

فصل چهارم

سیر تکاملی علم نجوم و جغرافیای ریاضی

۱- مقدمه

از هزاران سال پیش، انسان هر وقت چشم به آسمان می‌دوخت، در مورد نقاط روشن و ستارگان در آسمان کنجکاو بود. اینکه چه قدر با زمین فاصله دارند؟ چرا بعضی از شبها ماه گرد است و بعضی شب‌های دیگر شبیه هلال باریکی مشاهده می‌شود؟ در پی پاسخ به این پرسش‌ها، انسان از قرن‌های متتمادی به تحقیق و تفحص پرداخته و طی یک دورهٔ تکاملی معلومات خود را به پایهٔ امروزی رسانده است. هیچ‌یک از علوم، مانند نجوم و مطالعه در اوضاع و احوال ستارگان قدیمی و کهن‌سال نیست.

بابلی‌ها تصور می‌کردند که زمین از هفت برج منطبق بر یکدیگر تشکیل شده است و بر روی اقیانوسی قرار دارد. همچنین اعتقاد داشتند که آسمان از هفت طبقه تشکیل شده و بر فراز زمین واقع گردیده است. ایرانیان قدیم نیز معتقد بودند که زمین ما بر روی شانهٔ فرشته‌ای قرار گرفته و این فرشته بر روی شاخ‌های گاوی ایستاده است. گاو نیز بر پشت ماهی، که در اقیانوس کائنات شناور است، قرار دارد. حشرهٔ بزرگی در کنار گاو در پرواز است و اگر او را بگزد، گاو شاخ‌های خود را به حرکت در می‌آورد و زمین به لرزش می‌افتد. مصریان قدیم سال را به ۱۲ ماه و ۳۶۵ روز تقسیم کرده بودند. یونانیان نیز، برای اولین بار، نجوم را با ریاضیات آمیختند و در راه پیشرفت این علم قدم‌های بلندتری برداشتند. شش قرن قبل از میلاد طالس پسی برد که زمین کروی است و فیشاغورس ثابت کرد که زمین در فضا تنهاست و بی‌آنکه بر چیزی تکیه داشته باشد، به دور خود می‌چرخد، ولی

متأسفانه دو قرن بعد از میلاد مسیح بطلمیوس^۱ زمین را مرکز عالم معرفی کرد و عقیده داشت که تمام کواكب و حتی خورشید به دور زمین در چرخش اند. این گمراهی بطلمیوس تمام موقعیت‌های درخشنانی را که در زمینه علم هیئت به دست آمده بود بی استفاده ساخت و به مدت ۱۳۰۰ سال این نظریه غلط را بر بشر تحمیل کرد.

این نظریه بطلمیوس در قرون وسطی مورد استفاده خادمان کلیسا واقع شد و به آن‌ها کمک کرد تا هرگونه نظریه‌ای را در مورد چگونگی آفرینش و خلق‌ت باطل شمرند و واضعان آن را قلع و قمع نمایند و بدین ترتیب، با قساوت کامل از ترقی و توسعه علم تکوین جهان پیشگیری کنند. بعد از بطلمیوس، تحقیقات نجومی در یونان عملاً متوقف شد و ستاره‌شناسان پس از او با تقلید از الگوی وی فقط توانستند پارامترهای نجومی را دقیق‌تر ثبت نمایند. در خلال قرون وسطی، تا زمان کوپرنيک، نوشته‌های ارسطو و بطلمیوس آخرین اسناد علمی درباره دانش نجوم به شمار می‌رفت و در قرن شانزدهم میلادی تغییراتی اساسی در نجوم پدید آمد (عدالتی و فرخی، ۱۳۸۰).

۴-۲ دوره‌های سه گانه علم نجوم

به طور کلی، تاریخ نجوم به سه دوره زیر تقسیم می‌شود (عدالتی و فرخی، ۱۳۸۰).

۴-۲-۱ دوره زمین مرکزی^۲

منجمان قدیم معتقد بودند که زمین مرکز عالم است و خورشید و سایر سیارات به دور زمین می‌چرخند. اخترشناسان یونانی برای توضیح حرکت‌های ظاهری سیارات نظریه‌ای بیان داشتند که اساس دستگاه زمین مرکزی بطلمیوس در سده دوم میلادی شد. به کمک این دستگاه، مشخص کردن حرکت‌ها و مواضع سیارات، به طور تقریبی، ممکن بود و تا چندین سده نیز نیاز نجومی آن زمان را مرتفع می‌ساخت. بطلمیوس اعتقاد داشت که تمام سیارات، و حتی خورشید، به دور زمین می‌چرخند.

نظریه زمین مرکزی تا قرن شانزدهم میلادی حاکم بود. با وجود این تحقیقات ارزش‌های در این دوره صورت گرفت. گاهشماری با دقت زیاد دنبال شد. دایرة البروج تعریف و دوره کامل خسوف و کسوف مشخص شد.

منجمان اروپایی در قرون وسطی به کمک دستگاه زمین مرکزی صرفاً به مطالعه حرکت‌های ظاهری سیارات می‌پرداختند و شدیداً تحت تأثیر اصول بطلمیوس بودند. در این زمان، دانش نجوم در میان مسلمانان به پیشرفت‌های قابل توجهی رسید. دانشمندانی چون ابو ریحان بیرونی (۹۷۳-۱۰۴۸ م)، بتانی (۸۵۰-۹۲۹ م)، ابو موسی خوارزمی (۷۸۰-۸۴۸ م)، الغ‌بیک (۱۳۹۶-۱۴۴۹ م)، و ابن هیثم (۹۶۵-۱۰۳۹ م) از آن جمله‌اند (دفتر تحقیقات و برنامه‌ریزی درسی، ۱۳۶۶).

۴-۲-۲ دوره خورشید مرکزی^۱

با تکامل و پیشرفت علوم، دانش نجوم نیز کاملاً متتحول شد. دانشمند لهستانی، نیکولاوس کوپرینیک، ثابت کرد که زمین مرکز عالم نبوده و فقط یکی از سیاراتی است که در فضای بیکران می‌چرخد. نظریات کوپرینیک در واقع انقلابی در علم نجوم بود. دستگاه خورشید مرکزی او پس از مرگش رسماً اعلام شد. با اعلام نظریه خورشید مرکزی، که هدفش کشف قوانین حاکم بر اجرام آسمانی بود، مطالعات نجومی علمی‌تر شد. به اعتقاد کوپرینیک، چون هر سیاره با سرعت متفاوتی به دور خورشید می‌چرخد، زمانی که سیاره‌ای در زمینه ستارگان ثابت رؤیت شود، به نظر می‌رسد که به جلو یا عقب حرکت می‌کند. طبق نظریه او، حرکت‌های حلقه‌ای سیارات قابل بیان است و کوپرینیک ثابت نکرد که زمین و دیگر سیارات به دور خورشید می‌چرخد. تنها می‌توان گفت که نظریات او توضیح ساده‌تری از پدیده‌های نجوم بود. نظریه خورشید مرکزی تا قرن هجدهم ادامه داشت و در این دوره، دانشمندان بزرگی چون تیکو براهه (۱۵۴۸-۱۶۰۱ م)، گالیله (۱۵۶۴-۱۵۴۲ م)، نیوتن (۱۶۴۲-۱۷۲۷ م) و یوهانس کپلر (۱۵۷۱-۱۶۳۰ م) پا به عرصه جهان علم گذاشتند. دو پدیده مهم دوره خورشید مرکزی، انتشار قوانین کپلر و اختفاء تابع

