گذری ساده بر نجوم

انجمن علمی-دانشجویی دانشگاه بوعلی سینا

تهیه و گردآوری: سهیل شاهسون
آخرین بروزرسانی 12 آبان 1403

انجمن علمی دانشجویی نجوم
دانشگاه بوعلی سینا

فهرست مطالب

فصل 1: معرفی و گذری بر تاریخچه علم نجوم 1
1-1 گذری بر تاریخچه علم نجوم 1
1-1-1 تمدن‌های باستانی 1
1-1-2 تهیه نقشه سماوی 1
1-1-3 اسناد باستانی 2
1-1-4 جهت‌یابی 3
1-2 روند تاریخی 5
1-2-1 نجوم در دوران باستان 5
1-2-2 یونان باستان و ظهور نجوم نظری 6
1-2-3 انقلاب علمی و تغییر دیدگاه به خورشیدمرکزی 8
1-2-4 عصر نیوتن و فیزیک کلاسیک 9
1-2-5 قرن بیستم و نظریه نسبیت 10
1-2-6 عصر فضا و ابزارهای پیشرفته 11
1-2-7 عصر حاضر و نجوم چندرسانه‌ای 14
فصل 2 : پیدایش جهان 16
2-1 کیهان چیست؟ 16
2-2 مقیاس کیهان 17
2-3 مقایسه قطر کهکشان راه شیری با قطر کیهان 17
2-4 اثر دوپلر (Doppler effect) 18
2-5 کشف هابل 18
2-6 کیهان قابل مشاهده 19
2-7 دیگر نظریات 20
2-7-1 نظریه حالت پایدار (Steady State Theory) 20
2-7-2 نظریه بوزونیک (Ekpyrotic Theory) 20
2-7-3 نظریه تورم کیهانی (Cosmic Inflation Theory) 20
2-7-4 مدل چرخه‌ای (Cyclic Model) 21
2-7-5 نظریه جهان‌های موازی (Multiverse Theory) 21
فصل 3: اجزای تشکیل دهنده جهان 21
3-1 ستارگان 21
3-2 سیارات 22
3-3 سحابی‌ها 23

3-3-1 سحابی‌های گسیلشی (Emission Nebulae): 23
3-3-2 سحابی‌های بازتابی (Reflection Nebulae): 23
3-3-3 سحابی‌های تاریک (Dark Nebulae): 24
3-4 سیارک‌ها 24
3-5 اقمار 25
3-6 انواع دنباله‌دارها 26
3-7 شهابواره‌ها 26
3-8 منظومه 27
3-9 خوشه‌های ستاره‌ای 27
فصل 4: ساختار و تحول ستارگان 31
4-1 مراحل زندگی ستارگان 31
4-1-1 تولد در سحابی‌ها 31
4-1-2 مرحله توالی اصلی 32
4-1-3 مرحله غول سرخ 33
4-1-4 مرحله هم‌جوشی هلیوم و سوختن عناصر سنگین‌تر (برای ستارگان پرجرم): 34
4-1-5 پایان زندگی: 34
4-1-6 پایان زندگی ستارگان کم‌جرم و تشکیل کوتوله سفید: 34
فصل 5: گذری بر عکاسی نجومی 35
5-1 انواع عکاسی نجومی 35
5-2 چیک! 35
5-3 یافتن اجرام آسمانی و رهگیری آنها 36
5-4 نویزها 37
5-5 سیر گرفتن یک عکس نجومی 37
فهرست منابع 39

فصل 1: معرفی و گذری بر تاریخچه علم نجوم

به طور عام به علم بررسی موقعیت، تغییرات، حرکت و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی اجرام آسمانی و رویدادهای آسمان، نجوم گفته می‌شود.

1-1 گذری بر تاریخچه علم نجوم

1-1-1 تمدن‌های باستانی

تاریخچه ستاره‌شناسی به بیش از 6 هزار سال پیش برمیگردد و آن را مبدل به کهن ترین علم نموده است. تقریبا هر تمدنی در طول تاریخ به مطالعه خورشید، ماه و ستارگان پرداخته و چگونگی حرکت اجرام سماوی در گستره آسمان به تماشا نشسته است.

انسان‌های اولیه مجذوب الگوهای تکرار شونده در جهان اطراف بوده است. پدیده‌هایی مثل تغییر دمای هوا، زمان و موقعیت طلوع خورشید، اهله ماه و... چنین پدیده‌هایی به خدایان یا قدرت‌های ماورایی نسبت داده می‌شد.

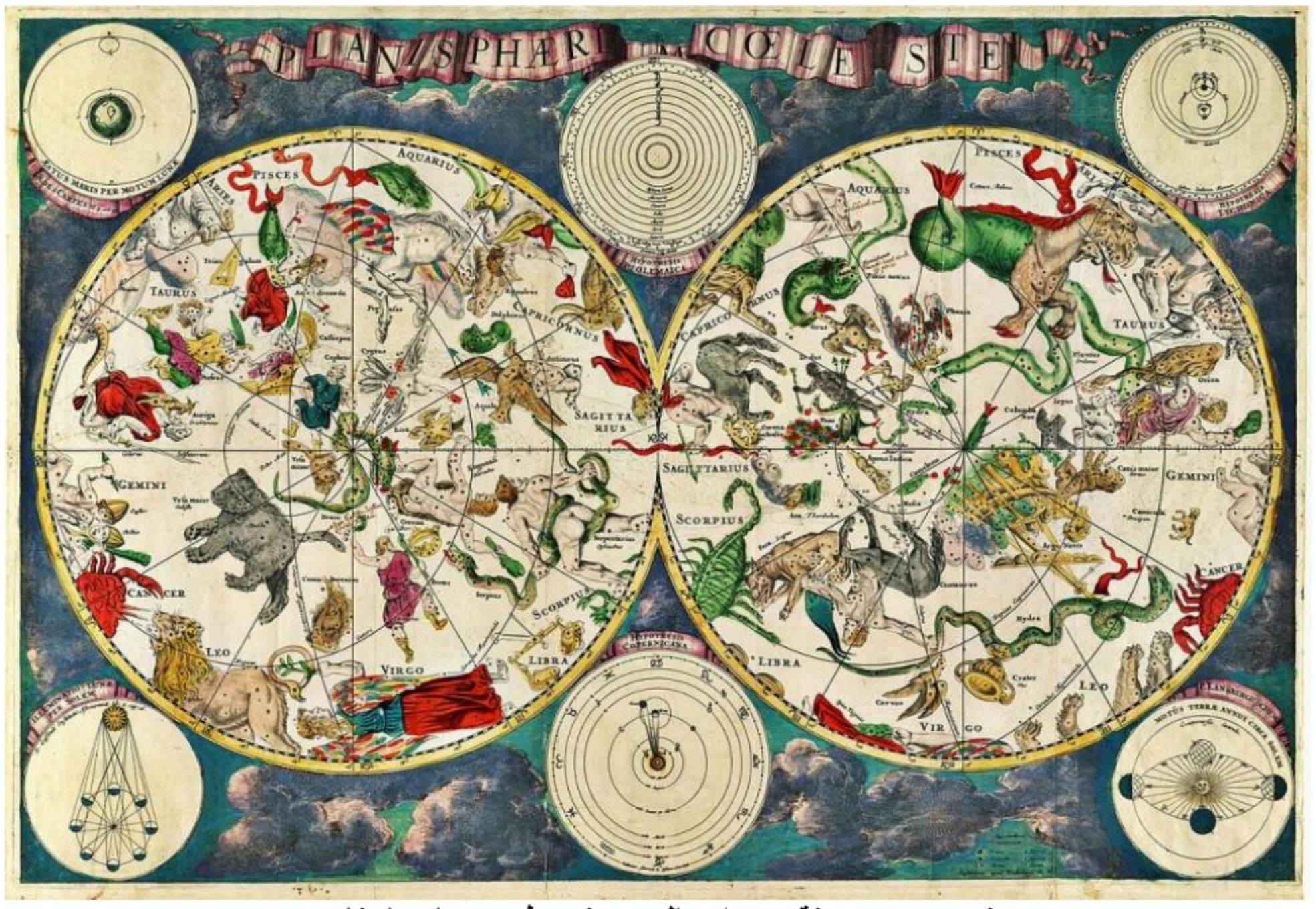
چندین هزار سال قبل احتمالا اولین ستاره‌شناسان، چوپان‌ها یا کشاورزان خاورمیانه بودند که در جست‌وجوی نشانه‌های تغییر فصل‌ها به مشاهده آسمان شب می‌پرداختند.

مصریان باستان برای برنامه‌ریزی کاشت و برداشت محصولات خود به مشاهدات نجومی تکیه می‌کردند.

همچنین بسیاری از تمدن‌های اولیه تقویم‌ها، ساعت‌های خورشیدی و یا ساعت‌های آبی را گسترش دادند.

1-1-2 تهیه نقشه سماوی

ستاره‌شناسی همواره با نقشه‌کشی و نام‌گذاری ستارگان همراه بوده است. در حدود 3500 سال سال قبل از میلاد مسیح مصری‌های باستان دایره‌البروج را به دوازده صورت فلکی امروزی تقسیم کرد.



تصویر 1-1 - تقسیم دایره‌البروج توسط مصریان باستان

در چین و هند باستان 28 جایگاه قمری ساخته شده بود تا حرکت ماه را در طول مسیر ماهانه‌اش به نمایش بگذارید.

یونانیان باستان اولین کسانی بودند که در حدود 100 تا 150 سال پیش از میلاد بیش از هزار تا از درخشان ترین ستارگان آسمان را فهرست بندی کردند.

جمع آوری سامان یافته اطلاعات نجومی در بین سال‌های 3000 تا 1000 پیش از میلاد توسط سومریان و بابلیان به دلیل غیب‌گویی‌هایی تشریفاتی و سیاسی گسترش یافت.

1-1-3 اسناد باستانی

لوح‌های گلی که از بین‌النهرین یافت شده‌اند از ابتدایی‌ترین لوح‌های گلی هستند که تاریخ بعضی از آنها به 1100 سال پیش از میلاد برمی‌گردد.

تصویر 2-1 - یک لوح گلی کوچک که موقعیت شهر باستانی بابل را به عنوان مرکز جهان ترسیم کرده است، به عنوان کهن‌ترین نقشه تاریخ شناخته می‌شود و قدمت آن به احتمال زیاد به ۲۹۰۰ تا ۲۶۰۰ سال قبل بازمی‌گردد.

1-1-4 جهت‌یابی

پیدا کردن چهار جهت جغرافیایی و استفاده از ستاره قطبی برای تعیین عرض جغرافیایی مهم‌ترین اکتشافات ستاره‌شناسان باستان بود. که این دانش جهت یابی برای سازه‌ها مخصوصا آرامگاه‌ها و معابد را ممکن می‌ساخت. همچنین تولید نقشه‌های دقیق زمینی کمک می‌کرد.

در بین سال‌های ۳۰۰۰ تا ۲۰۰۰ قبل از میلاد، مردمان استون هنج در شمال غربی اروپا از هم‌ترازی‌های خورشیدی در انقلاب‌ها و اعتدال‌ها، اهله ماه و دیگر داده‌های نجومی برای بنا نهادن دایره‌های سنگی بزرگی در انگلستان و نیوگرانژ در ایرلند استفاده کردند.

تصویر 3-1 - استون هنج

محراب‌های آتش بر پایه‌ای نجومی تعیین مکان می‌شدند وبا سه هزار سال قدمت، در چندین محل باستانی در هند یافت شده‌اند.

همچنین اهرام مصر از جمله پیچیده‌ترین سازه‌هایی است که بر اساس ستاره شناسی بنا شده اند.

اهرام بزرگ ثلاثه جیزه جهت گیری نجومی دارند و چهار گوشه آن، چهار جهت جغرافیایی را نشان می‌دهند.

1-2 روند تاریخی

1-2-1 نجوم در دوران باستان

در دوران باستان، نجوم عمدتاً با زندگی روزمره مردم پیوند خورده بود. تمدن‌های باستانی مانند سومری‌ها، بابلی‌ها، مصری‌ها، هندی‌ها و چینی‌ها اولین کسانی بودند که به مطالعه الگوهای حرکت خورشید، ماه و ستارگان پرداختند و این الگوها را در جهت اهداف کاربردی مانند کشاورزی، تقویم‌سازی و پیش‌بینی رویدادهای طبیعی به کار گرفتند.

- تمدن بین‌النهرین (سومری‌ها و بابلی‌ها)

تمدن‌های بین‌النهرین (به‌ویژه سومری‌ها و بابلی‌ها) یکی از اولین تمدن‌هایی بودند که با مشاهده دقیق حرکات اجرام آسمانی به پیش‌بینی وقایعی مانند کسوف و خسوف پرداختند. بابلی‌ها حدود ۳۵۰۰ سال قبل از میلاد شروع به ثبت حرکات سیارات کردند و از جداول نجومی برای پیش‌بینی رویدادهای کیهانی استفاده می‌کردند. این تمدن اولین تقویم قمری را تدوین کرد و موفق به تقسیم سال به ۱۲ ماه قمری شد.

- مصر باستان

در مصر باستان، نجوم ارتباط نزدیکی با زندگی مذهبی و کشاورزی داشت. مصریان از ستاره سریوس (شعرای یمانی) برای تنظیم تقویم خود استفاده می‌کردند. ظهور دوباره این ستاره در افق شرقی نشانگر فرا رسیدن سیل سالانه رود نیل بود که زمان مناسبی برای کشت محصولات زراعی محسوب می‌شد. مصری‌ها همچنین در ساختار اهرام و معابد خود از اصول نجومی استفاده می‌کردند؛ به‌طوری‌که ساخت اهرام گیزه به گونه‌ای

انجام شد که به جهات اصلی جغرافیایی و ستارگان خاصی مانند ستاره قطبی تنظیم شود.

- نجوم در چین باستان

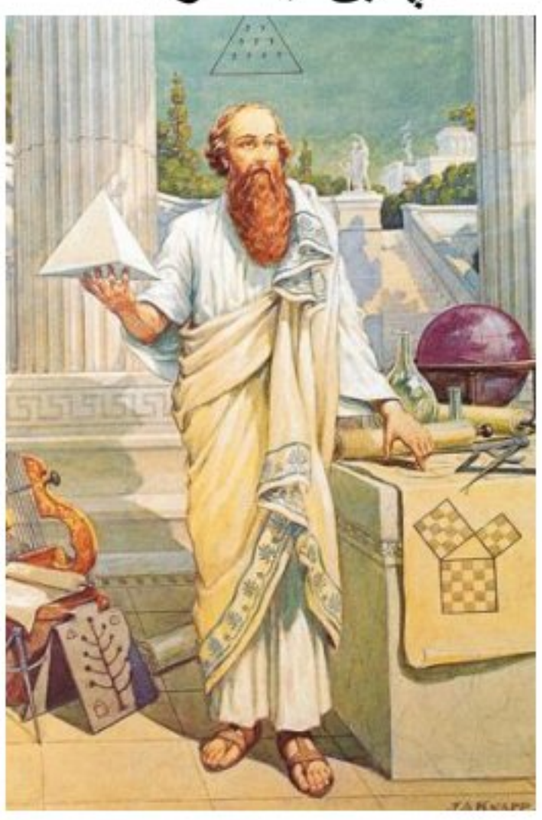
چینی‌ها نیز از قدیمی‌ترین ستاره‌شناسان دنیا بودند. آنها از حدود ۲۰۰۰ سال پیش از میلاد، مشاهدات دقیقی از پدیده‌های آسمانی را به ثبت رساندند و به پیش‌بینی رخدادهای طبیعی همچون خورشیدگرفتگی پرداختند. ستاره‌شناسان چینی همچنین توانستند اولین فهرست‌های صورت‌های فلکی را تهیه کنند و از نجوم برای تصمیم‌گیری‌های حکومتی و پیش‌بینی آینده استفاده می‌کردند. آنها حتی توانستند انفجار یک ابرنواختر را در سال ۱۰۵۴ میلادی مشاهده و ثبت کنند.

- نجوم در هند باستان

در هند باستان، نجوم با مذهب و زمان‌بندی مناسک دینی در ارتباط بود. هندی‌ها به ویژه به حرکت ماه و سیارات توجه داشتند و تقویم‌های قمری و خورشیدی پیچیده‌ای برای تعیین زمان جشن‌ها و مراسم دینی خود ابداع کردند. آنها همچنین به توسعه نظریات اولیه در مورد حرکت اجرام آسمانی و مدار سیارات پرداختند.

