

旋和系生成之熵化動力模型探討

劉劍輝(緒潔)

天帝教天人親和院研究員

台灣省南投縣魚池鄉中明村文正巷 41 號

E-mail: compas@me.ee.ntu.edu.tw; compass.liou@msa.hinet.net

摘要

自十八世紀史威登堡(Swedenborg)、康德(Kant)和拉普拉斯(Laplace)提出星雲假說以來，科學界發展恆星形成之理論已有二百多年的時間，通過實際之天文觀察及理論推演，截至目前為止、已經累積了非常豐富的天體知識並建立了相當程度的恆星形成觀念，目前認為恆星是在密度較高的星際物質(Interstellar Medium)中因彼此間引力作用及獲得角動量旋轉而逐漸形成。然而、對於星際物質或星際雲氣獲得角動量而旋轉之最初原因，則無完整合理之說法。天帝教教義新境界第二部「物質之自然觀」中，提及宇宙生成之理論，其中對於有關恆星形成之過程有相當之論述，值得在建立完整之恆星形成模式時參酌借鑑。本文先簡要地介紹科學界有關恆星形成之學說，再介紹天帝教教義之旋和系(恆星)形成理論，並初步整理有關恆星形成之數學模式，期望能逐步建立完整之「恆星生成熵化動力模型」。本文相關內容之探究，將有助於「熵理學」之研究及開展，對於宗教、哲學與科學之會通亦應有所裨益；另外、在宗教教化及修持之層面上，探討宇宙形成之機制及內涵，對於生命個體本身而言：使之能知其所在、亦能對其生存時空知其所由，在個人建立安身立命之意義上或亦將有所幫助。

關鍵字：星際物質、混沌、熵、角動量、引力坍縮、旋和系、旋風邊界效應、稜形凝體、圓盤模型

旋和系生成之熵化動力模型探討

劉劍輝(緒潔)

一、前言：科學界有關恆星形成之學說

在天文物理學界有關恆星形成之相關學說最先提出的是星雲假說，它大約是在 18 世紀時由史威登堡(Emanuel Swedenborg, 1688-1772)、康德(Immanuel Kant, 1724-1804)、和拉普拉斯(Pierre-Simon marquis de Laplace, 1749-1827)所分別提出¹⁻⁴，星雲假說認為太陽系是由星雲般的氣體雲氣所形成，此一說法經過二百多年的演進發展，大致形成了目前所接受的太陽星雲圓盤模型(Solar Nebular Disk Model)，該模型提到太陽是在密度較高的星際物質(Interstellar Medium: ISM)——亦即厚重稠密的分子雲(giant molecular clouds)中形成⁵，並且可能透過行星狀星雲、恆星風、和超新星獲得能量及物質的補充；星際物質是非恆星形狀的塵埃和氣體，包含了極度稀薄的電漿、氣體、及塵埃等物質，充滿在星際空間中，是原子、分子、離子、塵埃、磁場、電磁輻射、和宇宙射線等之混合體⁶⁻⁸。在恆星形成的初期、星際物質靠著彼此間的重力交互作用，逐漸聚集靠攏，因為某種原因，星雲獲得角動量開始旋轉，由於角動量守恆，在坍縮時轉動加快，隨著星雲收縮聚集，星際物質粒子相互碰撞機率增高，同時由於重力不穩定的特性，微小的星際物質結合成小而緻密的團塊，然後經由重力持續作用，團塊質量及密度增加並持續坍縮，坍縮的能量不斷轉化成星雲的內能，此一動能轉化成熱能之效應，使得中心質量密集的部分比起周邊環繞的盤面越來越熱⁹，在星雲內部產生向外的輻射壓，並與向內的引力平衡，使之逐漸減緩並將終止引力坍縮之效應；大約經過 100,000 年的時間¹⁰，在引力、壓力、磁力和轉動慣量的相互競爭下，收縮的星雲變成扁平狀，形成一個直徑大約 200AU 的原行星盤(protoplanetary disk)⁹，其中心部分即是熱而緻密的原恆星(protostar，內部氫聚變尚未開始的恆星)¹¹，原恆星附近之氣體原行星盤在特定條件下可能誕生行星，其形成機制目前尚不十分明瞭，像太陽一樣的恆星形成通常需要大約一億年的時間¹²。