دستگاه خورشید مرکزی کوپرنيک نيز شماري از سوء تعبيهای تازه را به همراه داشت. او معتقد بود که همه سيارات روی مدارهای کاملاً مدور و با سرعت‌های زاويه‌اي ثابت دور خورشيد می‌چرخند. کوپرنيک در دستگاه خود گسترش جهان را تا آنجا تصور می‌کرد که ثوابت وجود دارند. گام بعدی، کشف قوانین گرداش سيارات به دور خورشيد به وسیله کپلر بود. کپلر نشان داد که سيارات روی مدارهای بيضوي و با سرعت‌های زاويه‌اي متغير در گرداش‌اند، اما وي در پژوهش علل حرکت سيارهای از فرضيه‌اي غلط تبعيت کرد. فرضيه‌اي که می‌گفت برای تداوم حرکت مستقيم الخط يکنواخت دائمًا باید نيريوي ثابت بر جسم متحرک وارد شوم. کپلر در منظومة خورشيدی به دنبال چنین نيريوي می‌گشت که همواره سيارات را به جلو برازد و اجازه ایستادن به آنها ندهد. اما به زودی عمر اين سوء تعبيه به سر آمد و گاليله اصل لختی^۱ را کشف و نيوتن قوانين حرکت و گرانش عمومي را مطرح کرد و علم فيزيك به اين نتیجه رسيد که اجرام آسماني در فضای بی‌پایان در حرکت‌اند. با تمام اين‌ها، فيزيك کلاسيك نيوتنی هم سوء تعبيه دیگري را وارد اين علم کرد. منظور اعتقادی بود که به موجب آن گويا همه پدیده‌های طبیعی را می‌شد با فرایندهای مکانيکی توضیح داد و اين به معنای سکوت در برابر سوء تعبيه‌اي کوچک همچون زمان مطلق^۲ و فضای مطلق^۳ بود. از ديدگاه فيزيك کلاسيك، پاسخ نهايی و غيرقابل تردید تمام پرسش‌ها درباره جهان داده شده بود، اما با روش‌نگري‌های جديد مشخص شد که واقعیت امر از آنچه در زمان نيوتن تصور می‌شد بسیار پیچیده‌تر است (کاماروف، ۱۳۷۴).

^۱ لختی، مائند یا اينرسی (Inertia) خاصیتی از يك جسم است که با تغيير وضعیت جسم مخالفت می‌کند. ^۲ مطلق زمان (Absolute Time)، ^۳ مطلق فضا (Absolute Space).

سومین دوره از تاریخ نجوم از قرن هجدهم میلادی شروع شده است. در این دوره، تحقیقات نجومی به کمک تلسکوپ‌های نوری و رادیو تلسکوپ‌های بزرگ برای تکمیل تصویر کامل جهان ادامه دارد. در همین دوره مشخص شد که کهکشان بزرگ ما یکی از هزاران کهکشان بزرگ و کوچک موجود در فضا است. این دوره از تاریخ نجوم بیش از همه با نام آلبرت اینشتین (۱۸۷۹-۱۹۵۵ م) پیوند دارد و کیهان‌شناسی و اختر فیزیک جدید ساخت به نظریه نسبیت او متکی است. ما در این دوره زندگی می‌کنیم و تا پایان آن راهی بس طولانی در پیش است. کشف نظریه نسبیت اینشتین، در اوایل قرن بیستم، اصول نیوتونی درباره فضا و مختصات هندسی جهان را به کلی زیر و رو کرد. یکی از کارهای بزرگ اینشتین اثبات ارتباط عمیق بین خواص ماده و هندسه فضا بود.

عقل سليم در دنیای علم امری نسبی و تابع سطح دانش هر دوره تاریخی معین است. به همین دلیل است که دانشمندان در تلاشی که برای دست‌یابی به سطحی بالاتر از شناخت جهان به عمل می‌آورند، ناگزیر از مبارزه با تصورات رایج و عقل سليم زمان‌اند. باید گفت که با پیشرفت علم، به ویژه علم فیزیک و نجوم، قضاؤت به یاری مشاهدات چشمی روز به روز ارزش کمتری می‌یابد. علم در مسیر پیچ در پیچ پذیرفته نمی‌شود. در هر حال باید فراموش کرد که عقل سليم همواره سهمی از سوء تعبیر را با خود به همراه دارد. کشف واقعیت‌های اساساً جدید و غیرقابل توضیح در محدوده نظریه موجود، به طرح نظریه‌ای کلی تر منجر می‌شود که البته نظریه قبلی را نیز دربر دارد. نظریه گرانش نیوتون و نظریه نسبیت عام اینشتین را کنار هم بگذارید. اولی در فضای اقلیدسی و نوعی زمان مستقل از آن صدق می‌کند و دومی در مورد اساساً جدید به منزله نوعی جایه‌جایی انقلابی در نظریه گرانش است در دوره کهکشانی قسمت‌های مختلف طیف الکترومغناطیس شناسایی شد. دوره کهکشانی خود به دو بخش نجوم نور مرئی و نور نامرئی تقسیم می‌شود.

۱-۲-۳-۴ نجوم نور مرئی

از سال ۱۶۰۹، که گالیله برای اولین بار از تلسکوپ نوری استفاده کرد، تا سال ۱۹۳۱ میلادی، که امواج رادیویی فضا کشف شد، طول موج‌های نور مرئی، هسته اصلی مطالعات نجومی را تشکیل می‌دادند. بعد از پیدایش تلسکوپ‌های رادیویی، ستاره‌شناسی رادیویی و نوری با یکدیگر سهیم شدند. کشف قوانین نور از بزرگ‌ترین اکتشافات قرن نوزدهم است. تقریباً فقط نور است که از کیهان به زمین می‌رسد. تمامی اطلاعات ما از کیهان با بررسی نور ستاره‌ها و اجرام دیگر به دست آمده است. پس شناخت نور پایه‌ای ترین بخش اخترشناسی است.

ماهیت ذره‌ای نور: اسحاق نیوتون در کتاب خود رساله‌ای درباره نور نوشت که پرتوهای نور ذرات کوچکی هستند که از یک جسم نورانی منتشر می‌شوند. او نور را به این دلیل به صورت ذره در نظر گرفت که در محیط‌های همگن به نظر می‌رسد در امتداد خط مستقیم منتشر می‌شوند که این امر را قانون می‌نامند و یکی از مثال‌های خوب برای توضیح آن به وجود آمدن سایه است.

