

Powstanie Słońca z kosmicznej chmury

18 sierpnia 2024 r.

(Notka techniczna: Te **na czerwono** zaznaczone fragmenty tekstu wyznaczają szczególnie kontrowersyjne wypowiedzi ChatGPT; w nawiasach [] za nimi stoi moja wersja tych wypowiedzi; te **na zielono** zaznaczone fragmenty podkreślają te wypowiedzi, z którymi zgadzam się całkowicie.)

(P.J.) Czy to prawda, że nasze Słońce powstało w wyniku akrecji kosmicznej chmury kosmicznej materii?

ChatGPT:

Tak, to prawda. Nasze Słońce powstało z tak zwanego kosmicznego obłoku, znanego również jako obłok molekularny lub międzygwiazdny obłok gazu i pyłu, w procesie zwanym akrecją.

Oto krótkie *podsumowanie tego procesu*:

Pochodzenie z obłoku molekularnego: Słońce powstało około 4,6 miliarda lat temu w gigantycznym obłoku molekularnym składającym się głównie z wodoru, helu i mniejszych ilości cięższych pierwiastków.

Zapadanie grawitacyjne: **Z powodu zakłócenia [bez zakłóceń]**, prawdopodobnie wywołanego przez pobliską eksplozję supernowej, część tego obłoku zaczęła zapadać się pod wpływem własnej grawitacji.

Protogwiazda i dysk akrecyjny: **W miarę postępu zapadania, utworzyło się gęste jądro zwane protogwiazdą. Wokół tego jądra utworzył się [był tam już wcześniej] wirujący dysk akrecyjny gazu i pyłu.**

Akrecja i fuzja jądrowa: Proces akrecji, w którym gaz i pył z otoczenia spadały na protogwiazdę, spowodował jej dalszy wzrost. Gdy tylko jądro protogwiazdy stało się wystarczająco gorące i gęste, rozpoczęła się fuzja jądrowa, a Słońce **zaczęło wytwarzać [wysyłać] energię.**

Narodziny Słońca: Po zapłonie fuzji jądrowej Słońce stało się gwiazdą ciągu głównego, a proces akrecji ustał. **Pozostałe obłoki gazu i pyłu [w idealnej sytuacji nie byłoby pozostałej masy; Słońce istniałoby samo]** ostatecznie utworzyły planety, asteroidy i inne obiekty w Układzie Słonecznym.

Ten proces formowania się gwiazd z kosmicznego obłoku jest powszechnym zjawiskiem w astrofizyce i wyjaśnia powstawanie gwiazd takich jak nasze Słońce.

(P.J.) Odnośnie punktu 2. Dlaczego potrzebna była supernowa? Grawitacja zawsze działa, prawda? Więc pierwszy obłok koncentrował się przez cały czas swojego istnienia, prawda?

ChatGPT:

Masz rację, że grawitacja zawsze działa i odgrywa rolę w kondensacji obłoków molekularnych. Należy jednak wziąć pod uwagę kilka ważnych szczegółów:

Kolaps grawitacyjny i wpływy zewnętrzne

Samograwitacja chmury molekularnej: Chmura molekularna od samego początku ma pewne przyciąganie grawitacyjne, ponieważ wszystkie masy we wszechświecie oddziałują na siebie grawitacyjnie. Ta siła grawitacji oznacza, że chmura ma tendencję do kurczenia się. Jednak w stabilnym obłoku to zapadanie się jest równoważone przez **ciśnienie wewnętrzne [żart]** (ciśnienie termiczne, pola magnetyczne, turbulencje).

Metastabilność obłoku: Wiele międzygwiazdnych obłoków molekularnych jest metastabilnych, co oznacza, że znajdują się one **w stanie równowagi [iluzja]**, w którym grawitacja i ciśnienie gazu są zasadniczo zrównoważone. Obłoki te mogą pozostawać stabilne przez długi czas i nie zapadają się spontanicznie.

