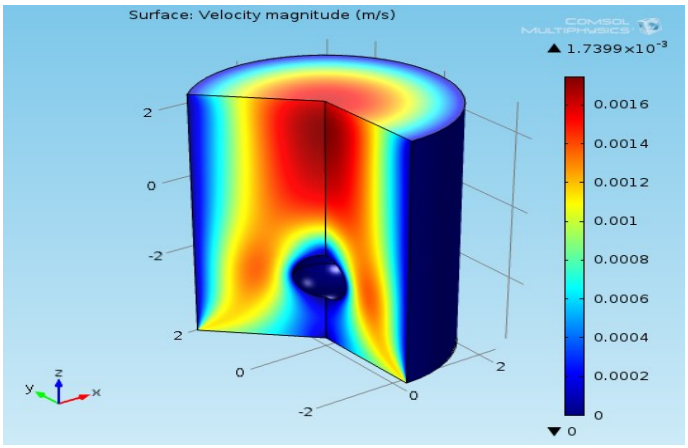
Introducing Comsol

Ali Najafi, Physics Department, University of Zanjan,

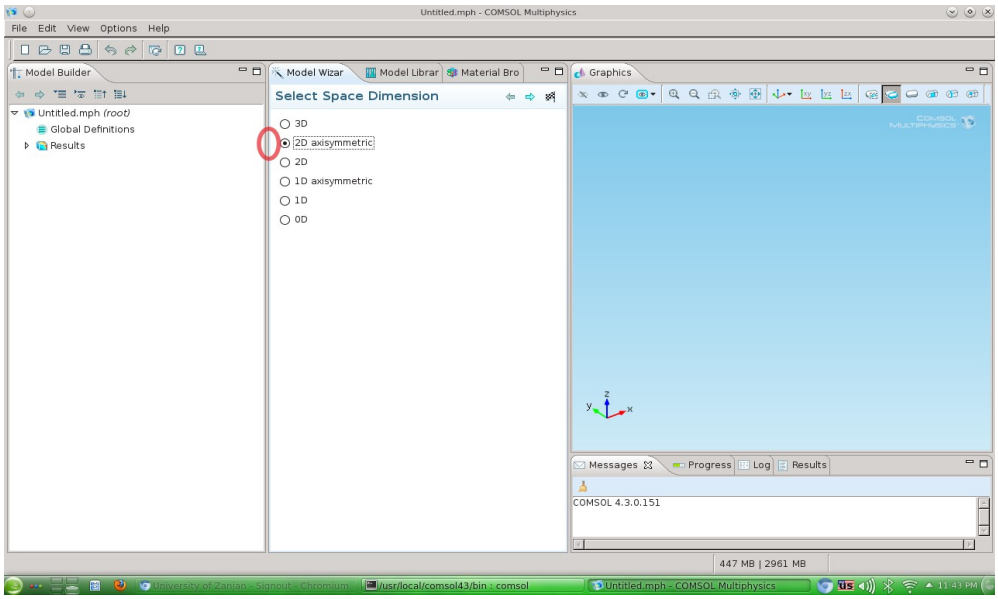
آموزش مقدماتی با نرم افزار کامسال

این نرم‌افزار تحقیقاتی قادر است تا مسایل شاخه‌های مختلفی از علوم و مهندسی را بصورت عددی حل کند. مسایل مربوط به مهندسی برق، مکانیک شاره‌ها، مکانیک محیط‌های الاستیک، مسایل اکوستیک، امواج الکترومغناطیسی در ناحیه‌های مرزدار، محیط‌های پلازما، انتقال جرم، انتقال حرارت، تلاطم، دیفیوژن همگی از قابلیت‌های این نرم افزار است. امکان مطالعه‌ی مسایل ترکیبی (مثل مساله‌ی دیفیوژن که با معادلات شارشی جفت می‌شود) نیز به سهولت در این برنامه وجود دارد.

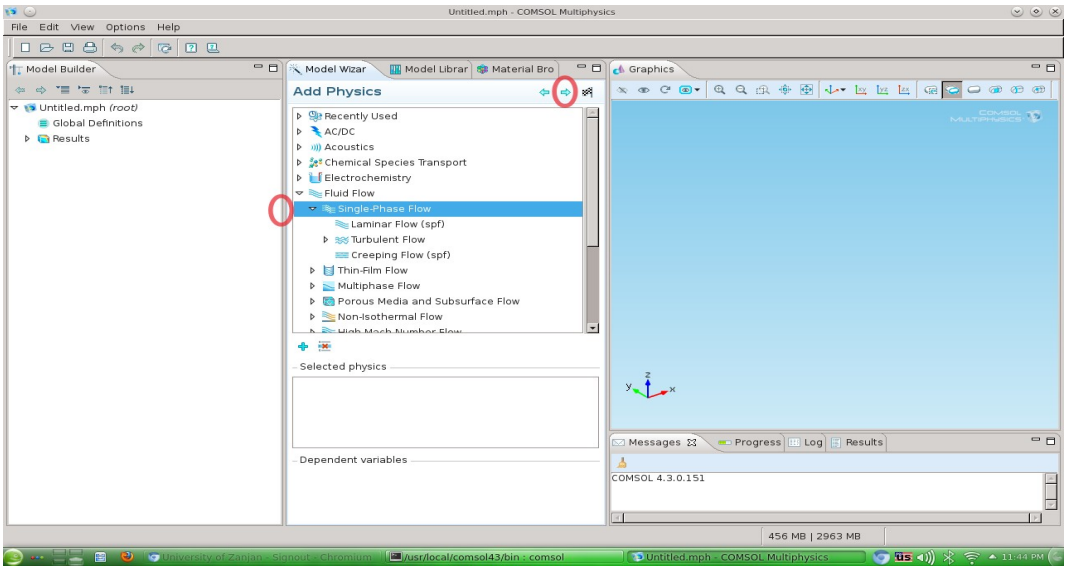
در اینجا سعی می‌کنیم ابتدا به یک مساله‌ی شارش بپردازیم. مساله عبارتست از شارش درون یک استوانه‌ی صلب. این جریان از یک سو وارد و از دیگر سوی استوانه خارج می‌شود. یک کره‌ی صلب که روی محور استوانه قرار دارد، جلوی جریان را می‌گیرد. نتیجه‌ی نهایی در شکل زیر دیده می‌شود. اندازه‌ی سرعت برحسب رنگ‌ها نمایش داده شده است.

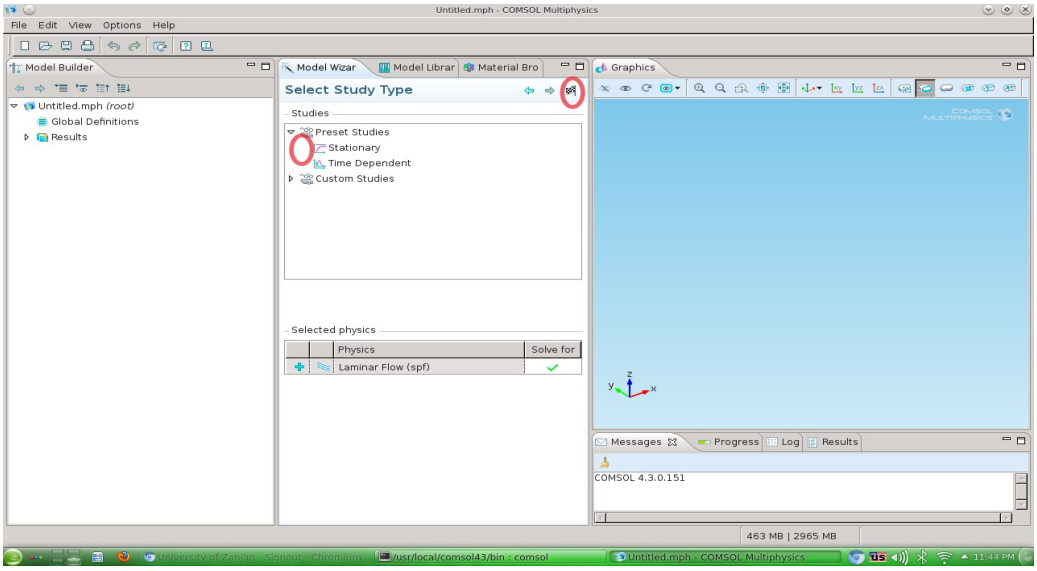


برای حل این مساله دقت کنید که به خاطر تقارن سمتی عملا با یک مساله‌ی دو بعدی سروکار داریم. پس مطابق شکل زیر در صفحه‌ی آغازین کامسال گزینه‌ی 2D Axisymmetric را برمی‌گزینیم. حال کلید آبی رنگ روبروی select space dimension را انتخاب می‌کنیم تا به مرحله ی بعد برویم.

