المحاضرة العاشرة

المشتري: المشتري خامس الكواكب بعداً عن الشمس وأكبر كواكب المجموعة الشمسية .وهو عملاق غازي وكتلته أقل بقليل من ١/١٠٠٠ من كتلة الشمس، لكنها تساوي ثلثي كتلة مجموع باقي كواكب المجموعة. ويضم تصنيف العمالقة الغازية كل من زحلوأورانوس ونبتون إضافةً إلى المشتري. ويطلق على هذه الكواكب الأربعة اسم الكواكب الجوفيانية.

يتكون المشتري بشكل رئيسي من الهيدروجين، ويشكل الهيليوم أقل بقليل من ربع كتلته. وفي الغالب يحتوي على نواة صخرية تتكون من عناصر أثقل. شكل المشتري كروي مفلطح بسبب سرعة دورانه الكبيرة. يظهر الغلاف الجوي الخارجي تمايز واضح لعدة نطاقات في خطوط طول مختلفة. مما يؤدي إلى الاضطراب والعواصف على طول هذه الحدود. كما تتشكل نتيجة هذه إحدى المعالم المميزة للمشتري وهي البقعة الحمراء العظيمة وهي عاصفة عملاقة معروفة على الأقل منذ القرن السابع عشر عندما تم رصدها لأول مرة بالمرقاب .يحيط بهذا الكوكب نظام حلقات خافت، وحقل مغناطيسي قوي. كما يوجد ٦٣ قمر يدورون حوله، منهم أربع أقمار كبيرة تدعى بأقمار غاليليو وكانوا قد اكتشفو من قبل غاليلو غاليلي سنة ١٦١٠. يملك أكبر هذه الأقمار غانيميدقطر أكبر من قطر كوكب عطارد.

التركيب:

يتكون الغلاف الجوي العلوي للمشتري من حوالي ٨٨–٩٢% من الهيدروجين و ٨–١٢% من الهيليوم . وهذه النسبة هي نسبة حجمية أو نسبة عدد مولات الجزيء .لكن بما أن كتلة ذرة الهيليوم حوالي ٣ أضعاف كتلة ذرة الهيدروجين، فإن النسبة تتغير عند التعبير عنها كنسبة مئوية كتلية، ليصبح تركيب المشتري حوالي ٧٥% هيدروجين و٢٤% هيليوم والباقي عبارة عن مواد مختلفة. تحتوي الطبقة الداخلية من الغلاف الجوي على مواد بكثافة أعلى وتكون النسبة الكتلية لهذه المواد حوالي ٧١% هيدروجين و ٢٤%هيليوم و٥% مواد مختلفة. يحتوي الغلاف الجوي على كميات ضئيلة من الميثان وبخار الماء والأمونيا ومركبات السيليكون .وهناك أيضاً أثار للكربون والإيثان وكبريتيد الهيدروجين والنيون والأكسجين والكبريت والفوسفين .أما الطبقة الأبعد من الغلاف الجوي فتحتوي من وجود أثار للبنزين ومركبات هيدروكربونية أخرى .

تتطابق نسبة الهيدروجين والهيليوم في الغلاف الجوي بشكل كبير مع تركيب السديم الشمسي الابتدائي وفق النموذج النظري. وتبلغ كمية النيون في الغلاف الجوي العلوي حوالي ٢٠ جزء في المليون وتساوي هذه الكمية عشر ماهو موجود في الشمس كما أن الهليوم مستنفذ على الرغم من أن نسبته تساوي ٨٠% مما تحويه الشمس، ويعتقد أن سبب استنفاذ الهيليوم هو هطوله إلى داخل الكوكب .أما تركيز الغازات الخاملة في المشتري فهي ما بين ضعفين إلى ثلاثة أضعاف مماهي عليه في الشمس.