Zewnętrzne czynniki wyzwalające zapadanie się: Zewnętrzny impuls jest często niezbędny do rozpoczęcia zapadania się grawitacyjnego w celu zakłócenia równowagi. Przykładem takiego czynnika może być wybuch supernowej. Fala uderzeniowa z pobliskiej supernowej może zwiększyć ciśnienie zewnętrzne, powodując ściśnięcie obłoku molekularnego i rozpoczęcie zapadania. Istnieją jednak również inne możliwe czynniki wyzwalające, takie jak zderzenia z innymi obłokami molekularnymi lub fale uderzeniowe pochodzące z innych zdarzeń astrofizycznych.

Bez zewnętrznych wyzwalaczy: Możliwe jest, że obłok skondensuje się nawet bez zewnętrznych wyzwalaczy, jeśli ma wystarczającą masę (jest to opisane przez kryterium Jeansa). W takim przypadku siła grawitacji może być wystarczająca do powolnego zainicjowania kolapsu, ponieważ **samograwitacja [co to takiego?]** zyskuje przewagę i pokonuje wewnętrzne ciśnienie. Jednak często dzieje się to w bardzo długich okresach czasu.

Podsumowanie

Grawitacja zawsze działa, ale początek szybkiego i wielkoskalowego zapadania się jest często wywoływany przez zdarzenia zewnętrzne, takie jak supernowa lub kolizja chmur. W przypadku braku takich wpływów obłoki molekularne mogłyby pozostać stabilne przez bardzo długi czas lub zapadać się bardzo powoli. Dlatego też zewnętrzne czynniki odgrywają ważną rolę w przyspieszaniu formowania się gwiazd.

(P.J.) Po co to przyspieszenie? Kosmos ma "cały czas świata". Poza tym każdy kosmiczny obłok ma wewnętrzną rotację, prawda? Ta rotacja jest wystarczającym powodem do rozpoczęcia procesu akrecji, prawda?

ChatGPT:

Masz rację, że kosmos teoretycznie ma „cały czas na świecie”, a procesy takie jak formowanie się gwiazd mogą zachodzić w bardzo długich okresach czasu. Rotacja obłoków molekularnych również odgrywa ważną rolę w procesie akrecji. Przyjrzyjmy się temu szczegółowo:

Rotacja i akrecja

Wewnętrzna rotacja obłoku molekularnego: Międzygwiazdowe obłoki molekularne rzeczywiście mają pewną rotację. **Rotacja ta wynika z zachowania momentu pędu [tam, gdzie nie było go na początku, nie mógł powstać później!]** W miarę zapadania się obłoku, moment pędu staje się bardziej skoncentrowany, zwiększając prędkość rotacji (podobnie jak łyżwiarka figurowa napina ramiona i kręci się szybciej). Ta rotacja oznacza, że zapadająca się chmura nie kurczy się bezpośrednio do punktu, ale tworzy obracający się dysk - tak zwany dysk akrecyjny.

Rola rotacji w akrecji: Rotacja w rzeczywistości pomaga zainicjować i kontrolować proces akrecji. Gdy gaz i pył w obłoku zbiegają się w kierunku centralnej protogwiazdy, znaczna część materii układa się w dysk wokół protogwiazdy ze względu na moment pędu. Dysk ten ma kluczowe znaczenie dla dalszego rozwoju układu, ponieważ dostarcza materiał, który ostatecznie opada na protogwiazdę i pozwala młodej gwiazdzie na dalszy wzrost. W dysku tym zachodzi również proces formowania się planet.

Znaczenie wpływów zewnętrznych

Przyspieszenie kolapsu: Chociaż rotacja i wewnętrzne procesy w chmurze odgrywają kluczową rolę, faktyczny początek kolapsu jest często przyspieszany przez wpływy zewnętrzne. Kosmos może mieć „cały czas na świecie”, ale bez zewnętrznego wyzwalacza wiele chmur **może pozostawać w stanie metastabilnym przez bardzo długi czas [nie tak bardzo w prawdziwym kosmosie; czy są przykłady?]** Wydarzenia zewnętrzne, takie jak supernowa, mogą zakłócić równowagę grawitacji i ciśnienia gazu, inicjując zapadanie się szybciej i skuteczniej. Oznacza to, że w regionach, w których takie czynniki są nieobecne, formowanie się gwiazd może przebiegać znacznie wolniej lub nawet w ogóle nie zostać zainicjowane.