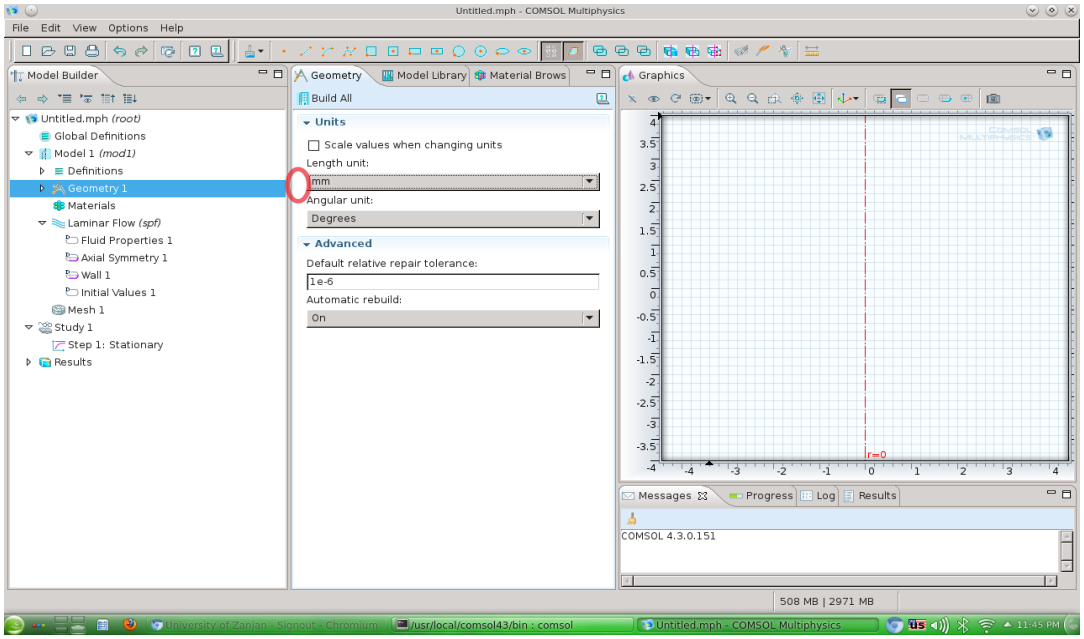


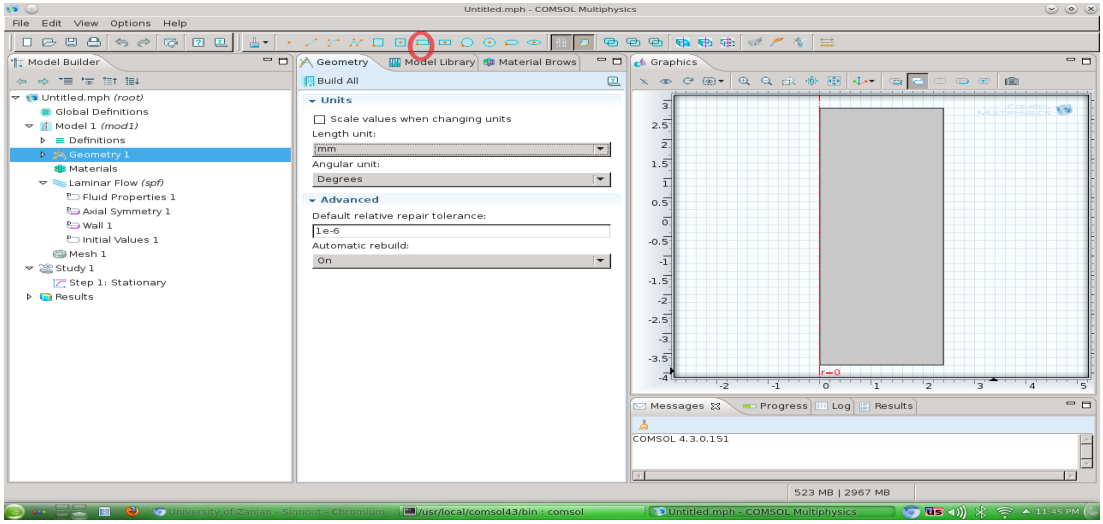
مطابق شکل‌های زیر گزینه‌های مربوط به شارش لمینار و مطالعه‌ی حالت پایا را انتخاب و به مراحل بعدی می‌رویم.

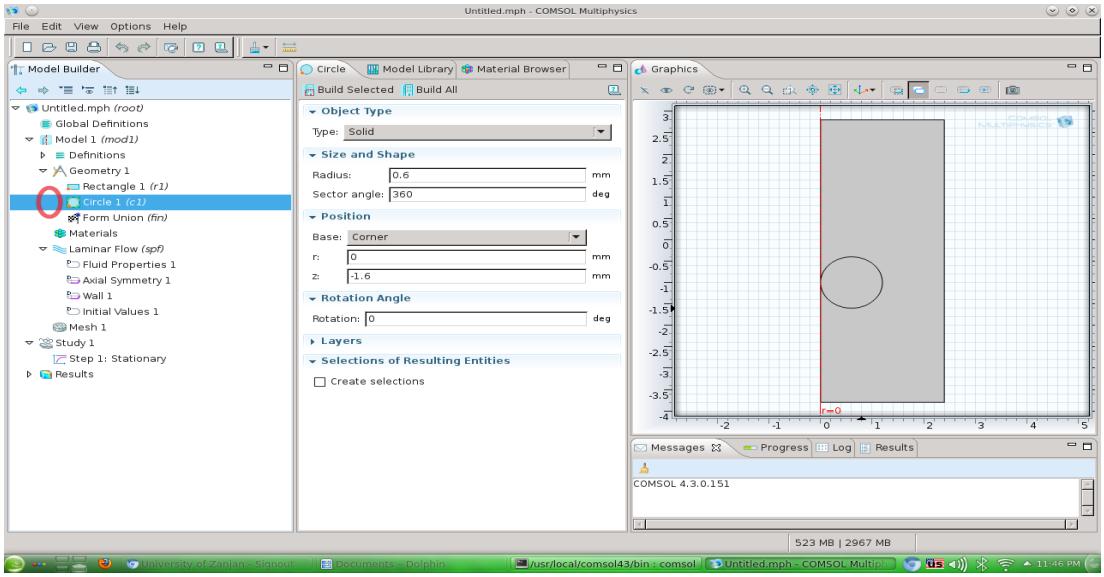


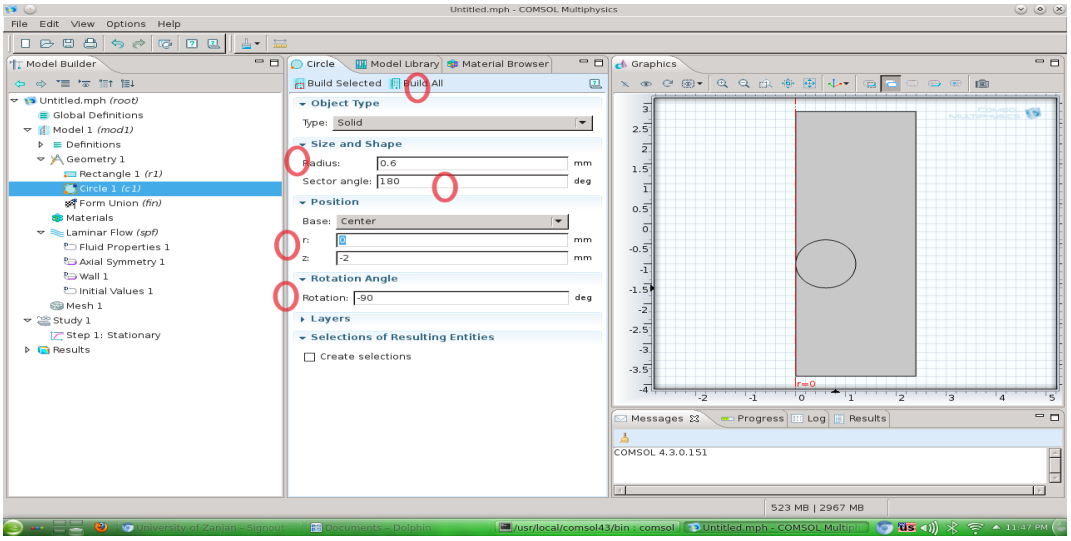


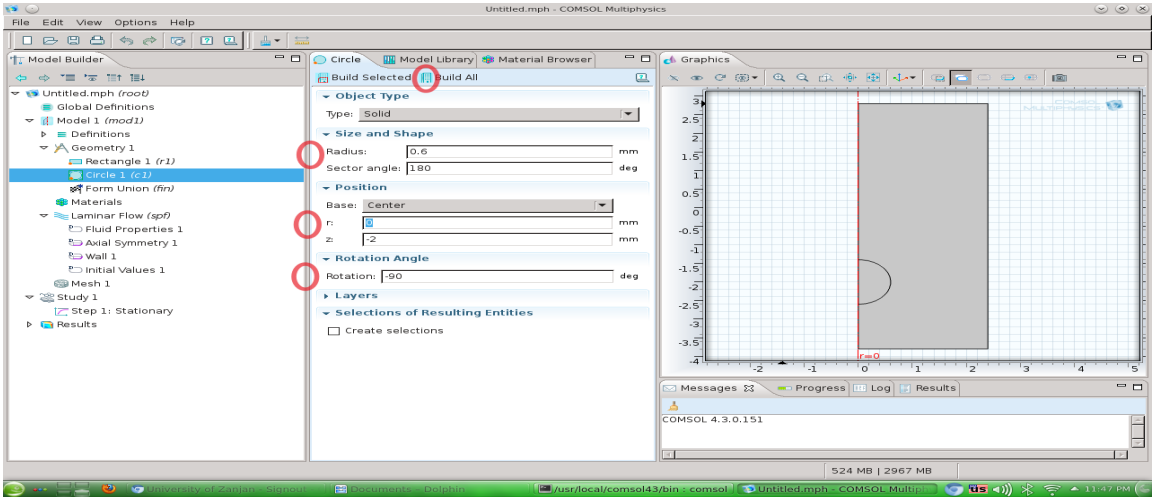
حال در این مرحله هندسه مساله که عبارتست از یک مستطیل و نیمدایره را رسم می‌کنیم. در واقع به خاطر تقارن سمتی، مستطیل نماینده‌ی استوانه و نیمدایره معرف کره است.