ماهیت موجی نور: هم زمان با نیوتون، کریستیان هویگنس^۱ (۱۶۲۹-۱۶۹۵) طرف‌دار توضیح دیگری بود که در آن حرکت نور به صورت موجی است و از چشم‌های نوری به تمام جهات پخش می‌شود. به خاطر داشته باشد که هویگنس با به کار بردن امواج اصلی و موجک‌های ثانوی قوانین بازتاب و شکست را تشریح کرد. حقایق دیگری که با تصور موجی بودن نور توجیه می‌شوند پدیده‌های تداخلی هستند، مانند به وجود آمدن فریزهای روشن و تاریک در اثر بازتاب نور از لایه‌های نازک و یا پراش نور در اطراف مانع.

ماهیت الکترومغناطیسی نور: بیشتر به دلیل نبوغ جیمز کلارک ماکسول^۲ (۱۸۳۱-۱۸۷۹) است که ما امروزه می‌دانیم نور نوعی انرژی الکترومغناطیسی است که معمولاً به عنوان امواج الکترومغناطیسی توصیف می‌شود. گستره کامل امواج الکترومغناطیسی شامل: موج رادیویی، تابش فروسرخ، نور مرئی از قرمز تا بنفش،

تابش فراینده، اشعه ایکس و اشعه گاما می‌باشد.

ماهیت کوانتمی نور: طبق نظریه مکانیک کوانتمی نور، که در دو دهه اول قرن بیستم به وسیله پلانک، آلتز اینشتین و بور برای اولین بار پیشنهاد شد، انرژی الکترومغناطیسی کوانتیده است؛ یعنی جذب یا نشر انرژی میدان الکترومغناطیسی به مقادیر گسته‌ای به نام افوتون، انجام می‌گیرد.

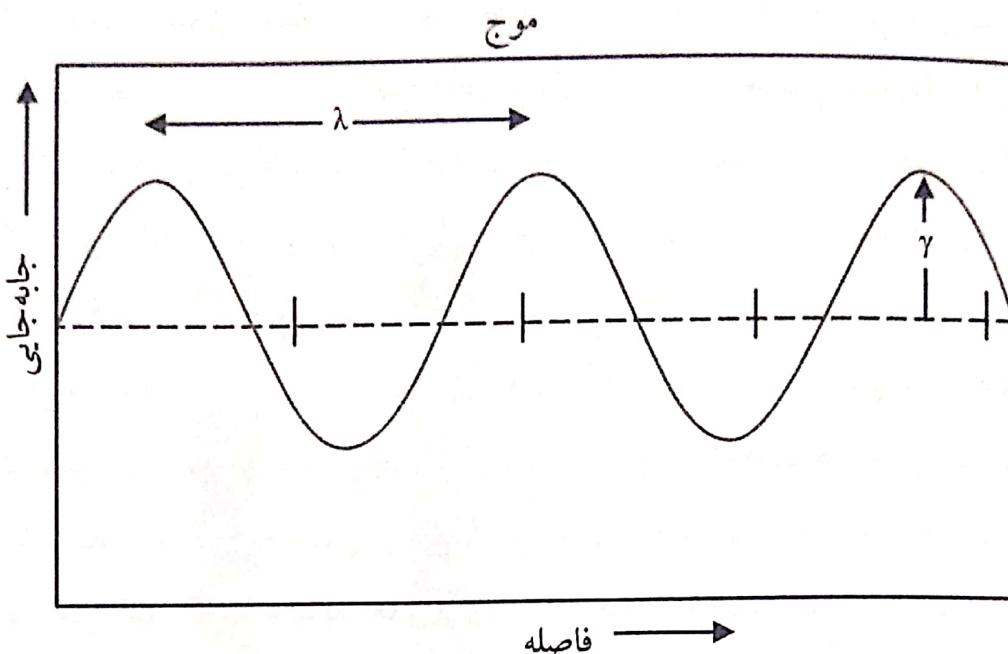
نظریه مکملی: نظریه جدید نور شامل اصولی از تعاریف نیوتون و هویگنس است. بنابراین گفته می‌شود که نور خاصیت دوگانه‌ای دارد؛ برخی از پدیده‌ها، مثل تداخل و پراش، خاصیت موجی آن را نشان می‌دهد و برخی دیگر، مانند پدیده فوتوالکتریک، پدیده کامپتون و ...، با خاصیت ذره‌ای نور قابل توضیح‌اند.

نور به خط مستقیم منتشر می‌شود؛ اگر از محیطی وارد محیط دیگر شود، امتداد آن تغییر می‌کند و به اصطلاح می‌شکند. نور دارای پدیده پراش است، لذا خاصیت موجی دارد. نور یک موج عرضی است، یعنی امتداد ارتعاش بر امتداد انتشار عمود است. بنابراین، نور هم طبیعت موجی دارد و هم طبیعت ذره‌ای.

ویژگی اساسی «ذره» این است که اگر به ذره دیگری بخورد کند، به آن ضربه می‌زند، مثل 2×10^{-18} نوب بیلیارد، اما وقتی که یک موج به ذرات می‌رسد، رفتارهای دیگری نشان می‌دهد، برای مثال، وقتی که نور از درون منشور عبور می‌کند، می‌شکند. اگر نور را ذره در نظر بگیریم، به کوچک‌ترین جزء سازنده آن فتوна می‌گوییم. فتوна می‌تواند به ذرات مادی ریزی مثل الکترون ضربه وارد کند. از دید الکترومغناطیس این است که در خلا (جایی که هیچ چیزی نباشد) با سرعت $c = 3 \times 10^8$ متر بر ثانیه حرکت می‌کند.

طول یک موج، فاصله بین دو قله آن است (شکل ۱-۴). فرکانس، تعداد دریا بایستید و طی 10^{-10} ثانیه موج‌ها را بشمارید، اگر بینید طی 10^{-10} ثانیه 15 موج به ساحل می‌رسند، فرکانس امواج دریا $\frac{1}{15} = \frac{1}{10}$ است.

واحد اندازه‌گیری طول موج متر و واحد فرکانس یک بر ثانیه (نامه ۱۰۷)



$$\text{طول موج} = \lambda$$

$$\text{دامنه موج} = \gamma$$

شکل ۱-۴ طول موج

است. بین طول موج، فرکانس و سرعت موج یک رابطه منطقی وجود دارد: $\frac{c}{\gamma} = \lambda$. طول موج را با حرف یونانی λ (لاندا)؛ فرکانس را با حرف v (نو) و سرعت را با v نمایش می‌دهیم. برای امواج الکترومغناطیس $c = v$ ، یک عدد ثابت است، پس:

$$\lambda = \frac{c}{v}$$

از این رابطه می‌بینیم که هرچه فرکانس نور بیشتر باشد، طول موج آن کوتاه‌تر است و، برعکس، هرچه فرکانس کمتر باشد، طول موج نور بلند‌تر است. طول یک موج الکترومغناطیس (نور) می‌تواند هر عددی (بسیار کوچک یا بسیار بزرگ) باشد. برای مثال، طول موج رادیویی AM چند ۱۰ متر و طول موج امواج گاما 10^{-12} متر است.

