می شوند. ساختار کارت DXT در کد به صورت زیر می باشد:

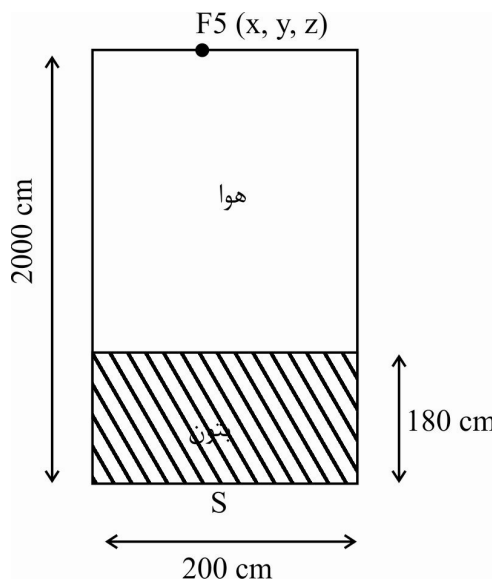
DXT: (Pℓ) X Y Z r_i r_o

که (X,Y,Z) مرکز مختصات کره فرضی، r_i شعاع داخلی و r_o شعاع بیرونی کره فرضی می باشد. می توان از کارت های دیگر روش کاهش واریانس شامل: PWT (کارت وزنی فوتون) BBREM (کارت بایاس برمز اشتراک) و ... استفاده نمود که کمتر در روش های کاهش واریانس مورد استفاده قرار می گیرند.

برای درک بهتر انواع روش های کاهش واریانس به مثال زیر توجه نمایید.

مثال ۶) چاهی به عمق ۲۰ متر و به چگالی $2.03 \times 10^{-2} \text{ gr/cm}^3$ از هوا پر شده است به طوری که ته چاه تا ارتفاع ۱۸۰ سانتی متر بتون ریزی شده است. چگالی بتون 2.03 gr/cm^3 در نظر گرفته شده است. همچنین یک چشمه نقطه ای نوترون با انرژی های ۲ و ۱۴ MeV به طور یکنواخت در پایین ترین قسمت چاه قرار دارد. قطر چاه، ۲۰۰ سانتی متر است. (توزیع احتمال انرژی چشمه نوترون: 25% 2 MeV،

50% 14 MeV، 25% 2-14 MeV). شار نقطه‌ای بر روی سطح چاه را محاسبه کنید (مطابق شکل).



مرحله اول:

ابتدا برنامه را به صورت عادی (بدون استفاده از روش های کاهش واریانس) می‌نویسیم. تالی F5 را در نقطه مورد نظر برای زمان 3 دقیقه محاسبه می‌کنیم. سپس برنامه را اجرا کرده و خروجی را نگاه می‌کنیم. می‌بینیم که مقدار میانگین و خطا صفر می‌باشد.

بخشی از برنامه ورودی در مرحله (۱):

C	CELL	Card
1	1	-2.03 -1 20 2 \$ concrete
2	2	-0.0203 -1 -22 21 \$ void
3	0	0 21 -22 23

C	Surface Card
1	Cy 100
2	Py 0
20	Py 180
21	Py 2000
:	:

```

C
Mode N
imp:n 1 1 1 .... 0
SDEF POS = 0 1E-4 0 ERG = D1
SI1 2 2.0001 14 14.0001
SP1 0 0.25 0.25 0.5
F5:n 200 2005 0 0
E0 0.01 100.0
M1.....
ctme 3
    
```

مرحله دوم:

چون در مرحله قبل مقدار میانگین و خطا صفر بود لذا از روش های کاهش واریانس استفاده می کنیم. برای این کار ابتدا سلول مورد نظر (بتون) را به ۱۸ قسمت تقسیم نموده به طوری که هر قسمت ۱۰ سانتی متر باشد (نحوه تقسیم بندی سلول قبلاً در این بخش شرح داده شد). در ادامه با استفاده از روش تکثیر مقدار IMP را افزایش می دهیم. از کارت های پنجره وزنی WWG و WWP استفاده می کنیم. بخشی از برنامه در پایین آورده شده است. اگر خروجی تالی برنامه مورد نظر را نگاه کنیم، می بینیم که برای همان مدت زمان ۳ دقیقه جواب با خطای ۳۵٪ بدست آمده است که خطای بالایی می باشد. همان طوریکه در بخش های قبلی ذکر شد بایستی خطای تالی F5 کمتر از مقدار ۵٪ باشد تا جواب قابل قبول باشد.

بخشی از برنامه ورودی در مرحله (۲):

```

C CELL Card
1 1 -2.03 -1 -3 2
2 1 -2.03 -1 -4 3
3 1 -2.03 -1 -5 4
:
C SurfaceCard
1 Cy 100.0
2 py 0
3 Py 10.0
4 Py 20.0
5 Py 30.0
    
```

```
mode N
imp :N 1 2m 2m 2m 2m.....0
WWP :N 5 3 5 0 0.25
WWG 5 2 0 0 0
:
ctme 3
```

در مرحله دوم در برنامه ورودی مقدار imp با ضریب 2m افزایش یافته است.
مرحله سوم:

برنامه قبلی را اجرا کنید خروجی مرحله (۲) را مشاهده نمائید و کارت‌های WWE، WWP و WWn1 را از آن جدا کنید و در ورودی برنامه مرحله (۳) قرار دهید. ضمناً کارت‌های IMP، WWP، WWG را از برنامه ورودی حذف کنید. علاوه بر این در برنامه از دستور CUT برای انرژی‌های پایین (کمتر از 0.01MeV) استفاده شده است. بخشی از برنامه ورودی مرحله (۳) را در پایین مشاهده نمایید.

```
Mode N
C IMP:N 1 2m 2m ...
C WWP:N 5 3 5 0 0.25
C WWG 5 2 0 0 0
wwp:n 5 3 5
wwe:n 100
wwn1:n -1.0 5e-1 3.13e-1 .....
CUT:N J 0.01 0 0
:
ctme 3
```

اگر خروجی مرحله (۳) را مشاهده نمائید باز هم خطا کاهش یافته است ولی هنوز به مقدار خطای 5% نرسیده است. سپس مرحله چهارم را اجرا می‌کنیم.
مرحله چهارم:

در این مرحله از کارت‌های WWG و WWGE با پنجره‌های انرژی مشخص شده در نظر می‌گیریم و به ورودی مرحله (۳) اضافه می‌کنیم. بخشی از برنامه ورودی مرحله (۴) را مشاهده نمایید.

```
Mode N
wwp : n    5  3  5
wwe : n    100
wwn1 : n  -1.0  5e-1  3.13e-1.....
WWG      15    2    0    0    0
WWGE : N  0.1    2   13.9  100
CUT : N    J    0.01   0    0
:
ctme      3
```

این بار هم خروجی مرحله (۴) را مشاهده نمایید می بینیم دوباره خطا کاهش یافته است. ضمناً خروجی مرحله (۴) شامل کارت های wwn1، wwn2، wwn3 و wwn4 را کپی کرده در ورودی برنامه مرحله (۵) قرار دهید.

نکته (۱): چون 4 بازه انرژی در کارت WWGE مشخص شده است بنابراین 4 کارت wwni به ما خواهد داد.

نکته (۲): نحوه تقسیم بندی انرژی به چشمه ها بستگی دارد.

مرحله پنجم: در این مرحله از خروجی مرحله (۴) به همراه بقیه کارت های مورد نظر برنامه استفاده کنید. بخشی از برنامه ورودی مرحله (۵) را مشاهده نمایید:

```
Mode N
wwp : n    5    3    5
wwe : n  0.1    2   13.9  100
wwn1 : n -1.0    0    0    ...
          ...    ...    ...
wwn2 : n -1.0    0    0    ...
          ...    ...    ...
wwn3 : n -1.0  9e-1  5e-1  ...
          ...    ...    ...
wwn4 : n -1.0  5e-1  .....
          ...    ...    ...
```

```

C WWG .....
C WWGE .....
SII 2 2.001 14.0 14.001
SP1 0 0.25 0.25 0.5
SBI 0 10 100 200
CUT:N J 0.01 0 0
F15:N 200 2005 0 0
EXT:N 0 0.8Y 17R 0 4R
FCL:N 0 19R 1 0 2R
DXT:N 0 2000 0 100.2 100.2
E0 1.0 100.0
:
ctme 3

```

ضمناً در این مرحله از کارت های SB (بایاس چشمه)، DXT، FCL (برخورد اجباری) و EXT (انتقال نمایی) هم استفاده شده است. بعد از اجرای برنامه، خروجی را مشاهده کنید. می‌بینیم که خطا بسیار کاهش یافته است.

مرحله آخر:

خروجی مرحله (۵) شامل کارت‌های wwn1، wwn2، wwn3 و wwn4 را دوباره کپی کرده در ورودی برنامه مرحله آخر قرار دهید. بخشی از برنامه ورودی مرحله آخر را مشاهده نمایید:

```

Mode N
wwp:n 5 3 5
wwe:n 0.1 2 13.9 100
wwn1:n -1.0 0 0 ...
... ...
wwn2:n -1.0 0 0 ...
... ...
wwn3:n -1.0 8.5e-1 6.2e-1 ...
... ...
wwn4:n -1.0 5e-1 .....
WWG 15 2 0 0 0
WWGE:N 0.1 2.01 13.9 100.0

```

```

SI1    2    2.001    14.0    14.001
SP1    0    0.25    0.25    0.5
SB1    0    10    100    200
CUT:N    J 0.01 0 0
F15:N    0 1950 0 0
E0    0.01 100.0
:
ctme    3

```

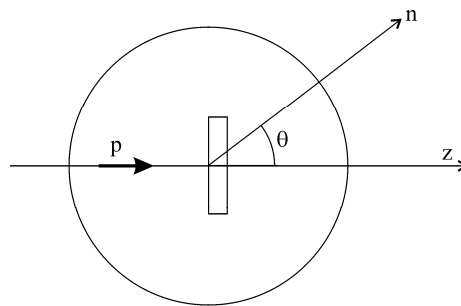
خروجی مرحله آخر را مشاهده نمایید می بینیم خطا بسیار کاهش یافته است و در همان مدت زمان 3 دقیقه خطای تالی کمتر از مقدار 5% رسیده است. همان طوریکه در این مثال مشاهده شده است با استفاده از روش های کاهش واریانس توانستیم در همان مدت زمان مورد نظر به جواب مناسب و با خطای کمتر از 5% برای تالی F5 برسیم. کارت های روش های کاهش واریانس که در این مثال در نظر گرفته شده است شامل: کارت IMP با افزایش مقدار آن با استفاده از روش تکثیر، کارت های پنجره وزنی WWG، WWP و WWGE، کارت قطع انرژی CUT، کارت بایاس چشمه SB و ... بوده است. بنابراین استفاده مناسب از روش کاهش واریانس باعث کاهش زمان مسئله و خطا خواهد شد.