Untitled.mph - COMSOL Multiphysics
File Edit View Options Help
Model Builder
Geometry
Model Library
Material Brows
Graphics
Build All
Units
Scale values when changing units
Length unit:
mm
Angular unit:
Degrees
Advanced
Default relative repair tolerance:
1e-6
Automatic rebuild:
On
Messages
Progress
Log
Results
COMSOL 4.3.0.151
508 MB | 2971 MB

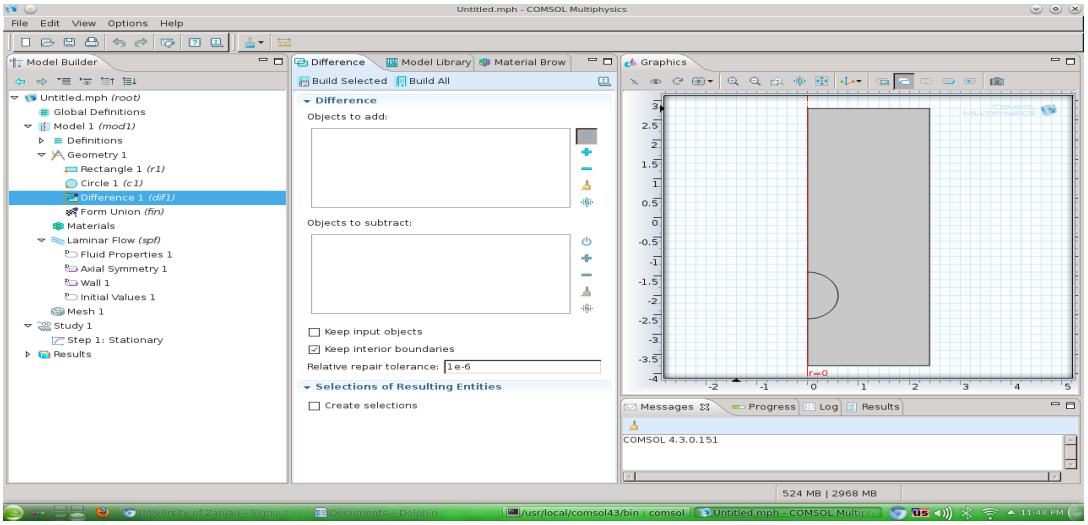

Untitled.mph - COMSOL Multiphysics
File Edit View Options Help
Model Builder
Geometry
Model Library
Material Brows
Graphics
Build All
Units
Scale values when changing units
Length unit:
mm
Angular unit:
Degrees
Advanced
Default relative repair tolerance:
1e-6
Automatic rebuild:
On
Messages
Progress
Log
Results
COMSOL 4.3.0.151
523 MB | 2967 MB

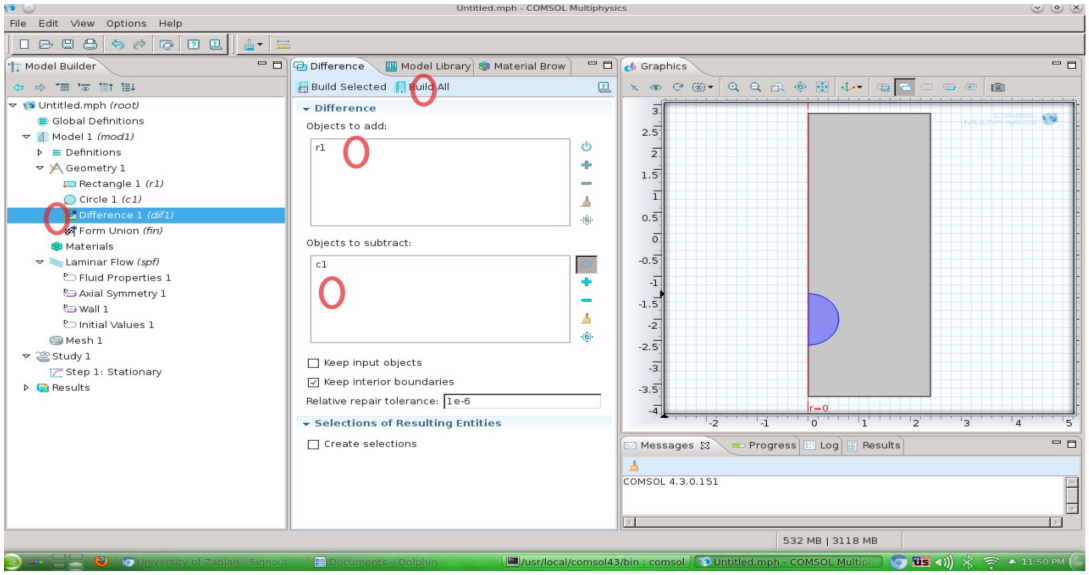

Untitled.mph - COMSOL Multiphysics
File Edit View Options Help
Model Builder
Circle
Model Library
Material Browser
Graphics
Build Selected
Build All
Object Type
Type: Solid
Size and Shape
Radius: 0.6 mm
Sector angle: 360 deg
Position
Base: Corner
r: 0 mm
z: -1.6 mm
Rotation Angle
Rotation: 0 deg
Layers
Selections of Resulting Entities
Create selections
Messages
Progress
Log
Results
COMSOL 4.3.0.151
523 MB | 2967 MB