التركيب الداخلي لكوكب المشتري: عتقد أن المشتري يحتوي على نواة كثيفة تحوي على مزيج من العناصر. تحاط هذه النواة بطبقة من الهيدروجين المعدني مع بعض الهيليوم، وتتكون الطبقة الخارجية في الغالب من جزيئات الهيدروجين .لكن ماتزال خلف هذه الخطوط العريضة معلومات غير مؤكدة. فتوصف النواة غالباً على أنها نواة صخرية لكن لا تتوافر معلومات حول تركيبها وكذلك خواص المواد ودرجات الحرارة والضغوط في ذلك العمق. وقد أُقترح وجود للنواة في سنة ١٩٩٧ بسبب قياسات الجاذبية،[وأشرت هذه القياسات على وجود كتلة تتراوح ما بين ١٢ إلى ٤٥ مرة من كتلة الأرض، أو حوالي ٣% إلى ١٥% من كتلة المشتري .ويعتقد أن النواة كانت متواجدة على الأقل في فترة من تاريخ المشتري، وقد أقترح نموذج التشكل أن البنية الداخلية تتألف من الصخور أو الجليد، وكانت كبيرة بمافيه الكفاية من أجل جذب الهيدروجين والهيليوم من السديم النجمي الأولي .ومن ثم تقلصت النواة بسبب تيارات الحمل للهيدروجين المعدني السائل

والممتزج مع النواة المنصهرة، لترفع مكونات النواة إلى طبقات أعلى من داخل الكوكب. على أي حال فإن قياسات الجاذبية المأخوذة حتى الآن ليست دقيقة بما فيه الكفاية، لذلك من الممكن أن تكون نواة المشتري متلاشية الآن .

يرتبط عدم اليقين من النموذج بسبب هامش الخطأ في قياسات البارامترات، ومن هذه البارامترات معاملات الدوران (J_6) والتي تستخدم لقياس عزم الجاذبية الكوكبي، ونصف القطر الإستوائي للمشتري، ودرجة الحرارة عند الضغط 1 بار .من المخطط إطلاقمهمة جونو سنة ٢٠١١، ومن المتوقع لهذه المهمة أن تقترب من قيم هذه البارامترات. وبذلك سيتم إحراز تقدم حول مسألة نواة المشتري .

تحاط النواة بطبقة من الهيدروجين المعدني والتي تمتد إلى حوالي مسافة ٧٨% من نصف قطر الكوكب .وتتساقط قطرات من المطر المؤلف من الهيليوم والنيون في هذه الطبقة. وتوجد وفرة من هذين العنصرين في الغلاف الجوي العلوي .

وتتوضع طبقة من غاز الهيدروجين فوق الهيدروجين المعدني، وتكون درجة الحرارة عند هذا العمق أعلى من الدرجة الحرجة وتساوي للهيدروجين ٣٣ كلفن فقط [36].وفي هذه الحالة لايمكن التمييز بين الحالة السائلة والغازية ويسمى السائل في هذه المرحلة بالسائل فوق الحرج. على أي حال من الأسهل معاملة الهيدروجين كغاز يمتد من الطبقات العليا للغلاف الجوي إلى طبقات الغيوم على ارتفاع ١٠٠٠ كم، وكسائل في الطبقات الادنى على الرغم من عدم وجود حدود فيزيائية تفصل بينهما .

تزداد درجة الحرارة والضغط باضطراد عند التوجه باتجاه النواة. ويعتقد أن الحرارة تصل لـ ١٠٠٠ كلفن والضغط ٢٠٠ غيغا باسكال في مناطق تحول طوري حيث تكون حرارة الهيدروجين خلف النقطة الحرجة ويصبح هيدروجين معدني. في حين تصل الحرارة في النواة إلى ٣٦٠٠٠ كلفن والضغط بين ٣٠٠٠ إلى ٤٥٠٠ كلفن.

أقمار كوكب المشتري:

يملك المشتري ٦٤ قمر ومن بينهم ٤٧ قمر قطرهم أقل من ١٠ كم واكتشفو منذ عام ١٩٧٥. تعرف الأقمار الأربع الأكبر باسم أقمار غاليليو

أقمار غاليلو:

هي أربعة أقمار تابعة لكوكب المشتري اكتشفها جاليليو جاليلي في يناير عام ١٦١٠ للميلاد. هذه الاقمار هي أكبر أقمار كوكب المشتري وتم اشتقاق أسمائهم من عشاق زيوس : آيو وأوروبا وغانيميد وكاليستو . يشكل مدار آيو وأوروبا وغانيميد نموذج يدعىرنين لابلاس .فكل أربع دورات لآيو حول المشتري، يدور أوروبا دورتين تماماً وغانيميد يدور دورة واحدة تماماً. يسبب هذا الرنين تأثيرات جاذبية على هذه الأقمار الثالثة تؤدي إلى تشوه مداراتهم على شكل قطع ناقص، كما أن كل قمر يتلقى سحب إضافي من جاره عند نفس النقطة في كل دورة يقوم فيها. في حين تقوم قوة المد والجزر الناشئة من كتلة المشتري في محاولة تدوير مدارتهم

يتسبب الشذوذ المداري لمدارات هذه الأقمار في انحناء منتظم لشكل الأقمار الثلاثة. فتقوم جاذبية المشتري بتمديدهم للخارج عندما يقتربوا منه، وبالتقلص للداخل ويصبحوا أكثر كروية عندما يبتعدوا عنه. يتسبب هذا التمدد والتقلص بارتفاع الحرارة الداخلية للأقمار نتيجة الإحتكاكات التي تحدث بفعل هذه الآلية. ويعتقد أن قوة المد والجزر هذه تسبب النشاط البركاني الكبير للقمر الأقرب آيو والذي يخضع لقوة مد وجزر أكثر من الباقي. وبدرجات أقل يظهر ذلك النشاط في الأدلة الجيولوجية على سطح أوروبا خلال مراحله الأولى.

مقارنة بين أقمار غاليلو وقمر الأرض

الاسم	القطر		الكتلة		الفترة المدارية نصف القطر المداري			
	كم	%	كغ	%	كم	%	يوم	%
إيو	3643	105	8.9×10^{22}	120	421,700	110	1.77	7
أوروبا	3122	90	4.8×10^{22}	65	671,034	175	3.55	13
غانيميد	5262	150	14.8×10^{22}	200	1,070,412	280	7.15	26
كاليستو	4821	140	10.8×10^{22}	150	1,882,709	490	16.69	61

حلقات المشتري:

يملك المشتري نظام حلقات خافت يتكون من ثلاث قطاعات رئيسية: الحلقة الداخلية على شكل طارة تعرف باسم هالو، وهي حلقة مضيئة نسبياً، بينما تعرف الحلقة الخارجية باسم حلقة الخيط الرقيق أو حلقة غوسمر ويعتقد أن هذه الحلقة مكونة بشكل رئيسي من الغبار بالإضافة إلى الجليد مثل باقي حلقات المشتري [29].بينما تعرف الحلقة المتوسطة باسم الحلقة الرئيسية وتتكون غالباً من مقذوفات قادمة من القمرين أدراستيا وميتس .تسحب المواد الراجعة إلى القمر إلى المشتري بسبب تأثير جاذبيته الكبير. وهكذا ينحرف مدار المواد باتجاه المشتري في حين تضاف مواد جديدة بسبب تأثيرات إضافية .وبشكل مشابه، ينتج القمرين ثيبي وأمالثيا الغبار إلى حلقة الخيط الرقيق. كما توجد دلائل على وجود حلقة صخرية على طول مدار أمالثيا والتي قد تكون ناتجة عن حطام صخري اصطدامي مع القمر أمالثيا

المجال المغناطيسي للمشتري:

يحد المشتري حقل مغناطيسي أكبر باربعة عشر مرة من الحقل المغناطيسي الأرضي. ويتراوح ما بين ٤.٢ جاوس عند خط استواء المشتري إلى ما بين ١٠–١٤ جاوس عند القطبين. مما يجعله أكبر حقل مغناطيسي في المجموعة الشمسية باستثناء البقع الشمسية .ويعتقد أن هذا الحقل نشأ بفعل التيارات الدوامية للمواد الموصلة ضمن نواة الهيدروجين المعدني. يتأين غاز ثنائي أكسيد الكبريت الصادر عن براكين القمر إيو والمشكل حلقة غازية حول هذا القمر. وينتج عن هذا التأين أيونات الأكسجينوالكبريت .وهذا الإيونات بالإضافة إلى إيونات الهيدروجين المتواجدة في الغلاف الجوي للمشتري تشكل غلاف بلازما عند خط استواء المشتري. يتشارك غلاف البلازما بالدوران مع الكوكب مما يؤدي إلى تشوه في المغناطيسية ثنائية القطب للكوكب وتحولها إلى مغناطيسية قرصية. تولد الإلكترونات ضمن غلاف البلازما إشارات راديوية قوية يحث تولد نبضات تتراوح ما بين ٠.٦–٣٠ ميجا هرتز .