- کاربردهای نجوم در دوران باستان

نجوم در دوران باستان بیشتر به عنوان ابزاری کاربردی به کار می‌رفت و از آن برای جهت‌یابی، ساخت سازه‌های مذهبی، و پیش‌بینی فصل‌ها استفاده می‌شد. از بناهای مشهور با کارکردهای نجومی در این دوران، می‌توان به استون‌هنج(تصویر 3-1) در انگلستان اشاره کرد که با الگوهای خورشیدی و قمری هماهنگ شده بود و احتمالاً به عنوان یک تقویم عظیم برای پیش‌بینی اعتدال‌ها و انقلاب‌های فصلی مورد استفاده قرار می‌گرفت.



تصویر 4-1 - فیثاغورث

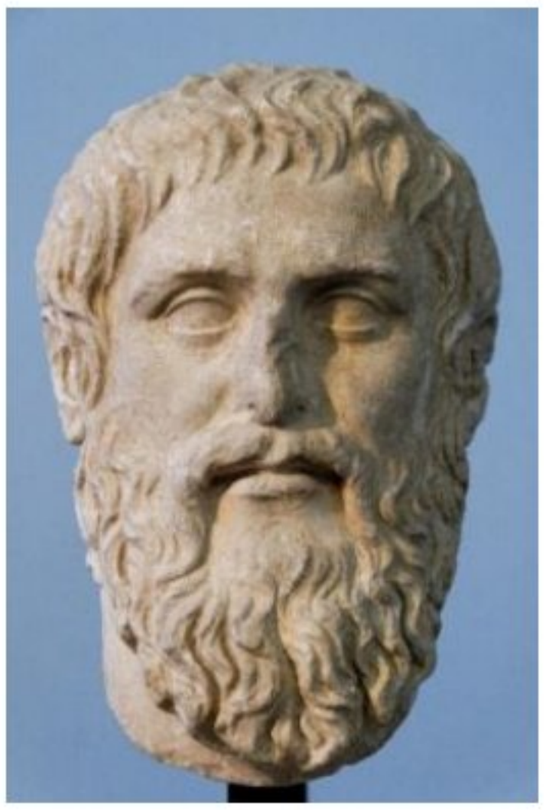
این دوره زمانی پایه‌گذار نجوم کاربردی و مشاهده‌ای بود که زمینه‌ساز توسعه نجوم نظری در دوره‌های بعدی شد.

1-2-2 یونان باستان و ظهور نجوم نظری

در یونان باستان، علم نجوم از حوزه کاربردی به حوزه نظری وارد شد و به یک علم ریاضی و فلسفی تبدیل گشت. فیلسوفان یونانی نخستین کسانی بودند که تلاش کردند حرکت‌های اجرام آسمانی را به کمک مدل‌های هندسی و ایده‌های فلسفی توصیف کنند. این دیدگاه نظری به تدریج شکل گرفت و به یکی از مهم‌ترین دوره‌های تحول در تاریخ نجوم تبدیل شد.

- فیثاغورث و تأثیر فلسفه بر نجوم

فیثاغورث و پیروان او به رابطه میان ریاضیات و جهان هستی توجه زیادی داشتند و معتقد بودند که قوانین ریاضی بر همه چیز حاکم است. آنان به این نتیجه رسیدند که زمین، سیارات، و ستارگان همگی بر اساس نسبتی هماهنگ حرکت می‌کنند و این



تصویر 5-1 - افلاطون

حرکت‌ها تابع نظم کیهانی خاصی هستند. این نگرش فلسفی به ایده‌های بعدی در علم نجوم، مانند هندسه سماوی، کمک بسیاری کرد.

- ارسطو و نظریه زمین‌مرکزی

ارسطو (۳۸۴-۳۲۲ ق.م) با مطرح‌کردن مدل زمین‌مرکزی، تأثیر زیادی بر تفکر نجومی غرب داشت. او معتقد بود که زمین در مرکز جهان قرار دارد و همه اجرام آسمانی به شکل دایره‌ای به دور آن می‌چرخند. به نظر او، زمین ثابت و بدون حرکت است و این باور تا قرن‌ها در نجوم پذیرفته شده بود. ارسطو همچنین با تقسیم جهان به دو بخش، یعنی زمین زیرین (فانی) و آسمان‌ها (ابدی و تغییرناپذیر)، زمینه‌ساز بسیاری از نظریات بعدی شد.

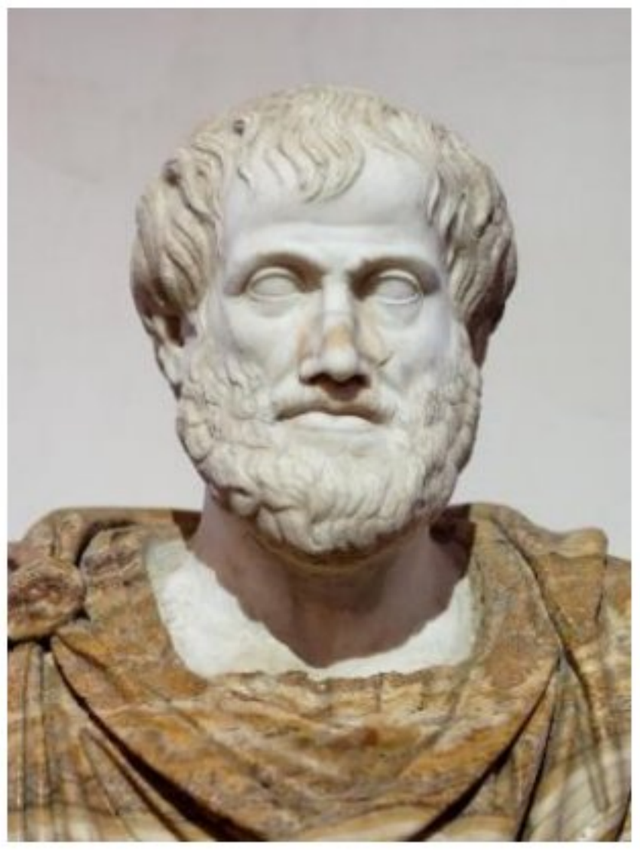
- افلاطون و حرکت دایره‌ای اجرام

تصویر 6-1 - ارسطو

افلاطون نیز در فلسفه خود به مدل دایره‌ای برای حرکت اجرام آسمانی اعتقاد داشت و دایره را به عنوان کامل‌ترین شکل هندسی می‌دانست. این دیدگاه تأثیر زیادی بر فلسفه طبیعی و مدل‌های کیهانی داشت و بسیاری از اخترشناسان یونانی و پس از آن، عربی و غربی از آن برای توضیح حرکت سیارات استفاده کردند.

- بطلمیوس و مدل زمین‌مرکزی بطلمیوسی

کلودیس بطلمیوس (قرن دوم میلادی) که یکی از برجسته‌ترین اخترشناسان یونان باستان محسوب می‌شود، نظریات ارسطو را با دقت بیشتری بررسی و مدل زمین‌مرکزی معروف خود را در کتاب المجسطی شرح داد. در مدل بطلمیوسی، سیارات در مدارهای دایره‌ای به دور زمین می‌چرخند و علاوه بر آن، برای توضیح برخی انحرافات، مدارهای کوچکی به نام "افلاک تدویر" به مسیر حرکت سیارات افزوده شده است. این مدل توانست با موفقیت بسیاری از مشاهدات را توضیح دهد و به مدت حدود ۱۴۰۰ سال به‌عنوان مدل استاندارد نجومی باقی بماند.

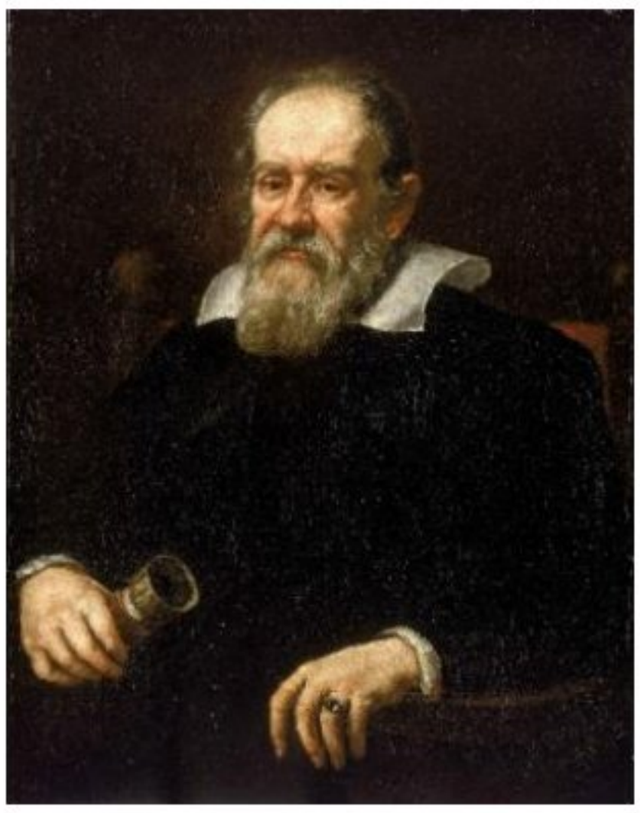


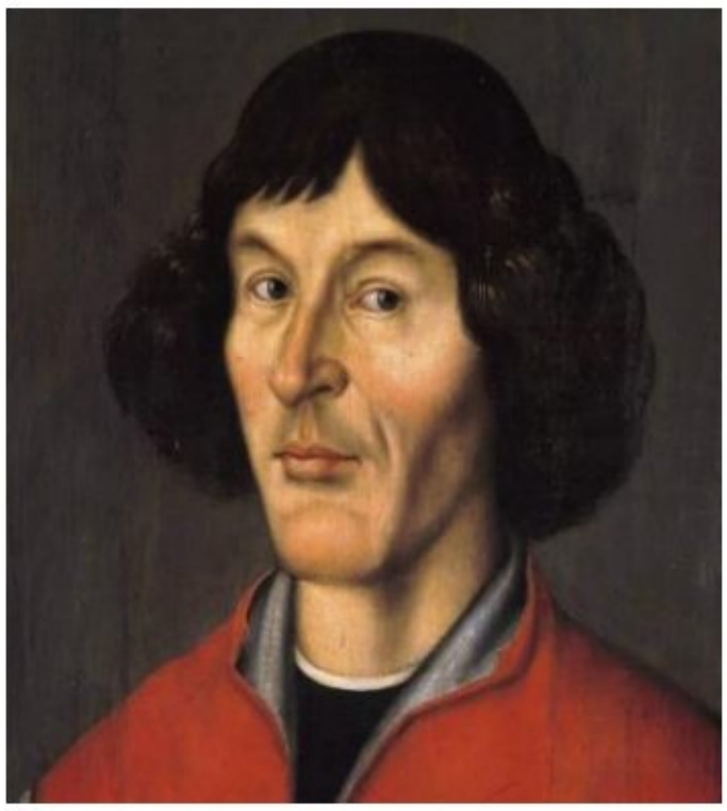
تصویر 7-1 - کلودیس بطلمیوس

- تلاش برای درک حرکت سیارات

فیلسوفان و دانشمندان یونانی همچنین تلاش کردند حرکت‌های غیرعادی سیارات را تبیین کنند. حرکت‌های پس‌رونده سیارات (یعنی زمانی که به‌نظر می‌رسد سیاره‌ای به عقب حرکت می‌کند) یکی از چالش‌های بزرگ در نجوم باستان بود. بطلمیوس برای توضیح این

حرکت‌ها از مفهومی به نام "افلاک تدویر" استفاده کرد که به سیارات اجازه می‌داد حرکت‌های غیرعادی خود را در مدارهای کوچک‌تر به دور مدار اصلی خود داشته باشند. این ایده به مدل پیچیده‌ای انجامید که توانست به دقت بیشتری حرکت سیارات را توضیح دهد.
این دیدگاه‌های نظری و مدل‌های هندسی، پایه‌ای برای پیشرفت‌های بعدی در علم نجوم شد و زمینه‌ساز انقلاب علمی در دوره‌های بعدی گردید.


تصویر 8-1 - نیکولاس کوپرنیک


تصویر 9-1 - گالیلئو گالیله

1-2-3 انقلاب علمی و تغییر دیدگاه به خورشیدمرکزی

در قرن شانزدهم، نیکلاس کوپرنیک، ستاره‌شناس و ریاضیدان لهستانی، کتابی با نام «درباره چرخش افلاک آسمانی» منتشر کرد که در آن نظریه خورشیدمرکزی را مطرح کرد. او به این نتیجه رسید که خورشید در مرکز منظومه شمسی قرار دارد و سیارات، از جمله زمین، در مدارهای خود به دور آن می‌چرخند. این نظریه، با به چالش کشیدن دیدگاه زمین‌مرکزی بطلمیوسی که در حدود ۱۴۰۰ سال به عنوان دیدگاه غالب باقی مانده بود، باعث بروز انقلابی در علم و فلسفه شد.
یوهانس کپلر، ستاره‌شناس آلمانی، در ادامه کار کوپرنیک، سه قانون حرکت سیارات را توسعه داد. او نشان داد که مدار سیارات بیضوی است، نه دایره‌ای، که این امر در تناقض با نظریات بطلمیوسی و همچنین باورهای آن دوران قرار داشت. کپلر با استفاده از داده‌های مشاهداتی دقیق به این نتیجه رسید که سرعت حرکت سیارات در مدارهایشان متغیر است و به فاصله آنها از خورشید بستگی دارد.

تصویر 10-1 - یوهانس کپلر

گالیلئو گالیله، دانشمند و فیلسوف ایتالیایی، با استفاده از تلسکوپ خود به مشاهدات دقیقی از آسمان پرداخت. او از نخستین افرادی بود که تلسکوپ را به سمت آسمان نشانه گرفت و توانست ماهیت ناهموار سطح ماه، چهار قمر بزرگ سیاره مشتری (که اکنون به نام قمرهای گالیله‌ای شناخته می‌شوند)، و فازهای سیاره زهره را مشاهده کند. این مشاهدات، شواهد محکمی برای تأیید نظریه خورشیدمرکزی بودند، زیرا مثلاً فازهای زهره تنها در صورت خورشیدمرکزی بودن منظومه قابل توجیه بودند.

این تغییر دیدگاه نه‌تنها به نفع علم، بلکه باعث تغییرات عمیقی در تفکرات فلسفی، مذهبی و فرهنگی شد. انقلاب علمی که در این دوران آغاز شد، یکی از دوره‌های مهم تحول در تاریخ علم محسوب می‌شود.
در دوران نیوتن و فیزیک کلاسیک، یکی از بنیادی‌ترین تغییرات در علم رخ داد که به درک ما از طبیعت، حرکت و ساختار جهان نظم تازه‌ای بخشید.

1-2-4 عصر نیوتن و فیزیک کلاسیک

در قرن هفدهم، ایزاک نیوتن، فیزیکدان، ریاضیدان و فیلسوف انگلیسی، دستاوردهای خود را در قالب نظریه‌های جدید و قوانین حرکت منتشر کرد. او در کتاب «اصول ریاضی فلسفه طبیعی» (Principia Mathematica)، سه قانون معروف حرکت خود را ارائه داد که به قوانین حرکت نیوتنی مشهور شدند. این قوانین، یعنی قانون اول (اینرسی)، قانون دوم (شتاب) و قانون سوم (عمل و عکس‌العمل)، چارچوبی برای درک حرکت اجسام فراهم کردند که نه تنها بر روی زمین، بلکه در کیهان نیز قابل استفاده بود.
یکی از مهم‌ترین دستاوردهای نیوتن، قانون جهانی گرانش بود. بر اساس این قانون، هر دو جسم در جهان به دلیل جرم خود، نیرویی به یکدیگر وارد می‌کنند که به طور مستقیم با جرم‌های آنها متناسب و به صورت معکوس با مربع فاصله بین آنها رابطه دارد. این قانون توضیحی دقیق برای حرکت سیارات به دور خورشید و حرکت قمرها به دور سیارات بود. قانون گرانش نیوتن این امکان را فراهم کرد که بتوان با استفاده از فرمول‌های دقیق، مسیر و حرکت اجرام آسمانی را پیش‌بینی کرد.