انرژی یک فوتون (ذره نور) به طول موج نور بستگی دارد: $E = h \times v$ این رابطه، که بر حسب فرکانس (v) نوشته شده است، به سادگی به رابطه‌ای بر حسب طول موج تبدیل می‌شود: $E = \frac{hc}{\lambda}$. یک عدد ثابت، معروف به ثابت پلاتک، است.

$$h = 6.62 \times 10^{-34} \text{ J.s}$$

جو زمین جلوی بسیاری از طول موج‌ها را می‌گیرد؛ می‌گوییم جو نسبت به آن طول موج‌ها کدر است. در واقع، فقط طول موج‌های مرئی و بخشی از امواج رادیویی از جو عبور می‌کنند و از فضابه زمین می‌رسند. این ویژگی جو برای شکل‌گیری و ادامه حیات واجب است، چراکه مانع از نفوذ پرتوهای پرانرژی و خطرناک ایکس و گاما می‌شود.

تعریف واقعی نور چیست؟ تعریف دقیقی برای نور نداریم؛ جسم شناخته شده یا مدل مشخصی که شیوه آن باشد وجود ندارد، ولی لازم نیست فهم هر چیز بر شبه است مبتنی باشد. نظریه الکترومغناطیسی و نظریه کوانتمی با هم ایجاد یک نظریه نامتناقض و بدون ابهام می‌کنند که تمام پدیده‌های نوری را توجیه کرده‌اند. نظریه ماکسول درباره انتشار نور بحث می‌کند؛ در حالی که، نظریه کوانتمی بر همکنش نور و ماده یا جذب و نشر آن را شرح می‌دهد. از آمیختن این دو نظریه، نظریه جامعی، که کوانتمی الکترودینامیک نام دارد، شکل می‌گیرد. چون نظریه‌های الکترومغناطیسی و کوانتمی علاوه بر پدیده‌های مربوط به تابش بسیاری از پدیده‌های دیگر را نیز تشریح می‌کنند، منصفانه می‌توان فرض کرد که مشاهدات تجربی امروز را، حداقل در قالب ریاضی، جوابگو است. نور گستره طول موجی وسیعی دارد. چون با نور مرئی کار می‌کنیم، اغلب تصاویر و محاسبات در این ناحیه از گستره الکترومغناطیسی انجام می‌گیرد، اما روش‌های مورد بحث در تمام ناحیه الکترومغناطیسی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

نور خورشید سفید و ترکیبی از امواج الکترومغناطیسی با طول موج‌های مختلف است. نور مرئی خورشید از 400 A° (آنگستروم^۱) تا 700 A° (۷۰۰ نانومتر) یا 400 A° تا 700 A° میکرون^۲ متغیر است. امواج الکترومغناطیسی این باند قابل رویت است و به همین دلیل، این طول موج‌ها را باند مرئی می‌گویند. امواج با طول موج 400 A° به چشم ما بنفش و با طول موج 700 A° به نور قرمز جلوه می‌کنند. رنگ‌های دیگر طول موج‌هایی بین این دو حد دارند (شکل ۲-۴).

قابل تغذیه
در جو زمین

بله

خیر

بله

خیر

نوع پرتو
طول موج (متر)
اندازه تقریبی
طول موج

رادیویی

ریز موج

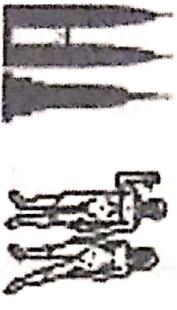
فروسرخ

فرابنفش

برنوا ایکس

برنوا گاما

برنوا



اسنادها
بروانه ها

نوک سوزن
موکول ها

ات ها
مسنده اتم

کام

بسالم (هرتز)

10^4
 10^3
 10^2
 10^1
 10^0
 10^{-1}
 10^{-2}
 10^{-3}

دما بای که در آن
جسم شروع به
تابش آن موج
می کند.

10^4
 10^3
 10^2
 10^1
 10^0
 10^{-1}
 10^{-2}
 10^{-3}

شکل ۴ طیف الکترومغناطیس

۴-۳-۲ نجوم نور نامرئی
 با آغاز عصر فضا که انسان توانست از جو زمین خارج شود به بخش‌های دیگری از طیف الکترومغناطیسی دست یافت که طول موج آن‌ها از طول موج نور مرئی کوتاه‌تر یا بلندتر است. این امواج، از یک طرف، امواج کوتاه‌تر از طول موج بمنظر تا اشعه ایکس و گاما و، از طرف دیگر، امواج بلندتر از موج قرمز تا امواج رادیویی را شامل می‌شود. مشاهده و ثبت اطلاعات بر اساس این بخش از طیف الکترومغناطیس به نجوم نور نامرئی موسوم است. البته چون اتمسفر زمین به بخش عمده‌ای از این امواج اجازه ورود به زمین نمی‌دهد، رصد اجرام در بیرون از اتمسفر انجام می‌شود.

۴-۳ جسم سیاه

ما اغلب اجسام را به دلیل بازتاب نور از آن‌ها می‌بینیم، اما حقیقت این است که اگر جرمی در جایی کاملاً تاریک باشد و هیچ نوری به آن نرسد، باز هم نور گسیل می‌کند (از خودش نور می‌دهد). از همین ویژگی در دوربین‌های دید در شب استفاده می‌شود. به این تابش، که همه اجسام به دلیل دمایشان از خود نور گسیل می‌کنند، تابش جسم سیاه می‌گوییم. از نظر تئوری، یک جسم سیاه چیزی است که در تمام طول موج‌های طیف الکترومغناطیس می‌تابد، اما تجربه نشان می‌دهد که شدت تابش اجسام در طول موج‌های مختلف به دمای آن‌ها بستگی دارد. مثلاً دمای بدن ما نزدیک به 300 کلوین (کلوین واحد اندازه‌گیری دماست و صفر درجه فروسخ می‌تابد (دوربین‌های دید در شب هم به نور فروسخ حساس‌اند) و دمای سطح خورشید 6000 کلوین است و به رنگ زرد می‌تابد. به ذوب شدن فلزات دفت نظر فیزیکی می‌گوییم یک جسم سیاه در تمام طول موج‌ها می‌تابد، اما شدت تابش آن در طول موج‌های مختلف متفاوت است. به طول موجی که جسم سیاه بیشترین تابش را در آن طول موج گسیل می‌کند λ_{max} می‌گوییم که فقط به دمای جسم

بستگی دارد (مثال فلز گداخته را به باد آورید). از طرف دیگر، مسلم است که نه فقط σ_{max} خورشید با دمای 6000 کلوین از دمای بدن ما کمتر است (طول موج کمتر یعنی انرژی بیشتر)، بلکه شدت تابش خورشید در دیگر طول موج‌ها هم بارها بیشتر از تابش بدن من و شماست. قانون استفان - بولتزمن رابطه بین مقدار کل انرژی‌ای را که یک جسم از خود تابش می‌کند و دما بیان می‌کند: $\sigma = \sigma^* T^\varphi$