Subtelności momentu pędu: Należy również zauważyć, że rotacja obłoku nie wystarcza, aby zapobiec całkowitemu zapadnięciu się. Gwarantuje ona, że

materiał nie spadnie bezpośrednio na jądro, ale zostanie przekierowany do dysku. Jednak, jak już wspomniano, do początkowego zapadnięcia się obłoku często potrzebny jest „bodziec”, który wywoła niestabilność grawitacyjną.

Podsumowanie

Wewnętrzna rotacja obłoku molekularnego jest kluczowym czynnikiem w procesie akrecji oraz formowania się gwiazd i układów planetarnych. Jednak sama rotacja nie może spowodować początkowego zapadnięcia się stabilnego obłoku. Wpływy zewnętrzne, takie jak supernowe lub inne fale uderzeniowe, mogą przyspieszyć to zapadanie się, zaburzając równowagę, która może utrzymywać obłok stabilny przez długi czas. Dlatego takie zewnętrzne wpływy są często „początkiem” formowania się gwiazd, **podczas gdy rotacja wspiera kolejne procesy, takie jak tworzenie się dysków akrecyjnych i planet.**

(P.J.) Zgadzą się więc, że nasze Słońce musiało powstać z obracającego się dysku akrecyjnego kosmicznej materii?

ChatGPT:

Tak, dokładnie! Nasze Słońce rzeczywiście powstało z obracającego się dysku akrecyjnego materii kosmicznej. Jest to centralna część modelu powstawania gwiazd.

Podsumowanie procesu:

Obłok molekularny: Słońce uformowało się w gęstym obszarze obłoku molekularnego składającego się głównie z wodoru, helu i niektórych cięższych pierwiastków.

Grawitacyjne zapadanie się i rotacja: Pod wpływem grawitacji część tego obłoku zaczęła się zapadać. Ze względu na zachowanie momentu pędu, ta zapadająca się część obłoku obracała się coraz szybciej w miarę kurczenia się.

Dysk akrecyjny: Rotacja ta doprowadziła do powstania płaskiego, obracającego się dysku akrecyjnego wokół formującej się centralnej protogwiazdy. **Większość [cały materiał]** z tego dysku ostatecznie spadła na protogwiazdę, powodując wzrost jej masy i ostatecznie przekształcenie się w stabilną gwiazdę, nasze Słońce.

Formowanie się planet: **Pozostały materiał [nie było nic więcej]** w dysku akrecyjnym, który nie spadł na Słońce, **skondensował się [nowa interakcja?]** i **zderzył się ze sobą [nowa siła, która zawirowała wszystko wokół?]**, tworząc **[w idealnym przypadku, po prostu nie!]** planety, księżyce, asteroidy i inne ciała

w naszym Układzie Słonecznym.

Wniosek:

Powstanie Słońca jest nierozzerwalnie związane z istnieniem obracającego się dysku akrecyjnego, który powstał w wyniku kolapsu grawitacyjnego i zachowania momentu pędu [skutek uboczny, nie przyczyna]. Ten dysk akrecyjny był kluczowy nie tylko dla uformowania się samego Słońca, ale także dla powstania całego Układu Słonecznego [nie prawda; w idealnej sytuacji Słońce stałoby samotne].

(P.J.) Chwileczkę! To brzmi jak oszustwo. Dysk akrecyjny zaczął się kurczyć. Cały dysk! Dlaczego niektóre jego części miałyby zachowywać się inaczej? Czy miały do nich zastosowanie „specjalne prawa”?

ChatGPT:

Może to zabrzmieć paradoksalnie, ale różne procesy zachodzące w dysku akrecyjnym opierają się na tych samych prawach fizyki, zwłaszcza grawitacji i pędu. Nie ma „specjalnych praw” dla części dysku, ale sposób, w jaki zachowuje się materiał w dysku, zależy od różnych czynników. Wyjaśnię to bardziej szczegółowo:

1. grawitacja i moment pędu:

Zasada centralna: Cały materiał w dysku akrecyjnym jest przyciągany przez grawitację centralnej protogwiazdy (lub zapadającego się jądra). W tym samym czasie [jako dalsza konsekwencja], materiał ma moment pędu, ponieważ pierwotny obłok molekularny obrócił się.

