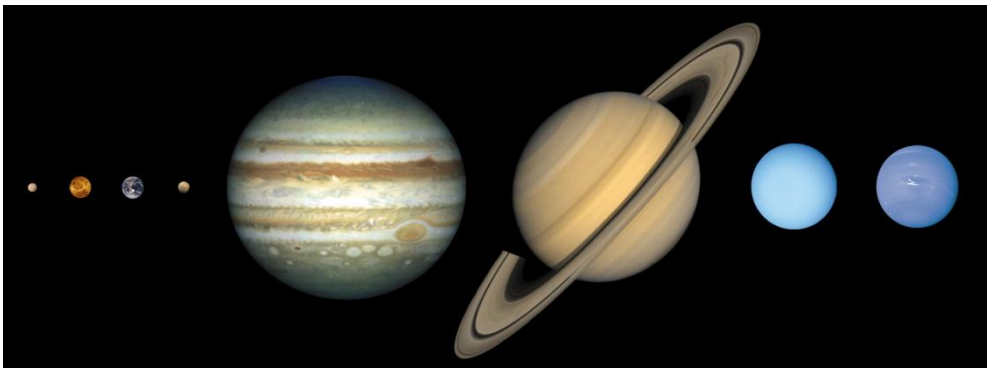
الباب السابع

الكواكب المشتراوية Jovian planets

تكلم الزرقالي عن حركة الكواكب في مدارات بيضاوية (وُلد سنة1029 م).



الكواكب العملاقة مقارنة مع الكواكب الأرضية (NASA)

استشكاف الكواكب الخارجية Exploring the outer planets

كانت بايونير 10 أول مركبة تتحرك خارج حزام الكويكبات حتى وصلت إلى كوكب المشتري في عام 1973، وتبعتها مركبة بايونير 11 والتي وصلت إلى المشتري في عام 1974 ثم تابعت الرحلة حتى وصلت إلى كوكب زحل في عام 1979. وبنجاح هاتين الرحلتين تم إقلاع رحلة فويجر 1 لتصل إلى المشتري في عام 1976 وتصل إلى زحل في عام 1980، وبعدها تم إرسال مركبة فويجر 2 لتصل إلى المشتري في عام 1979 ثم زحل في عام 1981 ثم أورانوس 1986 وبعد ذلك نبتون في عام 1989 ولا شك في أن نجاح الرحلات السابقة أمدنا بكم هائل من الصور عن الكواكب وأقمارها مما شجع على التخطيط لرحلة جاليليو والتي وصلت إلى كوكب المشتري في عام 1995 وأرسلت كاشفاً داخل الغلاف الجوي للمشتري لدراسته بشيء من التفصيل. كما أن هناك رحلة أخرى تمت بالتعاون بين وكالة ناسا والوكالة الأوربية الفضائية بإرسال مركبة كاسيني Cassini في عام 1996 بحيث وصلت إلى زحل في عام 2002.

صفات عامة للكواكب العملاقة General properties for giant planets

وهي عبارة عن المشتري وزحل وأورانوس ونبتون. حينما ننظر إلى الكواكب المشتراوية فسنرى أنها تختلف بشكل واضح عن الكواكب الأرضية، ويمكن تمييز الكواكب المشتراوية أو شبيهة المشتري بعدة صفات عامة نوجزها فيما يلي:

١) كبيرة في الحجم والكتلة.

٢) بعيدة عن الشمس ولذلك فهي باردة بالمقارنة بالكواكب الأرضية مما يجعلنا نقول أن الذهاب إلى الكواكب المشتراوية هو ذهاب إلى عالم من الجليد.

٣) تحتفظ بالغازات الخفيفة وعلى رأسها الهيدروجين وذلك لبعدها عن الشمس وجاذبيتها العالية كما هو مبين في جدول 7-1.