φ مقدار انرژی‌ای است که در هر ثانیه از 1 متر مربع از سطح جسمی در دمای T (به کلوین) به فضای گسیل می‌شود. σ یک عدد ثابت معروف به ثابت استفان - بولتزمن است:

$$\sigma = 5 / 6705 \times 10^{-8} W/m^2 k^4$$

از رابطه استفان - بولتزمن می‌بینیم که هر جسمی در دمای $T > 0$ تابش گسیل می‌کند (کاویانی و علیجانی، ۱۳۹۳). تابش ستاره‌ها، تابش بدن شما، و هر چیز دیگری شبیه تابش یک جسم سیاه است. با اینکه هیچ کدام کاملاً یک جسم سیاه نیستند، برای مثال طیف یک ستاره کاملاً پیوسته نیست (یعنی آن ستاره در تمام طول موج‌ها مطابق جسم سیاه رفتار نمی‌کند). تنها جسم سیاه ایدئالی که می‌شناسیم خود جهان است. جهان ما تابشی گسیل می‌کند که مطابق با جسم سیاهی در دمای 274 کلوین است. آیا می‌دانید چرا جهان ما می‌تابد؟ به این تابش «پیش زمینه کیهانی» می‌گوییم.

۴-۴ فرضیه‌های پیدایش منظمه خورشیدی

پیدایش منظمه خورشیدی، از نظر علمی و عملی، اهمیت فراوانی دارد. اکثر دانشمندان معاصر معتقدند که اجرام سماوی، خصوصاً زمین و سایر سیارات منظمه خورشیدی به یک نحو تشکیل شده‌اند. تاکنون فرضیه‌های مختلفی برای تشریح منشاء منظمه خورشیدی بیان شده است که به طور کلی به دو دسته نظریه‌های تصادفی یا دوتایی و نظریه‌های تکاملی، یا انفرادی، تقسیم شود (شفق، و مدن، ۱۳۶۷).

۴-۴-۱ نظریه‌های تصادفی

در این دسته از نظریه‌ها تصور می‌شود که زمین و سیارات در نتیجه تأثیر متقابل خورشید و یک جرم سماوی دیگر تشکیل شده‌اند و به همین دلیل آن‌ها را نظریه‌های دوتایی نیز می‌خوانند. شایان ذکر است که این گونه نظریه‌ها امروزه ارزش خود را از دست داده‌اند و بیشتر نظریه‌های دسته دوم پذیرفته می‌شوند. با وجود این، از نظر سابقه تاریخی اشاره‌ای به برخی از آن‌ها مفید خواهد بود.

۱-۴-۲ نظریه بوفون

ژرژ دو بوفون^۱، طبیعی‌دان فرانسوی، نخستین فرضیه درباره چگونگی پیدایش منظومه خورشیدی را در اواسط قرن هجدهم (سال ۱۷۴۹ میلادی) مطرح کرد. بر اساس این نظریه، بر اثر تصادم یک ستاره بزرگ دنباله‌دار با خورشید، قسمتی از خورشید به حالت گاز به اطراف پراکنده شده است. قطعاتی از این گازها، که به علت نیروی جاذبه خورشید نتوانستند دور شوند، در فواصل معینی به دور خورشید قرار گرفتند و سیارات فعلی را تشکیل دادند. این سیارات تحت تأثیر^۲ نیروی جاذبه خورشید و گریز از مرکز به دور خورشید به گردش درآمدند. از جمله ایرادهای نظریه بوفون که براساس محاسبات ریاضی به دست آمده است اینکه چنین برخوردي بین ستارگان به ندرت اتفاق می‌افتد؛ بنابراین، با توجه به این برخوردهای احتمالی باید تعداد منظومه‌ها خیلی کم باشد؛ در صورتی که با مطالعات تلسکوپی تعداد منظومه‌ها را بی‌شمار می‌دانند. ایراد دوم آنکه، جرم ستاره دنباله‌دار متتشکل از گازهای پراکنده‌ای است که در اثر برخورد با خورشید جز ایجاد روشنایی و پراکنده‌گی بیشتر گازها، نتیجه دیگری ندارد. ایراد سوم اینکه، اگر بر اساس نظریه بوفون سیارات بر اثر تصادم به وجود آمده باشند، باید هر کدام در مدار بیضی طویلی به دور خورشید حرکت کنند؛ حال آنکه مدار سیارات به دور خورشید مستبدیر نزدیک به بیضی است (حریریان، ۱۳۷۰).

۴-۴-۱-۲ نظریه جفریز و جینز^۱

در سال‌های ۱۹۱۸ و ۱۹۱۹، جفریز و جینز فرض کردند که خورشید، در زمان تشکیل سیارات، حجم زیادتری داشته است و عبور ستاره دیگر از نزدیکی آن سبب شده است تا توده باریک و درازی از خورشید جدا شود و به علت ناپایدار بودن، بعدها به قطعاتی تقسیم شود. این قطعات که در مسیر بیضی شکل به دور خورشید می‌گردند، در هنگام نزدیک شدن به خورشید و در اثر نیروی جاذبه آن، قسمت‌هایی از بعضی سیارات جدا شده و اقمار را تشکیل داده‌اند. این نظریه مردود است؛ زیرا فاصله ستاره‌ها از یکدیگر به قدری زیاد است که وجود دو تای آن‌ها در کنار یکدیگر از پدیده‌های نادر است و دیگر اینکه توده جدا شده از خورشید به قدری داغ است که پیش از سرد، متراکم و به سیاره تبدیل شدن، به سرعت پراکنده خواهد شد.

۴-۴-۲ نظریه‌های تکاملی

در این دسته از نظریه‌ها تشکیل سیارات را بر اساس تکامل تدریجی آن‌ها بیان می‌کنند. در ذیل برخی از مهم‌ترین این نظریه‌ها به ترتیب قدمت بررسی شده‌اند.

۴-۴-۳ فرضیه ایمانوئل کانت

ایمانوئل کانت^۲، فیلسوف مشهور آلمانی (۱۷۲۴-۱۸۰۴)، بعد از بوفون فرضیه جدیدتری را درباره چگونگی پیدایش منظومه خورشیدی مطرح کرد، مبنی بر اینکه خورشید در آغاز به صورت توده بسیار بزرگ از گازهای نسبتاً سردی بوده که به آرامی دور محور خودش می‌چرخیده است. به مرور زمان و بر اثر تشعشع حرارتی و سرد شدن تدریجی جرم آن فشرده و منقبض شده و سرعت حرکت دورانی آن افزایش یافته است. این افزایش سرعت دورانی خورشید حول محورش باعث شده است که نیروی گرانیز از مرکز گازهای جانبی خورشید زیادتر شود و علاوه بر ایجاد

فرو رفتگی در قطبین، در قسمت‌های استوایی نیز چند رشته حلقه‌های گاز از آن جدا شوند و به دور خورشید در مدارهای دایره‌ای شکل به چرخش درآیند که بعدها از همین حلقه‌های گاز، سیارات به وجود می‌آیند.