فصل نهم

مثال های کاربردی

مثال (۱)

باریکه ای از پروتون های 3 MeV با شدت جریان 0.2 mA را در نظر بگیرید که روی هدفی لیتیومی به شعاع 1 cm و ضخامت 2 mm تابیده می شود.
الف) توزیع فضایی و انرژی نوترون های تولیدی را محاسبه نمایید.
ب) بهره واکنش (p,n) را بدست آورید.



الف) هندسه مسئله به صورت زیر تعریف می شود:

1	0	10	imp:n,h=0	\$ out of problem
2	0	-10 20	imp:n,h=1	\$ around the target & bram
3	11	-0.534 -20	imp:n,h=1	\$ target

10 so 5
20 RCC 0 0 0 0 0 0.2 1 \$ target

m11 3007 1

برای تعریف چشمه داریم:

SDEF PAR=9 ERG=3 POS=0 0 -1 VEC=0 0 1 DIR=1

جهت محاسبه توزیع انرژی و زاویه ای نوترون ها از تالی F1 و کارت های C1 (تقسیم بندی زاویه) و E1 (تقسیم بندی انرژی) استفاده می کنیم. برای تعیین توزیع زاویه ای نسبت به جهت باریکه فرودی کارت FT1 و پارامتر FRV را به کار می بریم:

FT1 FRV 0 0 1

به منظور در نظر گرفتن قدت چشمه (protons/s) داریم:

$$0.2\text{mA} = 0.2 \times 10^{-3} \text{ A} = \frac{(\text{number of protons}) \times (1.6 \times 10^{-19} \text{ C})}{1\text{s}}$$

$$S = \frac{0.2 \times 10^{-3}}{1.6 \times 10^{-19}} = 0.334 \times 10^{16} \left(\frac{\text{protons}}{\text{s}} \right)$$

عدد بدست آمده را در کارت FM1 وارد می کنیم.

ب) منظور از بهره واکنش، تعداد نوترون های تولید شده به ازای یک پروتون می باشد. نوترون از طرفی تولید می شود و از طرف دیگر یا جذب می شود و یا از سیستم فرار می کند. با توجه به تعریف، بهره واکنش برابر است با تعداد نوترون های جذب شده بعلاوه تعداد نوترون هایی که از سیستم فرار کرده اند. میزان رخداد انواع فرایند های تولید و نابودی نوترون در فایل خروجی موجود است که می توان از آنها برای محاسبه بهره واکنش استفاده نمود. بخشی از اطلاعات موجود در فایل خروجی را در زیر مشاهده می نمایید.

neutron loss	tracks	weight	energy
	(per source particle)		
escape	46	4.6000E-04	9.4338E-04
energy cutoff	0	0.	0.
time cutoff	0	0.	0.
weight window	0	0.	0.
cell importance	0	0.	0.
weight cutoff	0	0.	0.
energy importance	0	0.	0.
dxtran	0	0.	0.
forced collisions	0	0.	0.
exp. transform	0	0.	0.
downscattering	0	0.	0.
capture	0	0.	0.
loss to (n,xn)	0	0.	0.
loss to fission	0	0.	0.
nucl. interaction	0	0.	0.
particle decay	0	0.	0.
tabular boundary	0	0.	0.

بهره واکنش برابر خواهد بود:

$$\text{escape} + \text{capture} = \text{neutron production per proton}$$

مثال (۲)

یک چشمه نقطه ای ^{124}Sb به قدرت یک کوری در نظر بگیرید (انرژی و شدت گاماهاى آن در جدول زیر آمده است).

شدت (%)	انرژی (MeV)	شدت (%)	انرژی (MeV)
97	0.603	3	1.31
7	0.644	5	1.37
14	0.720	2	1.45
2.4	0.967	50	1.692
2.4	1.048	70	2.089

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؟

ج) اگر چشمه درون یک ظرف سربی نگهداری شود ضخامت ظرف چقدر باشد تا آهنگ دز در سطح آن 2.5 mrem/h گردد؟

الف) برای محاسبه آهنگ دز از ضرایب تبدیل شار به دز استفاده می کنیم که در جدول زیر آمده است.