يتسبب التفاعل ما بين الغلاف المغناطيسي للمشتري والرياح الشمسية حصول انحناء صدمي، مما يؤدي إلى إحاطة الغلاف المغناطيسي للمشتري بفاصل مغناطيسي متوضع على الحافة الداخلية للغمد المغناطيسي . تتفاعل الرياح الشمسية مع الغلاف المغناطيسي في هذه المنطقة مسببة تمدد الغلاف المغناطيس في الجزء المواجه للرياح والذي يمتد للخارج ليصل إلى حدود مدار زحل .يتوضع أربع أكبر أقمار للمشتري ضمن الغلاف المغناطيسي، مما يجعلهم محميين من الرياح الشمسية .

يعتبر الغلاف المغناطيسي للمشتري مسؤول عن الانبعاثات الراديوية الصادرة من المنطقة القطبية للكوكب. ويسبب تفاعل هذا الغلاف مع حلقات الانبعاثات البركانية الصادرة عن القمر إيو والتي يتحرك هذا القمر ضمنها، تسبب إلى أصدار أمواج ألففين التي تحمل أيونات المواد إلى المنطقة القطبية. ونتيجة لهذا تتشكل

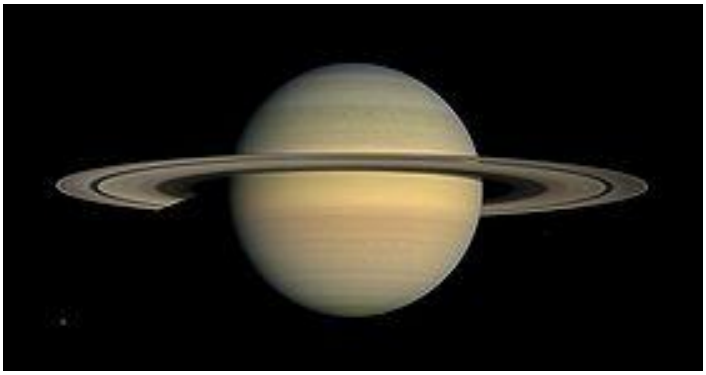
أمواج راديوية بسبب التسريع الدوراني لآلية المازر) تضخيم الموجات القصار بالإصدار الإشعاعي المنبه). وتصدر هذه الطاقة على طول سطوح مخروطية الشكل. وعندما تتقاطع الأرض مع هذه المخاريط، فإن الأمواج الراديوية الصادرة عن المشتري تزيد عن تلك الصادرة عن الشمس .

الكوكب زحل:

زحل هو الكوكب السادس من حيث البُعد عن الشمس وهو ثاني أكبر كوكب في النظام الشمسي بعد المشتري، ويُصنف زحل ضمن الكواكب الغازية مثلالمشتري وأورانوس ونبتون .وهذه الكواكب الأربعة معاً تُدعى "الكواكب الجوفيانية" بمعنى "أشباه المشتري". يعتبر نصف قطر هذا الكوكب أضخم بتسعة مرّات من ذلك الخاص بالأرض، إلا أن كثافته تصل لثمن كثافة الأرض، أما كتلته فتفوق كتلة الأرض بخمسة وتسعين مرة .

تعتبر الظروف البيئية على سطح زحل ظروفًا متطرفة بسبب كتلته الكبيرة وقوة جاذبيته، ويقول الخبراء أن درجات الحرارة والضغط الفائق فيه يفوق قدرة العلماء والتقنيات الموجودة على إعداد شيء مشابه لها وإجراء التجارب عليه في المختبرات. يتكون زحل بنسبة عالية من غاز الهيدروجين وجزء قليل من الهيليوم، أما الجزء الداخلي منه فيتكون من صخور وجليد محاطٍ بطبقة عريضة من الهيدروجين المعدني وطبقة خارجية غازية