Zachowanie momentu pędu: Gdy materia spada do środka, zachowanie momentu pędu powoduje, że obraca się ona szybciej, im bliżej centrum się znajduje. Ta rotacja wytwarza siłę odśrodkową, która przeciwdziała grawitacji [nie! Nie ma żadnej dodatkowej siły] i zapobiega natychmiastowemu spadaniu całej materii do protogwiazdy.

2. Ruch różnicowy i struktura dysku:

Dysk wewnętrzny i zewnętrzny: dysk akrecyjny ma różną strukturę w zależności od tego, jak daleko materiał znajduje się od centrum. Materiał w wewnętrznym obszarze dysku obraca się szybciej niż ten w obszarze zewnętrznym.

Zmiana gęstości: Im bliżej centrum znajduje się materia, tym staje się gęstsza i gorętsza. To zagęszczenie powoduje, że protogwiazda w centrum

nadal rośnie.

3. Formowanie się planet w dysku:

Cząsteczki pyłu i kolizje: W zewnętrznym dysku, gdzie materiał jest chłodniejszy, cząsteczki pyłu mogą sklejać się ze sobą i tworzyć większe ciała. Ciała te rosną w wyniku dalszych zderzeń i akrecji materiału.

Różne losy materiału: Podczas gdy część materiału wpada do protogwiazdy i powoduje jej wzrost, **inna część dysku zbija się w chłodniejsze regiony [jaka siła miałyby to powodować?] i tworzy planety i inne ciała niebieskie [błędne myślenie i błędne wnioskowanie]**. Wszystkie te procesy zachodzą jednocześnie, ale w różnych obszarach dysku.

4. nie ma „specjalnego prawa”, ale lokalne warunki:

Wyjaśnienie różnic: różnice w ewolucji materiału w dysku akrecyjnym wynikają z **warunków lokalnych [zawsze powodowanych tylko przez grawitację i nic więcej]** (takich jak temperatura, gęstość i moment pędu), a nie ze „specjalnych praw”. Materiał znajdujący się bliżej protogwiazdy jest przyciągany w jej kierunku przez silną grawitację i wysokie ciśnienie. Z drugiej strony, **dalej w dysku znajdują się bardziej stabilne regiony, w których mogą tworzyć się planety [złudne nadzieje]**.

Wnioski:

Wszystkie części dysku akrecyjnego podlegają tym samym prawom fizyki, ale lokalne środowisko wewnątrz dysku **prowadzi do różnych procesów [BŁĄD!]** Centralna część dysku przyczynia się do powstania masy protogwiazdy, podczas gdy planety i inne ciała niebieskie powstają dalej. Ta różnorodność jest naturalnym wynikiem złożonych interakcji między grawitacją, momentem pędu i warunkami termodynamicznymi wewnątrz dysku.

(P.J.) Przepraszam, ale to jest próba stworzenia perpetuum mobile! Grawitacja działa jednocześnie na wszystkie cząstki w dysku akrecyjnym. Kropka. Wszystkie te cząstki reagują identycznie: decydująca jest tylko ich masa i odległość od osi obrotu, a dokładniej od środka masy obłoku. Zakładanie teraz, że jakaś nowa siła zyskuje na znaczeniu jest nonsensem, nieprawdą?

ChatGPT:

Masz rację, że grawitacja działa na wszystkie cząstki w dysku akrecyjnym i że podstawowe prawa, takie jak grawitacja i zachowanie momentu pędu, obowiązują wszędzie. Ważne jest, aby wyjaśnić, że nie ma żadnych nowych

sił, które nagle „zyskują na znaczeniu”. To raczej różnice w warunkach fizycznych wewnątrz dysku prowadzą do różnych wyników, a te można w pełni wyjaśnić znanymi prawami fizyki.

Żadna „nowa siła”, ale lokalne różnice

Grawitacja i moment pędu:

Jednoczesne działanie: grawitacja faktycznie działa na wszystkie cząstki jednocześnie. Każda cząstka w dysku akrecyjnym odczuwa siłę grawitacyjną protogwiazdy znajdującej się w centrum, a każda **cząstka porusza się po orbicie wokół tego centrum [po spirali do centrum]**.