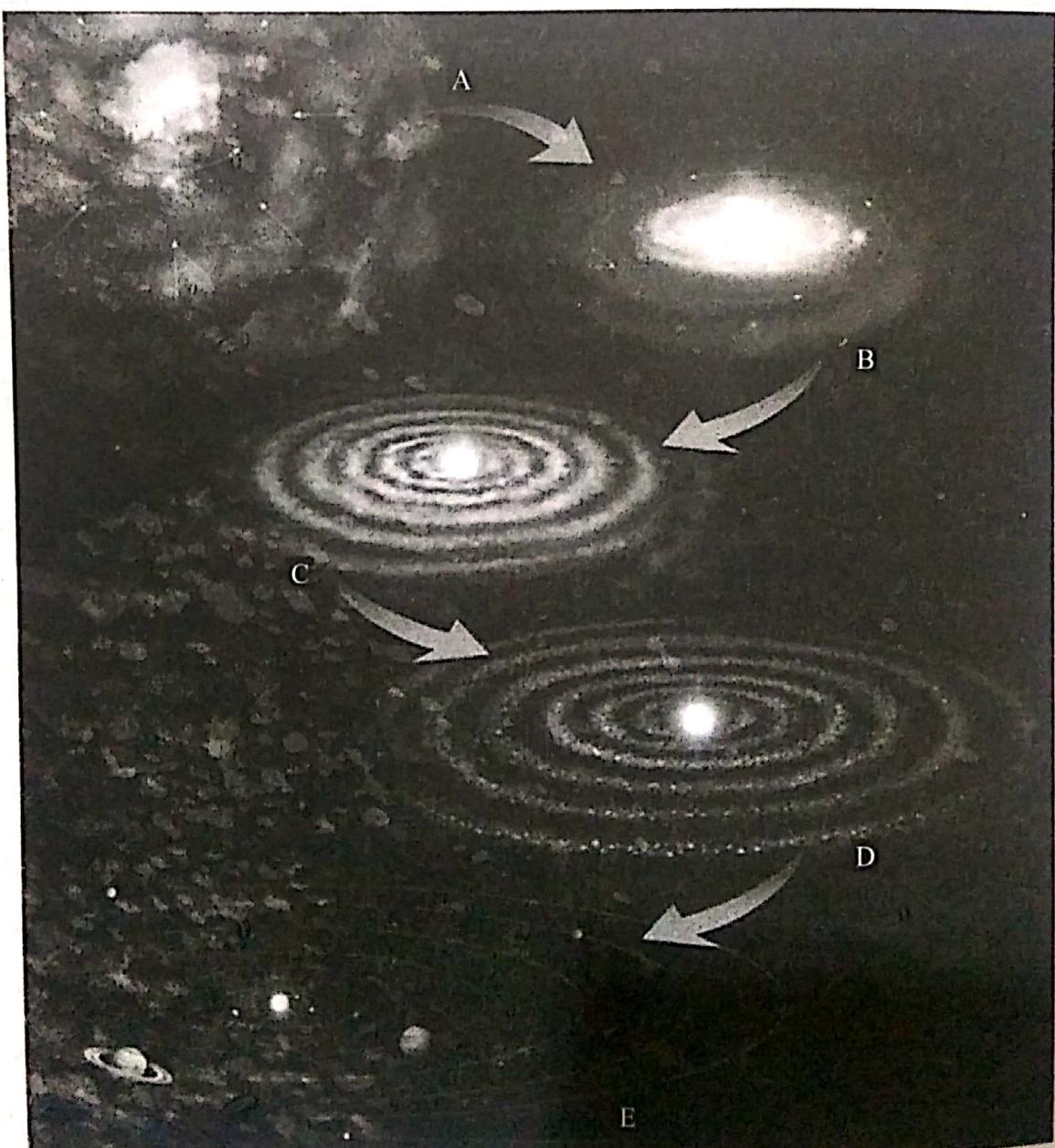


شكل ٤-٣ فرضية كانت

۲-۳-۴- فرضیہ لاپلاس

پیرسیمون دو لاپلاس^۱، ریاضی‌دان و منجم معروف فرانسوی (۱۷۴۹-۱۸۲۷)، در سال ۱۷۹۶ میلادی در کتاب معروف خود به نام نمایش دستگاه جهان فرضیه‌ای مشابه با فرضیه کانت مطرح کرد که به نام فرضیه کانت - لاپلاس مشهور شد. لاپلاس برای اثبات فرضیه خود اظهار می‌دارد که در آغاز خورشید به صورت گاز فوق العاده گرم و رقیقی بوده (نبولا^۲) که تا ماورای نیستون انبساط داشته و به سختی دیده می‌شده است. این گاز بسیار رقیق و در عین حال داغ، به علت از دست دادن حرارت، به تدریج سرد و منقبض شده و، حالت انقباض سرعت دورانی را افزایش داده است؛ تا آنجا که، بر اثر افزایش سرعت، نیروی گریز از مرکز از نسبت ۱ : ۴ : ۰۰۰

تجاوز کرده، کمربندی از گاز از قسمت استوایی خورشید جدا شده است. این کمربند نیز بر اثر تراکم و تمرکز بعدی گازها به حلقه‌هایی تقسیم شد. چون توزیع گازهای هم‌جنس و با وزن مخصوص مشابه در تمام حجم هر حلقه مساوی نیست، بنابراین، از تراکم بعدی گازهای موجود در هر حلقه، در یک نقطه از آن، که نیروی جاذبه بیشتری بوده، به تدریج سیاره‌ای تشکیل شده است (شکل ۴-۴).