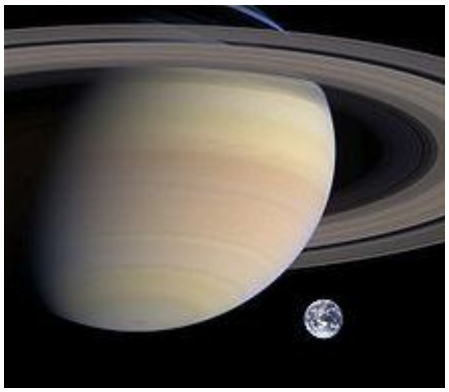
يتميز زحل بتسع حلقات من الجليد والغبار تدور حوله في مستوى واحد مما يعطيه شكلاً مميزاً. يوجد واحد وستون قمراً معروفاً يدور حول زحل مع استثناء القميرات الصغيرة، وقد تمّ تسمية ٥٣ قمرًا منها بشكل رسمي. من بين هذه الأقمار، يُعتبر" تايتان "الأكبر، وهو كذلك ثاني أكبر قمر في المجموعة الشمسية، بعد" غانيميد "التابع للمشتري، بل هو أكبر حجمًا من كوكب عطارد، ويُعتبر القمر الوحيد في المجموعة الشمسية ذي الغلاف الجوي المعتبر.



صورة لزحل التقطها مسبار كاسيني هويغنز

التركيب الداخلي

بالرغم من عدم وجود معلومات مباشرة حول بنية زحل الداخلية، إلا أنه يُعتقد أن باطنه مماثل لباطن كوكب المشتري مع وجود نواة صغيرة صخرية يحاط معظمها بالهيدروجين والهيليوم .تشبه النواة الصلبة في تكوينها تكوين نواة الأرض، ولكنها أكثر كثافة. وهناك طبقة سميكة من الهيدروجين المعدني السائل، تليها طبقة من الهيدروجين والهيليوم السائل، إضافة إلى الغلاف الجوي الغازي الذي يمتد لمسافة ١,٠٠٠ كم فوق هذا .وتوجد أيضاً كميّات ضئيلة من مواد متطايرة مختلفة. وتقدر كتلة النواة بما بين ٩ و٢٢ ضعف كتلة الأرض نواة زحل حارّة جداً، حيث أن درجة حرارتها تصل إلى ١١,٧٠٠ درجة مئوية، وهي تُشع إلى الفضاء الخارجي طاقة تُعادل ٢.٥ ضعف الطاقة التي تصلها من الشمس .وتنشأ معظم هذه الطاقة غير الاعتياديّة في النواة من خلال آلية كلفن هلمهولتز، أو ضغط الجاذبية البطيء، ولكن هذا وحده قد لا يكون كافياً لتفسير توليد زحل العالي للحرارة. وتوجد آليّة إضافيّة مقترحة لكيفيّة توليد زحل لبعض هذه الحرارة، وهي "إمطار" قطيرات هيليوم دقيقة كانت مدفونة عميقاً داخل نواة زحل، وتنتج هذه القطيرات احتكاكاً ومن ثم حرارةً أثناء سقوطها عبر الهيدروجين الأخف منها .



مقارنة بين حجمي الأرض وزحل.

الغلاف الجوي:

يتألف الغلاف الجوي الخارجي لكوكب زحل من الهيدروجين الجزيئي بنسبة ٩٦.٣% والهليوم بنسبة ٣.٢٥ .%كما توجد كميات ضئيلة من غازات الأمونيا والأسيتيلين والإيثانوالميثان والفوسفين تتكوّن سحب زحل العليا من بلورات الأمونيا، في حين يبدو أن السحب منخفضة الارتفاع تتكوّن من بيكبريتيد الأمونيوم (NH_4SH) أو الماء كذلك فهناك نسبة ضئيلة من الهيليوم، مقارنة بتلك الخاصة بالشّمس، في جو هذا الكوكب.