هندسه سیستم بسیار ساده و به صورت زیر نوشته می شود:

```
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

تالی مورد نظر درون سلول شماره ۳ تعریف می شود.

Energy (MeV)	(rem/hr)/ (photons/cm ² .s)	Energy (MeV)	(rem/hr)/ (photons/cm ² .s)
0.01	3.96E-06	1.4	2.51E-06
0.03	5.82E-07	1.8	2.99E-06
0.05	2.90E-07	2.2	3.42E-06
0.07	2.58E-07	2.6	3.82E-06
0.1	2.83E-07	2.8	4.01E-06
0.15	3.79E-07	3.25	4.41E-06
0.2	5.01E-07	3.75	4.83E-06
0.25	6.31E-07	4.25	5.23E-06
0.3	7.59E-07	4.75	5.60E-06
0.35	8.78E-07	5	5.80E-06
0.4	9.85E-07	5.25	6.01E-06
0.45	1.08E-06	5.75	6.37E-06
0.5	1.17E-06	6.25	6.74E-06
0.55	1.27E-06	6.75	7.11E-06
0.6	1.36E-06	7.5	7.66E-06
0.65	1.44E-06	9	8.77E-06
0.7	1.52E-06	11	1.03E-05
0.8	1.68E-06	13	1.18E-05
1	1.98E-06	15	1.33E-05

چشمه را به صورت زیر تعریف می کنیم:

SDEF PAR=2 ERG=D1

SI1 L 0.603 0.644 0.72 0.967 1.048 1.31 1.37 1.45 1.692 2.089

SP1 97 7 14 2.4 2.4 3 5 2 50 70

جهت محاسبه آهنگ دز از تالی F4 و کارت های DE4 و DF4 به صورت زیر استفاده می کنیم:

F4:p 3

DE4 0.01 0.03 0.05 0.07 0.1 0.15 0.2 0.25 0.3 0.35
 0.4 0.45 0.5 0.55 0.6 0.65 0.7 0.8 1 1.4 1.8 2.2
 DF4 3.96E-06 5.82E-07 2.90E-07 2.58E-07 2.83E-07
 3.79E-07 5.01E-07 6.31E-07 7.59E-07 8.78E-07
 9.85E-07 1.08E-06 1.17E-06 1.27E-06 1.36E-06
 1.44E-06 1.52E-06 1.68E-06 1.98E-06 2.51E-06
 2.99E-06 3.42E-06

اکنون باید قدرت چشمه را اعمال نماییم. چون فعالیت چشمه یک کوری است لذا در هر ثانیه تعداد $3.7e10$ فوتون از چشمه ساطع می شود. از کات FM4 برای ضرب خروجی کد در قدرت چشمه به شکل زیر استفاده می کنیم:

FM4 3.7e10

(ب) در اینجا فقط هندسه سیستم کمی تغییر می کند و محاسبات مشابه قسمت الف صورت می گیرد.

(ج) در این قسمت برای یافتن ضخامت بهینه سرب کافی است برنامه را برای ضخامت های مختلف سرب تکرار کنیم و در هر بار ضخامت را مثلاً دو سانتی متر افزایش دهیم.

مثال (۳)

باریکه ای موازی از نوترون ها به صورت عمود از یک دیسک به شعاع 5 cm گسیل می شود. نوترون ها دارای طیف انرژی شکافت هستند. پولکی از جنس طلا ($T_{\frac{1}{2}} = 2.7d$) به شعاع 1 cm و ضخامت 1 mm در مقابل باریکه نوترونی در نظر بگیرید. اگر قدرت

چشمه $2.5e12 \frac{n}{cm^2.s}$ باشد و پولک به مدت یک ساعت پرتودهی شود:

الف) میزان فعالیت پولک را در زمان پایان پرتودهی محاسبه کنید.

ب) میزان فعالیت پولک را ۱۰ ساعت پس از پایان پرتودهی محاسبه کنید.

به کمک کد می توان فعالیت اشباع پولک را محاسبه کرد. برای نرخ واکنش باید کمیت زیر را محاسبه کنیم:

$$R.R=n\sigma\phi \quad \text{or} \quad R.R=n\int \sigma(E)\phi(E)dE$$

حاصل این عبارت نرخ انجام واکنش در واحد حجم است و برای محاسبه کل نرخ واکنش درون پولک یا فعالیت اشباع باید عبارت فوق را در حجم پولک ضرب کنیم:

$$A^{\text{sat}} = nV\int \sigma(E)\phi(E)dE$$

در پایان زمان پرتودهی، T_0 ، میزان فعالیت به صورت زیر محاسبه می گردد:

$$A(T_0) = A^{\text{sat}}(1 - e^{-\lambda T_0})$$

پس از پایان پرتودهی میزان فعالیت از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$A(t) = A(T_0)(1 - e^{-\lambda t})$$

جهت انجام این محاسبات از تالی F4 و کارت FM4 به صورت زیر استفاده می کنیم:
FM4 (c m 102)

عدد 102 شماره مربوط به واکنش (n, γ) و m شماره ماده مورد نظر می باشد. پارامتر c را به صورت $c=nVS$ در نظر می گیریم که در آن S قدرت چشمه است. چون سلولی که تالی در آن محاسبه می شود خودش با طلا پر شده است لذا می توان پارامتر c را به صورت $c=-VS$ تعریف کرد. علامت منفی یعنی اینکه چگالی اتمی برابر با چگالی اتمی ماده ای که درون سلول را پر کرده است در نظر گرفته شود. برای تعریف چشمه داریم:

```
SDEF  ERG=D1  RAD=d1  AXS=0 0 1  VEC=0 0 1  DIR=1
SP1  -2  1.2895
```

مثال (۴)

الف) فرض کنید یک آشکار ساز استوانه ای به شعاع 2 cm و ارتفاع 4 cm در راستای محور x قرار دارد. همچنین یک چشمه نقطه ای گاما با انرژی 2 MeV در مبدأ مختصات قرار گرفته است. فاصله چشمه تا آشکار ساز 30 cm می باشد. بازدهی آشکار ساز را برای این حالت بدست آورید؟

همان طوریکه می دانیم فاکتور هندسی G برابر است با نسبت بازدهی مطلق آشکار ساز به بازدهی نسبی آن:

$$G = \frac{\text{بازدهی مطلق}}{\text{بازدهی نسبی}}$$

که بازدهی مطلق و نسبی عبارتند از:

$$\text{بازدهی مطلق} = \frac{\text{تعداد پرتوهای شمرده شده توسط آشکار ساز}}{\text{تعداد پرتوهای گسیلی از چشمه}}$$

$$\text{بازدهی نسبی} = \frac{\text{تعداد پرتوهای شمرده شده توسط آشکار ساز}}{\text{تعداد پرتوهای رسیده به آشکار ساز}}$$

بنابراین فاکتور هندسی G به صورت زیر به دست می آید:

$$G = \frac{\text{تعداد پرتوهای رسیده به آشکار ساز}}{\text{تعداد پرتوهای گسیلی از چشمه}}$$

یعنی برای محاسبه فاکتور هندسی آشکار ساز فقط کافی است که میزان پرتوهای ورودی به دهانه آشکار ساز را محاسبه نماییم، به این منظور از تالی F1 استفاده شده است:

```
10 0 1 - 2 - 3 imp : p = 1
20 0 - 4 imp : p = 1
30 0 - 5 #10 #20 imp : p = 1
40 0 5 imp : p = 0
```

```
1 px 30
2 px 34
3 cx 2
4 so 10
5 so 100
```

```
mode p
sdef pos = 0 0 0 erg = 2
F1 : p 1
nps 1000000
```

ب) فرض کنید در این مثال بجای چشمه نقطه ای از یک چشمه خطی استفاده شود، بازدهی آشکار ساز را در این حالت بدست آورید؟ در این مثال فرض کرده ایم که آشکارسازی استوانه ای در راستای محور x قرار دارد و شعاع آن برابر با 3 cm و ارتفاع آن 4 cm می باشد. در این حالت فاصله چشمه تا آشکارساز برابر با 10 cm است.

همان طوریکه برنامه ورودی نشان می دهد در این حالت چشمه خطی دارای طول $2L=30$ cm است و فرض کرده ایم چشمه خطی به صورت یک استوانه ای باریک به شعاع 0.1 cm می باشد. مشابه حالت قبل بازدهی آشکار ساز را با استفاده از تالی F1 بدست می آوریم:

```

10 0 1 -2 -3 imp : p = 1
20 0 -4 #10 imp : p = 1
30 0 4 imp : p = 0

1 px 10
2 cx 3
3 px 14
4 so 100

mode p
sdef pos 0 0 0 rad = d1 axs = 0 1 0 ext = d2 erg = 2
SI1 0 0.1
SI2-15 15
f1:p1
nps 1000000

```

ج) فرض کنید بجای چشمه نقطه ای از یک چشمه حجمی استفاده شود. بازدهی آشکار ساز را برای این حالت بدست آورید؟ در این مثال فرض کرده ایم که آشکارساز استوانه ای شعاع آن برابر با 1.8 cm و ارتفاع آن 5.6 cm می باشد. فرض می کنیم که چشمه سزیم در داخل آشکارساز قرار گرفته است بطوریکه شعاع استوانه ای که بخشی از آن به عنوان آشکارساز به کار رفته است برابر با $r=15$ cm باشد.

همان طوریکه برنامه ورودی نشان می دهد در این حالت بجای چشمه نقطه ای از یک چشمه حجمی استفاده شده است و همچنین از هندسه ماکروبادی برای تعریف سلول و سطوح بکار رفته است. مشابه حالت قبل بازدهی آشکار ساز را با استفاده از تالی F1 بدست می آوریم. در کارت F1 پرانتز اول مجموع ذرات گسیلی از چشمه و پرانتز دوم ذرات ورودی به آشکارساز را بدست می دهد:

```

10 0 -1 imp : p = 1
20 0 -2 #10 imp : p = 1
30 0 -3 #10 #20 imp : p = 1
40 0 -4 #10 #20 #30 imp : p = 1
50 0 4 imp : p = 0