جدول 7-1: نسبة العناصر داخل الكواكب العملاقة

العنصر	النسبة (%)
H_2	77
He	22
H_2O	0.6
CH_4	0.4
NH_3	0.1
الصخور	0.3

٤) كما يتضح من الجدول(7–2) أن الكثافة المتوسطة للكواكب شبيهة المشتري صغيرة، مما يؤكد أنه لم يتبخر منها شئ وبالتالى فهي مازالت على حالتها التي نشأت عليها. ولذلك إذا فهمنا طبيعة هذه الكواكب فيمكننا أن نتوقع صورة لما كانت عليه الأرض وقت نشأتها.

٥) ليس لها سطح صلب وذلك لبعدها عن الشمس.

٦) تدور حول نفسها بسرعة ولذلك يحيط بكل منها مجال مغناطيسي واضح.

٧) لها حلقات تدور حولها، ولكن لماذا لا توجد حلقات حول الكواكب شبيهة الأرض؟ أو لماذا تواجدت هذه الحلقات حول الكواكب شبيهة المشتري؟ هذا ما لم نفهمه بعد.

٨) تتباعد الكواكب شبيهة المشتري عن بعضها بمسافات هائلة.

٩) تحتفظ بأعداد كبيرة من الأقمار كما لو كان كل كوكب منهم بأقماره التي تدور حوله مجموعة شمسية تدور حول الشمس.

١٠) تتمتع الكواكب شبيهة المشتري بعاكسية عالية لوجود أغلفة جوية عميقة في كل منها.

١١) تشع الكواكب شبيهة المشتري حرارة من داخلها أكثر مما تكتسب من الشمس (فيما عدا أورانوس) وذلك بسبب عدم وجود قشرة صلبة على أسطحها.

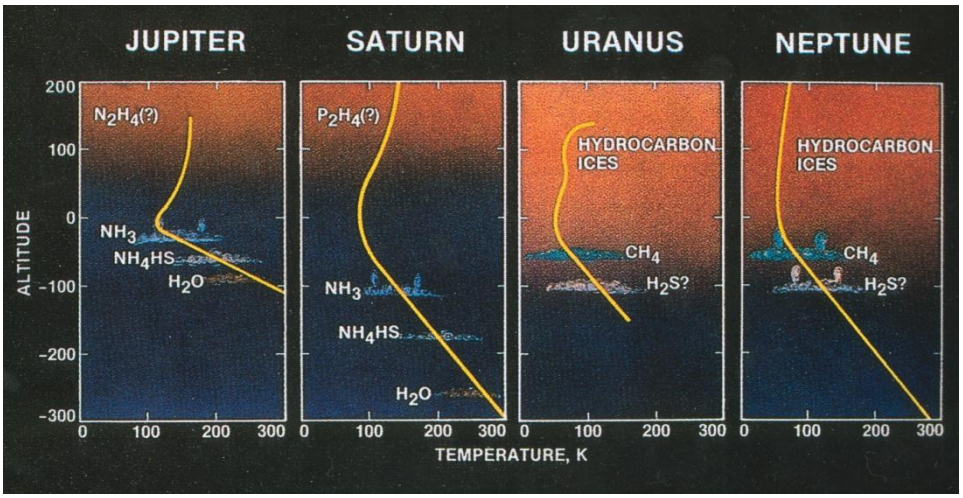
١٢) تتشابه الأغلفة الجوية للكواكب العملاقة كما يتشابه تركيبها الداخلي.

