

# زحل

## مالک حلقه‌ها

(قسمت اول)

نویسندگان: KENNETH R. LANG,

CHARLES A. WHITNEY

برگردان: زلیخا باقری

● حلقه‌های باشکوه زحل که این سیارهٔ شگلاتی را دربرگرفته، هیچ ارتباطی با سطح آن ندارد. اتمسفر زرد - قهوه‌ای در زحل دارای یک ساختاری متحد و فاقد رنگ‌های روشن زحل می‌باشد.

- زحل می‌تواند در آب شناور باشد، همچنین این سیاره بسیار بزرگتر و حجیم‌تر از زمین است.
- محاسبات تئوریکی این مطلب را بیان می‌کند که بارش هلیومی در داخل زحل در دو بلیون سال پیش صورت گرفته است.
- حلقه‌های زحل به طور کامل، منفک از سیاره و یا هر چیز دیگر می‌باشد. آنها ممکن است شامل هزاران حلقه یخی باشند.
- آیا سیارات دارای حلقه‌هایی هستند و آیا این حلقه‌ها دارای مرزهای تیز و گوشه‌دار می‌باشند.
- اتمسفر تیتان به وسیله نیتروژن پر شده است. اقیانوس‌های اتان ممکن است کرانه‌های آن را بپیچد.
- دو قمر از اقمار زحل، حلقهٔ باریکی در بین آنها را هدایت می‌نمایند زیرا دوتای دیگر به طور نامنجم، مدارها را عوض می‌نمایند.



## ۱) سیاره زحل

۱-۱) استعدادهای بینادی

زحل باشکوه، ششمین سیاره از خورشید، دورترین جهان شناخته شده در عهد باستان می‌باشد و با کمترین سرعت حول منطقه البروج حرکت می‌کند. یونانیان باستان این سیاره را به نام کروئوس، پدر زئوس، معرفی کرده‌اند زیرا در این داستان‌ها، سیاره زحل قبل از خدای کاشت و بذرافشانی نامگذاری شده است. یونانیان باستان، زحل را با خدای باستانی زمان که بعدها پدر زمان شد، مربوط دانسته‌اند. سیاره زحل، خورشید را در مسافت ۹/۵ واحد نجومی، با یک دوره مداری ۲۹/۵ سال، طی می‌نماید. نام سیاره از کلمه Saturnine به معنای سنگین و سربی، برای تشریح سرما و اتمسفر بزرگ آن، اقتباس شده است که احتمالاً به علت حرکت آرام آن در طول مدار می‌باشد.

این سیاره در مقایسه با زمین تنها یک درصد از نور و حرارت خورشید را دریافت می‌کند که دلیل آن را می‌توان در فاصله زیاد آن از خورشید دانست.

اختلافات فصلی در پرتوی ناچیز خورشید، شبیه به آن چه که در سطح زمین است، در استوای زحل تنها کمی بیش از سطح زمین متمایل است (۲۹ درجه در ارتباط با مدار سیاره حول خورشید). این شیب ما را به دیدن حلقه‌های افسانه‌ای زحل که این سیاره را در بر گرفته‌اند، ترغیب می‌کند. جرم مشتری حدود ۹۵ برابر بزرگتر از جرم زمین و شعاع آن، بدون حلقه‌ها، کمی بیش از ۹ برابر شعاع زمین می‌باشد. حجم آن نیز چیزی در حدود ۹۰۰ برابر زمین می‌باشد.

بعد از مشتری، زحل دومین سیاره از نظر اندازه و جرم می‌باشد و این دو سیاره علاوه بر آنکه حاکم بر سیارات هستند، از جنبه‌های دیگر نیز شبیه به یکدیگر می‌باشند. به وسیله تعیین جرم و حجم زحل، ارزش چگالی آن به میزان  $0.71 \text{ g/cm}^3$  که کمترین میزان در بعضی از سیارات و کمتر از آب است، قابل محاسبه است. اگر زحل در یک اقیانوس وسیعی از آب قرار داشت، شاید مسطح می‌بود.