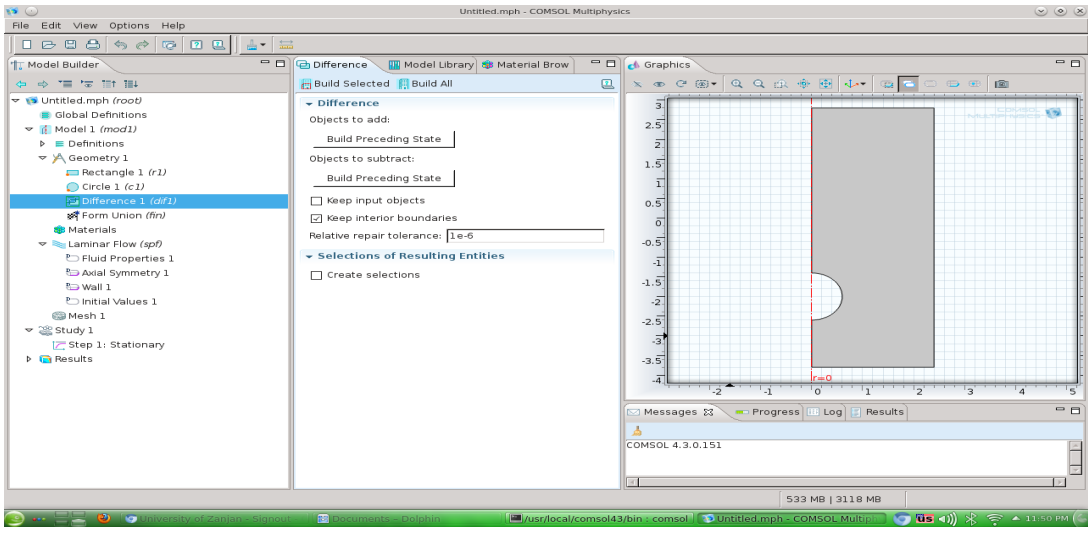




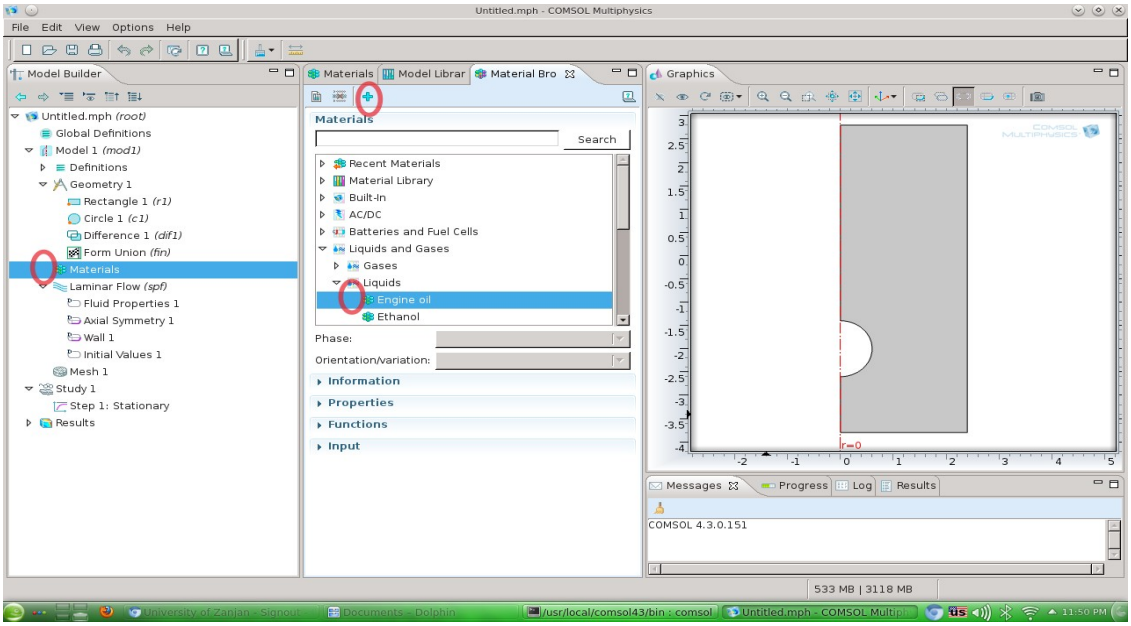
در شکل‌های بالا نشان داده شده که چگونه اندازه‌ی شکل‌های هندسی را می‌توان دستکاری کرد. در این مرحله لازم است که فضای داخل دایره را از هندسه‌ی مساله حذف کنیم. برای این منظور روی گزینه‌ی Geometry کلیک راست کنید و گزینه‌ی Boolean operation و از آنجا گزینه‌ی Differences را برگزینید. مثل شکل‌های زیر با کلیک کردن روی مستطیل آنرا به کادر بالا object to add اضافه کنید. نیمدایره را هم به کادر پایین یعنی object to subtract اضافه کنید. حالا با کلید build all به هدفمان می‌رسیم. فضای داخل کره از هندسه‌ی مساله حذف می‌شود.


Untitled.mph - COMSOL Multiphysics
File Edit View Options Help
Model Builder
Untitled.mph (root)
Global Definitions
Model 1 (mod1)
Definitions
Geometry 1
Rectangle 1 (r1)
Circle 1 (c1)
Difference 1 (dif1)
Form Union (fin)
Materials
Laminar Flow (spf)
Fluid Properties 1
Axial Symmetry 1
Wall 1
Initial Values 1
Mesh 1
Study 1
Step 1: Stationary
Results
Difference
Model Library
Material Brow
Build Selected
Build All
Objects to add:
Objects to subtract:
Keep input objects
Keep interior boundaries
Relative repair tolerance: 1e-6
Selections of Resulting Entities
Create selections
Graphics
Messages
Progress
Log
Results
COMSOL 4.3.0.151
524 MB | 2968 MB

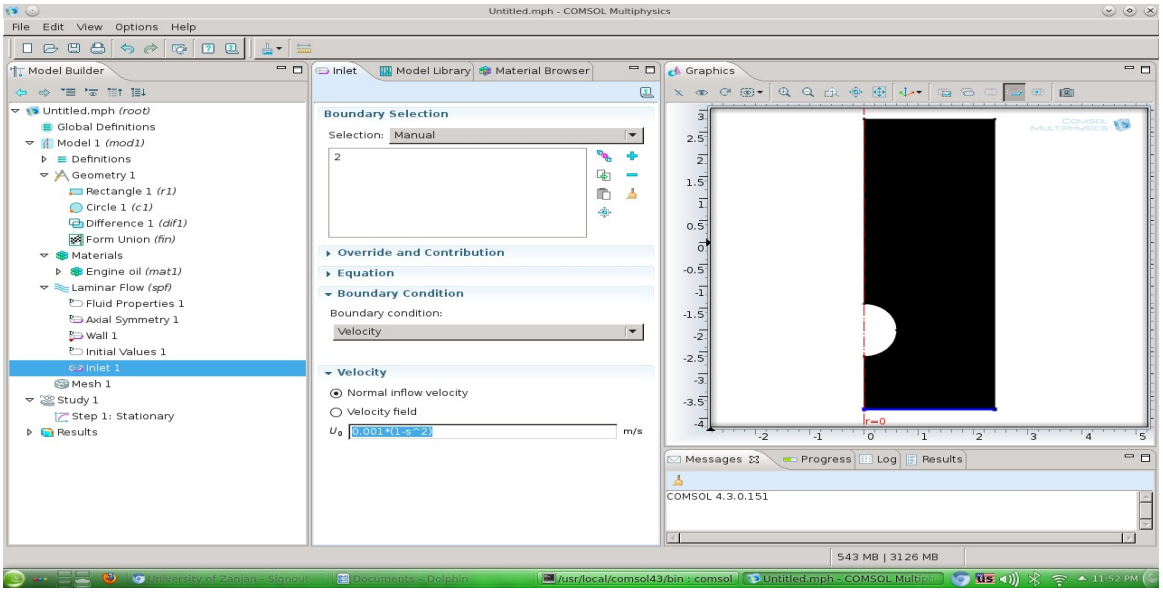

Untitled.mph - COMSOL Multiphysics
File Edit View Options Help
Model Builder
Untitled.mph (root)
Global Definitions
Model 1 (mod1)
Definitions
Geometry 1
Rectangle 1 (r1)
Circle 1 (c1)
Difference 1 (dif1)
Form Union (fin)
Materials
Laminar Flow (spf)
Fluid Properties 1
Axial Symmetry 1
Wall 1
Initial Values 1
Mesh 1
Study 1
Step 1: Stationary
Results
Difference
Model Library
Material Brow
Build Selected
Build All
Objects to add:
r1
Objects to subtract:
c1
Keep input objects
Keep interior boundaries
Relative repair tolerance: 1e-6
Selections of Resulting Entities
Create selections
Graphics
Messages
Progress
Log
Results
COMSOL 4.3.0.151
532 MB | 3118 MB

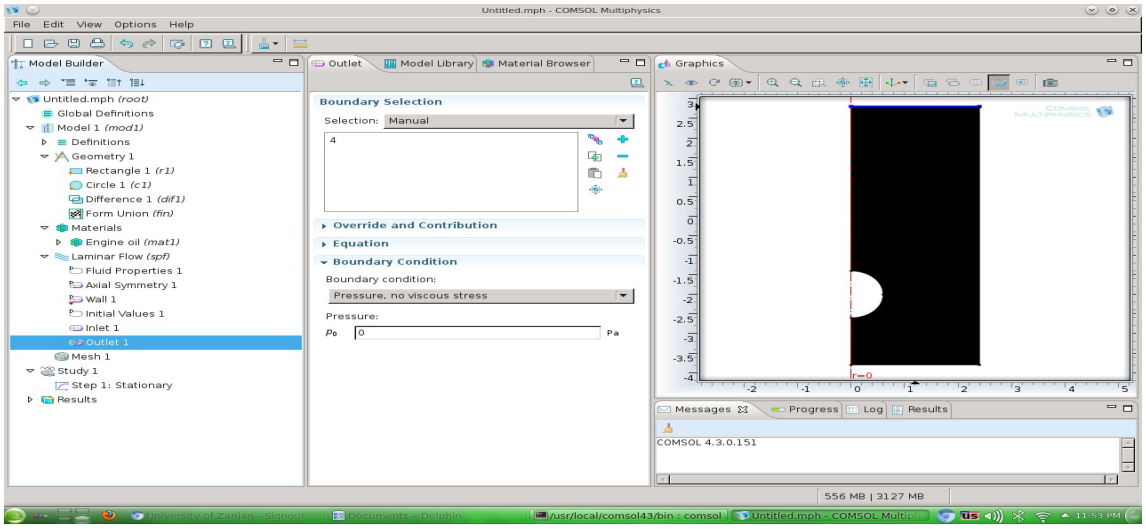

Untitled.mph - COMSOL Multiphysics
File Edit View Options Help
Model Builder
Untitled.mph (root)
Global Definitions
Model 1 (mod1)
Definitions
Geometry 1
Rectangle 1 (r1)
Circle 1 (c1)
Difference 1 (dif1)
Form Union (fin)
Materials
Laminar Flow (spf)
Fluid Properties 1
Axial Symmetry 1
Wall 1
Initial Values 1
Mesh 1
Study 1
Step 1: Stationary
Results
Difference
Model Library
Material Brow
Build Selected
Build All
Objects to add:
Build Preceding State
Objects to subtract:
Build Preceding State
Keep input objects
Keep interior boundaries
Relative repair tolerance: 1e-6
Selections of Resulting Entities
Create selections
Graphics
Messages
Progress
Log
Results
COMSOL 4.3.0.151
533 MB | 3118 MB