- تأثیر نیوتن در علم و فلسفه

نیوتن تنها یک فیزیکدان نبود؛ او با نظریات خود به شکل‌گیری دوره‌ای به نام عصر روشنگری کمک کرد. نظریات او، مفاهیم سنتی را به چالش کشید و علمی جدید به وجود آورد که بر پایه مشاهدات تجربی و قوانین ریاضی بود. دیدگاه مکانیکی او از جهان، به فلاسفه‌ای مانند جان لاک و دیوید هیوم الهام بخشید و باعث شد که نگرش علمی و تجربی به پدیده‌ها بیشتر رواج پیدا کند.

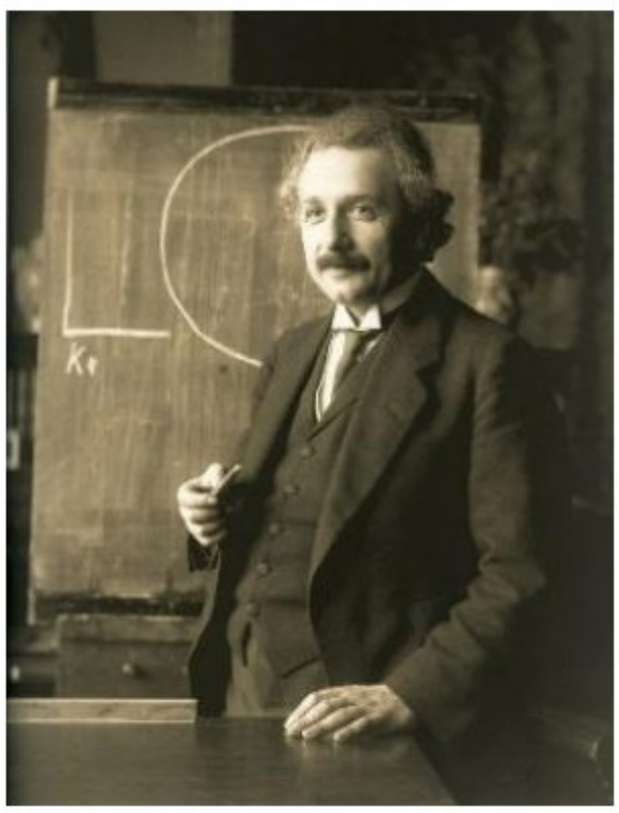
- تأثیر نیوتن بر نجوم و ساختار کیهان

با استفاده از قوانین نیوتن، دانشمندان می‌توانستند مسیر حرکت سیارات، ستارگان و حتی دنباله‌دارها را با دقت بالایی محاسبه کنند. به عنوان مثال، ادموند هالی با استفاده از قوانین نیوتن توانست مسیر حرکت دنباله‌داری را که هر ۷۶ سال یکبار به نزدیکی زمین می‌رسد، پیش‌بینی کند. این دنباله‌دار که به نام دنباله‌دار هالی شناخته می‌شود، اولین شواهد عملی از دقت قوانین نیوتن بود.

تصویر 11 - ایزاک نیوتون

- پایه‌ریزی علم جدید

قوانین حرکت و گرانش نیوتن پایه‌های فیزیک کلاسیک را بنا نهاد. این فیزیک کلاسیک به مدت چند قرن مبنای اصلی علوم طبیعی و فناوری بود و به توسعه ابزارهای علمی مانند تلسکوپ و دستگاه‌های اندازه‌گیری کمک کرد. این قوانین تا اوایل قرن بیستم و پیش از ظهور نظریه نسبیت اینشتین، به عنوان چارچوبی کامل برای توضیح حرکت اجرام آسمانی و رفتار اجسام مورد استفاده قرار می‌گرفت.
نیوتن با ارائه قوانین دقیق و منسجم، علم نجوم را به یک علم محاسباتی و پیش‌بینی‌کننده تبدیل کرد. او نشان داد که جهان بر اساس قوانین مشخص و غیرقابل تغییر عمل می‌کند که از طریق علم و تجربه قابل فهم است، و به این ترتیب علم نجوم و فیزیک را به سمت دقت ریاضی و قطعیت پیش برد.
قرن بیستم یکی از تحولات بزرگ در علم فیزیک و نجوم را به همراه داشت، که با ظهور نظریه‌های انقلابی آلبرت اینشتین آغاز شد. این دوره شاهد گذار از فیزیک کلاسیک نیوتنی به فیزیک مدرن بود که نه تنها درک ما از گرانش را تغییر داد، بلکه دریچه‌ای به مفاهیمی مانند انبساط جهان، سیاه‌چاله‌ها، و حتی سفر در زمان گشود.


تصویر 12-1 آلبرت اینشتین

1-2-5 قرن بیستم و نظریه نسبیت

در اوایل قرن بیستم، آلبرت اینشتین دو نظریه معروف خود را مطرح کرد: نسبیت خاص در سال ۱۹۰۵ و نسبیت عام در سال ۱۹۱۵ (رفرنس نسبیت خاص: فیزیک جدید کنت اس. کرین و مقاله انیشتین در کتاب انیشتین 1905). این نظریه‌ها ساختار فضا و زمان را به کلی دگرگون کردند.

نظریه نسبیت عام، راه را برای درک بهتر ساختار کیهان باز کرد. با استفاده از این نظریه، ستاره‌شناسان و فیزیکدانان به مفاهیمی مانند سیاه‌چاله‌ها و انبساط جهان دست یافتند. سیاه‌چاله‌ها، مناطقی از فضا هستند که چگالی جرم در آن‌ها به قدری بالاست که حتی نور هم نمی‌تواند از آن‌ها فرار کند. نسبیت عام این امکان را فراهم کرد که فیزیکدانان پیش‌بینی‌های دقیقی درباره ساختار و ویژگی‌های سیاه‌چاله‌ها انجام دهند، که بعدها توسط مشاهدات نجومی تأیید شد.
همچنین، ادوین هابل، اخترشناس آمریکایی، در دهه ۱۹۲۰ کشف کرد که کهکشان‌ها از هم دور می‌شوند و جهان در حال انبساط است. این کشف باعث شد که نظریه مه‌بانگ (Big Bang)، به عنوان مدل آغازین جهان مطرح شود. نسبیت عام اساس ریاضی و نظری برای درک انبساط جهان و مدل‌های کیهانی مانند بیگ بنگ را فراهم کرد. (در ادامه به چگونگی کشف هابل و بیگ بنگ می‌رسیم)

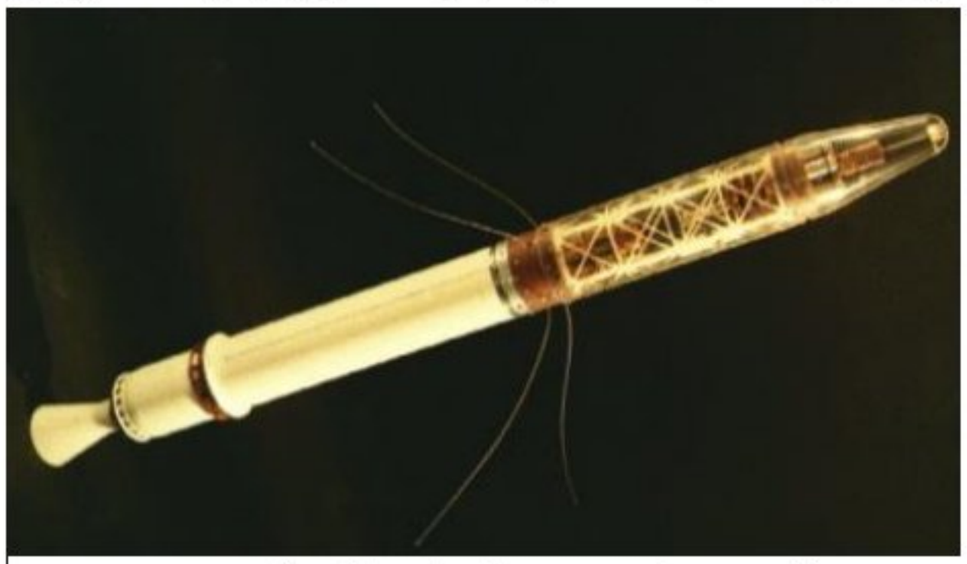
1-2-6 عصر فضا و ابزارهای پیشرفته

- آغاز عصر فضا

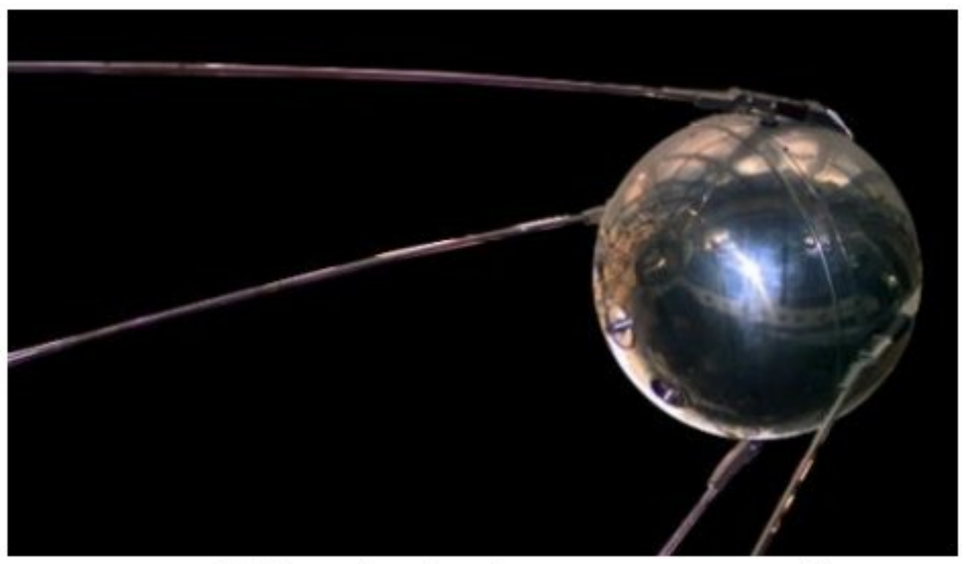
آغاز رسمی عصر فضا به سال ۱۹۵۷ برمی‌گردد، زمانی که شوروی نخستین ماهواره جهان، اسپوتنیک 1، را به فضا پرتاب کرد. این مأموریت، موفقیت چشمگیری بود و نشان داد که ارسال اجسام مصنوعی به مدار زمین امکان‌پذیر است. در پی آن، ایالات متحده نیز با فرستادن ماهواره اکسپلورر 1 به فضا در سال ۱۹۵۸، به رقابت فضایی وارد شد. این رقابت میان دو ابرقدرت به نام رقابت فضایی شناخته می‌شود و منجر به تحولات بی‌سابقه‌ای در کاوش‌های فضایی شد.

- مأموریت‌های آپولو و قدم گذاشتن بر ماه

در سال ۱۹۶۹، مأموریت آپولو ۱۱ ناسا، نخستین انسان‌ها را به ماه فرستاد. فضانوردان نیل آرمسترانگ و باز آلدرین به عنوان



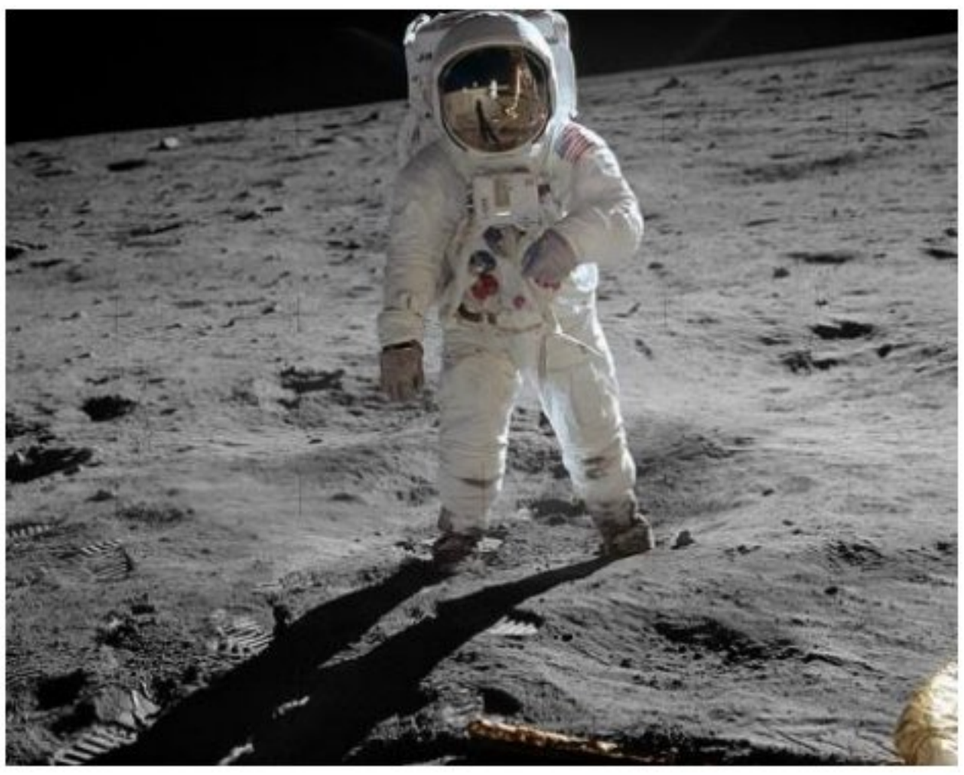
تصویر 1-13 - ماهواره اکسپلورر 1



تصویر 1-14 – ماهواره اسپوتنیک 1

اولین انسان‌ها بر سطح ماه قدم گذاشتند و این موفقیت به عنوان یکی از بزرگ‌ترین دستاوردهای بشری در تاریخ علم شناخته شد. این مأموریت و مأموریت‌های بعدی آپولو، نمونه‌های سنگ‌های ماه را به زمین آوردند و اطلاعات گسترده‌ای درباره ساختار ماه و پیدایش آن فراهم کردند. این دستاورد نه تنها اعتماد به فناوری فضایی را افزایش داد، بلکه باعث شد انسان‌ها به کاوش‌های گسترده‌تر در منظومه شمسی فکر کنند.

البته می‌دانیم که هجمه‌های بسیاری به این مأموریت وارد شده است، که تأیید و رد آن در بحث علمی نمیگنجد.