恆星由星際物質凝聚而形成，並且持續不斷地進行著，此一觀點有相當之證據：其一、經由觀察銀河系中存在大質量、高光度之主序星，並以恆星演化理論可以預測，恆星之質量越大，其停留在主序星之時間越短，合理估計主序星之壽命，以大約 1~10 倍太陽質量之恆星進行推算，其壽命約為 3×10^6 年，此一年齡遠小於銀河系之年齡(5×10^9 年)，因此該等恆星不會在銀河系形成之前生成；其二、

由星協之存在可作為前述觀點之直接證據，所謂星協是由光譜型大致相同、物理性質相近之恆星組成，彼此間組成一個具有物理聯繫的系統，在銀河系內、星協總是位於銀河系之旋臂上，星協的成員相互分離之距離約在 30~200 秒差距，其成員都參與銀盤之交叉旋轉，若兩顆星彼此之初始距離為 100 秒差距，經由旋轉速度之計算，經過 10^6 年後，約分離 1 秒差距，若是經過 10^{10} 年(銀河系現在之年齡)，則相距至少為 10000 秒差距，這個數值超過星協直徑的 50 倍，如果星協是由老的銀盤星所形成，到目前為止，其已不能被認為是星協之成員，因此，星協必然是由較年輕的星體所構成；其三、經由實際觀察之證據，在星際氣體和塵埃之星雲中發現年輕且炙熱的恆星，他們可能是由星際介質所凝聚而成，這一個觀察屬於間接證據¹³。

截至目前為止、天文物理學家普遍認為恆星是由星際物質凝聚而形成，此一觀點已獲得共識，然而、恆星及行星形成的整體過程，迄今尚未完全被瞭解，尤其是星際物質獲得角動量旋轉並進行引力坍縮之最初原因，尚未有科學家提出完整之說法，因此、恆星形成的理論也仍待科學家持續的努力，以便在學術上建立完整的恆星生成學說。

二、教義之旋和系(恆星)形成理論

天帝教教義新境界一書中提到有關恆星形成的觀念¹⁴，特別是針對星際物質由混沌狀態獲得角動量並旋轉之原因提出了說明，書中將恆星系統稱為旋和系，而維持恆星系統旋轉運行之力量稱為旋和力，茲將該書中有關整個旋和系生成之過程，分成九個階段整理分析如下：

1. 混沌初象：混沌狀態是當一個旋和系消失其旋和力時，其附近範圍內之空間所形成充滿洪大液體的場所，原來旋和系所處之空間即被漫無規律之充盪液體所瀰漫，即所謂之混沌。（按：此混沌狀態亦即星際雲氣之狀態，以水氣為主）
2. 蒸氣之產生：在洪大的混沌狀態中，由於液體相互激盪，因磨擦生熱而產生濃厚之蒸氣。（按：由水化氣）
3. 電之演變：該蒸氣離液體而上升，當到達適度之空間時，產生無數之電質（同時發光）。（按：由氣化電之程序，此等電氣應為一種等離子體、電漿體）
4. 炁之演變：此種電質較蒸氣為輕，遂又繼續上昇，最後化為一種炁體（電氣體），即所謂先天之炁。（按：由電化為先天炁之程序）
5. 稜形炁體之凝成：炁體一直上升至極大之高度時，可能與其他旋和系之邊界相接觸，由於受到該旋和系邊界旋風力之影響，乃逐漸化為一種稜形之凝體（仍