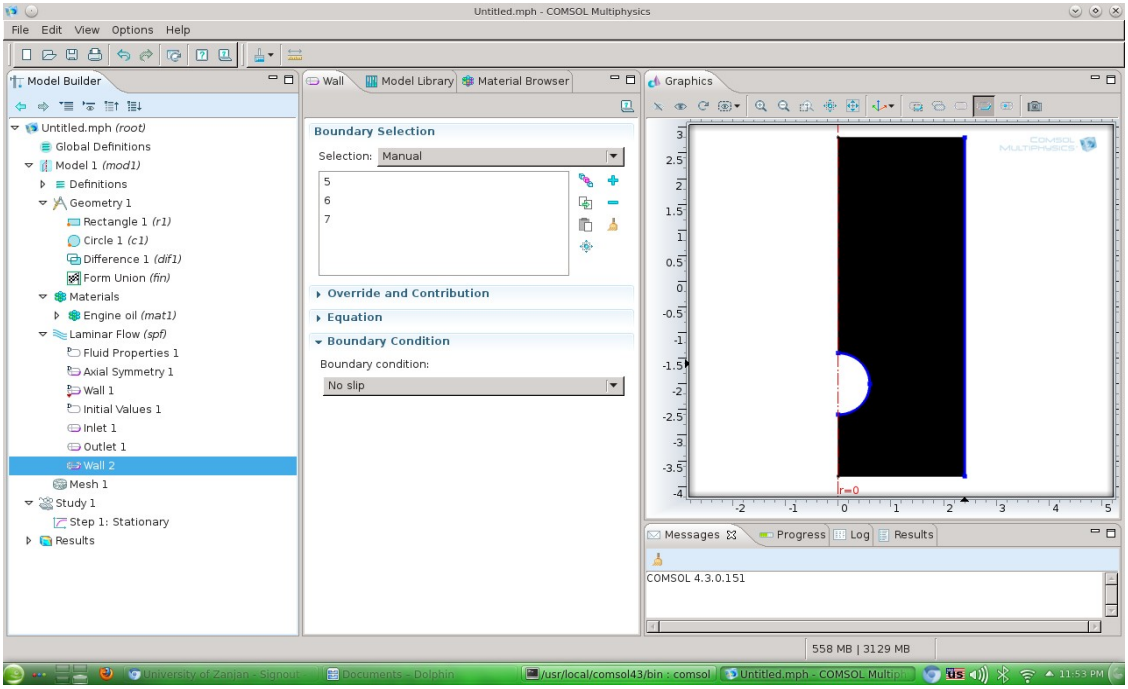
در مرحله با کامل شدن هندسه به قسمت انتخاب شاره‌ی مورد نظر می‌پردازیم. با کلیک راست روی گزینه‌ی Material و انتخاب Open material Browser مطابق شکل‌های زیر مایع مورد نظر را که اینجا روغن موتور است را برمی‌گزینیم.



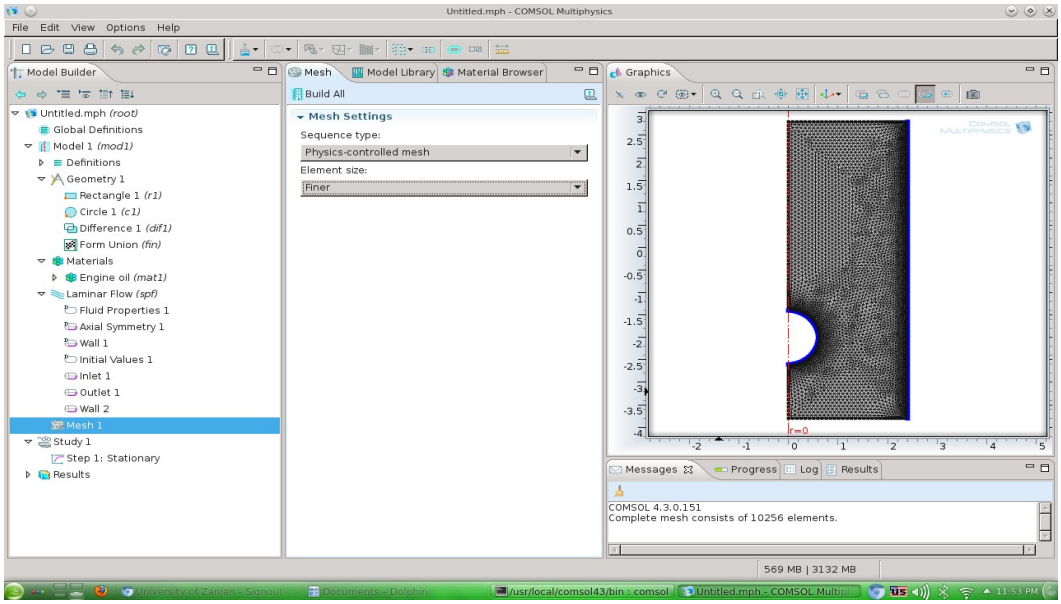
برای انتخاب شرایط مرزی روی Laminar Flow کلیک راست کنید. به تمام گزینه‌ها نگاه کنید. تمام شرایط مرزی مختلف وجود دارد. برای اعمال شرایط شاره‌ی ورودی Inlet flow را انتخاب می‌کنیم. مطابق شکل زیر مرز شماره ۲ را به عنوان مرز ورودی به کادر بالای صفحه یعنی قسمت selection اضافه می‌کنیم. ورودی مساله را ازنوع سرعت و بصورت $0{,}001*(1-s^2)$ انتخاب می‌کنیم. در واقع فرض می‌کنیم که بیشترین مقدار سرعت در مرکز برابر با $1cm/s$ و بصورت مرتبه‌ی ۲ از مرکز تا دیواره‌ی استوانه به صفر می‌رسد. با کلیک راست روی laminar flow شرط مرزی از نوع outflow را هم انتخاب می کنیم. بالای استوانه یعنی ضلع شماره‌ی ۴ به کادر selection اضافه می‌شود. به صورت پیش‌فرض فشار صفر برای این مرز انتخاب شده است. با کلیک راست روی Laminar Flow گزینه‌ی Wall را انتخاب می‌کنیم. از این گزینه برای اعمال شرط مرزی بدون لغزش روی دیگر مرزها استفاده شده است.


Untitled.mph - COMSOL Multiphysics
File Edit View Options Help
Model Builder
Untitled.mph (root)
Global Definitions
Model 1 (mod1)
Definitions
Geometry 1
Rectangle 1 (r1)
Circle 1 (c1)
Difference 1 (dif1)
Form Union (fin)
Materials
Engine oil (mat1)
Laminar Flow (spf)
Fluid Properties 1
Axial Symmetry 1
Wall 1
Initial Values 1
Inlet 1
Mesh 1
Study 1
Step 1: Stationary
Results
Inlet
Model Library
Material Browser
Boundary Selection
Selection: Manual
2
Override and Contribution
Equation
Boundary Condition
Boundary condition:
Velocity
Velocity
Normal inflow velocity
Velocity field
U0 0.001*(1-s^2)
m/s
Graphics
Messages
Progress
Log
Results
COMSOL 4.3.0.151
543 MB | 3126 MB

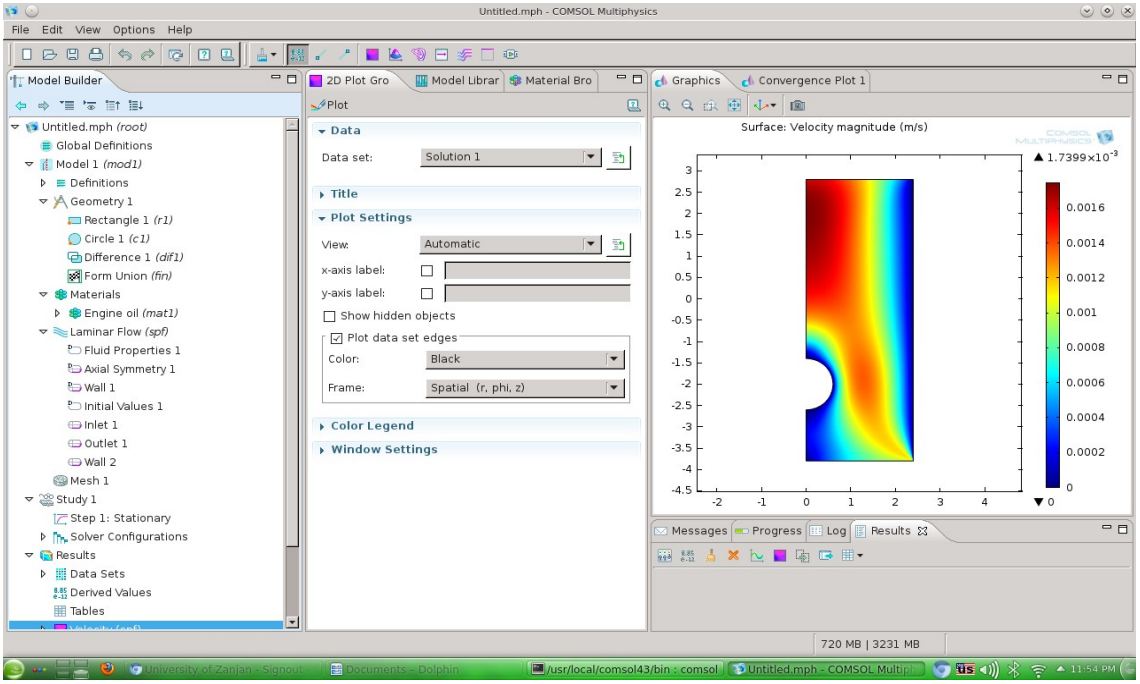

Untitled.mph - COMSOL Multiphysics
File Edit View Options Help
Model Builder
Untitled.mph (root)
Global Definitions
Model 1 (mod1)
Definitions
Geometry 1
Rectangle 1 (r1)
Circle 1 (c1)
Difference 1 (dif1)
Form Union (fin)
Materials
Engine oil (mat1)
Laminar Flow (spf)
Fluid Properties 1
Axial Symmetry 1
Wall 1
Initial Values 1
Inlet 1
Outlet 1
Mesh 1
Study 1
Step 1: Stationary
Results
Outlet
Model Library
Material Browser
Boundary Selection
Selection: Manual
4
Override and Contribution
Equation
Boundary Condition
Boundary condition:
Pressure, no viscous stress
Pressure:
p0 0
Pa
Graphics
Messages
Progress
Log
Results
COMSOL 4.3.0.151
556 MB | 3127 MB