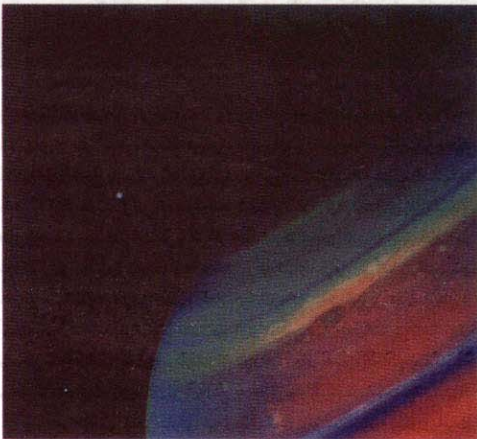
زحل نیز همانند مشتری دارای چگالی پایینی است زیرا به طور عمده از دو عنصر نورانی هیدروژنی و هلیوم تشکیل شده است. دوره چرخش زحل در طول یک روز تقریباً همانند مشتری بوده و برابر با ۱۰ ساعت زمینی است که این چرخش سریع، صعود کروی زحل را در استوا امکان‌پذیر می‌سازد، البته سرعت حرکت آن به آرامی مشتری که دارای شعاع بزرگتری است، نمی‌باشد. (این فاصله از قطب شمال یا جنوب نسبت به مرکز زحل حدود ۹/۶ درصد کمتر از شعاع استوایی در ۶۰۳۳۰ کیلومتری است).

۲-۱) ابرها و بادهای زحل

ابره‌های زحل تقریباً از بلورهای آمونیاکی که بخارات کروی شکلاتی‌رنگی را تولید می‌کنند، تشکیل شده است. سرعت چرخش سیاره سبب می‌شود. این ابرها به داخل مناطق و کمربندهایی که با تغییرات کم‌رنگی در آن شبیه به مشتری می‌باشند، کشانده شوند. اما در مسیری که

سیاره در حال چرخش است این ابرهای نمایان در سطح زحل نیز به سمت شرق می‌وزند و این هیچ گونه شباهتی به مشتری که دارای کمربندهای متناوبی از ابرهای تاریک و روشن و منطبق با پاداست، ندارد. (نگاره (۱))  
بادهای نزدیک به استوای زحل حدود ۱۸۰۰ کیلومتر در ساعت سرعت دارند که این میزان برابر با دو سوم سرعت صوت در سطح زمین و تقریباً چهار برابر سرعت سریعترین بادهای مشتری می‌باشد.  
ابره‌های استوایی نیز بیش از ۷ درجه در عرض جغرافیایی و یا ۸۰۰۰۰ کیلومتر در عرض امتداد دارند.

بادهای مشتری مانند، که در جهت حرکت آنها از غرب به شرق است را نیز می‌توان در قطب‌های زحل یافت. درجه حرارت اتمسفر بیرونی این سیاره همانند مشتری بسیار بالا و حدوداً دو برابر حرارتی است که از خورشید دریافت می‌کند و بیان‌کننده این مطلب است که زحل یک کره فروزان با منبع حرارتی درونی است. (نگاره (۲))



نگاره (۱)

ابره‌های زحل: اگرچه آب و هوای زحل به وسیله بادهای استوایی آن برقرار است، در آنجا بادهایی با جهت وزش شرق به غرب و غرب به شرق در نزدیکی مناطق قطبی و مغناطیسی سیاره وجود دارد. رنگهای موجود در این پادها شامل نقاط تاریکی است که در فشار بالای گردبادهای هوایی مشخص است. نقاط سفید نشان داده شده، دو قمر از اقمار یخی زحل می‌باشند.

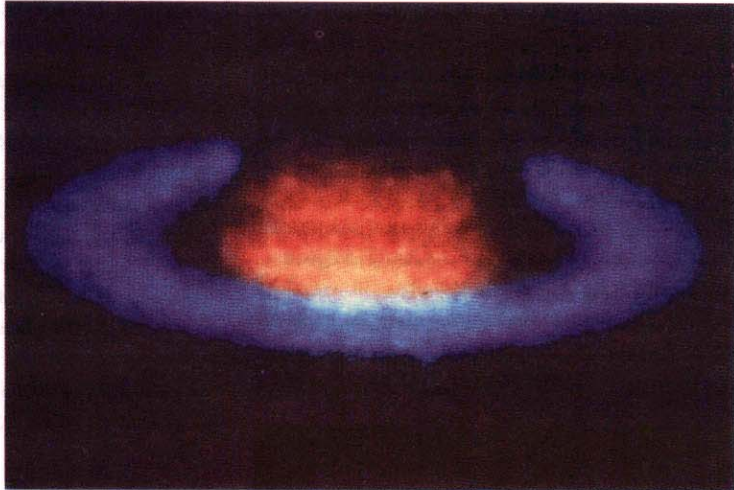
۳-۱) بخش داخلی زحل

حرارت اضافی زحل تا حدی باقی مانده سقوط و از هم پاشیدگی جاذبه‌ای در زمان شکل‌گیری و ادامه انقباض جاذبه‌ای آن است. اما این حرارت تنها یک سوم میزان مورد نیاز برای توضیح این رصدها را شامل می‌شود.