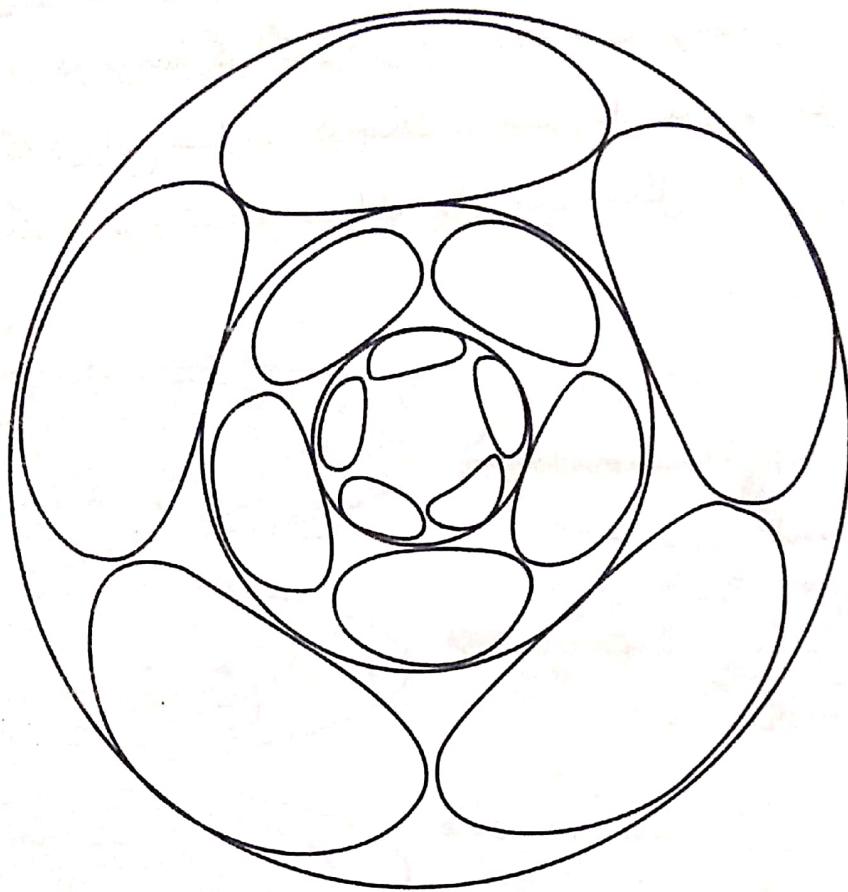
شکل ۴-۴ نمایش فرضیه لپلاس

سیاراتی که به این ترتیب تشکیل شدند روی مدارهای مستدیری به دور خورشید اولیه به حرکت درآمدند. این سیارات هنوز حالت گازی داشتند و از آن‌ها

نیز، به همان طریقی که خود از توده اولیه جدا شدند، کرات دیگر (اقمار) جدا گردید. به این ترتیب، خورشید یا کره مرکزی یک حرکت وضعی، سیارات دو حرکت انتقالی و وضعی، و اقمار سه حرکت وضعی، انتقالی به دور سیاره و انتقالی به دور خورشید دارند. اگرچه فرضیه لاپلاس از اهمیت زیادی برخوردار است، لیکن ایرادهای زیادی نیز به آن وارد شده است. اولین ایراد این است که حرکت‌های اقمار سیارات تا سیاره مشتری با فرضیه لاپلاس مطابقت دارد، ولی از مشتری به بعد اقماری کشف شدند که حرکت آن‌ها برخلاف اقمار دیگر، یعنی از مشرق به مغرب، است. همچنین در سال ۱۷۹۷ میلادی معلوم گردید که اورانوس قمری دارد که تقریباً عمود بر سطح مدار اورانوس به دور آن می‌گردد. ایراد مهم دیگر آن است که حدود ۹۸ درصد اندازه حرکت زاویه‌ای منظومه خورشیدی همراه حرکت سیارات است و فقط ۲ درصد آن به دوران خورشید مربوط می‌شود و محال است که بتوان ادعا کرد چرا چنین درصد بزرگی از اندازه حرکت زاویه‌ای در حلقه‌های جداسده مانده و عملاً چیزی برای جرم گردنده اولی باقی نمانده است؟ یا برای اینکه حلقه‌های فرضی لاپلاس در اثر سرعت زیاد بتوانند از خورشید جدا شوند باید سرعت گردش خورشید صدها بار سریع‌تر از میزان فعلی آن باشد؛ در صورتی که حرکت وضعی خورشید بسیار کند است.

۳-۲-۴-۴ نظریه کارل فون وایتسزِکر^۱

وایتسزِکر، فیزیکدان آلمانی، در سال ۱۹۴۳ این نظریه را مطرح کرد. در این نظریه فرض بر این است که اطراف خورشید (که قبلًا شکل یافته) قرص گازی، شبیه به سحابی فرضی در نظریه لاپلاس، وجود دارد که بیش از ۹۹ درصد آن را هیدروژن و بقیه را عناصر سنگین تشکیل داده است. در این قرص گازی، که حرکتی چرخشی وجود دارد که ابعاد آن‌ها از مرکز به طرف خارج به صورت تصاعد هندسی زیاد شده است (شکل ۴-۵).



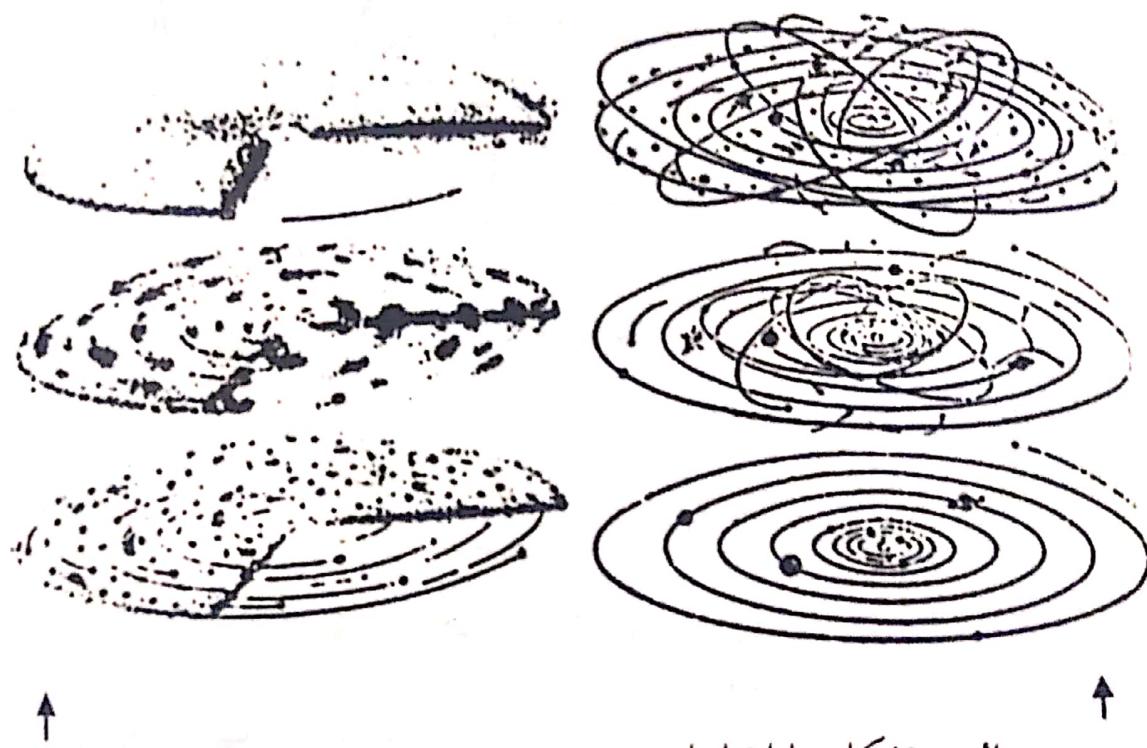
شکل ۴-۵ نظریه گرددادی منظومه خورشیدی بنا به نظر وایتسز کر

گازهای سحابی، به علت تأثیر نیروهای شیمیایی موجود بین ملکول‌ها، به صورت غبارهایی انباسته برای تشکیل حلقه‌های درشت، که به ایجاد سیارات منجر می‌شود، دسته‌بندی می‌شوند. چون خورشید و سحابی اولیه در این نظریه منشاء متفاوتی دارند، هیچ اشکالی در توزیع مقدار حرکت زاویه‌ای ایجاد نمی‌کند. بدین ترتیب، مقدار حرکت خورشید از ابتدا کمتر از مقدار سحابی بوده است. ایراد این نظریه این است که باید از فرضیه نسبتاً ساختگی گرددادها، که به وجود آن‌ها اطمینانی نیست، کمک گرفت (مدنی و شفقی، ۱۳۷۲).