Pęd kątowy: Pęd kątowy każdej cząstki oznacza, że nie wpada ona bezpośrednio do centrum, ale **opisuje orbitę [spirale, która kończy się w centrum]**. Im bliżej środka znajduje się cząstka, tym szybciej się porusza ze względu na zachowanie momentu pędu.

Nie jest to perpetuum mobile:

Transfer energii: Ważne jest, aby zrozumieć, że nie istnieje mechanizm, który tworzy „darmową energię” lub perpetuum mobile. Energia i moment pędu mogą być przenoszone między cząstkami poprzez tarcie i zderzenia, ale żadna energia nie jest tracona lub tworzona z niczego. Ogólna dynamika dysku akrecyjnego pozostaje zgodna z prawami zachowania energii i momentu pędu.

Różnice w reakcjach cząstek:

Różnice radialne: chociaż siła grawitacji działa na wszystkie cząstki, prędkość cząstek zmienia się wraz z ich odległością od centrum. Cząstki w pobliżu środka poruszają się szybciej niż te dalej. Prowadzi to **do różnej dynamiki [dynamika jest taka sama, różnią się tylko wartości parametrów, takich jak prędkość]** w obrębie dysku.

Efekty termodynamiczne [alternatywny opis, ale bez dodatkowych efektów]:

W różnych regionach dysku panują różne temperatury i ciśnienia. W regionach wewnętrznych jest goręcej i gęściej, co oznacza, że materiał łatwiej ulega jonizacji i występują efekty tarcia, które mogą rozpraszać energię i przybliżać cząstki do protogwiazdy. W regionach zewnętrznych materia może być chłodniejsza i bardziej stabilna, co prowadzi do powstawania skupisk materii, które mogą ostatecznie tworzyć planety.

Procesy lokalne:

Tarcie i lepkość: **Efekty tarcia występują [nie bez dodatkowych sił, ale wykluczaliśmy je w idealnym przypadku]** w dysku akrecyjnym, przenosząc

energię i moment pędu między cząstkami. Tarcie to powoduje, że materia wewnętrzna zbliża się do protogwiazdy, podczas gdy materia zewnętrzna pozostaje dalej. Procesy te są dobrze znane i dobrze zbadane w astrofizyce.

Podsumowanie:

Brak nowej siły: Nie istnieje żadna nowa siła, która nagle wchodzi w grę. Wszystkie ruchy i procesy zachodzące w dysku akrecyjnym można w pełni wyjaśnić siłą grawitacji, momentem pędu i efektami termodynamicznymi.

Złożone interakcje: Różnice w zachowaniu materiału w dysku akrecyjnym są wynikiem złożonych interakcji tych podstawowych sił w różnych warunkach. Prowadzą one do powstawania gwiazd w centrum i planet dalej.

Ogólnie rzecz biorąc, wszystkie cząstki zachowują się zgodnie z tymi samymi prawami fizyki, ale **specyficzne warunki**, w których się znajdują, takie jak odległość od centrum, temperatura i lokalna gęstość, **określają [błędne rozpoznanie sytuacji, a zatem błędny wniosek]**, w jaki sposób te cząstki ostatecznie znajdują swoje miejsce w ewoluującym Układzie Słonecznym.

(P.J.) Bzdura. Nie ma żadnych złożonych interakcji. Tylko grawitacja. Pionowa składowa ruchu wszystkich cząstek to swobodne spadanie. Nic więcej. Wszystko inne co dodajesz (tarcie, gęstość, temperatura itp) to iluzje. Ale, uwaga, oczywiście tylko tak długo, jak długo nie dopuścimy żadnej zewnętrznej energii (zakłócenia) naszego pierwotnego dysku akrecyjnego. Czy to prawda?

ChatGPT:

Podnosisz ważną kwestię, która podkreśla fundamentalną rolę grawitacji w dysku akrecyjnym. W rzeczywistości grawitacja jest dominującą siłą, która napędza zapadanie się i formowanie gwiazd takich jak nasze Słońce z obracającego się obłoku gazu. Przyjrzyjmy się bliżej sytuacji przy takim założeniu.