1 rcc 4.1 0 05.8 0 01.9
2 rcc 4 0 08 0 02
3 rcc 0 0 012 0 019
4 so 40

mode p
sdef pos =7 0 0  axs =1 0 0  rad = d1 ext = d2 erg = 0.662
sil 0 1.8
si2 4.2 9.8
f1 : p (2.1 2.2 2.3) (2.1 2.2)
nps 10000000

```

مثال (۵)

فرض کنید یک آشکار ساز BF_3 به شکل استوانه ای به قطر 4 cm و ارتفاع 30 cm با گازی در فشار 1 atm پر شده است. چگالی این گاز 3.67 g/cm^3 می باشد. بازدهی آشکار ساز را برای نوترون های با انرژی 2 MeV بدست آورید؟

همان طوریکه برنامه ورودی نشان می دهد در این حالت از یک چشمه نقطه ای نوترون با انرژی 2 MeV که در فاصله 20 cm از آشکار ساز قرار گرفته است برای تعریف چشمه استفاده شده است. برای محاسبه بازدهی آشکار ساز از تالی F4 استفاده شده است بطوریکه با بدست آوردن نرخ اندرکنش ها، می توان مقدار بازدهی آشکار ساز را بدست آورد. در کد نرخ اندرکنش شماره 107 مربوط به اندرکنش (n, α) می باشد (جهت یادآوری شماره مربوط به هر اندرکنش به بخش خروجی ها مراجعه شود).
برنامه ورودی این حالت را در پایین مشاهده نمایید:

IN THE NAME OF GOOD

C BF3 Detector Relative Response Calculating

C Cell Card

1 1 -1.8 1 -2 -3 \$ BF3

2 0 -7 #1

3 0 7

C Surface Card

1 Py -15

2 Py 15

3 Cy 2.54

7 SO 20

C Data Card

SDEF POS=0 20 0 ERG=1

MODE n

M1 5010 1 9019 3 \$ BF3
IMP:n 1 1 0
F4:n 1
fm4 -1 1 107
NPS 1E6
PRINT

مثال (۶)

سیستم های پرتودهی درون کار برای کارهای تحقیقاتی در دزیمتری استفاده می شوند و دارای توان عملیاتی کمی هستند. از این نوع سیستم ها عمدتاً به منظور پرتودهی نمونه های کم حجم استفاده می شود. این سیستم ها از چشمه های قلمی شکل ^{60}Co یا ^{137}Cs استفاده می کنند. اتاقک پرتودهی به شکل یک محفظه استوانه ای و از جنس استیل ضد زنگ است. قطر داخلی اتاقک 15.2 cm و ارتفاع آن 20.6 cm می باشد. میله های چشمه از نوع ^{60}Co و به صورت یک قفس استوانه ای در داخل یک حفاظ سربی قرار گرفته اند. ارتفاع این میله ها 20.6 cm و قطر آن 1.12 cm است و تعداد این میله ها ۴۸ عدد می باشد. شکل زیر نمایی از این سیستم را نشان می دهد. میزان نرخ دز را در بیرون اتاقک محاسبه نمایید؟

در این مسئله هندسه شامل ابعاد و مشخصات هندسی سیستم پرتودهی درون کار، میله های چشمه ^{60}Co و سلول های دزیمتری که از جنس دزیمتر های پرسپکس شفاف می باشند، که برای دزیمتری بکار می روند، می باشد. ابعاد دزیمتر های پرسپکس شفاف بطور متوسط $2.97 \times 1.062 \times 0.184 \text{ cm}^3$ می باشد. همچنین در شبیه سازی اکتیویته تمام میله های چشمه یکسان فرض شده است. علاوه بر این، جهت تعریف سلول های دزیمتری در سیستم پرتودهی درون کار از کارت های like n But و TRCL استفاده شده است.

بخشی از هندسی ورودی برنامه در پایین مشاهده نمایید. سیستم پرتودهی درون کار شامل چندین نوع ماده با ترکیب های معلوم می باشد که عبارتند از حفاظ سربی، قفسه فولادی، چشمه کبالت، اتاقک پرتودهی از جنس استیل ضد زنگ، روکش آلومینیمی، دزیمتر های پرسپکس شفاف و غیره می باشند.

```

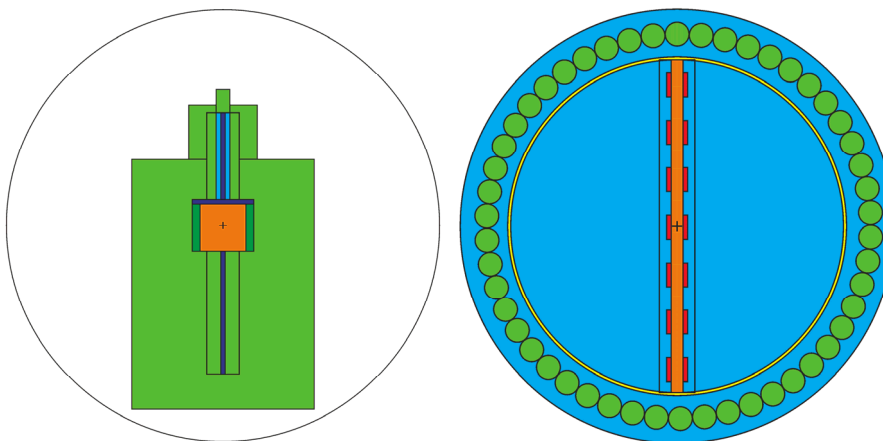
In the name of god
c   Dose distribution calculation in Gammacell-220
c   Cell Card
1   1  -0.001225  10 -11 -3  (-98: 80:-99:100:-10:102)
2   5  -2.7      1  -2  -4  (-10:11:3)
3   2  -7.86     2  -8  -5
5   3  -8.9      1  -2  -6
...
55  4  -10.6815   70 -63 -64
56  1  -0.001225   8  -70 -74
57  2  -7.86      8  -70 -75 #56
58  4  -10.6815   8  -70 -71 #56 #57
59  4  -10.6815   61 -65 -66 #55 #56 #57 #58
60  1  -0.001225   73 -9  -74
61  2  -7.86      73 -9  -72 #60
62  4  -10.6815   73 -9  -71 #60 #61
63  4  -10.6815   60 -61 -62
64  0  -7 #55 (-61:65:66)(-60:61:62)
65  0  7
66  7  -0.154    98 -80 99  -100 10 -102
67  1  -0.001225  80 -104 99  -100 10 -102
...
70  8  -1.18      80 -81 82  -83 10 -96
71  Like 70 but   Trcl=( 0.0  2.12  0)
...
c   Surface Card
C   =====
1   pz -11.0
2   pz  11.0
3   cz  7.6
4   cz  7.8
5   cz 10.485
7   so 120
8   pz 11.2
9   pz -11.2
6   c/z 9.344  1.23  0.56
10  pz -10.5
11  pz  10.5
...
c   F8 Cell Defination
80  px  0.33
81  px  0.514
...

```

بخشی از تعریف مواد در برنامه ورودی را در پایین مشاهده نمایید.

