

Stora gasplaneter kan gömma beboeliga jordar

De flesta kända planeter kring andra stjärnor är obeboeliga gasjättar. Men i jättens kölvatten kan finnas en jordlik, beboelig planet. Det upptäckte jag under arbetet med min avhandling om planetbildning.

PLANETBILDNING OCH extrasolära planeter är ett av astronomins mest fascinerande forskningsområden och intimt sammankopplat med forskningen om hur stjärnor bildas. Grunden inom forskningsområdet lades av den kände franske matematikern Pierre-Simon de Laplace, som i

slutet av 1700-talet applicerade Newtons gravitationsteori och rörelselagar på ett långsamt roterande sfäriskt gasmoln för att på så sätt studera molnets utveckling och eventuella kollaps under påverkan av sin egen gravitation. I Laplaces modell gör rotationen i kombination med rörelsemängdsmomentets bevarande att gasen samlas i en plan skiva runt den blivande

stjärnan (protostjärnan).

Fysiker har senare insett att detta är en alltför enkel modell; eftersom interstellära moln är ofantligt stora skulle minsta lilla rotation innebära att den blivande stjärnan får ett för stort rörelsemängdsmoment. En nybildad skiva skulle enligt detta scenario innehålla minst hundra gånger större rörelsemängdsmoment än vad som krävs för att spränga sönder det tänkta slutresultatet, stjärnan. För att stjärnan ska kunna "fånga in" skivans gas måste den bli av med sitt rörelsemängdsmoment på något sätt.

Ett annat problem med modellen ligger i svårigheten att förstå hur mikrometersmå stoftpartiklar i skivan samlas ihop till planeter stora som Jupiter.

Den enda kända kraft som kan samla ihop material i stor skala är friktion, vilket i gaser kallas viskositet. Molekyler i gasen kolliderar, värms upp och strålar ut värme. De förlorar då rörelseenergi och börjar röra sig in mot stjärnan. Om man ersätter de små molekylerna i modellen med stora virvlar, så kallade turbulenselement, så har man ett recept för ansamling; turbulent viskositet. Eftersom storleken på dessa element är så mycket större än molekyler så är även friktionen större, och ansamlingen till stjärnan kan fortgå.

Turbulens i skivan uppstår på grund av en magnetisk effekt, där växelverkan mellan gasrotationen och magnetfältet destabiliserar det jämna gasflödet. De processer som därefter leder till planetbildning måste därför fungera i en turbulent och orolig miljö.

PLANETBILDNINGEN STARTAR med koagulation, där kolliderande mikrometersmå stoftpartiklar med hjälp av elektromagnetiska krafter kan bygga upp centimeterstora gruskorn och meterstora bumlingar. Vid dessa dimensioner slutar emellertid denna mekanism att fungera av två skäl. För det första är kropparnas inbördes hastigheter så stora, upp till tio kilometer per sekund, att kollisioner mellan två-

bumlingar resulterar i grus snarare än i en större bumling. För det andra tenderar dessa kroppar att sjunka in mot stjärnan på grund av friktionen från den omgivande gasen som berövar dem rörelseenergi.

Tidsskalan under vilket detta sker tycks vara så pass kort som något hundratal år. Detta fenomen har visat sig vara det mest svåröverstigligen hindret för förstäl- sen av planetbildning.

En möjlighet att komma förbi dessa hinder erbjuds av gravitationskraften. När stoftkornen har vuxit till centimeter- och meterstorlek, avtar gasens bromsverkan och kropparna attraheras av stjärnans gravitation mot skivans centralplan (se figur), en process även känd som sedimentation. Även om dessa kroppar är för lätta för attrahera varandra individuellt, så ökar sedimentationens andelen stoft i förhållande till gas med flera storleksordningar. Med de höga tätheter som då uppstår kan materialet kollektivt uppnå den kritiska densiteten som krävs för att gravitationen ska övervinna alla andra krafter, och vi får en kollaps. Detta scenario har fördelen att ha en mycket kort tidsskala och undgår därmed problemet med gasens bromsande effekt.

DENNA UTVECKLINGSVÄG har dock visat sig vara en överförenkling eftersom till och med ett litet mått av turbulens i skivan hindrar partiklarna från att uppnå den täthet som krävs för att trigga kollapsen. Dessutom, i avsaknad av självupprätthållande turbulens som den som orsakas av en magnetisk effekt, kan kropparna själva orsaka turbulens med sina rörelser i gasen, som i sin tur rör upp de fasta partiklarna.

Trots att turbulens i skivan förhindrar en direkt kollaps genom sedimentation, möjliggör den ändå processen på ett indirekt sätt. Friktionen mellan gasen och de fasta partiklarna tenderar att skjuta de fasta partiklarna mot områden med högre tryck och förhöjer därmed andelen stoft i förhållande till gas i delar av ski-

van, vilket ger möjlighet till gravitationell kollaps. Numeriska beräkningar visar att detta också sker; partiklar fångas i dessa högttryckszoner och kollapsar till dvärgplaneter under gravitationell inverkan. Turbulensen höjer dock även de fasta partiklarnas inbördes hastigheter vilket gör att sannolikheten för destruktiva kollisioner, och därmed även fragmentering, ökar.

Problemet med ökad fragmentering kan undvikas om ansamlingen av partiklar sker i en skyddad miljö där kollisionshastigheterna är lägre. Virvelströmmar liknande Jupiters stora röda fläck har länge antagits gynna planetbildning eftersom de skapar en inåtriktad nettokraft. Virvelströmmar har också mindre intern turbulens än den omgivande gasen vilket minskar kollisionshastigheterna och förhindrar fragmentering. Sådana virvelströmmar liknar orkaner i jordatmosfären och kan bildas i områden i skivan där ansamlingsflödet bromsas. Detta sker bland annat i den magnetiskt "döda" zonen där jonisationsgraden är så låg att materien inte påverkas av det omgivande magnetfältet.