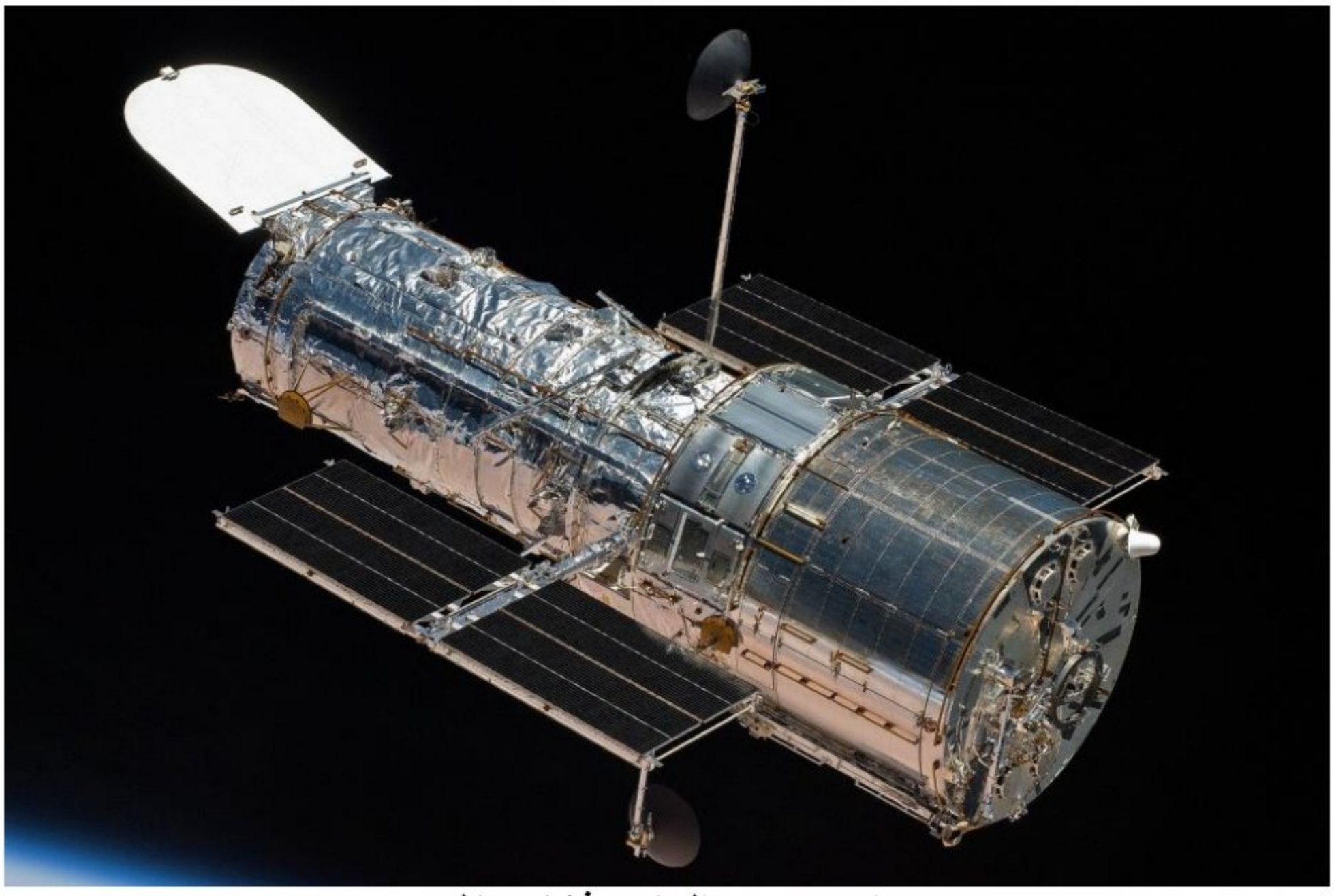


تصویر 16-1 - باز آلدرین بر ماه. عکس توسط نیل آرمسترانگ گرفته شده است. (آرمسترانگ در انعکاس شیشه کلاهخود دیده می‌شود)

تصویر 15-1 - چپ به راست: نیل آرمسترانگ، مایکل کولینز، باز آلدرین

- تلسکوپ فضایی هابل

یکی از مهم‌ترین دستاوردهای عصر فضا، پرتاب تلسکوپ فضایی هابل در سال ۱۹۹۰ بود. این تلسکوپ، که در خارج از جو زمین مستقر شده بود، توانست تصاویری با وضوح بالا از کیهان ثبت کند و جهان را با جزئیات بی‌نظیری به نمایش بگذارد. هابل به اخترشناسان کمک کرد تا بسیاری از اجرام کیهانی از جمله کهکشان‌های دوردست، سحابی‌ها و سیاه‌چاله‌ها را مطالعه کنند. این تلسکوپ به روشن شدن سن و ابعاد جهان، همچنین بررسی نرخ انبساط کیهان و حتی کشف انرژی تاریک کمک شایانی کرد و زمینه را برای پیشرفت‌های مهمی در کیهان‌شناسی فراهم ساخت.



تصویر 17 – تلسکوپ فضایی هابل

- کاوشگرهای سیاره‌ای

عصر فضا شاهد ارسال کاوشگرهایی به سیارات و اجرام مختلف منظومه شمسی بود. کاوشگرهای وویجر ۱ و ۲، که در سال ۱۹۷۷ به فضا پرتاب شدند، از سیارات مشتری، زحل، اورانوس و نپتون عبور کردند و تصاویر و اطلاعاتی از این سیارات و قمرهایشان به زمین فرستادند که تا پیش از آن هرگز دیده نشده بود. وویجرها همچنان به عنوان کاوشگرهای دوردست، به حرکت خود در خارج از منظومه شمسی ادامه می‌دهند و اطلاعاتی از محیط میان‌ستاره‌ای به زمین ارسال می‌کنند.

تصویر 18-1 - فضاپیمای وویجر ۲

همچنین، کاوشگرهای مارس رووِر که توسط ناسا به مریخ فرستاده شدند، نقشه‌برداری و نمونه‌برداری از سطح مریخ را انجام دادند و شواهدی از وجود آب مایع در گذشته این سیاره ارائه کردند. مأموریت‌های کاوشگرهای دیگر همچون کاسینی در زحل و نیو هورایزنز در پلوتو، دریچه‌های جدیدی به شناخت منظومه شمسی باز کردند.

- پیشرفت‌های فناوری و آغاز کاوش‌های بین‌ستاره‌ای

عصر فضا با توسعه فناوری‌های پیشرفته در حوزه‌های مختلف همراه بود. ابزارهای دقیق‌تری همچون تلسکوپ‌های رادیویی و اشعه ایکس به اخترشناسان این امکان را داد تا طیف وسیعی از پرتوهای کیهانی را بررسی کنند. پرتاب ماهواره‌های متعدد مانند چاندرا و اسپیتزر در این دوره، به درک دقیق‌تری از کهکشان‌ها، سیاه‌چاله‌ها، و اجرام دیگر انجامید.

- مأموریت‌های بین‌المللی و همکاری جهانی

با گذشت زمان، همکاری‌های بین‌المللی نیز در کاوش‌های فضایی افزایش یافت. ایستگاه فضایی بین‌المللی (ISS) ، نتیجه همکاری ناسا، آژانس فضایی اروپا، روسیه، ژاپن و کانادا، به عنوان یک پایگاه تحقیقاتی در مدار زمین عمل می‌کند و پژوهش‌های متنوعی را در زمینه‌های پزشکی، زیست‌فناوری، و فیزیک انجام می‌دهد. این ایستگاه نمادی از اتحاد جهانی در تحقیقات فضایی است.

- جستجوی حیات فرازمینی (Astrobiology)

با پیشرفت ابزارهای فضایی و زمینی، دانشمندان به دنبال کشف سیاراتی خارج از منظومه شمسی (سیارات فراخورشیدی) و بررسی امکان حیات در آن‌ها هستند. مأموریت‌هایی مانند کپلر و تس، هزاران سیاره فراخورشیدی را شناسایی کرده‌اند و برخی از آن‌ها در مناطق قابل سکونت قرار دارند، که این موضوع امید به کشف حیات فرازمینی را افزایش داده است.

1-2-7 عصر حاضر و نجوم چندرسانه‌ای

- ابزارهای جدید و پیشرفته

تصویر 19-1 - ایستگاه فضایی بین‌المللی

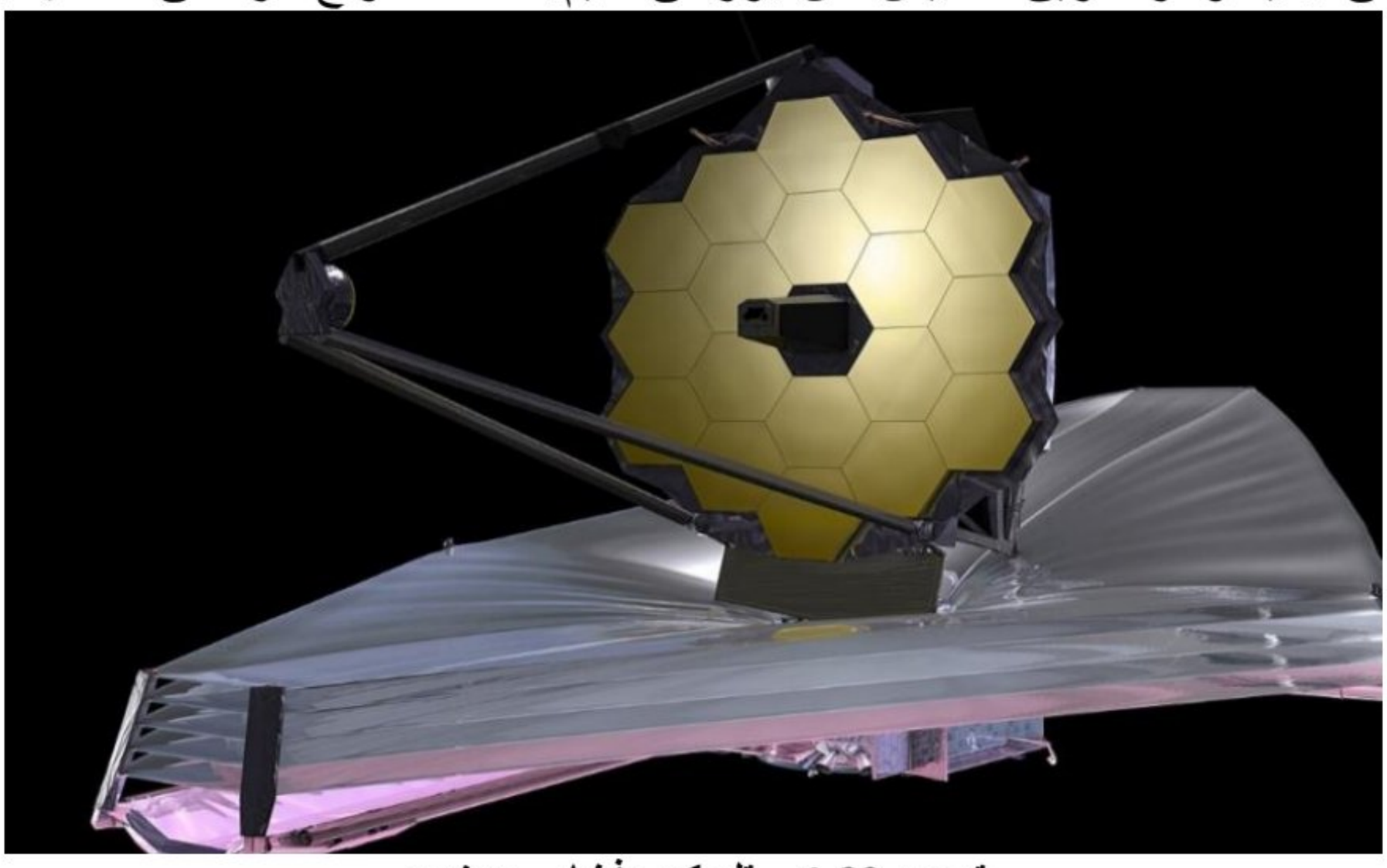
یکی از دستاوردهای کلیدی عصر حاضر، توسعه و به‌کارگیری تلسکوپ فضایی جیمز وب (JWST) است که در سال ۲۰۲۱ به فضا پرتاب شد. این تلسکوپ، مجهز به ابزارهای مادون قرمز است و به دانشمندان اجازه می‌دهد که اعماق کیهان را با وضوح و دقت بی‌نظیری مشاهده کنند. جیمز وب به ما کمک می‌کند تا کهکشان‌های دوردست و حتی نخستین ستارگان و کهکشان‌هایی که پس از انفجار بزرگ (Big Bang) شکل گرفته‌اند را مشاهده کنیم. این ابزار می‌تواند نقش مهمی در درک ما از دوره‌های اولیه کیهان و فرایندهای تشکیل ستارگان ایفا کند.

علاوه بر این، تلسکوپ‌های جدید زمینی مانند تلسکوپ بزرگ ماژلان و تلسکوپ بسیار بزرگ اروپا (ELT) با قابلیت‌هایی که دارند، زمینه‌ساز انقلابی در بررسی اجرام آسمانی شده‌اند. این تلسکوپ‌ها با آرایه‌های پیشرفته و قابلیت رصد در طیف‌های مختلف، به دانشمندان این امکان را می‌دهند تا اجرام آسمانی را با جزئیات بی‌سابقه‌ای مشاهده و تحلیل کنند.

در می 2022، چند ماه پس از شروع به کار تلسکوپ در موقعیت نهایی‌اش، یکی از این آینه‌ها بر اثر برخورد یک ذره کوچک کیهانی به نام میکرو شهاب‌واره آسیب دید. این برخورد به یکی از آینه‌های اولیه جیمز وب آسیب جزئی وارد کرد و کمی از دقت و کیفیت تصویر این آینه را کاهش داد.

- کشف امواج گرانشی

یکی از مهم‌ترین دستاوردهای نجوم در دهه اخیر، کشف امواج گرانشی بوده است. امواج گرانشی توسط رصدخانه‌ی امواج گرانشی با تداخل‌سنج لیزری (LIGO) در سال ۲۰۱۵ برای اولین بار ثبت شد. این امواج ناشی از رویدادهایی شدید در کیهان، مانند برخورد سیاه‌چاله‌ها و ستاره‌های نوترونی هستند و به ما امکان می‌دهند که کیهان را به شکلی جدید و از طریق "شنیدن" آن بررسی کنیم. کشف امواج گرانشی نه تنها یک



تصویر 20-1 – تلسکوپ فضایی جیمزوب

تأیید برای نظریه نسبیت عام اینشتین بود، بلکه به شاخه جدیدی در علم نجوم به نام نجوم امواج گرانشی منجر شد که به دانشمندان اجازه می‌دهد اتفاقات کیهانی را از طریق امواج گرانشی دنبال کنند و به داده‌های جدیدی درباره ساختار فضا-زمان دست یابند.
بررسی ماده تاریک و انرژی تاریک، هوش مصنوعی و تحلیل داده‌های بزرگ (Big Data)، مشارکت عمومی و دسترسی گسترده به نجوم و آینده‌پژوهی و مأموریت‌های بین‌ستاره‌ای دیگر مباحث عصر حاضر است که از پرداختن به آن صرف نظر می‌شود.

فصل 2 : پیدایش جهان

هر زمان که صحبت از نجوم، زمین، منظومه شمسی، کهکشان راه شیری یا به طور کلی صحبت از کیهان و اجزای آن می‌شود، پای پیدایش جهان و چگونگی آن به میان می‌آید.
پرداخت به این کیهان و جواب این سوال که جهان ما از کجا و چگونه بوجود آمده است، و حتی سوالات دیگر مانند:

- در چه زمانی کیهان بوجود آمده است؟
- اگر نقطه آغازی داشته است، چه بوده؟
- قبل از آغاز چه بوده است؟
- ادامه و انتهای آن چه خواهد بود؟

و هزاران سوال دیگر که در زبان و تفکرات عوام و دانشمندان می‌گذرد، تماما در کیهان شناسی مدرن به آن پرداخته می‌شود.

2-1 کیهان چیست؟

کیهان یا جهان یا گیتی (Cosmos)، به طور کلی به معنای جهان و همه چیز که وجود دارد است. اما این واژه به طور کلی برای نشان دادن جهانی منظم و هماهنگ، استفاده می‌شود. این واژه برای نخستین بار توسط فیثاغورث در قرن ششم قبل از میلاد استفاده شد. کیهان در نجوم به صورت تمام جهان فیزیکی به عنوان یک کل واحد، تعریف می‌شود. لغت کیهان برگرفته از کلمه یونانی Cosmos به معنای منظم و هماهنگ است.
برخی از منابع بین کیهان (Cosmos) و جهان (Universe) تفاوت قائل می‌شود که موضوع بحث ما نیست.

2-2 مقیاس کیهان

برای آنکه یک دیدی داشته باشیم که راجب چی در چه فواصلی صحبت می‌کنیم، می‌توان مقایسه بین فواصل داشت.

ابعاد هسته‌ای: $10^{-15}m = 0.000000000000001m$

ابعاد اتمی: $10^{-11}m = 0.00000000001m$

ابعاد کاغذ A4: $10^{-2}m = 1cm = 0.00000000000001m$

ابعاد اتاق: $1m$

فواصل بین شهری: $10^{3}m = 1km$

فواصل سیارات و خورشید: $1AU = 1.5 \times 10^{11}m = 150\,000\,000km$

فاصله‌ی خورشید تا ستارگان همسایه:

$1pc = 3.09 \times 10^{16}m = 30900000000000000m$

ابعاد کهکشان راه‌شیری: $11Kpc = 10^{3}pc = 3.09 \times 10^{19}m$

فاصله بین کهکشانی و ابعاد کیهانی: $1Mpc = 10^{6}pc = 3.09 \times 10^{22}m$

می‌توان دید که کار در حوضه کیهان‌شناسی، در مقیاسی از مرتبه کیلو پارسک است، در این ابعاد می‌توان از ابعاد اجرام و کهکشان‌ها صرف نظر کرد و آنها را نقطه در نظر گرفت.