Untitled.mph - COMSOL Multiphysics
File Edit View Options Help
Model Builder
Untitled.mph (root)
Global Definitions
Model 1 (mod1)
Definitions
Geometry 1
Rectangle 1 (r1)
Circle 1 (c1)
Difference 1 (dif1)
Form Union (fin)
Materials
Engine oil (mat1)
Laminar Flow (spf)
Fluid Properties 1
Axial Symmetry 1
Wall 1
Initial Values 1
Inlet 1
Outlet 1
Wall 2
Mesh 1
Study 1
Step 1: Stationary
Results
Wall
Model Library
Material Browser
Boundary Selection
Selection: Manual
5
6
7
Override and Contribution
Equation
Boundary Condition
Boundary condition:
No slip
Graphics
Messages
Progress
Log
Results
COMSOL 4.3.0.151
558 MB | 3129 MB

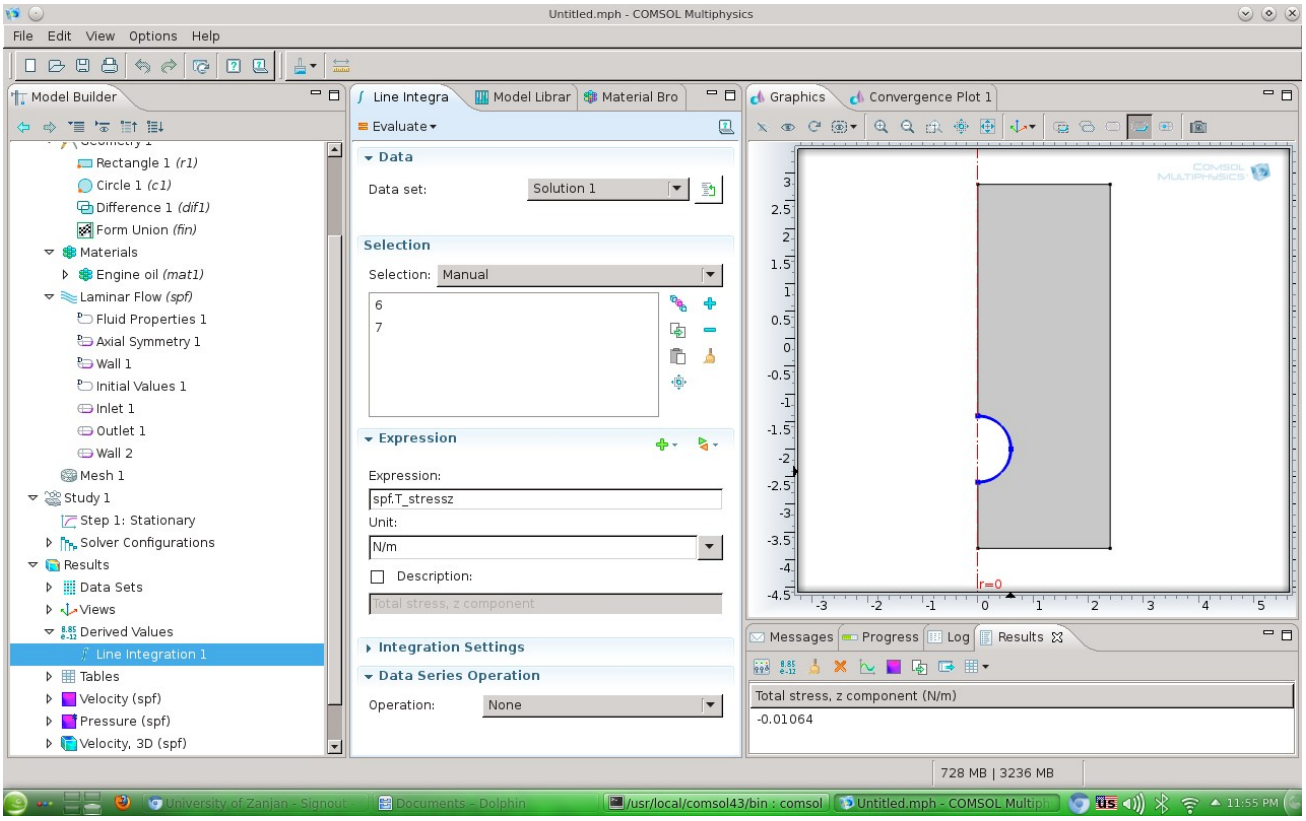
هندسه‌ی مساله کامل شده، نوع شاره تعیین و شرایط مرزی هم اعمال شده است. برای حل عددی مساله لازم است که فضای درونی سیستم را گسسته کنیم. گزینه‌ی Mesh را انتخاب کنید. در کادر وسط و در قسمت Element size گزینه‌ی Finer را انتخاب کنید. حالا با انتخاب Build all شبکه را می‌سازیم.



برای اجرای برنامه و انجام محاسبات روی Study کلیک راست و از آنجا Compute را انتخاب کنید. زمان اجرای برنامه بسته به پیچیدگی مساله متغیر خواهد بود. در شکل زیر پروفایل سرعت بدست آمده در نمای ۲ بعدی بر حسب رنگها نمایش داده شده است. بعد از اجرای برنامه بصورت پیش‌فرض فقط بعضی از نتایج نمایش داده می‌شوند. ولی این قابلیت وجود دارد که از تمام اطلاعات استفاده کرد. این اطلاعات را از قسمت Results کسب کنید.