```
c Dose distribution calculation in Gammacell-220
c DATA CARD
m1 7014 -0.9256e-3 8016 -0.2837e-3 18040 -0.01572e-3 $ Air
m2 6012 -0.0003 16032 -0.0003 15031 -0.00045 $ Steel
    14028 -0.01 25055 -0.02 28059 -0.1125
m3 27059 1 $ Cobalt source
m4 82207 1 $ Lead
m5 13027 1 $ Al
m6 6012 -0.2857 1001 -0.4762 8016 -0.2381 $ C6H10O5
m7 6012 -0.333 1001 -0.533 8016 -0.134 $ C5H8O2(PMMA)
```

برای تعریف میله های چشمه که از نوع ^{60}Co می باشند و به صورت یک قفس استوانه ای در داخل یک حفاظ سربی قرار گرفته اند، مطابق شکل زیر عمل کنید. بخشی از تعریف چشمه در کارت ورودی برنامه در پایین مشاهده نمایید.



```

c   Dose distribution calculation in Gammacell-220
c   DATA CARD
SDEF rad=d1 ext=d2 pos=d3 erg=d4 axs=0 0 1 vec=0 0 1 par=2 cel=d5
si1 h 0 0.56
sp1 -21 1
si2 h -10.3 10.3
sp2 c 0 1
si3 1 9.344 1.230 0 9.425 0 0 9.104 2.439 0 8.708 3.606 0
      8.162 4.712 0 7.477 5.738 0 6.665 6.665 0 5.738 7.477 0
      4.712 8.162 0 3.606 8.768 0 2.439 9.104 0 1.230 9.344 0
      0 9.425 0 -1.230 9.344 0 -2.439 9.104 0 -3.606 8.768 0
      -4.712 8.162 0 -5.738 7.477 0 -6.665 6.665 0 -7.477 5.738 0
      -8.162 4.712 0 -8.708 3.606 0 -9.104 2.439 0 -9.344 1.230 0
      -9.425 0 0 -9.344 -1.230 0 -9.104 -2.439 0 -8.708 -3.606 0
      -8.162 -4.712 0 -7.477 -5.738 0 -6.665 -6.665 0 -5.738 -7.477 0
      -4.712 -8.162 0 -3.606 -8.768 0 -2.439 -9.104 0 -1.230 -9.344 0
      0 -9.425 0 1.230 -9.344 0 2.439 -9.104 0 3.606 -8.768 0
      4.712 -8.162 0 5.738 -7.477 0 6.665 -6.665 0 7.477 -5.738 0
      8.162 -4.712 0 8.708 -3.606 0 9.104 -2.439 0 9.344 -1.230 0
sp3 1 47r
si4 1 1.1732 1.3328
sp4 d 1 1
si5 1 5 6 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30
      31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53
sp5 1 47r

```

برای محاسبه دز می توان از دو روش استفاده نمود که شامل کارت های DE2 و DF2 و همچنین کارت *F8 می باشد. در این مثال از هر دو روش برای محاسبه دز استفاده شده و نتایج دو روش با هم مقایسه شده است. البته توجه داشت که خروجی *F8 برحسب MeV می باشد که اگر بر جرم سلول مورد نظر (در این مثال، سلول های مورد نظر دزیتر های پرسپکس شفاف می باشند) تقسیم گردد، مقدار دز را برحسب گری خواهد داد (مطابق برنامه زیر).

c Dose distribution calculation in Gammacell-220

c DATA CARD

DE2 0.01 0.03 0.05 0.07 0.10 0.15 0.20 0.25 0.350 0.355

0.40 0.45 0.50 0.55 0.60 0.65 0.70 0.80 1.0 1.40

DF2 3.96E-06 5.82E-07 2.90E-07 2.58E-07 2.83E-07

3.79E-07 5.01E-07 6.31E-07 7.59E-07 8.78E-07

9.85E-07 1.08E-06 1.17E-06 1.27E-06 1.36E-06

1.44E-06 1.52E-06 1.68E-06 1.98E-06 2.51E-06

f2:p 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 ...

*f8:p 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 ...

sd8 0.546 97r

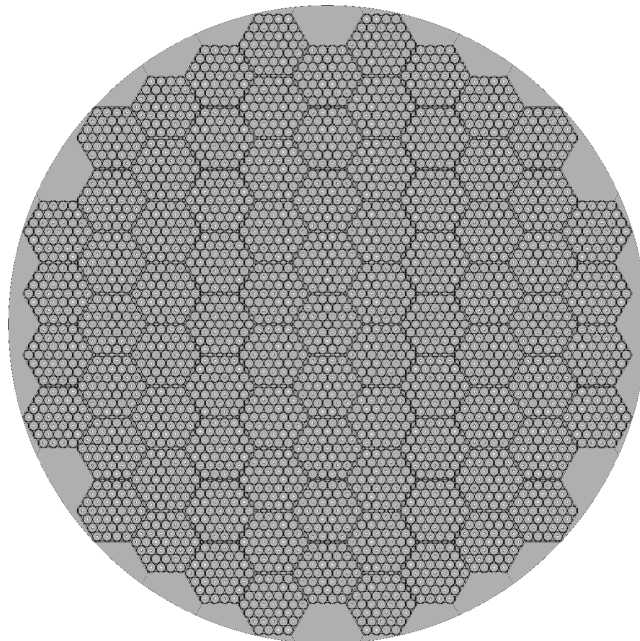
fq0 f u

مثال (۷)

یک راکتور استوانه ای شکل به قطر 190 cm و ارتفاع 180 cm شامل ۸۵ عدد مجموعه سوخت هگزاگونال می باشد. 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 استوانه ای که قطر آن 29 mm است و در داخل غلاف زیرکالوی به ضخامت 1.5 mm قرار دارد. غنای سوخت 6% می باشد. مطلوب است:

الف) مقادیر ضریب تکثیر موثر و بی نهایت، ب) تعداد نوترون های تولید شده به ازای هر شکافت، ج) کسر نوترون های تاخیری و موثر، د) مقدار متوسط زمان تولید نوترون.

همان طوریکه در شکل پایین مشاهده می شود، در این مسئله هندسه شامل یک شبکه هگزاگونال با میله های سوخت استوانه ای است. پس از تعریف هندسه شامل سلول ها و سطوح به کمک ساختار تکرار شونده از نوع شبکه چند وجهی، جهت محاسبه ضریب تکثیر از روش محاسبات بحرانی با کارت kcode استفاده می نماییم.