### ➤ نگاره ۲

زحل و حلقه‌های آن در طول موج‌های مادون قرمز: حلقه‌های زحل به دلیل آن که از یخ درست شده‌اند، میزان زیادی از نور خورشید را در یک طول موج مادون قرمز  $3/8$  میکرومتری منعکس می‌کنند (پوسته آبی). متان موجود در اتمسفر زحل، تشعشعات خورشیدی در این طول موج را جذب می‌نماید اما این کره فروزان دارای میزانی از حرارت درونی است که روشن‌تر از طول موج مادون قرمز  $4/8$  میکرومتری به نظر می‌آید. (پوسته نارنجی). این حرارت بالا آمده از داخل زحل احتمالاً به دلیل بارش‌های هلیومی داخل سیاره می‌باشد.

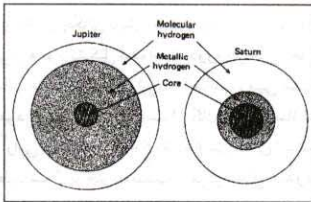


است و این در حالی است که هر دو سیاره دارای چرخشی برابر با ۱۰ ساعت می‌باشند. چنانچه فرض کنیم این میدان مغناطیسی به وسیله حرکت چرخشی الکتریکی، که البته در این گونه سیارات دارای پوسته مایع فلزی رایج است، ایجاد می‌شود، شاید بتوان این میدان مغناطیسی ضعیف در زحل را به قشر نازک آن مربوط دانست. مغناطیس زحل به طور دقیق با قطبهای آن در زمان چرخش در یک ردیف قرار می‌گیرد و همانند مشتری به طور معکوس قابل مقایسه با مغناطیس زمین می‌باشد. (یک جهت یاب زمینی به جنوب اشاره خواهد داشت).

ضربات خمیده مغناطیس زحل در داخل و خارج مدار بزرگترین قمر، تیتان، بستگی به نوسان فشار در بادهای خورشیدی دارد. این قمر به عنوان یک منبع تغییرپذیر از ذرات در مغناطیسکره سیاره فعال است.

### ➤ نگاره ۳

**بخش داخلی مشتری و زحل: جرم زیاد مشتری نتیجه فشار بالای داخلی و قشر وسیعی از هیدروژن مایع است. در زحل**



احتمالاً قشر کمتری از هیدروژن می‌تواند توضیح دهنده میدان ضعیف مغناطیسی در این سیاره باشد. دو سیاره مشتری و زحل احتمالاً دارای هسته‌های سنگلاخی همانند زمین می‌باشند؛ طبق محاسبات انجام شده، هسته زحل حدود ۲۵ درصد از جرم این سیاره را دربرمی‌گیرد در حالی که برآوردها به این مطلب اشاره دارند که هسته مشتری تنها ۴ درصد از جرم آن را شامل می‌شود.

این حرارت اضافی برخاسته از دوری تدریجی هلیوم از هیدروژن در بخشهای داخلی سیاره است. هیدروژن و هلیوم در درجه حرارت و فشار بالا، به طور کامل در یکدیگر حل شده و این احتمالاً زمانی است که آنها در مشتری قرار دارند. وقتی که درجه حرارت بالا می‌رود، تعدادی از اتم‌های هلیوم به صورت قطرات کوچکی از هم تفکیک می‌شوند، این قطرات، متراکم‌تر از هیدروژن بوده و به داخل مرکز سیاره فرود می‌آیند. وقتی آنها سقوط می‌کنند، هیدروژن مایع را به حرکت واداشته و انرژی در تعدادی از آنها به حرارت تبدیل می‌شود. در بسیاری از این مسیر، ذرات پرتاب شده بر روی سطح زمین به آرامی گرم‌تر شده و آن زمانی است که آنها به سطح برخورد کرده و انرژی‌شان از حرکتی به حرارتی تبدیل می‌شود.

اتمسفرفوقانی زحل دارای هیدروژن کمتری نسبت به مشتری است. (۱۱) درصد جرم در مقایسه با ۱۹ درصد و این می‌تواند به عنوان بارش هلیومی داخل زحل که جرم کمتر آن امکان سرمای بیشتر و تفکیک ترکیبات بیشتر هلیوم را میسر می‌سازد، استنباط شود).