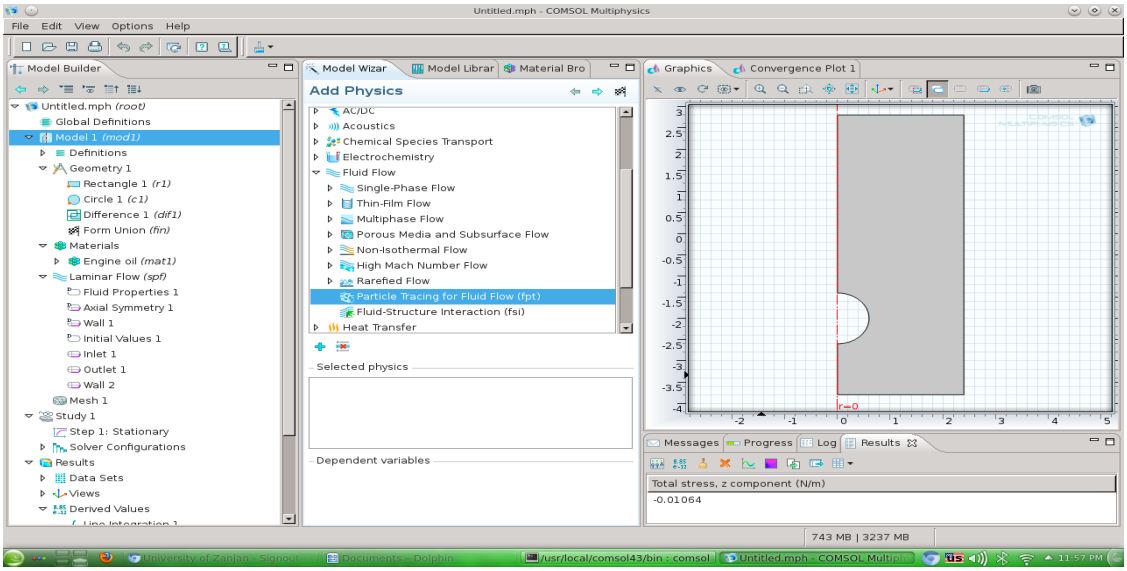


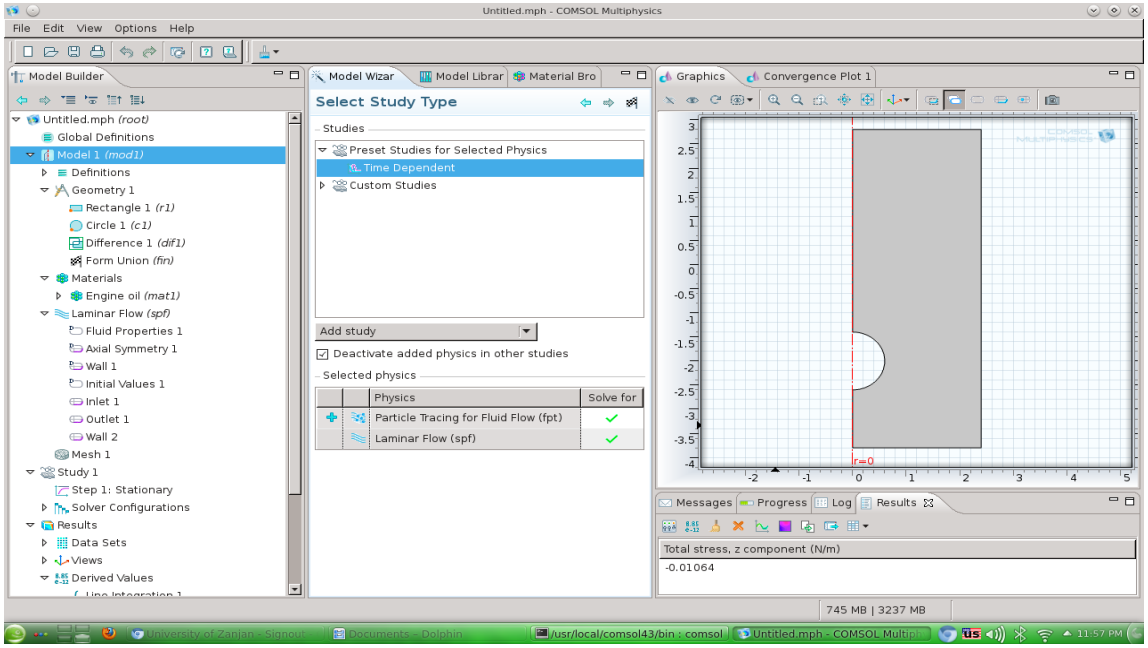
به عنوان نمونه می‌خواهیم نیروی وارد بر کره را حساب کنیم. در قسمت Results و Derived values گزینه‌ی Intehration و از آنجا line integration را انتخاب کنید. با این انتخاب می‌توانیم از تمام کمیات مورد نظر روی هر مسیری انتگرال بگیریم. برای محاسبه‌ی نیروی وارد بر کره از تانسور تنش روی کره انتگرال می‌گیریم. در قسمت شکل مساله با انتخاب مرزهای نیمدایره آنها را به کادر Selection اضافه می‌کنیم. در اینجا مرزهای شماره‌ی ۶ و ۷ نیمدایره را می‌شازند. بعد از افزودن مرزها باید عبارت انتگرال‌گیری را هم انتخاب کنیم. در قسمت Expressions و روی علامت + کلیک کنید و تمامی انتخاب‌های ممکن را نگاه کنید. در این مثال عبارت مولفه‌ی z تنش کلی-total stress tensor zcomponent انتخاب شده است. حالا روی Evaluate کنار علامت = کلیک کنید تا محاسبه شود. نتیجه‌نهایی (0.01064-)که در واقع مولفه‌ی z نیروی وارد بر کره است در انتهای پایین سمت راست نمایش داده می‌شود.



اکنون می‌خواهیم یک مساله‌ی ترکیبی را حل کنیم. اگر کلوییدهای کروی شکل را به شاره‌ی درون استوانه اضافه کنیم، با استفاده از کامسال مسیر حرکت آنها را بدست می‌اوریم. حرکت این ذرات به خاطر نیروی

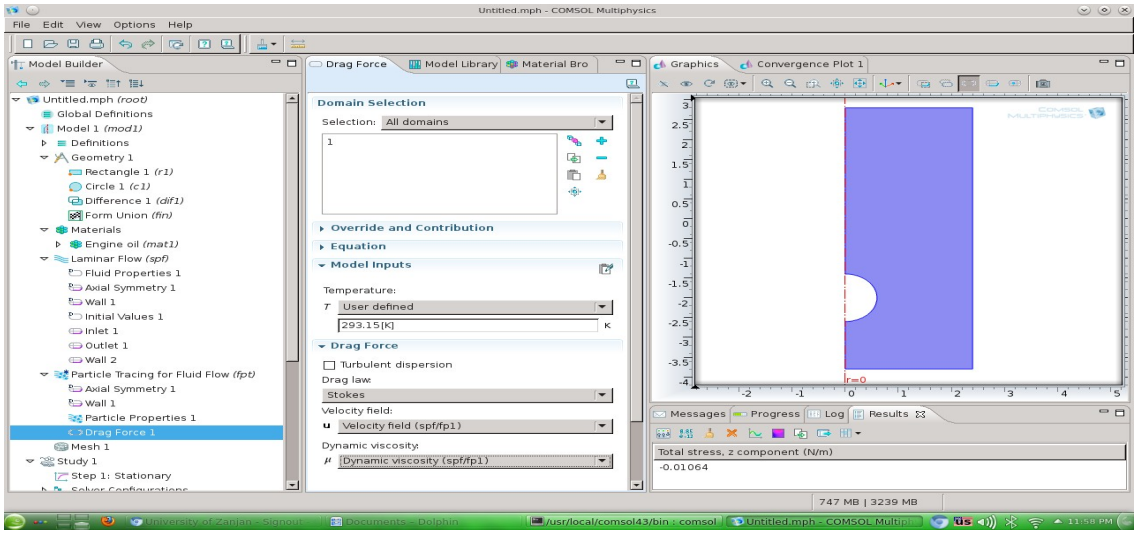
وارد شده از طرف شارش است. در قسمت Model 1 با کلیک راست گزینه‌ی Add Physics و از آنجا فیزیک مربوطه یعنی Particle Tracing for fluids را انتخاب می‌کنیم و به مرحله‌ی بعدی می‌رویم (با انتخاب فلش آبی‌رنگ رو به سمت راست). در قسمت بعد گزینه‌ی Time dependent را انتخاب و با انتخاب علامت پرچم یا finish به مرحله‌ی بعد می‌رویم.



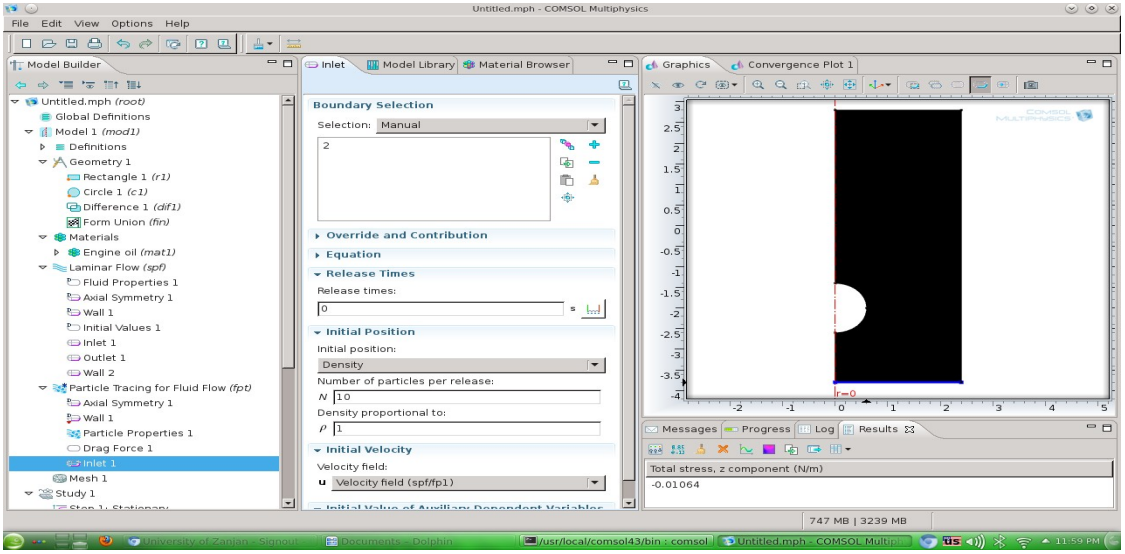


باید تصمیم بگیریم چه نیروهایی به ذرات وارد می‌شوند. با کلیک راست روی Particle tracing for fluid

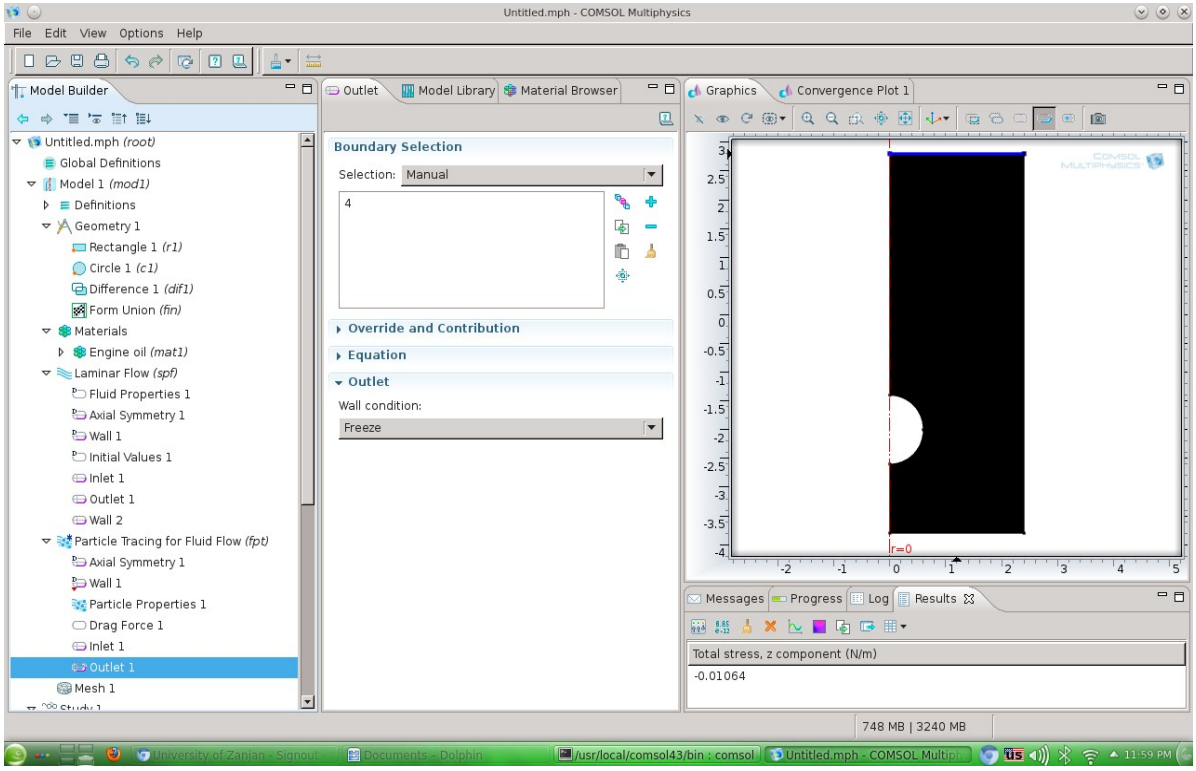
flow نیروی درگ Drag force را انتخاب کنید. در کادر مربوط به این نیرو که ایجاد می‌شوند گزینه‌ی All Domains را انتخاب کنید. در قسمت velocity field مورد Velocity field spf/fp1 را انتخاب کنید.