- 為電炁體)而盤旋自轉下降,同時發出大量之光與熱,如人間慣見之流星。(按:由先天炁化為稜形凝體,同時有角動量之產生,此程序應可稱為旋風邊界效應)
6. 旋和力之發生:此稜形之光熱凝體降至前述所論由電化炁之高度時,因與由下而上繼續上升之電質相遇,因而交相推磨大旋不已,旋和力遂告形成。(按:角動量之增加與維持)
 7. 旋和律之運行:旋和力初步形成後,因受繼續上升之炁體不斷推動,遂成高速旋轉之光熱炁體,並由於炁體不斷抱合沖擋之影響,由大而小,由無律的公轉成為有律的公轉,最後成為一種橢圓形之圈狀運行不已,旋和律於焉告成。(按:穩定之旋和律形成,此一狀態應可以圓盤模型模擬之)
 8. 原始星雲之動態:各旋和系中最初形成之旋和力,即為最後每個旋和系中之重心,亦即如太陽系中之太陽。此時在太陽系之中心及周圍,為一團極洪大而猛速之旋風電炁,狀如水中之漩渦,所有漩渦附近較小之物體皆有被其捲入漩渦之中而隨之猛旋之趨勢,是故其他「一切大空中由下而上,復由上垂下之較小稜形炁體」,當其接近此旋和力附近時,即被其旋力捲入而隨之旋轉不已,是即太陽系形成後之行星及衛星,此種行星一經旋力轉入,即不能逃出,而在炁體之軌道上經常運行。(按:各個擁有旋和力之稜形凝體進行角動量優勢競爭,角動量最大者為日後之恆星,較小者成為其行星,或行星之衛星,逐漸形成原始之旋和系)
 9. 新恆星系統形成:於是此一部份之天體遂由混沌演變成一個新的旋和系統,在新的旋和系形成後仍須繼續仰給於其上下前後左右各方水電力動能之供給,始克維持其旋和系之運行,上下之供應使其固定,前後左右使其運行,如旋和系中一旦水分竭蹶,此部份之天體即復歸於混沌,而山河大地無不毀滅化為飛散之電氣體,瀰漫於空間。(按:穩定之新旋和系統形成,炁體持續供應)

上述旋和系之形成程序示意如圖 1 所示。此處所論述之旋和系(恆星系統)形成過程與一般天文物理學所論有數點不同之處,茲將其論述引申於下:其一、在混沌狀態中、最初大致以液體型態存在之星際雲氣因能量之獲得,首先產生氣化脫離之現象。其二、該脫離之星際雲氣逐漸向上遠去(朝向其所處之上一級旋和系中心--即銀河系中心方向運動),並逐步產生質與能的變化且相互聚集。其三、在其往上運行(向心運動)之過程中可能與此股雲氣系統之外之恆星系統邊緣接觸,此一系外恆星系統與該等星際雲氣產生交互作用,使之迴旋並賦予各股星際雲氣角動量及回返原星際空間之投射初速,而且各股迴旋之雲氣因原先交互作用位置之不同,於回返時可能有不同的投射角度,並於迴旋下降時發出光與熱。其四、星際雲氣因角動量之獲得,產生旋轉之狀態,經過逐步收縮、甚至坍縮之過程形成恆星或是行星之中心結構,並可能形成各自之初步盤面,最後以角動量優勢競爭之結果,以擁有最大角動量之星盤成為最後之中心,亦即最後之恆星中心。其五、角動量較小之星盤被擄獲而形成行星及衛星,穩定之恆星系統在恆星、行

星及衛星定位之後慢慢形成。比對天文物理學之研究成果，此處前三項所涉及之內容在目前恆星形成之星雲理論中並未有科學家提及，而這些內容則對恆星形成之最初動力學原因提出了看法，具有特殊之意義與效應，整個旋和系理論對於解釋本太陽系中類木行星等氣態行星之形成、以及各行星小盤(含衛星)之擄獲、各行星及衛星自轉軸角度、行星公轉面(及衛星對行星之公轉面)、甚至對彗星之結構與運動，以及其他各方面…，提供了可能甚至更佳之解釋原則與方向。

針對上述旋和系生成之九個階段中、有關先天炁之產生與旋風邊界效應、稜形凝體(電炁體)之特性及其角動量之獲得與守衡特性、稜形凝體與其周圍雲氣之交戶作用、以及角動量優勢競爭等程序和狀態，具有相當之重要性，與整個旋和系生成之動力行為直接相關，將是建立旋和系生成炁化動力模型之關鍵，茲再加以探討於下節。