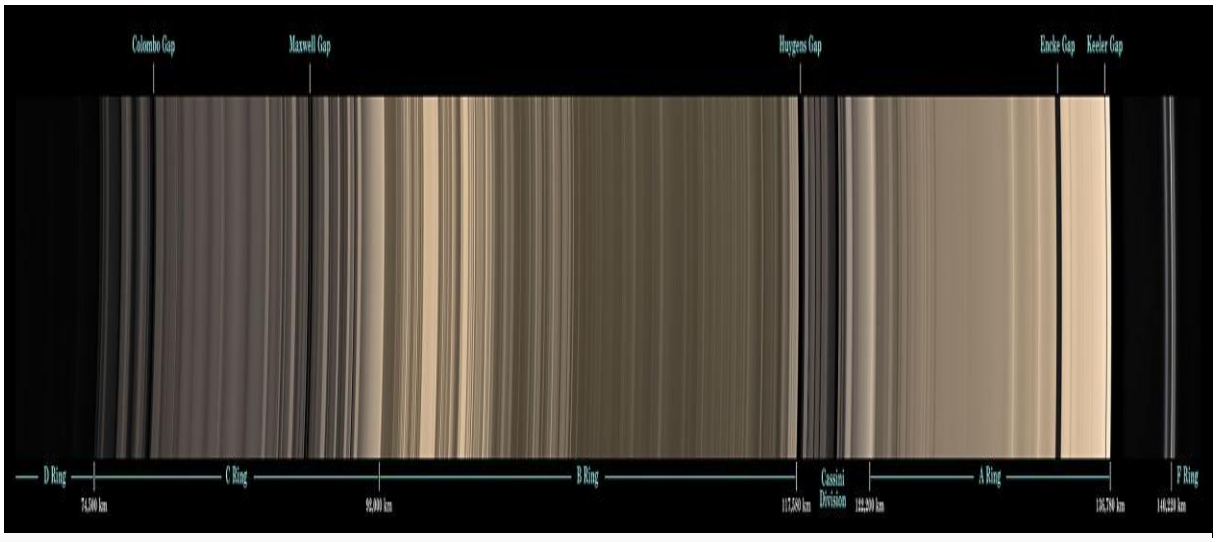
إن كمية العناصر الأثقل من الهيليوم في جوّ زحل غير معروفة على وجه التحديد، ولكن تُفترض نسبها بمقارنة مدى وجودها أثناء تشكّل النظام الشمسي .ويقدر إجمالي كتلة هذه العناصر بما بين ١٩ و٣١ ضعف كتلة الأرض، ويوجد جزء كبير منها في نواة زحل

حلقات زحل بصور ملتقطة بواسطة المسبار كاسيني.

ربما يَكون زحل هو أكثر الكواكب شهرة لنظامه المكون من حلقات، الأمر الذي يجعل منه أكثر جسم فضائي ملحوظ في النظام الشمسي إن حلقات زحل تجعل منه إحدى أكثر الصور الفلكية إلفة وإبهاراً، وذلك إضافة إلى كثرة وروده في قصص وأفلام الخيال العلمي. وقد كان جاليليو جاليلي هو أول من يَرصده عبر المرقاب عندما وجّه مرقبه البدائي نحو الكوكب لأول مرة عام [1]1610 لكن جعلته الرؤية منخفضة الدقة يَعتقد خطأً بأن زحل هو كوكب ثلاثي النظام، يتألف من جسم مركزي كبير وجسمين أصغر منه على جانبيه. وقد تكون الحلقات أحدث بكثير من الكوكب نفسه. لذا رأى بعض كبار الرياضياين أن هذه الحلقات تستحق الدراسة. ووفقاً لحسابات لاپلاس وجيمس كلارك ماكسويل، فإنه لا بد أن حلقات زحل تتركب من أجسام عديدة أصغر منه. تمتد الحلقات لمسافة تتراوح بين ٦,٦٣٠ كم إلى ١٢٠,٧٠٠ كيلومتراً فوق خط استواء زحل، ومتوسط سماكتها يُقارب ٢٠ كم، ومع ذلك فإن الكتلة الكلية للحلقات التي يصل سمكها إلى عدة مئات من الأمتار تكافئ فقط كتلة ميماس، وتتكون بنسبة ٩٣% من جليد الماء مع القليل من الشوائب، إضافة إلى الكربون غير المتبلور بنسبة ٧.%والجزيئات التي تشكل حلقات تتراوح في حجمها من حجم ذرات الغبار إلى سيارة صغيرة. وهناك ثلاث نظريات رئيسية متعلقة في أصل الحلقات. الأولى تفيد بأنها ناتجة عن المواد حول قرص الكوكب الأولي، والتي كانت دون حد روش للكوكب، ونتيجة لذلك لم تتكتل وتشكل أقماراً. أما حسب الثانية فقد نتج عن حطام قمر تفتت نتيجية اصطدام، وحسب الثالثة نتيجة حطام قمر تفتت بسبب تغير الإجهادات الذي نتج عنه مرور القمر داخل حد روش للكوكب وقد كان يعتقد أن حلقات الكواكب حلقات غير مستقرة