JAG HAR ARBETAT med datorsimuleringar av turbulenta protoplanetära skivor för att utforska planetbildning. Jag har byggt skiv-modeller med magnetiskt döda zoner, inklusive växelverkande partiklar av centimeter- och meterstorlek. Med mina simuleringar kunde jag visa att partiklar samlas så effektivt i virvelströmmarna att det leder till gravitationell kollaps. Det sker rent utav ett utbrott av planetbildning i skivan, vilket i modellen resulterade i 300 gravitationellt bundna planetembryon, varav 20 var mer massiva än Mars.

Jag har också behandlat problemet med fragmentering genom att beräkna historiken av kollisionshastigheter hos de partiklar som utgör embryon. Resultatet visade att den övervägande majoriteten av partiklar i en sådan virvel kolliderar

med så låga hastigheter att de inte bryts sönder. Detta häpnadsväckande resultat stärker den sedan länge vidhållna teorin om att orkanliknande virvelströmmar är mycket fördelaktiga strukturer vid planetbildning.

Jag har också kommit fram till att samma mekanismer även verkar i skivor med jätteplaneter. I dessa simuleringar öppnar jätteplaneterna upp ett gap i skivans material, vilket ökar förekomsten av virvelströmmar. Den gravitationella kollapsen leder i det här fallet till bildandet av planeter med större massa än jorden, vilka mycket väl skulle kunna fungera som kärnor för nästa generations jätteplaneter.

Samtidigt upptäckte jag att även mindre, jordstora, planeter bildades i särskilda punkter i gasjättens bana. Från dessa upptäckter drar vi slutsatsen att vissa av de gasjättar som upptäckts i andra solsystem skulle kunna ha trojanska kompanjoner av jordstorlek och att det skulle finnas beboeliga planeter även i system där jätteplaneter ligger i jordliknande banor. Denna häpnadsväckande upptäckt blev uppmärksam i media, och går att läsa om i ett av de senaste numrena av den populärvetenskapliga tidningen New Scientist.

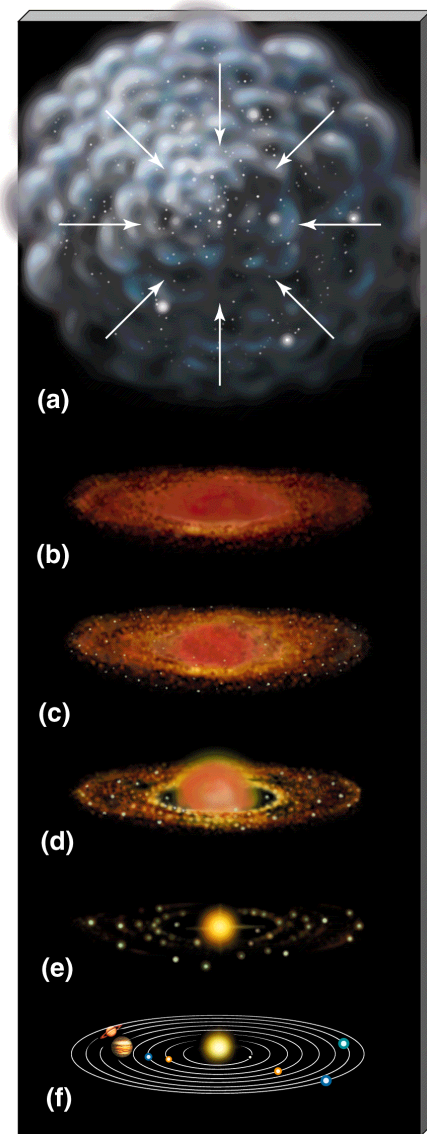
WLADIMIR LYRA

Wladimir Lyra har doktorerat i teoretisk planetvetenskap vid Uppsala universitet. Han försvarade sin avhandling den 26 februari i år med Thomas Henning från Max Planck-institutet för astronomi som opponent.

Läs mer:

Hela Wladimir Lyras avhandling "Turbulence-Assisted Planetary Growth: Hydrodynamical Simulations of Accretion Disks and Planet Formation" finns på <http://uu.diva-portal.org/smash/get/diva2:173154/FULLTEXT01>.

En personlig intervju med Wladimir Lyra finns på nästa uppslag.



(a) Ett interstellärt moln kollapsar under sin egen vikt. Vid dess centrum börjar en stjärna bildas.

(b) På grund av rotationen samlas gasen i en tunn skiva runt den groende stjärnan. Kombinationen av rotation och magnetiska fält leder till turbulens.

Mikrometerstora dammkorn koagulerar till småsten och stenblock. Stenbitarna fångas i virvlarna och koncentreras till områden med högt tryck. Om områdena är långlivade fångas tillräckligt många partiklar för att en gravitationell kollaps ska ske. Då skapas de första asteroiderna, kometererna och dvärgplaneterna.

(c) Virvlar är benägna att uppstå på gränsen mellan områden med hög respektive låg turbulens. I dessa virvlar blir koncentrationen av partiklar otroligt hög, och ett dussintal planetembryon i Mars storlek bildas.

(d) Senare kolliderar planetembryona med varandra och skapar allt större kroppar. Gasen skingras kontinuerligt, det mesta av den har redan fångats in av stjärnan.

(e) När gasen har försvunnit återstår ett litet antal massiva planetkärnor. De massiva kärnorna fångar antingen in mindre kroppar med hjälp av sin gravitation, eller stöter iväg dem. Processen fortsätter tills en enda kropp dominerar sin omloppsbana.

(f) I vårt solsystem utgör åtta planeter de dominerande kropparna.