جدول 7-2: بعض المقارنات بين الكواكب المشتراوية

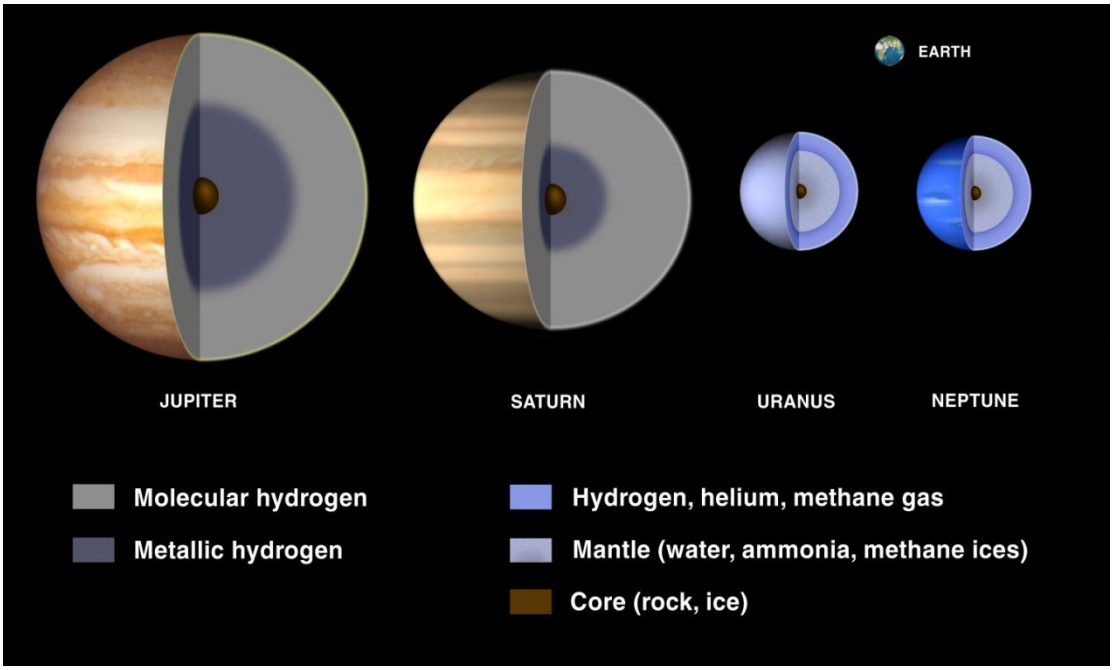
الكوكب	الكتلة	الكثافة	اليوم	البعد	السنة
المشتري	318	1.3 جم/سم^3	9.9 ساعة	5.2	12
زحل	65	0.7	10.7 ساعة	9.5	29.5
أورانوس	14	1.2	17.2 ساعة	19.2	84.1
نبتون	17	1.6	16.1 ساعة	30.1	164.8

وكوكب المشتري له أكبر قدر من الطاقة الداخلية ($4x10^{17}$ وات)؛ ولهذا فإن الغلاف الجوي له ولبقية الكواكب المشتراوية هي حالة وسط بين أغلفة الكواكب التي تستقبل الحرارة من أشعة الشمس وأغلفة النجوم التي تخرج منها الحرارة إلى الخارج، شكل 7-1. فمع البرودة المستمرة لكوكب المشتري تخرج من داخله حرارة كانت موجودة في بداية تكونه ومازالت تخرج منه منذ ذلك الوقت، ويماثل ما يخرج من داخله من طاقة مثل ما يستقبله من الشمس. أما زحل فإنه يخرج من داخله ضعف ما يستقبله من أشعة الشمس أي أنه يشع من داخله بشكل نسبي أكثر من المشتري رغم أنه أصغر منه بكثير وقد يكون تفسير ذلك أن الهليوم في داخله يتحرك إلى مركز الكوكب مخرجاً بذلك طاقة إضافية وبالتالي فهو في حركة انكماش في داخله أكثر من المشتري. ونبتون بداخله مصدر صغير من الطاقة، أما أورانوس فلا تخرج من داخله حرارة وبذلك تتساوي درجات الحرارة الدنيا في كلا الكوكبين رغم اختلاف مسافتيهما من الشمس. أما خلاصة التركيب الداخلي للكواكب المشتراوية فيلخصه شكل 7-2.

وبعد أن تعرفنا على الخواص التي تجمع الكواكب المشتراوية يمكننا الآن أن ننطلق نحو كل منها للتعرف عليه بشكل أدق، ولنبدأ بأكبرها وأقربها وهو كوكب المشتري.



شكل 7-1: تركيب الأغلفة الجوية للكواكب العملاقة. توجد ثلاث طبقات من السحب في المشتري وزحل أحدها من بخار الماء، بينما توجد طبقتين من السحب في أورانوس ونبتون. وسحب غاز الميثان هي المسئولة عن اللون الأزرق الذي يتميز به الكوكبان.