1 Grawitacja jako siła dominująca

Swobodny spadek: Jeśli weźmiemy pod uwagę grawitację w oderwaniu od innych czynników, to prawdą jest, że wszystkie cząstki spadałyby w kierunku środka ciężkości, co zasadniczo odpowiada swobodnemu spadkowi. W idealnej sytuacji, bez zewnętrznych zakłóceń, wszystkie cząstki byłyby przyciągane do środka i ostatecznie zjednoczone w środku ciężkości.

2 Układy wirujące i moment pędu

Pęd kątowy: Rotacja chmury prowadzi do zachowania pędu kątowego. Ten

moment pędu zapewnia, że cząstki nie spadają bezpośrednio do centrum, ale zamiast tego obracają się w dysku wokół centrum. Ten ruch obrotowy zapobiega zatem całkowitemu swobodnemu spadaniu, ponieważ siła odśrodkowa (wytwarzana przez obrót) **przeciwdziała** grawitacji.

3. brak perpetuum mobile, ale **stabilność dzięki momentowi pędu**

Brak dodatkowych sił: W tym uproszczonym modelu nie występują żadne dodatkowe siły ani źródła energii. Moment pędu sprawia jednak, że nie wszystkie cząstki docierają bezpośrednio do środka, ale powstaje obracający się dysk. Cząstki poruszają się **po stabilnych orbitach wokół centrum [po spiralach, które kończą się w centrum]** i tylko powoli tracą energię w tym procesie, co prowadzi do powstania protogwiazdy i dysku akrecyjnego.

4. wpływy wewnątrz dysku

Wyidealizowane założenie: W wyidealizowanym założeniu bez wpływów zewnętrznych i bez uwzględnienia tarcia, pól magnetycznych lub innych procesów termodynamicznych, cząstki zachowałyby swoją energię i moment pędu, a wokół protogwiazdy utworzyłby się tylko obracający się dysk. W takim modelu wszystkie cząstki miałyby równe prawa i **obracałyby się wokół centrum** zgodnie ze swoimi orbitami.

Prawdziwe dyski akrecyjne: W rzeczywistości jednak, co należy zauważyć, zawsze występują pewne efekty, takie jak tarcie, które powodują, że części dysku akrecyjnego stopniowo tracą swój moment pędu i wpadają do środka, podczas gdy inne części pozostają stabilne i **gromadzą się dalej [nigdy w tym idealnym przypadku]**. Jednak, jak słusznie zauważyłeś, efekty te są istotne tylko wtedy, gdy odejmiemy od wyidealizowanego założenia.

5. Wniosek

Wyizolowana grawitacja: Jeśli weźmiemy pod uwagę tylko grawitację i moment pędu, to cała materia byłaby rzeczywiście związana z obracającym się dyskiem, bez udziału innych sił, które mogłyby prowadzić do złożonej interakcji.

Rzeczywiste procesy: Jednak gdy tylko weźmiemy pod uwagę zewnętrzne zakłócenia lub efekty, takie jak tarcie, pola magnetyczne lub gęstość chmury, pojawiają się złożone interakcje, które powodują, że materiał w dysku zachowuje się inaczej.

Podsumowując: W wyidealizowanym modelu, w którym rolę odgrywają jedynie grawitacja i pęd kątowy, wszystkie cząstki podążałyby za stabilnym, obracającym się układem bez żadnych strat energii lub innych procesów. Układ ten utworzyłby obracający się dysk bez udziału jakichkolwiek dodatkowych sił. **Jednak rzeczywiste obserwacje dysków akrecyjnych**

[należy teraz ponownie zinterpretować: w idealnym przypadku niezakłóconej akrecji powstaje pojedyncza gwiazda bez planet; ale nie może to być wyjaśnienie formowania się naszego Układu Słonecznego, ponieważ mamy planety], które obejmują dodatkowe efekty, takie jak tarcie lub zewnętrzne zakłócenia, prowadzą do bardziej złożonych procesów, które obserwujemy w rzeczywistych regionach gwiazdotwórczych.

(P.J.) Jak upartym trzeba być, by próbować przemycać takie „rzeczywiste procesy”: tarcie, pola magnetyczne, gęstość obłoku itp. Mówimy o przypadku idealnym. Cząstki nie stają się księżycami środka masy. Spadają swobodnie w kierunku centrum, aż wylądują na nim i utworzą gwiazdę, prawda?