مشتری و زحل نقاط غول‌پیکر مایعی هستند که به وسیله اتمسفر قطوری احاطه شده‌اند. اتمسفر در این دو سیاره یک مسیر مایع‌گونه‌ای را در بخش داخلی ارائه می‌دهد، اما چون زحل دارای جرم کمتری نسبت به مشتری است، این فشار کمتر بوده و تغییر به حالت مایع تنها محدود به بخش مرکزی می‌باشد. (نگاره ۳) این اختلاف احتمالاً ویژگی میدان مغناطیسی زحل را شرح می‌دهد.

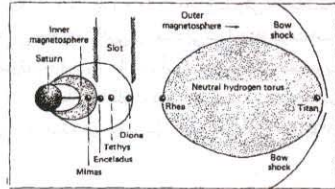
### ۴-۱) مغناطیسکره ضعیف زحل

قدرت میدان مغناطیسی دوقطبی در زحل همانند این سیستم در مشتری



#### نگاره (۴)

**بخش بیرونی زحل:**  
**این بخش شامل**  
**مغناطیسکره زحل،**  
**اقمار و حلقه‌ها**  
**است. این ضربات**  
**خیمه مغناطیسی به**



**مدار تیتان برخورد می‌کنند. یک برجستگی در اتم‌های خنثی هیدروژنی بین مدارهای رنا و تیتان قرار می‌گیرد. آن به وسیله هیدروژن آزاد شده به وسیله انرژی نور خورشید از اتمسفر تیتان، تشدید می‌شود. حلقه‌ها و اقمار تیتان، ذرات انرژی را جذب کرده و به این ترتیب هیچ گونه کمربند تشعشعاتی در مجاورت آن قرار ندارد.**

هیدروژن اتمی به وسیله حرکت نور خورشید در اتمسفر تیتان رها شده، در مدار اطراف زحل جاری گشته و به شکل یک برجستگی بزرگ هیدروژن در می‌آید. (نگاره (۴))

#### ۲) حلقه‌های قابل توجه زحل

##### ۱-۲) حلقه‌های اصلی

حلقه‌های زیبای زحل به طور کامل از سیاره جدا بوده و از هیچ نقطه‌ای با سطح آن تماس ندارد. سه حلقه اصلی که از زمین قابل رؤیت می‌باشند به نام‌های A، B و C نامگذاری شده‌اند. (به جدول (۱) مراجعه شود).

جدول (۱): حلقه‌های اصلی زحل

نام	عرض (کیلومتر)	دوره مداری <sup>b</sup> (ساعت)	فاصله از مرکز سیاره (شعاع زحل) <sup>a</sup>
حلقه C	۱۷۵۰۰	۵/۶ - ۷/۹	۱/۲ - ۱/۵
حلقه B	۲۵۵۰۰	۷/۹ - ۱۱/۴	۱/۵ - ۱/۹
بخش کاسینی	۴۵۰۰	۱۱/۴ - ۱۱/۹	۱/۹ - ۲/۰
حلقه A	۱۴۷۰۰	۱۱/۹ - ۱۴/۲	۲/۰ - ۲/۳

a = شعاع زحل برابر است با ۶۰۳۳۰ کیلومتر و تقریباً ۱۰ برابر شعاع زمین  
b = دوره چرخش زحل حدود ۱۰/۶۵ ساعت است.

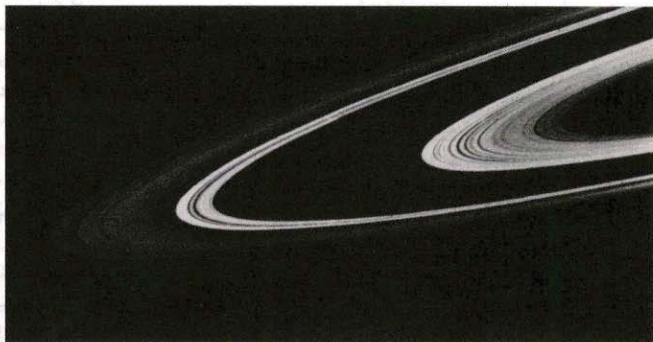
حلقه‌های A و B به وسیله منطقه تاریکی به نام بخش کاسینی که اولین بار در سال ۱۶۷۵ به وسیله جین دومینیکو کاسینی (Jean Dominique Cassini) مورد توجه قرار گرفت، از هم منفک شده‌اند. فضاپیمای ویجر نیز نشان داد که بخش کاسینی خالی نیست (نگاره (۵)). بخش درونی حلقه‌های A و B که به صورت چین خورده (Crepe) می‌باشد به حلقه C معروف است و نام آن به این مطلب اشاره دارد که در بین این سه حلقه از همه شفاف‌تر است.