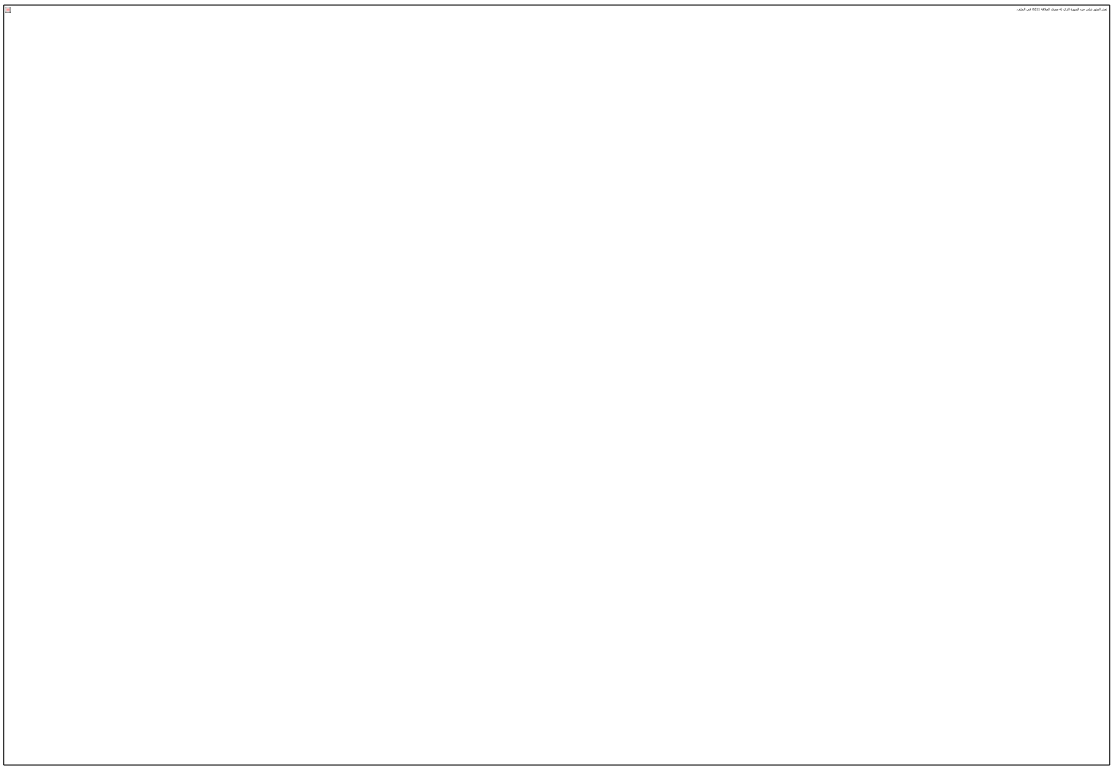


شكل 7-2: التركيب الداخلي للكواكب المشتراوية (NASA)

الفصل الأول

المشتري Jupiter

أكبر كواكب المجموعة الشمسية



كوكب المشتري مع أكبر أقماره جانيميد (NASA)