ChatGPT:

Jeśli skupimy się wyłącznie na przypadku idealnym, w którym znaczenie mają tylko grawitacja i pęd kątowy, a w grę nie wchodzi żadne inne „rzeczywiste procesy”, takie jak tarcie, pola magnetyczne czy różnice gęstości, to możemy sobie wyobrazić następujący scenariusz:

1. przypadek idealny: grawitacja i moment pędu

Grawitacja jako dominująca siła: Wszystkie cząstki w chmurze doświadczają siły grawitacji, która przyciąga je w kierunku środka masy. Bez zakłóceń zewnętrznych i tarcia wewnętrznego, cząstki te spadają swobodnie.

Pęd kątowy: Ponieważ chmura pierwotnie się obraca, cząstki mają również pęd kątowy. Ten moment pędu zapobiega spadaniu cząstek bezpośrednio do centrum. Zamiast tego **każda cząstka opisuje orbitę wokół środka rozkładu masy [nie; jej orbita to spirala, która kończy się w środku masy].**

2. swobodny spadek i orbity

Brak utraty energii: Ponieważ nie dopuszczamy żadnego tarcia ani innych sił, cząstki nie tracą żadnej energii. **Zachowują [nie! Swobodny spadek nadal na nie działa]** swój moment pędu i energię kinetyczną.

Orbity wokół środka: Cząstki, **które znajdują się wystarczająco daleko od środka [żadna nie jest wystarczająco daleko, aby uciec przed grawitacją; swobodnie spadające cząstki nigdy nie stają się satelitami środka masy]** będą obracać się po stabilnej orbicie wokół środka chmury. Orbity te są stabilne tak długo, jak długo z układu nie jest usuwana energia.

3. formowanie gwiazdy w centrum

Centralna kondensacja: W centrum obłoku, gdzie materia jest najgęstsza, cząsteczki kurczą się pod wpływem grawitacji i tworzy się gęsta masa. Ta centralna kondensacja trwa do momentu uformowania się gwiazdy.

Cząsteczki na spiralnych orbitach: W tym idealnym przypadku istniałaby jednak tendencja niektórych cząstek znajdujących się bliżej centrum do dryfowania do wewnątrz po spiralnych orbitach, zwłaszcza jeśli założymy, że ich orbity nie są idealnie stabilne. To ostatecznie spowoduje, że wpadną one do centrum i zwiększą masę protogwiazdy.

4. Wynik końcowy w idealnym przypadku

Formowanie się gwiazdy: Ostatecznie w centrum obłoku rotacyjnego dojdzie do masywnej akrecji materii, która grawitacyjnie zapadnie się w gwiazdę. Cząstki, które pierwotnie znajdowały się dalej, mogłyby pozostać na stabilnych orbitach lub, w zależności od orbity i momentu pędu, mogłyby również przenieść się do centrum i przyczynić się do masy powstałej gwiazdy.

Brak „satelitów”: W tym idealnym przypadku nie ma satelitów ani planet, które tworzyłyby się niezależnie od gwiazdy, ponieważ wszystkie cząstki albo spadają bezpośrednio do centrum, albo pozostają na stabilnych orbitach.

Wnioski

W ściśle idealnym przypadku, bez zewnętrznych zakłóceń i dodatkowych efektów fizycznych (takich jak tarcie lub pola magnetyczne), wszystkie cząstki znajdują się albo na stabilnych orbitach wokół centrum, albo powoli spiralnie kierują się do wewnątrz ze względu na zachowanie momentu pędu i ostatecznie trafiają do centrum chmury. Tam przyczyniają się do powstania gwiazdy. W takim modelu nie ma „iluzji” spowodowanych tarciami lub innymi siłami - jedyną siłą napędową jest grawitacja, a pęd kątowy determinuje ruch cząstek.

Wynikową strukturą jest obracająca się chmura, która tworzy protogwiazdę w centrum. Cząstki, które nie wpadają natychmiast do centrum, teoretycznie mogłyby pozostać na stabilnych orbitach na zawsze, jeśli nie wystąpiłyby straty energii, ale oznaczałoby to również, że nie przyczyniają się bezpośrednio do powstawania gwiazd, dopóki znajdują się na tych orbitach.