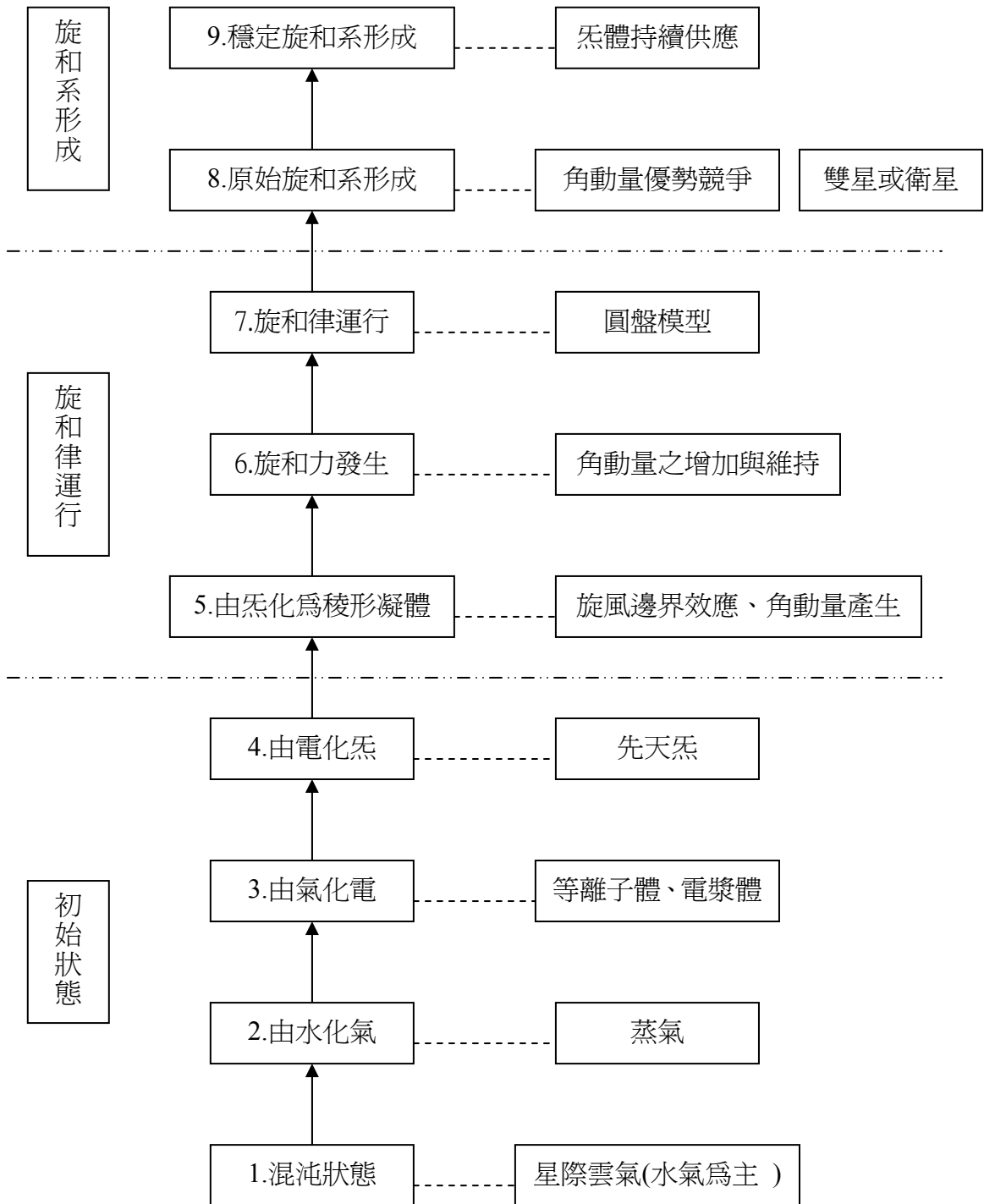


圖 1. 旋和系形成程序圖

三、旋和系形成之炁化動力模式

茲針對上述旋和系形成程序中、數項重要之程序及觀點進行探討，並對部分程序匯整相關之數學模式，整理提出如下：

(一)先天炁與旋風邊界效應

上述旋和系形成程序九個階段中第四及第五階段為極特殊且重要之關鍵程序，星際雲氣由離子或是電漿之帶電狀態，逐漸化為一種先天炁（應該是一種次原子甚至更次於次原子之狀態），此一狀態在科學界中並沒有定義，相較於混沌水氣之狀態、電漿及先天炁之溫度應該較高、而密度應該較小，在這樣之相對狀態下、以及由於旋轉銀河系中心之引力效應所影響，該等電炁將可能朝向銀河中心移動(上升)，教義中提到這些一股一股的先天炁，當上升至某一位置而即將與另一個旋和系交會之邊界時，產生一種特殊之邊界效應，該等先天炁可能由於本身高溫及另一旋和系旋風邊界低溫之溫度差異，而逐漸凝聚形成周邊多角之稜形凝體（仍為電炁體），同時由於旋風邊界所帶動之反向迴旋效應，而形成迴向旋轉之結果，並朝向原來由電化炁之位置旋落，這是先天炁化為稜形凝體並獲得角動量之關鍵程序，日後之各個星體正是因為此一旋風邊界之交互作用而獲得角動量，有關此一邊界效應，應該是日後科學研究及天文觀察之重點。

(二)角動量守衡及稜形凝體(電炁體)之特性

當先天炁所化成之稜形凝體被旋落時，該炁體即獲得初步之角動量(L)，其後由於引力效應，該盤旋自轉之稜形凝體尺度(r_i)將逐漸減小，且溫度及密度亦將逐漸增加，由於角動量守衡之關係，迴轉速度(ω)也將增加，每一股稜形凝體系統之尺度將由最初匯入之先天炁及星際氣體質量、旋轉狀態、引力效應、電場、磁場、溫度、密度、以及向外輻射壓之平衡關係，達到一個特定之數值，並成為日後該星體之特定大小。

目前欲直接探討稜形凝體這一個電炁體本身之特性尚無直接的科學基礎，暫時先以由氯化電之帶電粒子狀態（應該是一種等離子體或電漿體）來探討其性質，電漿體是由電子、離子等帶電粒子及中性粒子組成的混合氣體，宏觀上表現出准中性之行爲及性質，即正負離子的數目基本相等，整體上呈現電中性但在小尺度上具有明顯的電磁性質。像太陽這樣的恆星幾乎都是電漿體，初期的稜形凝體(電炁體)應該包含電漿體及更細微的先天炁成分，其中電漿體成份必須符合磁流體力學之相關特性，亦即須滿足流體力學方程和電磁場方程，若忽略導電流體之粘滯性及其他非電磁力場，暫以電漿體表述之稜形凝體(電炁體)至少應滿足下列角動量