2-3 مقایسه قطر کهکشان راه شیری با قطر کیهان

برای آنکه بیشتر در فضای مقیاس کیهانی قرار گیرید بیایید مقایسه‌ای جالب انجام بدیم! قطر کهکشان راه شیری در حدود 100 سال نوری است یک چیزی در حدود 87،000،000،000،000 (78 تریلیون) برابر قطر زمین است! از طرفی قطر کیهان قابل مشاهده[1] چیزی در حدود 93 میلیارد سال نوری است، داریم:

$$Diagonal\ of\ Milky\ Way \approx 100000\ light\ year$$

$$Diagonal\ of\ Observable\ Universe \approx 9.3 \times 10^{13}\ light\ year$$

$$\frac{9.3 \times 10^{13}}{10^{5}} = 9.3 \times 10^{9} \cong 10^{10} = 10{,}000{,}000{,}000$$

میتوان با همین محاسه سر انگشتی دید که کیهان قابل مشاهده حدودا ده میلیارد برابر کهکشان ماست!

بیایید یکم دیگه بیش برویم:

$$Milky\ Way\ is\ 8.7 \times 10^{13}\ times\ bigger\ than\ Earth$$

---

[1] در ادامه کیهان قابل مشاهده تعریف خواهد شد.

$$Observable\ Universe\ is\ 10^{12}\ times\ bigger\ than\ Milky\ Way$$

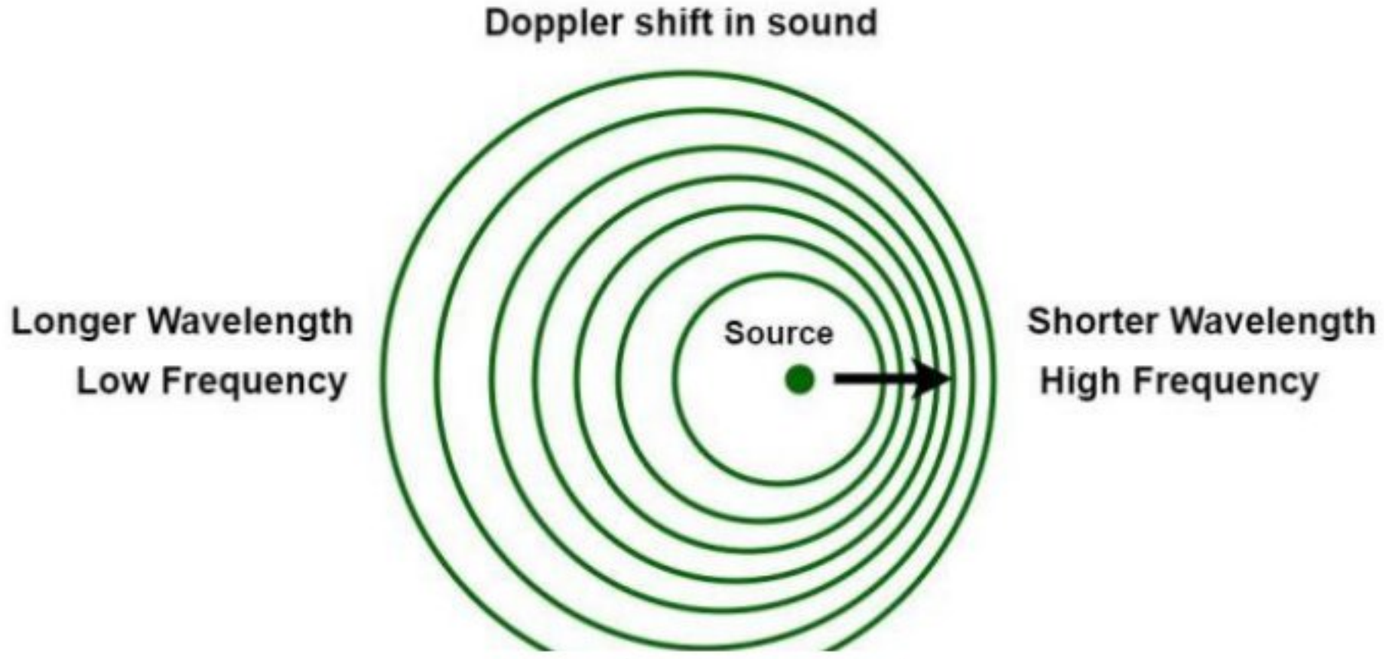
$$therefore\ Observable\ Universe\ is\ 8.7 \times 10^{13} \times 10^{12} = 8.7 \times 10^{25}$$
$$\cong 10^{26}\ times\ bigger\ than\ Earth$$

2-4 اثر دوپلر (Doppler effect)

شاید عجیب به نظر برسد که راجب اثر دوپلر صحبت کنیم، ولی در ادامه خواهیم دید که همین اثر چه انقلابی در کیهان شناسی، در واقع در شروع آن داشته است.
اثر دوپلر عبارت است از تغییر در فرکانس مشاهده شده در یک موج هنگامی که چشمه یا آشکارساز نسبت به محیط ساکن (در اثر دوپلر صوتی، هوا) حرکت می‌کند. این اثر در مورد امواج صوتی و امواج الکترومغناطیسی صدق می‌کند.
با فرض ثابت بودن آشکارساز، می‌توان دید که اگر چشمه نردیک شود فرکانس افزایش (در اثر دوپلر صوتی صدا زیرتر می‌شود، در اثر دوپلر نوری انتقال به آبی داریم) و اگر چشمه دور شود فرکانس کاهش (در اثر دوپلر صوتی صدا بم‌تر می‌شود، در اثر دوپلر نوری انتقال به سرخ داریم) می‌یابد. که از ذکر رابطه آن صرف نظر می‌کنیم.

2-5 کشف هابل

ادوین هابل که در رصدخانه‌ی مونت ویلسون با تلسکوپی با قطر 250 سانتی متری که به مدت 25 سال قوی‌ترین تلسکوپ جهان بود، مشغول کار بود.
می‌دانیم که هر کهکشان یا به طور عام‌تر اجرام از عناصر تشکیل شده‌اند و یکسری طیف نشری دارند، که می‌توان آنها را آشکار سازی کرد.
هابل با مطالعه طیف 46 کهکشان متوجه شد انتقال به سرخ آنها شد، که این امر خبر از حرکت آنها در جهت دور شدن از ما می‌دهد. او در یافت که هر چقدر کهکشانی از زمین دورتر باشد، سرعت دور شدنش هم بیشتر است (قانون هابل).
این موضوع را می‌توان در قالب قانون هابل بیان کرد:



تصویر 1-2 - اثر دوپلر

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{v_r}{c}\ (Classical\ Doppler\ effect), if: z \equiv \frac{\Delta\lambda}{\lambda}, z\ is\ red\ shift\ then: v_r = zc$$

با توجه به دور شدن اجرام، همچنین اینکه زمین نقطه خاص یا ارجهی در کیهان نیست، می‌توان نتیجه گرفت که «کیهان در حال انبساط است».
اما با در نظر گرفتن گرانش که مهم‌ترین نیرو در این ابعاد است، این سوال پیش خواهد آمد که آیا در سیستمی که گرانش به معنای نزدیک شدن اجرام، نیروی غالب است، آیا انبساط کیهان، ممکن است؟
جواب سوال بله است، در صورتی که اجرام سرعت اولیه داشته باشند و این سرعت بیشتر از سرعت فرار از این جاذبه باشد.(مانند پرتاب جسمی به هوا)
با این نتیجه‌گیری، اگر به گذشته کیهان برگردیم، کیهان کوچک و کوچک‌تر بوده است و در نهایت می‌توان گفت که کیهان از نقطه‌ای با سرعت بالا متولد شده است.
این سرعت که حاصل انفجاری فرض می‌کنیم و آنرا انفجار بزرگ می‌نامیم (Big bang).
سوال: گفتیم که کهکشان‌ها از ما در حال دور شدن هستند، اما چطور در خوشه محلی کهکشان آندرومدا و راه شیری در حال نزدیک شدن به هم هستند و در حدود 4.5 میلیارد سال دیگر با هم برخورد می‌کنند؟

2-6 کیهان قابل مشاهده

دیدیم که کهکشان‌ها از ما در حال دور شدن هستند و قانون هابل به ما می‌گوید که هر آن جرم از ما دور تر باشد سرعت دور شدنش هم بیشتر است.
اگر از زمین دور شویم، و هر چه اجرام دورتر را نگاه کنیم واضح است که سرعت دور شدن آن‌ها نیز بیشتر می‌شود. اگر دور و دورتر شویم، آنقدر دور که سرعت دور شدن کهکشان‌ها نسبت به ما چیزی در حدود 300 هزار کیلومتر (3×10^8 m⁄s) یا همان سرعت نور برسیم.
حالا سوالی که هست آیا می‌توان با دورتر شدن، کهکشان‌های با سرعت بالاتر از سرعت نور یافت؟
از آنجایی که نسبیت خاص انیشتین (رفرنس نسبیت: فیزیک جدید کنت اس. کرین و مقاله انیشتین در کتاب انیشتین 1905) ما را از سرعت‌های بالاتر از سرعت نور منع می‌کند، در نتیجه حتی در صورت وجود چنین سرعت‌هایی نمی‌توان آنها را دید، حتی در این بحث می‌توان به پارادوکسی در علت و معلول رسید.
پس ما بخشی از کیهان را می‌توانیم مشاهده کنیم که به آن «کیهان قابل» مشاهده می‌گویم.

2-7 دیگر نظریات

تئوری بیگ بنگ خیلی هم بدون مشکل و حمله نبوده است، و شاید هنوز کلی سوال بی‌جواب برای ما به جا گذاشته باشد.
بیگ بنگ را به ساده‌ترین شکل می‌توان تعریف کرد: نظریه‌ای که توضیح می‌دهد جهان چگونه از یک حالت بسیار فشرده و داغ به شکل کنونی‌اش توسعه یافته است.
مسائل با نظریه بیگ بنگ:

- مشکل ساختاری: نمی‌تواند توضیح دهد چرا جهان توده‌ای از ستارگان، کهکشان‌ها و خوشه‌ها دارد.
- مشکل افق: نمی‌تواند توضیح دهد چرا دما در نواحی دوردست آسمان یکسان است.
- مشکل تختی: نمی‌تواند توضیح دهد چرا هندسه جهان تخت است.
- مشکل انبساط: نمی‌تواند توضیح دهد چرا جهان در حال گسترش است.
- شرایط اولیه اضافه‌شده به نظریه، شرایط اولیه اشاره به فرضیاتی دارد که در ابتدای مدل بیگ بنگ برای توضیح تکامل جهان فرض شده‌اند:
- جهان با دانه‌های کوچک ساختار آغاز شد.
- جهان با دمای یکسان در همه جا شروع شد.
- جهان با هندسه کاملاً تخت آغاز شد.
- جهان با انبساط شروع شد.

2-7-1 نظریه حالت پایدار (Steady State Theory)

این نظریه در دهه‌های ۱۹۴۰ و ۱۹۵۰ توسط اخترشناسان فِرد هویل، توماس گولد، و هرمان بونددی مطرح شد. بر اساس این نظریه، جهان همواره در حال گسترش است، اما چگالی ماده ثابت می‌ماند زیرا ماده جدید به طور مداوم در فضا ایجاد می‌شود. این نظریه معتقد است که با وجود گسترش جهان، همیشه تعداد کهکشان‌ها در هر ناحیه‌ی فضایی ثابت می‌ماند. این نظریه با کشف تابش زمینه کیهانی و دیگر شواهد رصدی، حمایت علمی خود را از دست داده است.

2-7-2 نظریه بوزونیک (Ekpyrotic Theory)

این نظریه بر مبنای فرضیه‌ی رشته‌ها (String Theory) و مدل کیهان‌شناسی پیش‌بیگ بنگ پیشنهاد شده است. این نظریه بیان می‌کند که جهان ما از برخورد دو جهان سه بعدی به وجود آمده است. این برخورد باعث ایجاد یک انفجار عظیم (مشابه بیگ بنگ) می‌شود و به تشکیل جهان ما می‌انجامد. این نظریه سعی دارد به برخی از مشکلات و نواقص موجود در نظریه بیگ بنگ پاسخ دهد، مانند مسئله‌ی یکنواختی و همسانی جهان.

2-7-3 نظریه تورم کیهانی (Cosmic Inflation Theory)

این نظریه در اوایل دهه‌ی ۱۹۸۰ توسط آلن گوت مطرح شد و توضیح می‌دهد که در لحظات اولیه پس از بیگ بنگ، جهان دچار یک گسترش فوق‌العاده سریع شد. این تورم

کیهانی باعث شد که جهان به اندازه کنونی خود برسد و یکنواختی و همسانی کنونی آن را توضیح می‌دهد. این نظریه توانسته بسیاری از مشاهدات و مشکلات موجود در نظریه بیگ بنگ را توضیح دهد و مورد قبول بسیاری از اخترشناسان و فیزیک‌دانان قرار گرفته است.

2-7-4 مدل چرخه‌ای (Cyclic Model)

این مدل بیان می‌کند که جهان در یک سری از چرخه‌های بی‌نهایت از انقباض و انبساط قرار دارد. بر اساس این نظریه، جهان پس از هر انقباض به نقطه‌ای نزدیک به تکینگی می‌رسد و سپس دوباره منبسط می‌شود. این انبساط و انقباض‌ها به صورت بی‌نهایت تکرار می‌شوند. این نظریه تلاش می‌کند به برخی از مشکلات مربوط به آغاز و پایان جهان پاسخ دهد و فرض می‌کند که جهان هیچ زمان شروع و پایانی ندارد.

2-7-5 نظریه جهان‌های موازی (Multiverse Theory)

این نظریه پیشنهاد می‌کند که جهان ما تنها یکی از بی‌شمار جهان‌هایی است که هر یک می‌توانند قوانین فیزیکی و شرایط اولیه متفاوتی داشته باشند. این نظریه به دلیل عدم قابلیت آزمایش و اثبات مستقیم، بیشتر به عنوان یک تئوری فلسفی مطرح است. نظریه جهان‌های موازی می‌تواند توضیحی برای برخی از مسائل پیچیده‌ی فیزیکی و کیهان‌شناسی ارائه دهد، اما همچنان بحث‌ها و پژوهش‌های زیادی در این زمینه ادامه دارد.

این تئوری‌ها هر یک به نحوی سعی دارند تا به توضیح چگونگی شروع و تکامل جهان بپردازند و به سوالات عمیق و بنیادین کیهان‌شناسی پاسخ دهند. هر کدام از این تئوری‌ها مباحث و چالش‌های خود را دارند و همچنان در جامعه علمی مورد بررسی و تحقیق قرار می‌گیرند.

فصل 3: اجزای تشکیل دهنده جهان

3-1 ستارگان

ستارگان، گوی‌های عظیم از گازهای بسیار داغ هستند که به دلیل همجوشی هسته‌ای درونشان می‌درخشند. دمای سطحی آن‌ها هزاران درجه و در داخل بسیار بیشتر است، به طوری که ماده نمی‌تواند به صورت جامد یا مایع وجود داشته باشد. گازهای تشکیل‌دهنده ستارگان بسیار غلیظتر از گازهای موجود روی زمین هستند، که این چگالی فوق‌العاده ناشی از فشارهای عظیم داخلی است. ستارگان در فضا حرکت

می‌کنند، اما به دلیل فاصله‌های عظیمی که از ما دارند، حرکت آن‌ها به آسانی قابل مشاهده نیست و تغییرات قابل ملاحظه‌ای در موقعیت نسبی آن‌ها حتی در هزاران سال رخ نمی‌دهد.
این فرایند همجوشی، معمولاً تبدیل هیدروژن به هلیوم، انرژی عظیمی تولید کرده و موجب درخشندگی و پایداری ستارگان می‌شود. این ویژگی‌ها، ستارگان را از اجرام کوچکتری مانند سیارات و کوتوله‌های قهوه‌ای، که دمای داخلی کافی برای همجوشی ندارند، متمایز می‌کند. همچنین ستارگان از بقایای ستاره‌ای همچون کوتوله‌های سفید و ستاره‌های نوترونی که دیگر منبع انرژی هسته‌ای ندارند، متفاوت هستند. ستارگان بر اساس جرم و درخشندگی به دسته‌های مختلفی تقسیم می‌شوند و در نمودار هرتسپرونگ-راسل (H-R Diagram) انواع مختلف آن‌ها مانند ستارگان رشته اصلی، غول‌ها و کوتوله‌های سفید به‌خوبی نمایش داده می‌شود و الگوی تکاملی آن‌ها از تولد تا مرگ مشخص می‌شود.