۴-۶-۴ نظریه اسمیت

اسمیت^۱، دانشمند روسی، معتقد است که خورشید ضمن حرکت خود در میان کهکشان از میان توده ابری مرکب از گاز و غبار، که ماده بین ستارگان است، عبور

کرده و قسمتی از آن را بر اثر قوه جاذبه خود جذب کرده است. تشکیل سیارات از این توده گاز در دو مرحله گوناگون صورت گرفته است: مرحله اول، تشکیل اجرام نسبتاً سنگین که درواقع سیارات کوچک یا استروئیدند و مرحله دوم، پیوستن سیارات کوچک به هم و تشکیل سیارات اصلی است (شکل ۴-۶).



مرحله اول تشکیل سیارات اصلی

مرحله دوم تشکیل سیارات کوچک

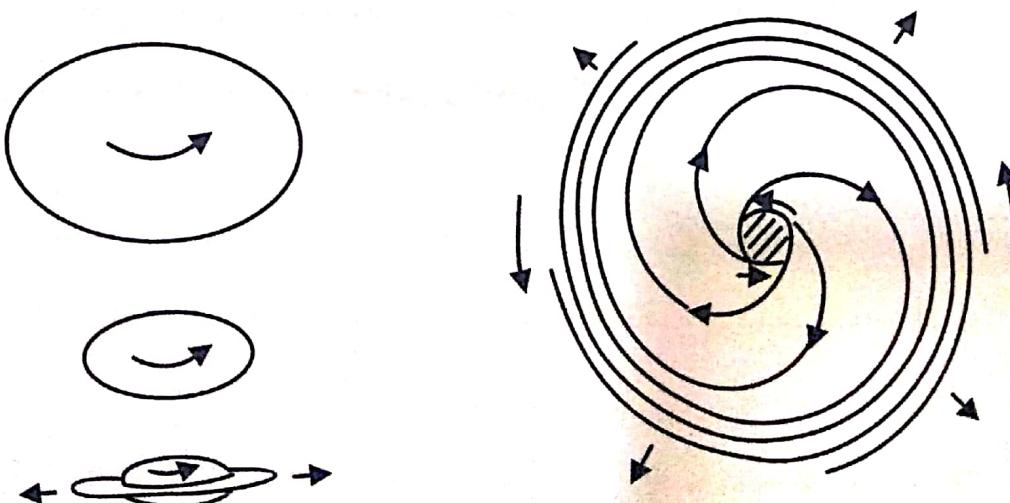
شکل ۴-۶ نمایش فرضیه اسمیت

عواملی که نقش عمده‌ای در این تغیر و تبدیل داشتند، عبارت‌اند از: نیروی جاذبه و سپس تبدیل انرژی مکانیکی اجرام به انرژی حرارتی و تشعشع آن‌ها. در مرحله اول ذرات غباری شکل به علت حرکت‌های نامنظم خود با یکدیگر برخورد کرده، از مداری به مدار دیگر منتقل می‌شوند. از طرفی به علت زیاد بودن جرم ذرات جامد نسبت به ذرات گازی، سرعت ذرات جامد، در حرکت نامنظم، کمتر از سرعت ذرات گاز بود، از این‌رو، بعد از مدتی بر اثر برخورد ذرات با یکدیگر ذرات گازی در دو خارجی و ذرات جامد در وسط جای گرفتند. اجتماع ذران

جامد در وسط قرص موجب شد تا فاصله آن‌ها کم و نیروی جاذبه بین آن‌ها زیاد شود. این افزایش نیروی جاذبه در تراکم بیشتر ذرات جامد مؤثر گشته و سیارات کوچک را تشکیل داده است. ایرادهایی که به فرضیه اسمیت وارد است درباره تشکیل سیاره‌های منظومه خورشیدی است و شامل چگونگی تشکیل خورشید نیست. بنابراین، نمی‌تواند پیدایش تمام اجرام آسمانی را توضیح دهد. همچنین اسمیت درباره پیدایش ماده ابری شکل اولیه کاملاً سکوت کرده است (حریریان، ۱۳۷۰).

۴-۲-۵ نظریه هویل

هویل^۱، دانشمند انگلیسی، این فرضیه را در سال ۱۹۵۵ میلادی مطرح کرد. او تشکیل سیارات را به تشکیل خود خورشید ربط می‌دهد و معتقد است که همه آن‌ها از ابری گازی شکل، که دارای میدان مغناطیسی و در حال چرخش‌اند، به وجود آمده است. این ابر تحت تأثیر جاذبه موجود بین ذرات متسلسله خود متراکم و در حالی که به تدریج بر سرعت چرخش آن اضافه شده، به صورت یک بیضی مسطح درآمده است (شکل ۴-۷).



شکل ۴-۷ سه مرحله متوالی انقباض سحابی اولیه به نظر هویل

خوپل با محسنه لشان می‌دهد، در لحظه‌ای که قطر استوا به توده به حد مطلوب فعلی عطاارد بر سر، قسمت مرگزی توده به تدریج منطبق می‌شود و سرتجم خورشید را تشکیل می‌دهد، هنین فرایندی در انتقال مقدار حرکت زاویه‌ای بین جرم مرگزی (خورشید) و فرص اولیه دخالت می‌کند، خطوط مغناطیسی خارج شده از خورشید (شکل ۷-۴) مثل طناب‌های یونیزه شده‌ای فرض شده‌اند؛ در حالی که خورشید سریع‌تر از فرص می‌چرخد، خطوط نیرو مطابق شکل به خود می‌بیند و حرکت خورشید را کند و، به عکس، حرکت فرص را سریع می‌کنند؛ بدین ترتیب مقدار حرکت را از قسم مرگزی به فرص گازی انتقال می‌دهند. مطابق با این نظریه، ترکیب فرص گازی با ترکیب خورشید فعلی، ستار گان، و مواد موجود بین ستار گان تفاوت کمی دارد، یعنی اساساً شامل هیدروژن، هلیوم و مقدار ناقیزی از عناصر سنگین است. در ابتدا، به علت گرمای خورشید، تنها عناصر سنگین می‌توانستند به صورت ذرات ریز در انتهای فرص قرار گیرند و به گسترش و اپاشتگی خود ادامه دهند. سیارات خاکی، که به طور عمده از آهن، سیلیسیم و مینیزیم تشکیل شده‌اند، بدین گونه به وجود آمدند. در مرحله بعدی، برای اینکه موادی نظیر آمونیاک بتوانند جامد شوند، گاز به اندازه کافی از خورشید دور شده است و بی‌شک چهار سیاره بزرگ گازی در ابتدا قطعات بزرگی از پیش بوده‌اند (یخ زیادی از گاز کافی بوده است (شفقی و مدنی، ۱۳۶۷).