ما فقط تا حدی درباره این مطلب که چرا حلقه‌های زحل دارای مرزهای تند و تیز هستند، اطلاعات بدست آورده‌ایم. در فقدان بقیه نیروها، تصادم بین ذرات حلقه می‌بایست دلیل آنها برای افتادن داخل به داخل زحل و توسعه مسیر بیرونی، باشد. ظاهراً یک قمر می‌تواند از بسط و توسعه یک حلقه جلوگیری کند و آن زمانی است که دوره مداری آن به موقع با چرخش حلقه وفق داده شود. به عنوان مثال، این ذرات در لبه بیرونی حلقه B، (لبه داخلی بخش کاسینی) دارای دوره‌های مداری که نیمی از قمر میماس را شامل می‌شود، می‌باشند. لبه بیرونی حلقه A به نسبت شبیه به قمر جانوس می‌باشد. نیروی جاذبه‌ای آنها تا حدی شبیه به حرکت یک آونگ می‌باشد. این حلقه‌ها زمانی که از زمین دیده می‌شوند، به آرامی ظاهرشان تغییر می‌کند زیرا آنها با صفحه مدار سیاره زاویه‌ای در حدود ۲۹ درجه ایجاد می‌کنند. در طول مدار زحل به دور خورشید، آنها به طور متناوب جلوتر (وقتی که آنها در مدت کم ناپدید می‌شوند)، از پایین (وقتی که آنها وسیع و پهن‌تر هستند) دوباره جلوتر و سپس از بالا به نظر می‌آیند. این چرخه کامل مستلزم ۳۰ سال زمان می‌باشد، به طوری که این حلقه‌ها در هر ۱۵ سال ناپدید می‌شوند. ناپدید شدن قبلی در سال ۱۹۹۵ صورت گرفته است.

این حلقه‌های پهن‌تر به طور باور نکردنی نازک هستند. سرتاسر آن حدود ۴۰۰۰۰۰ کیلومتر می‌باشد اما طول آنها بیشتر از چند متر نمی‌باشد. اگر نازکی حلقه‌های زحل به وسیله یک برگ کاغذ نمایش داده شود، تهیه یک مدل مورد سنجش مستلزم یک برگ کاغذ به طول ۴۰ شهر می‌باشد. این حلقه‌ها شبیه به یک عکس بیچ و خم دار ثبت شده‌اند و منبجمان زمانی به اندازه گیری میزان نازکی (ضخامت) این بیچ و خم‌ها می‌پردازند که

#### نگاره (۵) حلقه‌های تحتانی زحل: وقتی فضاپیمای

ویجر وارد حلقه‌های تحتانی گردید، آنها توانستند نور خورشید را که از میان حلقه‌های عبور می‌کرد ببینند، منظره‌ای که از سطح زمین قابل رؤیت نمی‌باشد. وقتی این حلقه‌ها از لایه‌های تحتانی دیده شود، به شکل یک تصویر وارونه در نور خورشید می‌گردند. حلقه C و بخش کاسینی به صورت روشن ظاهر می‌شود زیرا آنها به طور پراکنده با ذراتی که نور خورشید را در سیر جلو متفرق می‌کنند، ساکن شده‌اند، از آن جایی که حلقه‌های A و B به صورت تاریک ظاهر میشوند زیرا تراکم ذرات آنها تمام نور خورشید را جذب می‌کند.





شد (پاره خواهد شد)، همانند تأثیر جزر و مد بر محدوده رش<sup>(۳)</sup>. ماکسول این طور فرض کرد که این حلقه‌ها ترکیبی از تعداد بی‌شماری از ذرات است که هر کدام در مدار حول زحل قرار دارند. آنها به صورت اقمار ریز بی‌شماری فعالیت می‌کنند که مطابق با قانون کیپلر حرکت می‌نمایند. این استنتاج تئوریک به وسیله رصدهای طیف بینی جیمز کلر<sup>(۴)</sup> در سال ۱۸۹۵ تأیید گردید.