3-2 سیارات

سیارات اجرامی تقریباً کروی جامد و بزرگی هستند که در مداری به دور یک ستاره می‌گردند و نور آن را بازتاب می‌دهند (در منظومه شمسی خورشید). این اجرام نسبتاً سرد هستند و به دلیل بازتاب نور خورشید مرئی می‌شوند. برخی از سیارات با چشم غیرمسلح قابل مشاهده‌اند، اما سه سیاره فقط با تلسکوپ دیده می‌شوند.
سیارات با نوری پایدار می‌درخشند، در حالی که ستاره‌ها به دلیل تغییرات سریع در رنگ و روشنایی، چشمک می‌زنند. سیارات در تلسکوپ به صورت قرص‌های نورانی کوچک دیده می‌شوند، در حالی که ستاره‌ها حتی با تلسکوپ‌های بزرگ نیز به صورت نقاط نورانی بدون قطر قابل سنجش به نظر می‌آیند. همچنین، سیارات فقط در نوار باریکی از آسمان قابل مشاهده‌اند و حرکت آن‌ها نسبت به ستاره‌ها مشهود است.
طبق تعریف اتحادیه بین‌المللی نجوم (IAU) در سال 2006، سیارات سه ویژگی کلیدی دارند:

1) در مداری به دور خورشید می‌چرخند.
2) جرم کافی دارند تا نیروی گرانش آن‌ها بتواند شکل کروی یا شبه‌کروی ایجاد کند.
3) توانسته‌اند منطقه‌ی اطراف مدار خود را از اجرام کوچکتر پاکسازی کنند.

سیاراتی که دو شرط اول را دارند اما نتوانسته‌اند منطقه‌ی مدار خود را پاک کنند، به عنوان سیارات کوتوله شناخته می‌شوند. پلوتو، سرس و اریس از جمله این سیارات کوتوله

هستند.

3-3 سحابی‌ها

سحابی‌ها ابرهای عظیمی از گاز و غبار در فضا هستند که بخش مهمی از محیط میان‌ستاره‌ای را تشکیل می‌دهند. این ساختارهای کیهانی شامل گازهای یونیزه، مولکول‌ها و ذرات گرد و غبار هستند و در ابعاد وسیع، گاهی به صدها سال نوری می‌رسند. گازهای تشکیل‌دهنده سحابی‌ها بسیار رقیق و در دمایی پایین قرار دارند. سحابی‌ها به دلیل تابش نور فرابنفش از ستارگان نزدیک می‌توانند به رنگ‌های مختلف درخشان شوند و بسته به شرایط و منبع نور، رنگ‌های خاصی مانند آبی، قرمز یا سبز را منعکس کنند.

3-3-1 سحابی‌های گسیلشی (Emission Nebulae):

گازهای این نوع سحابی‌ها توسط نور فرابنفش ستارگان داغ اطراف یونیزه می‌شوند و در نتیجه نور مرئی گسیل می‌کنند. ناحیه H II از شناخته‌شده‌ترین این سحابی‌ها است.

تصویر 3-1 - سحابی قلب

تصویر 3-2 – سحابی آمریکا شمالی

سحابی شکارچی یکی از برجسته‌ترین نمونه‌هاست. سحابی‌های سیاره‌نما نیز در این دسته قرار می‌گیرند.

3-3-2 سحابی‌های بازتابی (Reflection Nebulae):

این سحابی‌ها نور ستارگان نزدیک را بازتاب می‌دهند بدون این که خودشان گسیلنده باشند. ذرات گرد و غبار در این سحابی‌ها نور ستارگان را پراکنده می‌کنند و معمولاً رنگی آبی دارند، زیرا نور آبی بیشتر از نور قرمز پراکنده می‌شود.

3-3-3 سحابی‌های تاریک (Dark Nebulae):

این سحابی‌ها به دلیل غلظت بالای گرد و غبار، نور را مسدود می‌کنند و از نظر بصری تاریک به نظر می‌رسند. این سحابی‌ها محیط‌های سردی هستند که در آن‌ها اغلب فرآیند تشکیل ستارگان آغاز می‌شود. سحابی سر اسب یک مثال معروف از این نوع است.
سحابی‌ها نقش اساسی در چرخه حیات ستارگان دارند و به عنوان مناطق زایشی عمل کرده و محیط مناسبی برای تشکیل ستارگان جدید فراهم می‌کنند. به دلیل نقش مهم سحابی‌ها در تشکیل ستارگان و ساختار کیهانی، مطالعه آن‌ها بسیار حائز اهمیت است.
سیارک‌ها اجرام جامد کوچکی با شکل‌های نامنظم هستند که مانند سیارات بزرگ به دور خورشید می‌گردند. تفاوت عمده آن‌ها با سیارات در اندازه است. این اجرام که به نام ستارگان صغار یا سیارات خرد نیز شناخته می‌شوند، عمدتاً از سنگ و فلزات تشکیل شده‌اند. بزرگ‌ترین سیارک، سرس، قطری برابر با ۹۰۰ کیلومتر دارد، در حالی که قطر بسیاری از سیارک‌ها فقط حدود چند کیلومتر است. نخستین سیارک در اول ژانویه ۱۸۰۱ کشف شد و تاکنون تعداد زیادی از آن‌ها شناسایی شده‌اند. سیارک‌ها با انعکاس نور خورشید می‌درخشند، اما به دلیل سطح کوچکشان، نور منعکس شده بسیار اندک است و بدون تلسکوپ قابل مشاهده نیستند.

3-4 سیارک‌ها

سیارک‌ها نقش مهمی در درک تاریخچه و تشکیل منظومه شمسی دارند، زیرا به عنوان بقایای اولیه تشکیل‌دهنده‌های منظومه شمسی در نظر گرفته می‌شوند. بیشترین تعداد سیارک‌های منظومه شمسی در کمربند سیارکی بین مدارهای مریخ و مشتری قرار دارند. این منطقه نتیجه‌ای از شکست‌های گرانشی مشتری است که مانع از تشکیل سیارات بزرگ‌تر می‌شود. سیارک‌های نزدیک به زمین (NEAs) مدارهایی دارند که آن‌ها را به نزدیکی زمین می‌برند و ممکن است پتانسیل برخورد با زمین را داشته باشند.
ویژگی‌ها و انواع سیارک‌ها:

1) کمربند سیارکی (Asteroid Belt): بیشترین تعداد سیارک‌های منظومه شمسی در این منطقه قرار دارند.
2) سیارک‌های نزدیک به زمین (Near-Earth Asteroids - NEAs): این سیارک‌ها ممکن است مدارهایی نزدیک به زمین داشته باشند و پتانسیل برخورد با زمین را دارند.
3) سیارک‌های آمور (Amor Asteroids):مدارهایی نزدیک به مدار زمین ولی هنوز در بر زمین قرار ندارند.
4) سیارک‌های آتن (Aten Asteroids): بخش عمده‌ای از مدار آن‌ها داخل مدار زمین قرار دارد.
5) سیارک‌های متا (Metallic Asteroids): سیارک‌هایی با ترکیبات فلزی بالا.
6) سیارک‌های سیلیکاتی (S-type Asteroids): سیارک‌هایی با ترکیبات سنگی.

7) سیارک‌های کاربونی (C-type Asteroids): سیارک‌هایی با ترکیبات غنی از کربن و آب.

این اجرام با توجه به شکل نامنظم و ترکیبات مختلفشان، اطلاعات ارزشمندی درباره شرایط اولیه منظومه شمسی ارائه می‌دهند و به درک فرآیندهای شکل‌گیری سیارات کمک می‌کنند.

سیارک‌ها نیز به عنوان منابع معدنی و فلزات گرانبها، پتانسیل‌های اقتصادی زیادی برای آینده بشر دارند.

3-5 اقمار

اقمار یا ماه‌ها اجرام طبیعی هستند که در مداری به دور سیارات یا سیارات کوتوله حرکت می‌کنند. هفت سیاره از نه سیاره بزرگ هر کدام یک یا چند ماه دارند که به دور آن‌ها می‌گردند. زمین تنها یک ماه دارد، در حالی که سیاره مشتری بیش از شصت ماه دارد. تا سال ۲۰۰۴ میلادی، بیش از هشتاد قمر برای سیارات منظومه شمسی کشف شده بود.

اقمار می‌توانند اندازه‌ها و ترکیبات مختلفی داشته باشند و به دو دسته بزرگ تقسیم می‌شوند:

1) اقمار منظم: این اقمار دارای مدارهایی تقریباً دایره‌ای و نزدیک به صفحه استوای سیاره والد هستند. تصور می‌شود که این اقمار در حین شکل‌گیری سیاره به وجود آمده‌اند. قمرهای گالیله‌ای سیاره مشتری، مانند یو و اروپا، نمونه‌ای از این اقمار هستند.
2) اقمار نامنظم: این اقمار مدارهایی بیضوی، خارج از مرکز و با انحراف بالا دارند و گاهی به صورت معکوس به دور سیاره می‌چرخند. گمان می‌رود که این اقمار پس از تشکیل سیاره و از محیط اطراف توسط سیاره جذب شده باشند. برخی از اقمار نامنظم کوچک و دارای شکل‌های نامنظم هستند.

اقمار، به‌ویژه اقمار بزرگ‌تر، می‌توانند تأثیرات جزر و مدی قابل توجهی روی سیاره والد خود داشته باشند، مانند تأثیری که ماه بر جزر و مد زمین دارد. این پدیده‌ها در سیستم‌های بزرگ سیاره‌ای، مانند سیستم‌های مشتری و زحل نیز مشاهده می‌شوند، جایی که نیروی جزر و مدی باعث فعالیت‌های آتشفشانی یا تغییر در ساختار سطح برخی از اقمار می‌شود.

دنباله‌دارها

دنباله‌دارها (Comets) اجرام آسمانی منحصر به فرد و یخی هستند که عمدتاً از آب یخ‌زده، گرد و غبار، و مواد آلی تشکیل شده‌اند. این اجرام که به نام «ستاره‌های دنباله‌دار» نیز شناخته می‌شوند، دارای یک کره نورانی یا رأس هستند که به یک دنباله رقیق و دراز متصل است. به محض نزدیک شدن به خورشید، هسته دنباله‌دار شروع به تبخیر می‌کند و بخارهای آن در قالب یک جو موقت یا «کما» ظاهر می‌شوند. این گازها و ذرات آزاد شده تحت تأثیر تابش خورشیدی به دو دنباله تقسیم می‌شوند:

1) دنباله‌ی یونی: شامل گازهای یونیزه شده که در امتداد خط مستقیم دور از خورشید حرکت می‌کند.
2) دنباله‌ی گرد و غبار: تشکیل شده از ذرات کوچک گرد و غبار که به دلیل فشار تابشی خورشید در مسیر منحنی از کما جدا می‌شود.

بیش از هزار دنباله‌دار شناخته شده است و هر ساله چندین دنباله‌دار جدید کشف می‌شود. اکثریت عظیم این اجرام به قدری کم‌نور هستند که به چشم برهنه مرئی نیستند و دنباله‌دارهای نسبتاً بزرگ نادر هستند. این اجرام معمولاً با سرعت صدها کیلومتر در ثانیه حرکت می‌کنند و مدارهای آن‌ها بسته یا باز (سهمی یا هذلولی) هستند. دنباله‌دارهایی که در مدارهای بسته حرکت می‌کنند، پیوسته مسیر واحدی را دور می‌زنند و ممکن است چندین بار به نزدیکی زمین بازگردند.

3-6 انواع دنباله‌دارها

دنباله‌دارها از نظر دوره‌ی گردش به دو دسته تقسیم می‌شوند:

1) دنباله‌دارهای کوتاه‌دوره: مانند دنباله‌دار هالی، مدارهایی با دوره کمتر از 200 سال دارند و منشاء آن‌ها در کمربند کوییپر است.
2) دنباله‌دارهای بلنددوره: این دنباله‌دارها دوره‌های طولانی (بیش از 200 سال) دارند و از ابری کروی و دور از خورشید به نام «ابر اورت» منشأ می‌گیرند.

این اجرام با گذشت زمان مسیرهای مشخصی را پیموده و می‌توانند به مطالعه تاریخچه و تشکیل منظومه شمسی کمک کنند.

3-7 شهابواره‌ها

شهابواره‌ها، یا همان meteoroids، اجسام کوچک صخره‌ای و فلزی هستند که در فضا حرکت می‌کنند. این اجسام که معمولاً به اندازه‌ی ته سنجاق هستند، در صورتی که وارد جو زمین شوند و بسوزند، شهاب نامیده می‌شوند. هنگامی که شهابواره‌ای به جو زمین برخورد می‌کند، اصطکاک با مولکول‌های هوا باعث گرم شدن و تبخیر لایه‌ی بیرونی آن می‌شود و یک رد درخشان از گازهای یونیزه شده به جا می‌گذارد که این پدیده نوری، شهاب یا تیر شهاب نامیده می‌شود و درخشش آن ممکن است چند ثانیه دوام داشته باشد.

شهابواره‌ها می‌توانند از باقی‌مانده‌های سیارک‌ها و دنباله‌دارها تشکیل شوند. سیارک‌ها اغلب در اثر برخورد با دیگر اجسام کوچک‌تر، خرده‌هایی تولید می‌کنند که به شکل شهابواره در فضا پراکنده می‌شوند. دنباله‌دارها نیز با نزدیک شدن به خورشید و تبخیر مواد، ذرات جامد کوچکی آزاد می‌کنند که در مدارهای مشابه مدار دنباله‌دارها قرار می‌گیرند.

هر ساله صدها تن غبار شهابی بر سطح زمین می‌نشیند. در موارد نادر، شهابواره‌های بزرگ‌تر قبل از آن که کاملاً بسوزند، به سطح زمین می‌رسند. شهاب‌باران‌ها نیز زمانی

رخ می‌دهند که زمین از میان مسیری عبور کند که در آن ذرات جامد توسط دنباله‌دارها آزاد شده‌اند. این شهاب‌باران‌ها یا به صورت سالانه و با پیش‌بینی‌پذیری بالا رخ می‌دهند یا به صورت دوره‌ای زمانی که ذرات در نقاط مشخصی در مسیر مدار دنباله‌دارها تجمع یافته‌اند.

3-8 منظومه

منظومه به مجموعه‌ای از اجرام فضایی اطلاق می‌شود که تحت تأثیر گرانش یکدیگر در یک ساختار پیچیده و هماهنگ قرار دارند. این منظومه‌ها شامل یک جرم مرکزی مانند یک ستاره هستند که اجرام دیگری مانند سیاره‌ها، سیارک‌ها، دنباله‌دارها، و شهاب‌واره‌ها در اطراف آن در مدارهای مشخصی حرکت می‌کنند. به عنوان مثال، منظومه خورشیدی شامل خورشید به عنوان ستاره‌ی مرکزی و سیارات، قمرها، سیارک‌ها و اجرام کوچک دیگری است که در مدارهای بیضوی یا دایره‌ای به دور آن می‌گردند.
ویژگی‌های کلی منظومه‌ها:

1) جرم مرکزی: جرم مرکزی عموماً یک ستاره یا یک سیاه‌چاله است که جرم کافی برای نگه‌داشتن دیگر اجرام در مدارهای پایدار به وسیله گرانش خود را دارد.
2) اجرام مداری: این اجرام شامل سیاره‌ها، سیارک‌ها، دنباله‌دارها، و قمرهای سیاره‌ها است که به طور معمول در مدارهای بیضوی و در راستای صفحه‌ای به نام صفحه مداری به دور جرم مرکزی می‌چرخند.
3) قوانین حرکت: حرکات اجرام منظومه به وسیله‌ی قوانین کپلر و نیوتون قابل توصیف هستند که حرکت سیاره‌ها و دیگر اجرام در اطراف جرم مرکزی را به صورت مداری و با سرعت‌های متفاوت توضیح می‌دهند.