```

In the name of god
c K Calculations with using of MCNPX code
c cell card
10 0 10 imp:n=0
11 1 -1.6 -10 fill=1 imp:n=1 $ PWR Graphite core
c Graphite Hexagonal 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
c Fuel Assembly
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
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
...

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
...

```

الف) برای محاسبه ضریب تکثیر موثر از کارت kcode استفاده می شود. همچنین با استفاده از سطوح انعکاسی می توان مقدار ضریب تکثیر بی نهایت 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 می شود و بدین ترتیب می توان مقدار ضریب تکثیر بی نهایت را محاسبه نمود.

```
c data card
mode n
Kcode 3000 1 10 50
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
m3 92235.60c -0.053 92238.60c -0.828 8016.60c -0.119 $ UO2
m4 6012.50c -0.5 14000.60c -0.5 $ SiC
print
```

ب) جهت محاسبه تعداد نوترون های تولید شده به ازای هر شکافت می توان به کمک کارت های ورودی در برنامه پایین به صورت زیر عمل نمود. پس از اجرای برنامه با تقسیم مقادیر کارت های f14 به f24 تعداد نوترون های تولید شده به ازای هر شکافت بدست می آید.

```
c data card
mode n
Kcode 3000 1 10 50
ksrc 0 0 0
f14:n 1
fm14 (-1 3 -6 -7) $ keff
sd14 1
f24:n 1
fm24 (-1 3 -6) $ fission reaction rate
sd 24 1
print
```

ج) مقادیر کسر نوترون های تاخیری و موثر را می توان به صورت زیر محاسبه نمود. ابتدا یکبار با استفاده از کارت های phys, kcode (با گذاشتن عدد ۱- به منزله در نظر گرفتن طیف نوترون های تاخیری) و totnu مقدار k1 بدست می آید سپس با استفاده از کارت های phys, kcode (با گذاشتن عدد صفر به منزله در نظر نگرفتن طیف نوترون های تاخیری) و totnu مقدار k2 بدست می آید و در نهایت می توان مقدار k3 را با خاموش کردن کارت totnu بدست آورد. بنابراین با استفاده از روابط $\beta = 1 - (k_3/k_2)$

و $\beta_{eff} = 1 - (k_3/k_1)$ به ترتیب مقادیر کسر نوترون های تاخیری و موثر بدست آورده می شود. بخشی از ورودی برنامه را در پایین مشاهده می نمایید.

```
c data card
mode n
Kcode 3000 1 10 50
ksrc 0 0 0
c -----gives  $k_1 = k_p + k_{eff}$ 
c PHYS:n j j j -1 $ delayed neutron turned on
c totnu
c -----gives  $k_2 = k_p + k_d$ 
c PHYS:n j j j 0 $ Transforming delayed neutrons into prompt neutrons
c totnu
c -----gives  $k_3 = k_p$ 
c PHYS:n j j j 0
c totnu no $ delayed neutron turned off
c ----- HOW TO CALCULATE BETA & BETA_eff----
c --  $\beta = 1 - (k_3/k_2)$ 
c --  $\beta_{eff} = 1 - (k_3/k_1)$ 
print
```

د) مقدار متوسط زمان تولید نوترون را نمی توان مستقیماً با کد MCNPX محاسبه کرد بلکه با تقسیم مقدار عمر نوترون های آنی (عمر نوترون های آنی را می توان در خروجی برنامه محاسبات بحرانی مشاهده نمود) بر مقدار ضریب تکثیر موثر بدست آورد. البته در محاسبات کد MCNPX چون کلیه نوترون ها با اهمیت یکسان در نظر گرفته می شوند، مقدار متوسط زمان تولید نوترون در این کد خیلی دقیق نیست به خصوص در نواحی بازتابنده.

ناشرگذار

ناشر کتاب های تخصصی در حوزه علوم نوین

ناشر گذار آمادگی خود را جهت چاپ و انتشار کتاب های تخصصی در حوزه فیزیک،
مهندسی هسته ای، نانو تکنولوژی، هوا فضا و ... اعلام می دارد، جهت کسب اطلاعات
بیشتر به وبسایت www.nashregozar.ir مراجعه نمایید.