... ادامه دارد

لبه جلویی حلقه‌ها از زمین قابل رصد باشد. بخش‌های درونی طبق قانون سوم نیوتن سریعتر از بخشهای بیرونی می‌چرخند و این به آن معناست که حلقه‌ها ترکیبی از ذرات غیر قابل شمارش در مداری حول سیاره زحل هستند. این ذرات بدون شک با یکدیگر برخورد کرده، اگرچه این برخوردها کاملاً به آرامی صورت می‌گیرد زیرا به نسبت سرعت کم می‌باشد. نور خورشید منعکس شده از حلقه‌ها، نشانه‌هایی از آب یخ زده را آشکار می‌کند. سپس این ذرات موجود در حلقه، به وسیله آب یخ زده پوشش داده می‌شوند. مقدار قابل توجهی از یخ در لایه‌های میانی در اندازه‌های بین ۱ تا ۱۰ سانتیمتر تغییر می‌کند. بزرگترین آنها، اگرچه کمی دور است، دارای جرمی بیشتر از حلقه است. دانه‌های برف، دانه‌های تگرگ، گلوله‌های برف و کوه‌های یخی تشکیل دهنده حلقه‌های میانی هستند. این اجزاء تشکیل دهنده ممکن است به بزرگی یک خانه باشد.

### حل مشکلات حلقه‌های زحل

وقتی برای اولین بار گالیله سیاره زحل را از میان تلسکوپ ابتدایی‌اش در سال ۱۶۱۰ رصد کرد، به این مطلب دست یافت که این سیاره گرد نیست. اجسام نامشخصی در هر گوشه از آن قرار داشت. وقتی این اجسام دو سال بعد ناپدید شدند، گالیله از تصور این که «زحل فرزندان را بلعیده است» در شگفت شد. دستگاه آشفته زحل همانند ضمانتی که متعاقباً ظاهر شده و سپس دوباره ناپدید می‌شود، دلیل این سیاره برای ظهور تناوبی به صورت یک بیضی منبسط و حول صفحه است. مشکل این تبدیل آرام در پیدایش و ظهور اجسام حل نشده بود تا این که کریستین هویگنس<sup>(۱)</sup> این طور استدلال کرد که آن ممکن است به علت حلقه‌های اطراف سیاره باشد. فرض او بر این بود که آن به سرعت یک قمر می‌چرخد و حتی تبدیل به مرحله پیدایش از یک هفته به بعد نمی‌باشد. تنها یک حلقه بدون تبدیل به مرحله پیدایش بچرخد. در سال ۱۶۵۵ هویگنس که تنها ۲۶ سال داشت، این کشفش را بصورت نامه‌های متوالی و تحریف شده (واروواژه) انتشار داد. در سال ۱۶۵۹ او توانست این آناگرام (واروواژه) را در رساله خود به نام سیستم زحل (Systema Saturnium) نشان دهد. آنها به این راه حل پی بردند که می‌توان این طور بیان کرد که «زحل به وسیله یک حلقه مسطح نازکی احاطه شده است، که از هیچ نقطه‌ای با آن تماس نداشته و به سمت دایره البروج متمایل است. زمانی که ما این حلقه‌ها را از زمین رصد می‌کنیم، همواره رأس آنها تغییر می‌کند زیرا به دلیل تمایل حلقه‌ها به سمت دایره البروج، سرازیر می‌شوند. این حلقه‌ها به آرامی باز شده و سپس لبه‌های آن چرخیده و این عمل در طول ۲۹/۵ سال حرکت مداری زحل به دور خورشید صورت می‌گیرد. زمانی که حلقه‌ها باز می‌شوند به نظر می‌آید که ظاهر شده‌اند اما وقتی که آنها را از سمت لبه‌ها می‌بینیم، حلقه‌ها به طور مجازی ناپدید می‌شوند.

در سال ۱۸۹۶ جیمز کلرک ماکسول<sup>(۲)</sup> که او نیز تنها ۲۶ سال داشت، متوجه این مطلب شد که این حلقه‌ها نمی‌توانند جامد (سه‌بعدی) باشند زیرا یک حلقه جامد در بعضی از قسمتها به وسیله جاذبه زحل از هم جدا خواهد

### پاورقی

1) Christiaan Huygens

2) James Clerk Maxwell

۳) محدوده رش: پایین‌ترین ارتفاع ممکن برای اقمار، که از آن کمتر موجب متلاشی شدن قمر می‌شود.

4) James Keeler