守衡、流體力學和電磁場方程關係^{15,16}：

$$L_1=L_2, \quad L = \sum l_i = \sum (r_i \times p_i) = \sum m_i r_i \times v_i \quad (\text{角動量守衡})$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho v) = 0 \quad (\text{連續性方程})$$

$$\rho \frac{\partial v}{\partial t} = -\nabla P + \frac{1}{c} (j \times B) \quad (\text{運動方程})$$

$$\frac{d}{dt} (P \rho^{-\gamma}) = \frac{3}{2} \frac{\rho^{-\gamma}}{\sigma} j^2 \quad (\text{壓力與電流密度})$$

$$j = \sigma \left(E + \frac{v \times B}{c} \right) \quad (\text{電流密度與電磁場})$$

$$\nabla \times E = -\frac{1}{c} \frac{\partial B}{\partial t} \quad (\text{電磁感應定律})$$

$$\nabla \times B = \frac{4\pi}{c} j \quad (\text{安培定律})$$

上述方程包括 L (角動量)、 ρ (密度)、 P (壓力)、 v (速度)、 j (電流密度)、 E (電場)、 B (磁通量密度)等主要物理參數，並包括 γ (絕熱指數 C_p/C_v)、 σ (電導率)、 c (光速)、 t (時間)、等物理量所組成之方程組，深入推演求解上述方程及其他可能之關係，並持續探索氦體與稜形凝體之特性，對於建立稜形凝體主體及其運動行為之數學模式將有所幫助。