كوكب المشتري هو أول وأكبر الكواكب العملاقة، ويبعد عن الشمس بمقدار 5.2 وحدة فلكية، وقد لوحظ أنه يشع حرارة من داخله، كما أنه يشع أشعة راديوية؛ والسبب في ذلك أن له مجالاً مغناطيسياً قوياً يحتوي على حزامين من الشحنات يشبهان حزامي فان آلن المحيطين بالأرض، كما أن الأشعة تحت الحمراء التي تنبعث منه تدل على أن داخل الكوكب مازال عالي الحرارة، وتقدر كمية ما يشعه المشتري من داخله حوالى مثل ما يستقبله من طاقة من الشمس. طول السنة على المشتري حوالي 12 سنة أرضية وذلك لبعده الكبير، أما ميل مداره على دائرة البروج فهو صغير جداً كما أن الزاوية بين محوريه أيضاً صغيرة مما يؤكد أن الكواكب تكونت من تلك المادة التي تدور حول الشمس، والتي تمثل مركز المجموعة الشمسية. رغم أن المشتري أكبر الكواكب فقطره حوالى 11 قطر أرضي إلا أنه في نفس الوقت يدور حول نفسه بسرعة عالية حيث يتم دورة حول نفسه في أقل من 10 ساعات؛ لذلك فإن الكوكب نفسه مفلطح بشكل واضح. وكتلة المشتري تقدر بحوالى 320 كتلة أرضية ودرجة الحرارة المتوسطة 165 كلفن والعاكسية عليه عالية؛ ولذلك يظهر بقدر مساو لقدر المريخ رغم أنه أكثر بعداً من المريخ.

كثافة المادة على المشتري أصغر بكثير مما على الأرض مما يجعله شبيهاً للشمس من هذه الناحية. وللمشترى حسب أحدث الأرقام 63 قمر.

جدول 7-3: خصائص المشتري

متوسط البعد	5.20 وحدة فلكية
أقرب مسافة	4.95 وحدة فلكية
أبعد مسافة	5.45 وحدة فلكية
مقدار الاستطالة	0.048
السنة	11.86 سنة
ميل المدار	1.30 درجة
اليوم	9.93 ساعة
ميل المحورين	3.08 درجة
القطر المتوسط	10.86 قطر الأرض
القطر القطبي	10.5 قطر الأرض
القطر الاستوائي	11.22 قطر الأرض
الكتلة	318 كتلة الأرض
الكثافة	0.24 كثافة الأرض
قوة الجاذبية	2.64 جاذبية الأرض
سرعة الهروب	60 كم/ث
درجة الحرارة	165 كالفن
العاكسية	0.52
عدد الأقمار	63

الغلاف الجوي Atmosphere

الهيدروجين هو العنصر الرئيسي في التركيب الكيميائي للمشتري كما هو الحال في الشمس ولكن درجة حرارته المنخفضة ساعدت على تواجد جميع العناصر في شكل جزئيات ويتركب الغلاف الجوي من جزئ الهيدروجين H_2 بشكل رئيسي ثم كمية أقل من الهليوم He ومركبات هيدروجينية أخرى أهمها الأمونيا NH_3 والميثانCH_4 كما توجد نسبة من بخار الماء كما هو مبين في جدول 7-4.

ونتيجة لدوران المشتري السريع نجد أن غلافه الجوي ينقسم إلى طبقات داكنة وطبقات ذات لون فاتح بشكل متبادل، والطبقات ذات اللون الفاتح عبارة عن سحب ترتفع لأعلى أما الطبقات الداكنة فهي عبارة عن سحب تتحرك لأسفل. وتوجد بقع بيضاء صغيرة تظهر وتختفي وبقعة حمراء كبيرة ثابتة في مكانها ولكن لماذا هذه البقعة وحدها؟ وما سبب نشأتها؟ هذا أحد أسرار كوكب المشتري، ولكنها والبقع البيضاء تمثل دوامات هوائية تظهر واضحة في غلاف المشتري نتيجة سرعة دورانه حول نفسه، شكل 7-3.

شكل 7-3: البقعة الحمراء، ويتضح عنف الحركة في الغلاف الجوي للمشتري (HST)