خارج الحلقات الرئيسية على مسافة ١٢ مليون كيلومتر من الكوكب توجد حلقة فويب، وهي تميل بزاوية ٢٧ درجة عن الحلقات الأخرى. قسّم الفلكيون نظام الحلقات إلى سبع حلقات، وهي "أ" و"ب" و"ج" و"د" و"ع" و"ف" و"ي(A,B,C,D,E,F,G) "، كما توجد ضمن الحلقات حاجز كاسيني وهو بين الحلقتين أ وب، كما توجد فجوات أهمها فجوة ماكسويل وفجوة كيلر وفجوة إنكي.

وتؤثر حلقات زحل وأقماره على مجاله المغناطيسي، حيث يُعتقد أن هذا التأثير له دور في تكوين الحلقات. فأثناء دوران تايتان ضمن الغلاف المغناطيسي تهرب كميات من الهيدروجين وبعض العناصر الخفيفة الموجودة في غلافه الجوي الكثيف نسبياً، ويقوم الحقل المغناطيسي بتشكيلها على شكل كعكة صغيرة من الجزيئات المشحونة التي انتزعت من الأسطح المثلجة للأقمار الصغيرة الداخلية لتشكل حلقة أخرى خفيفة حول المجمع الزحلي.



صورة لبعض حلقات زحل عن طريق كاسيني ملتقطة سنة ٢٠٠٧.

في حين أنه يمكن النظر إلى أكبر الفجوات في الحلقات، مثل حاجز كاسيني وفجوة إنكي، من الأرض، اكتشفت المركبة الفضائية فوياجر أن الحلقات لها بُنية معقدة تتألف من الآلاف من الثغرات الرقيقة والجدائل. كما يُوجد دور للاأقمار الرعاة في الحفاظ على حافة الحلقة وشكلها

تشير البيانات القادمة من المسبار الفضائي كاسيني إلى أن حلقات زحل تمتلك غلافها الجوي الخاص بها، بشكل منفصل عن الغلاف الجوي للكوكب نفسه. ويتألف غلافها الجوي من غاز الأكسجين الجزيئي (O_2)ويتم إنتاجه عن طريق تفاعل الأشعة فوق البنفسجية القادمة من الشمس مع جليد الماء المتواجد في الحلقات. تنتج التفاعلات الكيميائية بين جزيء الماء والأشعة فوق البنفسجية غاز "H2" إضافة إلى الأكسجين، وعلى أي حال فإن كمية كلا الغازين قليلة جداً. وأيضاً يحوي الغلاف الجوي للحلقات كميات قليلة من الهيدروكسيد، ويَحصل هذا نتيجة تفكك جزيئات الماء، رغم أنه في هذه الحالة يتم تفكيك الأيونات النشطة لجزيئات الماء التي تطرد من القمر إنسيلادوس

يوم ٦ تشرين الأول/أكتوبر2009 ، أعلن عن اكتشاف قرص رقيق من المواد ضمن مدار فويب. ويمكن وصف هذا القرص بشكل عام بأنه آخر حلقة للكوكب، على الرغم من أتها كبيرة جداً وغير مرئية عملياً. اكتشفت هذه الحلقة باستخدام مقراب سبيتزر الفضائي التابع لناسا بالأشعة تحت الحمراء. تمتد هذه الحلقة مسافة تتراوح بين ١٢٨ و٢٠٧ ضعف نصف قطر زحل، وتشير الحسابات إلى أنها قد تمتد إلى الخارج لتَصل إلى ٣٠٠ ضعف نصف قطر زحل .