(三)圓盤模型

在天文物理學中將天體經由引力作用擄獲周圍物質之過程稱為吸積 (accretion)，前述稜形凝體獲得角動量產生旋和力降落至由電化氦之位置，並以稜形凝體為中心逐漸形成穩定之盤旋狀態，在其周圍之雲氣亦可能被捲入，整體吸積形成圓盤狀態，經由前述提及之質量、旋轉狀態、引力效應、電場、磁場、溫度、密度、以及輻射壓力之關係，形成局部平衡之穩定盤面，於是旋和律形成。為方便探討起見，此處將圓盤模型建立為薄狀盤面(如圖 2 所示)，該盤面之結構應符合質量、角動量及能量守衡關係，參考緻密天體之吸積盤理論¹⁷，初步將環繞稜形凝體之吸積盤薄片模型探討於下：

1. 圓盤氣(氦)體旋轉之粘滯作用

當氣(氦)體圍繞中心稜形凝體作近乎圓週之運動(克卜勒運動¹⁸)時，由於粘滯轉矩遷移角動量，圓盤中每一氣(氦)體單元都將獲得一個小且向內之徑向運動，當氣(氦)體之角動量由圓盤外部區域遷移到內部區域時，氣(氦)體則以螺旋方式移向中心凝體，同時粘滯引起剪切運動而摩擦生熱。假設中心凝體之質量為 M ，氣(氦)

體則以恒定之質量流率 \dot{M} 向圓盤中心移動，又假設吸積盤之中心平面位於中心凝體之赤道面，並定義為 $z=0$ ，在圓週運動中，每一氣(炁)體質量單元都具有角動量如下：

$$\tilde{l}(r) = (GMr)^{1/2}$$

由於靠近中心凝體之半徑 r 較小，氣(炁)體之角動量 $\tilde{l}(r)$ 遠小於圓盤邊界 $r_D (= r + \Delta r)$ 處之角動量 $\tilde{l}(r_D)$ ，在穩定狀態下、氣(炁)體從圓盤邊界 r_D 移出角動量之速率為：

$$\dot{J} = \dot{M} \tilde{l}(r_D) = \dot{M} (GM r_D)^{1/2}$$

定義圓盤之厚度為 $2h$ ，圓盤在 r 處之面密度為 σ ，可得：

$$\sigma = \int_{-h}^h \rho dz \approx 2h\rho$$

其中 z 為垂直於圓盤面之垂直高度， ρ 為對應於 $z=0$ 處之密度值。另外、假設 v_r 為氣(炁)體在半徑 r 處向內之徑向速度 ($v_r > 0$)， v_ϕ 與 ω 分別為克卜勒圓週運動之軌道切線速度與角速度，其中：

$$v_\phi = r\omega = \left(\frac{GM}{r} \right)^{1/2}$$

由於粘滯作用、通常氣(炁)體在半徑 r 處之徑向速度 v_r 較切線速度 v_ϕ 小得多 ($v_r \ll v_\phi$)。

2. 質量守衡：

由穩定狀態下質量流之連續性方程 $\nabla \cdot (\rho v) = 0$ 積分，可得：

$$\dot{M} = 2\pi r \sum v_r = \text{const}$$

上式表示通過半徑 r 之圓柱體向內之物質質量流率與半徑 r 無關。

3. 角動量守衡：

假設向內流動之氣(炁)體通過盤之半徑 r 時向內傳輸之角動量速率為 J^+ ，由氣(炁)體在半徑 r 處之角動量 $\tilde{l}(r)$ ，可得 J^+ 如下：

$$J^+ = \dot{M} \tilde{l}(r) = \dot{M} (GMr)^{1/2}$$

正常情況下、吸積到中心凝體之角動量不可能超過吸積盤內邊緣(半徑 r_i)之角動量 $\tilde{l}(r_i)$ ，因此、可用 $\tilde{l}(r_i)$ 表示中心凝體所消耗角動量之值，並以之進行後續推算。假設 J^- 是中心凝體所消耗之角動量速率，由氣(炁)體在吸積盤內邊緣之角動量 $\tilde{l}(r_i)$ 可得 J^- 如下：

$$J^- = M\tilde{W}(r_1) = \beta M\tilde{W}(GM r_1)^{1/2}, \text{ (其中 } |\beta| \leq 1 \text{)}$$