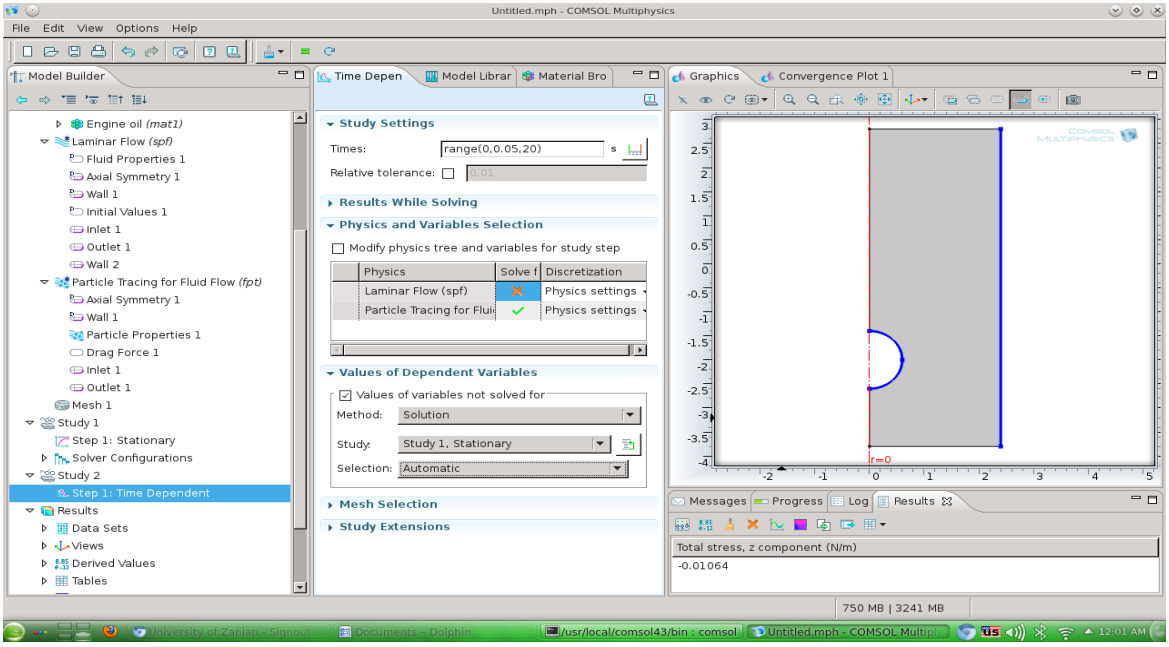
شرایط ذرات ورودی به استوانه را با کلیک راست روی Particle tracing و انتخاب Inlet تعیین می‌کنیم. مرز پایین را به عنوان مرز ورودی به کادر selection اضافه کنید. در قسمت initial position گزینه‌ی Density و تعداد ۱۰ ذره انتخاب کنید. در قسمت initial velocity گزینه‌ی velocity field spf /fp1 را انتخاب کنید.



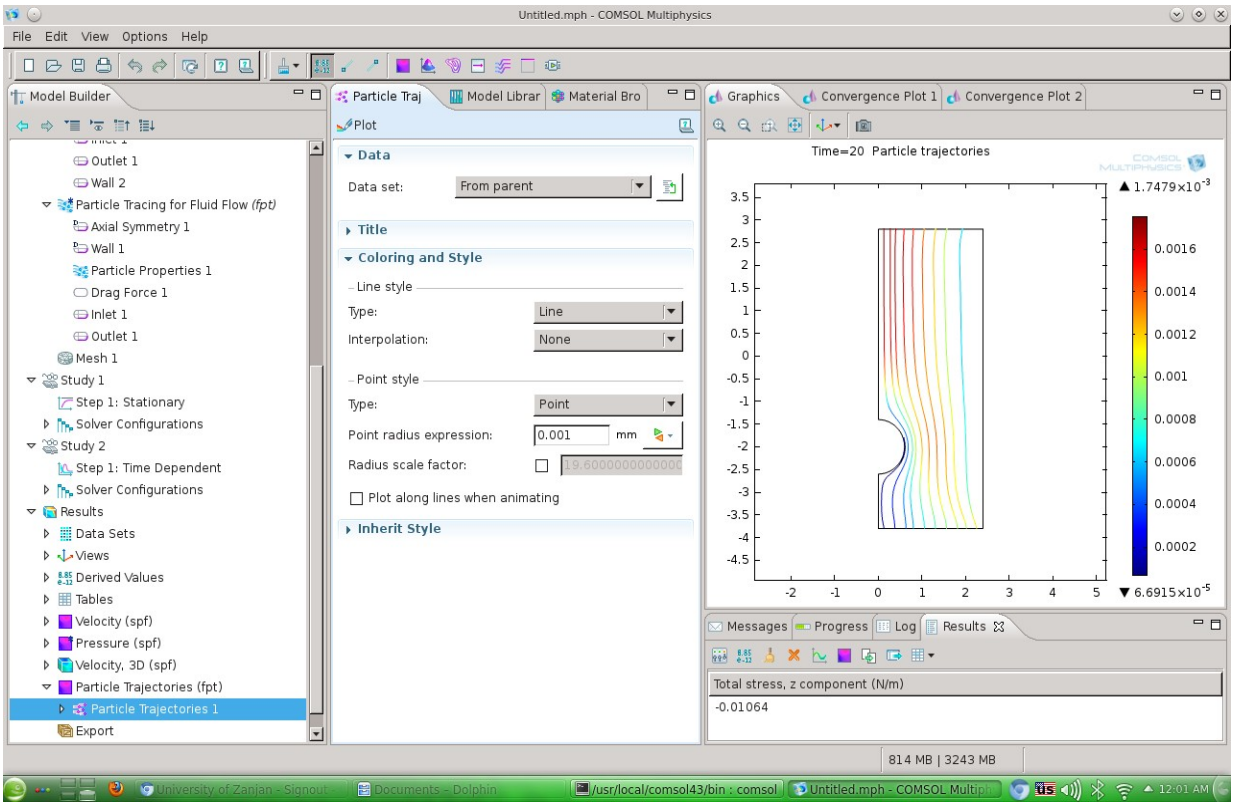
لازم است برای شرایط خروجی و دیواره‌ها برای ذرات تصمیم بگیریم. کلیک راست روی Particle tracing for fluid flow و از آنجا out let را انتخاب می‌کنیم. مرز شماره ۴ را به قسمت selection اضافه و شرط دیواره را بصورت freeze انتخاب می‌کنیم. اگر در لیست زیر laminar Flow به قسمت Wall1 بروید می‌بینید که بصورت پیش‌فرض برای تمام دیگر دیواره‌ها گزینه‌ی Freeze انتخاب شده است که مناسب است.



برای اینکه مسیر ذرات بدست آید به قسمت step 1 time dependent از Study2 بروید. در قسمت Study Setting گزینه‌ی time را مطابق نمونه‌ی زیر تغییر دهید. در قسمت Physics and variable selections فقط قسمت Particle Tracing را تیک بزنید. در واقع چون قبلا مساله‌ی شارش حل شده دیگر لازم به حل نیست. قسمت Values of dependent Variables را هم مطابق شکل زیر تغییر دهید.



برای اجرای برنامه روی Study2 کلیک راست و Compute را انتخاب کنید تا مساله حل شود و مسیرها بدست آیند. برای نمایش مسیرهای ذرات در قسمت Particle Trajectories مطابق شکل زیر قسمت Line Style را در حالت Line قرار دهید و روی Plot کلیک کنید. حالا مسیرها نمایش داده می‌شوند. چون مساله‌ی حل شده دینامیکی بود می‌توانید مسیرها را بصورت انیمیشن هم رسم کنید.



http://www.znu.ac.ir/data/members/najafi_ali/