مثالی از منظومه‌ها می‌توان به منظومه‌ی خورشیدی اشاره کرد که شامل هشت سیاره، تعداد زیادی سیارک و دنباله‌دار و نیز کمربند کایپر و ابر اورت است. در این منظومه، سیارات به دلیل تأثیر گرانشی خورشید و تأثیرات جاذبه‌ای بین سیاره‌ای در مدارهای نسبتاً پایداری حرکت می‌کنند.
این تعریف کلی، ویژگی‌ها و ساختارهای منظومه‌ها را به‌خوبی تشریح می‌کند و منظومه‌ی خورشیدی را به عنوان یک نمونه مشخص بیان می‌کند.

3-9 خوشه‌های ستاره‌ای

خوشه‌های ستاره‌ای (Star Clusters) مجموعه‌ای از ستارگان هستند که به دلیل گرانش متقابل به یکدیگر متصل شده و یک ساختار جمعی را تشکیل می‌دهند. این خوشه‌ها منشأ مشترکی دارند و تقریباً در یک زمان و مکان تشکیل می‌شوند و تا میلیون‌ها یا

حتی میلیاردها سال به هم پیوسته باقی می‌مانند. خوشه‌های ستاره‌ای به دو نوع اصلی تقسیم می‌شوند:

1) خوشه‌های باز: شامل چند ده تا چند هزار ستاره جوان و درخشان هستند که به طور آزادانه در فضا پراکنده شده‌اند. این خوشه‌ها عموماً در بازوان کهکشان‌های مارپیچی یافت می‌شوند و طول عمر کوتاهی دارند، زیرا گرانش نسبی ستارگان به اندازه‌ای نیست که خوشه را برای مدت طولانی به هم متصل نگه دارد.
2) خوشه‌های کروی: شامل ده‌ها هزار تا میلیون‌ها ستاره هستند که به صورت متراکم و به شکل کروی در اطراف کهکشان‌های بزرگ‌تر قرار دارند. این خوشه‌ها شامل ستارگان قدیمی و بسیار قدیمی با طول عمر چند میلیارد سال هستند و به عنوان ساختارهای پایدار در کهکشان‌ها شناخته می‌شوند.

ستارگان زمانی در ابرهای گاز و غبار متولد می‌شوند که شرایط مناسب باشد. گرانش باعث فروپاشی این گاز (عمدتاً هیدروژن) و غبار می‌شود. همان‌طور که ابر فرو می‌ریزد و فشار شروع به افزایش می‌کند، هسته آن گرم می‌شود. این هسته داغ که به عنوان پیش‌ستاره شناخته می‌شود، می‌تواند به تجمع ماده ادامه دهد و به یک ستاره تبدیل شود. فرآیند ایجاد یک ستاره حدود یک میلیون سال طول می‌کشد. هنگامی که شرایط برای تشکیل یک ستاره مناسب باشد، اغلب چندین ستاره تشکیل می‌شوند و یک خوشه ایجاد می‌کنند.

خوشه‌های ستاره‌ای می‌توانند شامل چند ستاره تا بیش از میلیون‌ها ستاره باشند و این ستاره‌ها می‌توانند در چند سال نوری تا صدها سال نوری پخش شوند. انواع مختلف ستارگان طول عمر متفاوتی دارند، بنابراین خوشه‌ها در طول زمان با تکامل ستارگان تغییر می‌کنند. برخی از خوشه‌ها ممکن است ستاره‌های بزرگ و داغ نوع O را در خود داشته باشند که به سرعت می‌سوزند و در طی میلیون‌ها سال به صورت ابرنواختر منفجر می‌شوند. برخی دیگر ممکن است ستاره‌های کوچکتر و سردتری را در خود نگه دارند که در طی میلیاردها سال پیر می‌شوند و تغییر می‌کنند.

- خوشه‌های کروی

خوشه‌های ستاره‌ای کروی باستانی و غول‌پیکر هستند که در سراسر جهان پراکنده شده‌اند. آن‌ها می‌توانند میلیاردها سال زنده بمانند و برخی از قدیمی‌ترین ستارگان جهان را در خود نگه دارند. خوشه‌های کروی حاوی ده‌ها هزار تا میلیون‌ها ستاره هستند که در توده‌های متراکم به وسعت 50 تا 450 سال نوری در کنار هم قرار گرفته‌اند و می‌توان آن‌ها را در سرتاسر هاله یا نواحی بیرونی کهکشان راه شیری یافت. این ستارگان در حدود 8 تا 13 میلیارد سال پیش در میان ابرهای عظیم گازی شکل گرفتند. خوشه‌های کروی به قدری متراکم و عظیم به دنیا می‌آیند که حتی پس از جدا شدن توسط گرانش در طول زمان می‌توانند به صورت خوشه باقی بمانند. بزرگ‌ترین و درخشان‌ترین خوشه کروی در کهکشان راه شیری، امگا قنطورس (NGC 5139)، یکی از خوشه‌هایی است که بدون تلسکوپ قابل مشاهده است.

- خوشه‌های باز

خوشه‌های باز کوچک‌تر از خوشه‌های کروی هستند و شامل ده‌ها تا هزاران ستاره می‌باشند. این خوشه‌ها هسته‌ای دارند که معمولاً چند سال نوری وسعت دارد و توسط یک تاج یا قسمت بیرونی جو ستاره احاطه شده است که می‌تواند حدود ده‌ها سال نوری از مرکز امتداد داشته باشد. خوشه‌های باز که در کهکشان‌های نامنظم و مارپیچی یافت می‌شوند، دارای ستاره‌های پیر و جوان هستند و عموماً بسیار جوان‌تر از خوشه‌های کروی می‌باشند.

- انجمن‌های ستاره‌ای

در حالی که خوشه‌های کروی و باز به عنوان دو نوع اصلی خوشه‌های ستاره‌ای شناخته می‌شوند، نوع سومی از گروه‌بندی‌های ستاره‌ای وجود دارد که به نام انجمن‌های ستاره‌ای شناخته می‌شوند. انجمن‌های ستاره‌ای، خوشه‌های بسیار سست 10 تا 10000 ستاره‌ای هستند. این انجمن‌ها بر اساس انواع ستارگان خود دسته‌بندی می‌شوند و شامل پیوندهای OB، انجمن‌های R و انجمن‌های T هستند. ستارگان در انجمن‌های ستاره‌ای به قدری گسترده هستند که تصویر یک "خوشه" را به چالش می‌کشند و به عنوان کم‌ثبات‌ترین نوع خوشه ستاره‌ای شناخته می‌شوند.

- مثال‌ها و مطالعات

برخی از پرطرفدارترین تصاویر فضای بیرونی، سحابی عقاب را نشان می‌دهند که شامل ستون‌های معروف آفرینش است. این سحابی ابری عظیم از گاز و غبار است که بسیاری از نواحی مختلف ستاره‌زایی را در بر می‌گیرد. سحابی عقاب چند میلیون سال قدمت دارد و تقریباً 5700 سال نوری از زمین فاصله دارد. خوشه‌های ستاره‌ای به دلیل تعاملات گرانشی و نزدیکی ستارگان به یکدیگر، فرصت‌های مناسبی برای مطالعات اخترفیزیکی فراهم می‌کنند و به بررسی تحول ستارگان و تغییرات در ساختار کهکشان‌ها کمک می‌کنند.

خوشه‌های ستاره‌ای کهکشانی نیستند، اگرچه هر دو گروهی از ستارگان هستند که توسط گرانش به هم متصل شده‌اند. کهکشان‌ها بزرگ‌تر از خوشه‌های ستاره‌ای هستند و می‌توانند شامل هزاران یا بیشتر خوشه ستاره‌ای، ابرهای مولکولی، و ماده تاریک باشند. در هر خوشه، ستارگان تقریباً هم‌سن هستند و از مواد تقریباً مشابهی ساخته شده‌اند، زیرا آن‌ها از یک ابر مولکولی یکسان تشکیل شده‌اند.

خوشه‌های ستاره‌ای نه تنها جاذبه‌های بصری زیبایی در آسمان شب ایجاد می‌کنند، بلکه ابزارهای مهمی برای درک بهتر از تکامل و ساختار جهان نیز فراهم می‌آورند.

فصل 4: ساختار و تحول ستارگان

همیشه چرا و چگونه دو سوال مهم و مورد علاقه فیزیکدان‌ها و به طور کل دانشمندان بوده است.
با نگاه به آسمان هزاران و هزاران ستاره (البته ممکن است به جز ستارگان اجرام دیگه را نیز ببینم یا حتی اجرامی به دید ما ستاره جلوه کنند) می‌بینم. حتما شنیده‌اید که ممکن است ستاره‌ای که در آسمان می‌بینیم تا کنون مرده باشد! در واقع این موضوع بیانگر سرعت نور و فاصله آن ستاره با ماست که سال‌ها طول می‌کشد تا نور آن ستاره به ما برسد.
اما چرا و چگونه ستاره‌ها متولد می‌شوند؟
چگونه زندگی می‌کنند و چگونه می‌میرند؟
آیا اصلا می‌میرند؟ و هزاران سوال دیگر که می‌تواند مطرح شود. جواب تمامی این سوالات در بحث اخترفیزیک و ساختار و تحول ستارگان است.
نکته‌ای باید ذکر کنم، این است که بحث اخترفیزیک و ساختار و تحول ستارگان بحثی بسیار مفصل و پر از معادلات و ریاضیات است، اما بحث مفصل و معادلات ریاضی مدنظر ما نیست، بلکه تمام صبحت‌های ما داستان‌وار نتیجه همین ریاضیات است.

4-1 مراحل زندگی ستارگان

4-1-1 تولد در سحابی‌ها

ستارگان در مناطق متراکم ابرهای مولکولی (سحابی‌ها) شکل می‌گیرند. این سحابی‌ها از گاز و غبار میان‌ستاره‌ای تشکیل شده‌اند و تحت تأثیر گرانش، این مواد به هم نزدیک شده و فشرده می‌شوند. این تجمع باعث افزایش دما شده و پیش‌ستاره (protostar) را به وجود می‌آورد. در این مرحله، پیش‌ستاره هنوز به حالت همجوشی هسته‌ای نرسیده است و بیشتر درخشش آن ناشی از آزاد شدن انرژی گرانشی است.

- مرحله اول: شکل‌گیری در ابرهای مولکولی

ستارگان از ابرهای بسیار سرد و متراکم گاز و غبار به نام ابرهای مولکولی عظیم شکل می‌گیرند. دمای این ابرها می‌تواند به حدود 10 درجه کلوین برسد و می‌توانند جرمی تا یک میلیون برابر جرم خورشید داشته باشند. این ابرها عمدتاً از مولکول‌های هیدروژن تشکیل شده و به خاطر چگالی بالا و دمای بسیار پایین، شرایط مناسبی برای آغاز فرآیندهای فشردگی و شکل‌گیری ستارگان فراهم می‌آورند.

- مرحله دوم: فشردگی ناشی از گرانش و تبدیل به پیش‌ستاره

با فشردگی ابر، گرانش شروع به غلبه بر فشار داخلی گاز می‌کند و ابر مولکولی به سمت درون شروع به فروپاشی می‌کند. در این مرحله، ابر مولکولی به بخش‌های کوچکتری تقسیم شده و هسته‌های متراکمی به نام پیش‌ستاره (Protostar) شکل می‌گیرد. این پیش‌ستاره‌ها هنوز به دمای لازم برای آغاز همجوشی هسته‌ای نرسیده‌اند اما به دلیل انقباض و آزادسازی انرژی گرانشی، به آرامی می‌درخشند.

- عوامل تحریک کننده

عوامل بیرونی مانند انفجارهای ابرنواختری نیز می‌توانند فرآیند فروپاشی گرانشی را تحریک کنند. موج شوک ناشی از یک انفجار ابرنواختری می‌تواند به‌عنوان محرک فشردگی ابرهای مولکولی عمل کند و منجر به تشکیل ستارگان جدید شود. این موج‌ها، مانند یک برف‌روب غول‌پیکر، مواد میان‌ستاره‌ای را فشرده می‌کنند و به تراکم لازم برای فروپاشی می‌رسانند.

- مرحله نهایی: همجوشی و ورود به توالی اصلی

با ادامه فشردگی، هسته پیش‌ستاره به دمای بالایی می‌رسد و فرآیند همجوشی هسته‌ای آغاز می‌شود. این آغاز دوره‌ای پایدار از سوختن هیدروژن و تبدیل آن به هلیوم است که به توالی اصلی معروف است و نشان از تولد یک ستاره واقعی دارد.

این مراحل، توالی طبیعی و جذاب تولد یک ستاره از ابرهای تاریک و سرد میان‌ستاره‌ای را تا رسیدن به مرحله درخشش و پایداری نشان می‌دهد.

4-1-2 مرحله توالی اصلی

با آغاز همجوشی هسته‌ای هیدروژن در مرکز، پیش‌ستاره به یک ستاره توالی اصلی تبدیل می‌شود. این مرحله طولانی‌ترین دوره زندگی یک ستاره است که در آن ستاره به شکل پایدار درخشیده و هیدروژن را به هلیوم تبدیل می‌کند. در این مرحله، تعادل بین نیروهای گرانشی که تمایل به فروپاشی دارند و فشار ناشی از همجوشی هسته‌ای که مانع آن می‌شود، حفظ می‌گردد.

- مرحله اول: همجوشی هسته‌ای هیدروژن

ستارگان توالی اصلی انرژی خود را از فرآیند همجوشی هسته‌ای هیدروژن به هلیوم در هسته‌شان به دست می‌آورند. این فرآیند در ستارگان با جرم کمتر از ۱/۵ برابر جرم خورشید از طریق زنجیره پروتون-پروتون انجام می‌شود، در حالی که ستارگان پرجرم‌تر از چرخه کربن-نیتروژن-اکسیژن (CNO) برای همجوشی استفاده می‌کنند.

- مرحله دوم: طول عمر و وابستگی به جرم

طول عمر ستارگان در مرحله توالی اصلی وابسته به جرم آن‌ها است. ستارگان پرجرم، که دمای مرکزی بالاتری دارند، سوخت هیدروژنی خود را با سرعت بیشتری مصرف کرده و عمر کوتاه‌تری نسبت به ستارگان کم‌جرم‌تر دارند. به عنوان مثال، ستارگان O و B بسیار درخشان هستند و تنها چند میلیون سال در مرحله توالی اصلی باقی می‌مانند، در حالی که ستارگان M کم‌جرم و سرد ممکن است میلیاردها سال به درخشش خود ادامه دهند.

- مرحله سوم: مرحله تعادل پایدار

در این مرحله، نیروی گرانش که به سمت داخل تمایل به فشرده‌سازی ستاره دارد، با فشار ناشی از همجوشی هسته‌ای که به سمت خارج است، در تعادل است. این تعادل اجازه می‌دهد که ستاره‌ها برای دوره‌ای طولانی و نسبتاً پایدار بدون تغییرات عمده درخشیده و ساختار خود را حفظ کنند.

- مرحله نهایی: تکامل و تغییرات داخلی

با گذشت زمان، ترکیب هسته ستاره از هیدروژن به هلیوم تغییر می‌کند. هنگامی که سوخت هیدروژن در هسته تمام می‌شود، تعادل ستاره برهم می‌خورد و به مراحل بعدی تحول مانند تبدیل به غول سرخ وارد می‌شود.

این توضیحات مراحل کلیدی و وضعیت پایدار ستارگان در توالی اصلی را بیان می‌کنند که طولانی‌ترین و پایدارترین مرحله در زندگی ستارگان محسوب می‌شود.

4-1-3 مرحله غول سرخ

پس از پایان سوخت هیدروژن در هسته، ستارگان با جرم مشابه یا کمی بیشتر از خورشید به غول سرخ تبدیل می‌شوند. در این مرحله، سوختن هلیوم در هسته آغاز می‌شود و هیدروژن در لایه‌های اطراف می‌سوزد. این تغییرات باعث افزایش درخشندگی و انبساط ستاره می‌شود و در عین حال، دمای سطح آن کاهش می‌یابد که منجر به تغییر رنگ ستاره به قرمز می‌شود.

- مرحله اول: همجوشی هلیوم

پس از اتمام سوخت هیدروژن و تبدیل هسته به هلیوم، هسته ستاره دچار انقباض و افزایش دما می‌شود. هنگامی که دما به حدود ۱۰۰ میلیون کلوین می‌رسد، همجوشی هلیوم آغاز می‌شود و هلیوم به کربن و اکسیژن تبدیل می‌شود. این فرآیند که به نام "سه‌گانه آلفا" یا Triple-alpha process شناخته می‌شود، انرژی زیادی آزاد می‌کند و برای مدتی ستاره را در وضعیت پایداری قرار می‌دهد.