由角動量守衡關係、在圓盤半徑 r 及 r_1 間之角動量純變化率($J^+ - J^-$)等於由粘滯應力(單位面積上之力, 即: 沿 v_ϕ 方向之力/面積)所施加之轉矩 τ , 假設 f_ϕ 為半徑 r 處沿 v_ϕ 方向之氣(炁)體流體單元施於其鄰近 $r+dr$ 處流體單元之粘滯應力, 可得:

$$\begin{aligned} \tau &= (\text{粘滯應力}) \times (\text{面積}) \times (\text{半徑}) = J^+ - J^- \\ &= (f_\phi)(2\pi r \cdot 2h)(r) = M\tilde{W} \left[(GM r)^{\frac{1}{2}} - \beta (GM r_1)^{\frac{1}{2}} \right] \end{aligned}$$

上式顯示粘滯應力 f_ϕ 在穩定之圓盤中、可由中心凝體質量 M 和氣(炁)體恒定之質量流率 $M\tilde{W}$ 所確定。

4. 能量守衡與圓盤動態變化:

假設 E_{kc} 表示星際氣(炁)體環繞中心凝體運動之總動能, 將 E_{kc} 以 M_c (星際氣體總質量)、 v_c (星際氣體在距離旋轉中心 r 處之平均速度)及 ω (角速度)之關係簡單表述於下:

$$E_{kc} = \frac{1}{2} M_c v_c^2 = \frac{1}{2} M_c (r_1 \omega_1)^2 = \frac{1}{2} M_c (r_2 \omega_2)^2$$

在能量守衡之前提下、當半徑 r 減小($r_1 \rightarrow r_2$, 且 $r_2 < r_1$), 角速度 ω 將增加($\omega_1 \rightarrow \omega_2$, 且 $\omega_2 > \omega_1$), 另外、若以 E_{kn} 代表中心凝體之總動能, 有關 E_{kc} 與 E_{kn} 以及氣(炁)體與中心凝體之交互運動將有如下關係: 初期當 $E_{kc} > E_{kn}$ 時, 即星際氣(炁)體之動能較大, 此時圓盤產生收縮效應, 氣(炁)體移向中心凝體, 形成中心凝體之一部分, 同時 E_{kc} 將減小, 當 $E_{kc} = E_{kn}$ 時, 即氣(炁)體環繞中心凝體運動之總動能逐漸與中心凝體之總動能達到平衡而相等, 此時圓盤既不收縮也不膨脹, 整個旋轉圓盤達到平衡狀態, 形成穩定之旋和律。

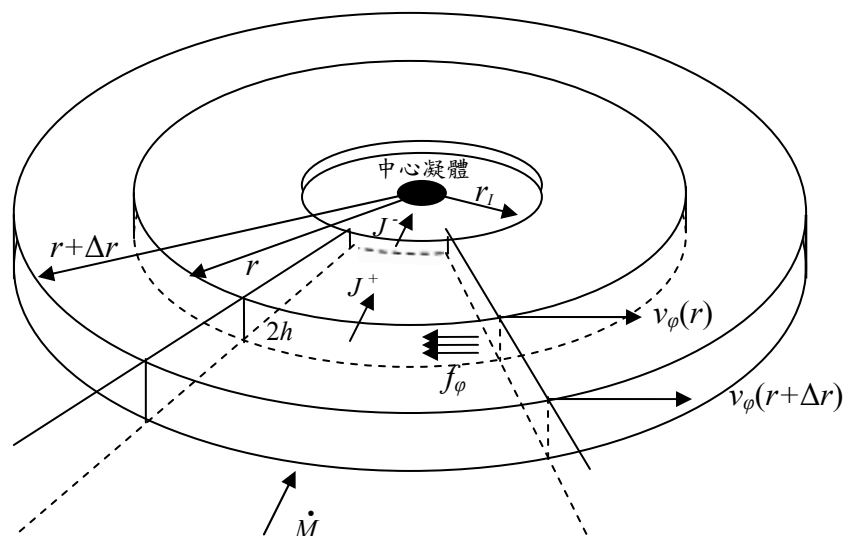


圖 2. 環繞稜形凝體中心之吸積盤薄片模型

(四)角動量優勢競爭

當一個稜形凝體以其為中心形成其初步之炁盤時，它可能與其他凝體競爭地盤，競爭角力之關鍵為角動量之大小關係，最後以角動量優勢競爭之結果，以擁有最大角動量之凝體成為最後之中心，亦即最後之恆星中心，角動量較小之凝體被擄獲而成為其行星，行星凝體擄獲次小之凝體成為其衛星，穩定之恆星系統在恆星、行星及衛星定位之後慢慢形成。若是兩個角動量相近之凝體互相競合，最後可能形成雙星系統。

前面所論述之圓盤形成與角動量優勢競爭之過程，兩種程序可能同時發生，並朝向穩定之恆星(旋和系)系統發展而持續進行。

四、小結：持續建立旋和系(恆星)生成之炁化動力模型

本文簡單將教義之旋和系理論與現代天文學之恆星形成模型結合，對於現代天文學有關太陽星雲圓盤模型部分不足之觀念有所補充，亦即對圓盤形成前如何獲得角動量之程序予以探究說明，同時對於教義之旋和系理論、亦初步進行數學模式之彙整探討。

經由本文之論述，可以初步看到較為概括完整之恆星形成模型，有關整體模型之細節部份，仍需持續進行研究，將其細部環節貫串起來並建立完整之數學模

式，同時與實際之天文觀察進行相互驗證。另外，對於系外恆星系統與星際雲氣交互作用之旋風邊界效應因而產生稜形凝體之方式，以及稜形凝體(電炁體)之基本特性…等，亦需要再深入探索，其中電炁體之特性或是炁之行爲不只與恆星形成相關，更與生命之形成與結構相關，值得探究。期望在本文所論述之基礎下，能逐步建立完整之「旋和系(恆星)生成炁化動力模型」，此一內容之探討，將有助於「炁理學」之研究與開展，對於宗教、哲學與科學之會通亦應有所裨益。

參考資料

1. Swedenborg, Emanuel (1734). (*Principia*) Latin: *Opera Philosophica et Mineralia* (English: *Philosophical and Mineralogical Works*), (Principia, Volume D).
2. 康得著，上海外國自然科學哲學著作編譯組譯：《宇宙發展史概論》，上海人民出版社，上海，1972。
3. T. J. J. (1909). The Past History of the Earth as Inferred from the Model of Formation of the Solar System. *Proceedings of the American Philosophical Society* **48**: 119.
4. 拉普拉斯著，李珩等譯：《宇宙體系論》，上海譯文出版社，1978。
5. M.M. Woolfson (1993). "Solar System – its origin and evolution". *Q. J. R. Astr. Soc.* **34**: 1 – 20.
6. 星際物質, <http://zh.wikipedia.org/zh-tw/>。
7. 星際雲, <http://zh.wikipedia.org/wiki/>。
8. Spitzer, L (1978), "Physical Processes in the Interstellar Medium".
9. Ann Zabludoff (University of Arizona) (Spring 2003). "Lecture 13: The Nebular Theory of the origin of the Solar System", <http://atropos.as.arizona.edu>.
10. Thierry Montmerle, Jean-Charles Augereau, Marc Chaussidon (2006). "Solar System Formation and Early Evolution: the First 100 Million Years". *Earth, Moon, and Planets* (Spinger) **98**: 39 – 95. doi:10.1007/s11038-006-9087-5.
11. Jane S. Greaves (2005). "Disks Around Stars and the Growth of Planetary Systems". *Science* **307**: 68. doi:10.1126/science.1101979.
12. Montmerle, Thierry; Augereau, Jean-Charles; Chaussidon, Marc et al. (2006). "Solar System Formation and Early Evolution: the First 100 Million Years". *Earth, Moon, and Planets* (Spinger) **98**: 39 – 95. doi:10.1007/s11038-006-9087-5.
13. 李宗偉、蕭興華編著，普通天體物理學，凡異出版社，85年8月初版，p.249-250。
14. 李玉階著，「天帝教教義一新境界」，帝教出版社，1997年十月三版，p.21-27。
15. Halliday/ Resnick 原著，潘家寅譯述，基本物理學，乾泰圖書公司，1986年11月二版，p349-356。
16. 李宗偉、蕭興華編著，普通天體物理學，凡異出版社，85年8月初版，p185-191。
17. 李宗偉、蕭興華編著，普通天體物理學，凡異出版社，85年8月初版，p398-408。
18. 克卜勒運動, <http://zh.wikipedia.org/>。