- مرحله دوم: همجوشی کربن و سوختن عناصر سنگین‌تر

ستارگان پرجرم با دمای مرکزی بالاتر قادر به همجوشی کربن هستند. دمای لازم برای این واکنش‌ها حدود یک میلیارد کلوین است. در این دماها، کربن به عناصر سنگین‌تری مانند نئون و سپس به اکسیژن و سیلیسیم تبدیل می‌شود. در هر مرحله، هسته فشرده می‌شود و به دمای کافی برای همجوشی عنصر بعدی می‌رسد.

- مرحله سوم: ایجاد لایه‌های متعدد سوختن

در ستارگان بسیار پرجرم، فرآیند سوختن به صورت لایه‌ای انجام می‌شود. به این معنا که لایه‌های مختلفی از عناصر از جمله هیدروژن، هلیوم، کربن، نئون و اکسیژن در بخش‌های مختلف ستاره می‌سوزند. هر لایه به عنوان سوخت بعدی عمل کرده و انرژی لازم برای پایدار ماندن ستاره را فراهم می‌کند.

- مرحله چهارم: تشکیل هسته آهن و پایان سوختن

در مرحله نهایی، هسته ستاره به آهن تبدیل می‌شود. برخلاف عناصر سبک‌تر، همجوشی آهن انرژی آزاد نمی‌کند و در عوض انرژی جذب می‌کند. بنابراین، زمانی

که هسته به آهن تبدیل شد، ستاره دیگر نمی‌تواند انرژی لازم برای مقابله با گرانش را تأمین کند و دچار فروپاشی می‌شود. این فروپاشی می‌تواند منجر به یک ابرنواختر عظیم و تشکیل ستاره نوترونی یا سیاه‌چاله شود.
این مراحل، روند پیچیده‌ی سوختن و تغییرات هسته‌ای در ستارگان پرجرم را نشان می‌دهند و دلیل پیدایش بسیاری از عناصر سنگین موجود در کیهان را توضیح می‌دهند.

4-1-4 مرحله هم‌جوشی هلیوم و سوختن عناصر سنگین‌تر (برای ستارگان پرجرم):
ستارگان بزرگتر پس از اتمام هلیوم، شروع به همجوشی عناصر سنگین‌تر مانند کربن و اکسیژن می‌کنند. این ستارگان چندین مرحله فشردگی هسته و همجوشی عناصر سنگین‌تر را پشت سر می‌گذارند و به نوعی ساختاری لایه‌ای شبیه به پیاز پیدا می‌کنند، که هر لایه در حال همجوشی یک عنصر خاص است.

4-1-5 پایان زندگی:
- ستارگان با جرم کم تا متوسط (تشکیل کوتوله سفید):

پس از آنکه ستاره لایه‌های بیرونی خود را به شکل یک سحابی سیاره‌ای از دست می‌دهد، هسته آن به یک کوتوله سفید تبدیل می‌شود که در طول میلیاردها سال به تدریج خنک شده و محو می‌شود.
- ستارگان پرجرم (ابرنواختر و تشکیل ستاره نوترونی یا سیاه‌چاله):

برای ستارگان با جرم بیشتر از حدود ۱۰ برابر جرم خورشید، انفجاری عظیم به نام ابرنواختر رخ می‌دهد. در این انفجار، هسته ستاره به سرعت فرو می‌ریزد و بسته به جرم باقی‌مانده، به یک ستاره نوترونی یا یک سیاه‌چاله تبدیل می‌شود.
این مراحل نشان‌دهنده تنوع چرخه زندگی ستارگان براساس جرم آن‌هاست. ستارگان کم‌جرم به آرامی به پایان می‌رسند، در حالی که ستارگان پرجرم با انفجاری سهمگین به زندگی خود خاتمه می‌دهند.

4-1-6 پایان زندگی ستارگان کم‌جرم و تشکیل کوتوله سفید:
ستارگانی که جرم مشابه یا کمی بیشتر از جرم خورشید دارند، پس از پایان سوخت هیدروژن و هلیوم، وارد مرحله غول سرخ می‌شوند. با از دست دادن لایه‌های خارجی خود، این ستارگان به‌تدریج یک هسته فشرده از کربن و اکسیژن به جا می‌گذارند که به نام کوتوله سفید شناخته می‌شود. کوتوله سفید فاقد سوخت هسته‌ای فعال است و با گذشت زمان سرد شده و نور خود را از دست می‌دهد.
- پایان زندگی ستارگان پرجرم و ابرنواختر نوع II:

در ستارگان با جرم بسیار بیشتر، پس از سوختن هیدروژن و هلیوم، لایه‌های داخلی ستاره به همجوشی عناصر سنگین‌تری مانند کربن، نئون، اکسیژن و در نهایت سیلیسیم می‌پردازند تا به آهن برسند. اما آهن به دلیل ساختار هسته‌ای خود نمی‌تواند انرژی تولید کند و در نتیجه، ستاره تحت نیروی گرانش دچار فروپاشی می‌شود. این فروپاشی ناگهانی باعث ایجاد انفجار عظیمی به نام ابرنواختر نوع II می‌شود، که در این فرایند، مواد درونی به فضا پرتاب شده و ستاره برای مدت کوتاهی درخششی بسیار زیاد دارد.

- تشکیل ستاره نوترونی یا سیاه‌چاله:

در ابرنواختر نوع II، هسته باقیمانده ستاره به یک ستاره نوترونی بسیار چگال تبدیل می‌شود، مگر اینکه جرم آن به حدی باشد که فروپاشی ادامه یابد و سیاه‌چاله تشکیل شود. ستاره نوترونی، یک هسته فشرده از نوترون‌هاست که می‌تواند در اندازه‌ای کوچک اما با چگالی بسیار بالا باشد. در مقابل، سیاه‌چاله نتیجه فروپاشی کامل است که هیچ چیز، حتی نور، نمی‌تواند از جاذبه آن فرار کند.

این مراحل پایانی زندگی، سرنوشت نهایی ستارگان را تعیین می‌کنند، جایی که یا به کوتوله سفید، ستاره نوترونی یا سیاه‌چاله تبدیل می‌شوند و تأثیر خود را بر محیط پیرامون برجای می‌گذارند.

فصل 5: گذری بر عکاسی نجومی

اگر تا حالا اسم «عکاسی نجومی» رو نشنیده باشید، قطعا تصاویری که نتیجه این کار هستند را دیده‌اید.
عکاسی نجومی به طور کلی به ثبت تصاویری از آسمان و اجرام آسمانی گفته می‌شود. اما عموم مردم و حتی دانش‌آموختگان تصوری غلط از این کار دارند، به گونه ای که مانند عکاسی پرتره یا عکاسی از طبیعت میپندارند.

5-1 انواع عکاسی نجومی

عکاسی نجومی را میتوان از طرفی به دسته عکاسی علمی و هنری تقسیم کرد.
عکاسی علمی عبارت است از عکس هایی که حاوی اطلاعاتی است برای پژوهش و کار روی آنها، ولی عکاسی هنری صرفا به تصویر کشیدن زیبایی اجرام آسمانی است.
اما از طرفی هم میتوان برحسب سوژه های عکاسی دسته بندی کرد: عکاسی سیاره‌ای، عکاسی عمق آسمان و...

5-2 چیک!

حتی اگر عکاس نباشید و با دوربین عکاسی هم کار نکرده باشید، این صدا را شنیده‌اید، چیک! در واقعا این صدای شاتر دوربین است، به طور خیلی ساده ثبت تصاویر در دوربین‌های عکاسی به این صورت است که یک سنسور که کار اصلی ثبت تصاویر را انجام می‌دهد، عموما هم از مواد نیمه رسانا ساخته شده است(بررسی چگونگی کار کرد سنسور دوربین‌ها مد نظر ما نیست)، در پشت شاتر قرار گرفته است. شاتر دوربین

با باز و بسته شدن خود، و رسیدن نور به سنسور باعث ثبت تصاویر می‌شود. که در واقع این نور، بازتاب نور از اشیاءای است که سوژه عکاسی ما هستند، ما میتوانیم این تصویر را داشته باشیم.
اگر با دوربین‌های عکاسی کار کرده باشید یا اگر گوشی موبایل بروزی داشته باشید که این قابلیت را به شما دهد، میدانید که میتوان سرعت شاتر را تنظیم کرد. سرعت شاتر عبارت است از بازه زمانی که طول میکشد شاتر باز و بسته شود، به عبارتی بازه زمانی که نور به سنسور می‌رسد تا یک تصویر ثبت شود.
برای یک عکس از منظره یا طبیعت یا امثالهم سرعت های 4000/1 ثانیه یا 2000/1 ثانیه استفاده می‌شود.(البته این اعداد مثال هستند و باید با توجه به سوژه انتخاب شوند).
پر واضع است که با پایین آمدن سرعت شاتر (سرعت شاتر پایین به معنای بالاتر رفتن بازه زمانی باز بودن آن است) به معنای رسیدن نور بیشتر به سنسور است.
حال بیایید این وضعیت را در عکاسی نجومی بررسی کنیم، فرض کنید که ما یک تلسکوپ داریم که دوربین خود را به آن متصل کرده ایم، و آن روی یکی از اجرام عمق آسمان است. خب میدانیم که این اجرام به دلیل قدر بالا (قدر معیاری از درخشندگی است، قدر بالا به معنای درخشندگی پایین است) با چشم حتی از تلسکوپ قابل رویت نیستند.
خب سوالی که اینجا بوجود میاید این است که چطور باید از این جرم عکاسی کرد؟
میدانیم که برای دیدن هر چیزی نیاز است نور آن به ما برسد، حال اگر ما این جرم را نمی‌بینم، آیا نوری ندارد، یا نور آن به ما نمیرسد؟
جواب این سوال آن است که، نور دارند! اما نور اونها آنقدر کم است که چشم ما توان دیدن آنها را ندارند. پس چطور میتوان از آنها عکاسی کرد؟
پر واضح است که میتوان با پایین و پایین تر آوردن سرعت شاتر این کار را انجام داد. سرعت شاتر را مرور کنیم، بازه زمانی که طول میکشد شاتر باز و بسته شود تا نور در این بازه به سنسور دوربین برسد. حال اگر به جای سرعت 400/1 ثانیه، از 120 ثانیه یا همان دو دقیقه استفاده کنیم چطور؟
واضح است که همچین سرعت شاتری باعث میشود سنسور نوری که از آن جرم بهش می‌رسد را جمع کند و یک تصویر بسازد که در آن جرم مشخص باشد. در عکاسی های نجومی از اعداد 30، 60،90 ، 120 و حتی 300 ثانیه نیز استفاده می‌شود.

5-3 یافتن اجرام آسمانی و رهگیری آنها

موضوع بسیار مهمی که این بین مطرح می‌شود، آن است که وقتی با چشم غیر مصلح و حتی با نگاه کردن از پشت تلسکوپ با چشم، اجرام عمق آسمان را نمیتوان دید، پس چطور باید آنها را یافت؟ از آن گذشته میدانیم که زمین حرکت وضعی دارد، از دید ناظر زمینی اجرام آسمانی حرکت دارد. برای عکاسی در این مقیاس زمانی تلسکوپ نیاز دارد خیلی دقیق روی جرم بماند و آنرا به طور خیلی دقیق رهگیری کند.
لازم به ذکر است که ما از دقتی از مرتبه دهم ثانیه قوسی صحبت میکنیم.

در اینجا مقر خودکار یا به اصطلاح GoTo به کمک ما می‌ایند که پرداختن به آن در بحث ما نیست.

انباشتگی لایه‌ها (Stacking)

اگر تا به حال مشخصات فنی یک تصویر نجومی را دیده باشید، احتمالا به عبارت‌هایی شبیه «کل زمان نوردهی: 10 ساعت» یا «120x120s» برخورد داشته اید.

اما سوال این است، آیا واقعا در یک تصویر نجومی شاتر دوربین به مدت 10 ساعت مداوم باز بوده است؟ خیر!

اینجاست که ما با مفهومی به نام انباشتگی لایه‌ها برخورد می‌کنیم، همانطور که گفتم ما تصاویری با نوردهی (نوردهی منظور همان سرعت شاتر است) به عنوان مثال 120 ثانیه میگیریم، اما نه یک بار بلکه به تعداد بالا! برای مثال عبارتی که بالاتر مثال زدم «x120s120»، به این معنی است که به تعداد 120 بار عکسی با نوردهی 120 ثانیه گرفته شده است.

سوال بعدی این است که این تعداد عکس به چه کار می‌آیند؟

انباشتگی لایه‌ها اینجا معنی پیدا می‌کند، در واقع این 120 تصویر در زیر هم، لایه لایه انباشته شده و یک تصویر را می‌سازند. انباشتگی به معنای افزایش سیگنال (اطلاعات و نوری که از اجرام دریافت می‌شود) و کاهش نویزهاست. به عبارت خیلی ساده، افزایش هر آنچه می‌خواهیم و کاهش و حذف آنچه نمی‌خواهیم. حاصل ضرب این تعداد در سرعت شاتر، برای ما نوردهی نهایی تصویر را مشخص می‌کند.به عنوان مثال انباشته شده‌ی 120 عدد تصویر با نوردهی 120 ثانیه، 14400 ثانیه یا به عبارتی 4 ساعت نوردهی است.

5-4 نویزها

به طور عام به هر سینگال اضافی و مزاحمی که کیفیت تصویر را کاهش داده و سیگنال واقعی حاصل از نور جرم آسمانی نیست نویز گفته می‌شود. این نویزها به دلایل مختلفی مانند گرم شدن سنسور، نورهای اضافی، خطا در خواندن اطلاعات، تداخل مدار الکتریکی و... ایجاد می‌شوند، که برای داشتن یک تصویر خوب باید از تصویر حذف شوند که با روش‌های بخصوصی انجام می‌شود. بررسی چگونگی حذف کردن نویزها در بحث ما نیست.

5-5 سیر گرفتن یک عکس نجومی

به طور خیلی خلاصه، ساده و شاید نادقیق گرفتن یک عکس نجومی به مراحل زیر است: تنظیم تلسکوپ روی جرم مورد نظر، رهگیری آن جرم، اتصال و فوکوس دوربین عکاسی، گرفتن تعداد زیادی عکس از جرم، گرفتن فریم‌های مختلف مانند Dark Frame, Bias Frame, Flat Frame و...، انباشته سازی تصایر، پردازش نهایی تصویر، انتشار آن.

البته این مراحل هر کدام خود دارای مراحل زیادی هستند که جدای از علم به آن نیاز به تجربه دارند. گرفتن چه تعداد تصویر از هر جرم به فاکتورهای زیادی مانند آلودگی نوری، قدر جرم، زمان و... بستگی دارد، که می‌تواند بین چند ساعت و بعضا چند صد ساعت متغیر باشند.
و انتها باید به این نکته اشاره کنم که عکاسی نجومی کاری بسیار دقیق، پرزحمت و حساسی است که نیاز به ابزار مناسب، آسمان خوب و آدم با تجربه و با علم دارد، در این حوضه علم و تجربه باید در کنار هم باشند.

فهرست منابع

1) دگانی، مایر. (1392). نجوم به زبان ساده . ترجمه محمدرضا خواجه پور. تهران: موسسه جغرافیایی و کارتوگرافی گیتاشناسی .
2) ریس، مارتین. (1392). تاریخچه علم نجوم : از تمدن های باستانی تا اکتشافات فضایی. ترجمه محمدحسین پور عباس و امیر سادات موسوی. تهران : سبزان .
3) اسمارت، ویلیام مارشال. (1375). نجوم کروی . ترجمه داود محمدزادهجسور . تهران: مرکز نشر دانشگاهی.
4) The Life and Death of Stars Kenneth R. Lang
5) Modern Astronomy and Astrophysics – Bradley W. Carroll and Dale A. Ostlie
6) Wikipedia

https://science.howstuffworks.com/dictionary/astronomy-terms/big-bang-theory7.htm

https://ned.ipac.caltech.edu/level5/March03/Lineweaver/Lineweaver1_2.html

https://www.britannica.com/science/astronomical-map/Modern-star-maps-and-catalogs

https://telescope.live/blog/understanding-astronomical-catalogs