جدول 7-4: التركيب الكيميائي للغلاف الجوي للمشتري

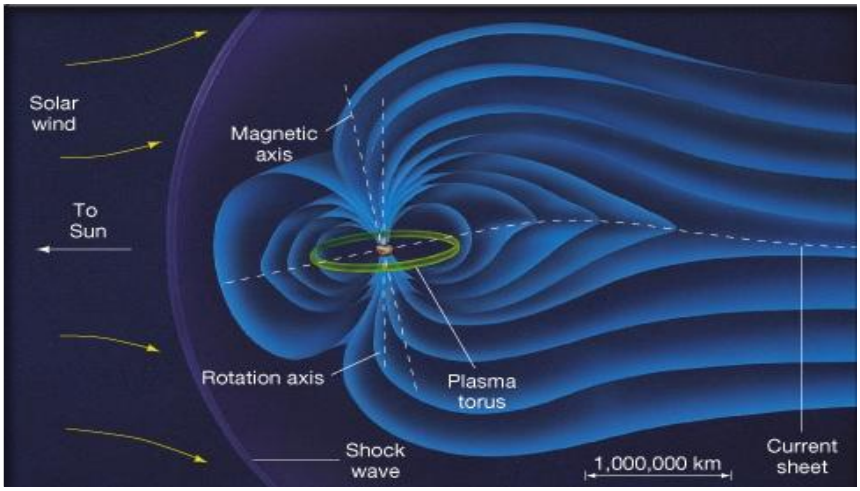
العنصر	رمزه	نسبته
الهيدروجين	H_2	0.86
الهليوم	He	0.14
بخار الماء	H_2O	6-10
ميثان	CH_4	0.0009
أمونيا	NH_3	0.0002

يوجد الميثان كغاز في الطبقات العليا من الغلاف الجوي لكل من المشتري وزحل، أما الأمونيا فهي متجمعة في صورة مشابهة لبخار الماء في الغلاف الجوي للأرض، ولذلك فإن ما نشاهده من سحب في الغلاف الجوي لكل من المشتري وزحل عبارة عن بللورات من الأمونيا المتجمدة، وهذه السحب توجد في نهاية التربوسفير وفوقها توجد طبقة الستراتوسفير. ودرجة الحرارة عند قمة السحب تبلغ 140 كالفن. وتحت سحب الأمونيا يتوقع العلماء وجود طبقة من سحب أمونيا كبريتات الهيدروجين NH_4HS مع جزئيات من الكبريت والتي تعطيها لوناً أصفر أو بنياً داكناً، وكلما تحركنا نحو عمق الكوكب سنجد حرارة وضغطاً عاليين، حيث توجد بعد ذلك طبقة من الماء المتجمد وقد يكون الماء متجمعاً بعد ذلك في حالة سائلة بشكل مشابه للسحب المحملة ببخار الماء الذي ينـــزل مطراً. ثم توجد بعد ذلك طبقات مظلمة ذات ضغط عال ودرجة حرارة عالية حيث يكون سطح المشتري أو زحل عبارة عن طبقة من الهيدروجين السائل. أما فوق طبقات سحب الأمونيا فإن غلاف المشتري يكون واضحاً وترتفع درجة الحرارة كلما ارتفعنا في الغلاف الجوي حيث يزداد تأثير الحرارة القادمة من الشمس تماماً كما هو الحال في طبقات الجو العليا على الأرض.

ولكوكب المشتري غلاف جوي سمكه حوالى 1000 كم، ثم يليه طبقة الهيدروجين السائل وسمكها حوالى 12 ألف كم ودرجة الحرارة في هذه الطبقة حوالى 10 آلاف كالفن والضغط 3 مليون مرة مثل الضغط على سطح الأرض، وتليها طبقة يكون فيها الهيدروجين مضغوطاً أكثر بحيث يكون في حالة معدنية وهي أكبر طبقة (35 ألف كم)، ثم طبقة ثلجية من الكربون والنيتروجين والأكسجين والهيدروجين. أما اللب فإنه عبارة عن مواد صلبة كثافتها عالية جداً وهي تتكون غالباً من الحديد والسيليكون والأكسجين، ودرجة الحرارة تزيد على 30 ألف داخل المركز وسمك لب المشتري 7 آلاف كم أي أكبر من حجم الأرض. يتضح مما سبق أن المشتري ليس له قشرة صلبة، وهذه الظاهرة سنلاحظها في جميع الكواكب العملاقة، بمعنى أن هذه الكواكب ليس لها قشرة صلبة رغم برودتها. فهل بعدها عن الشمس وانخفاض حرارتها هو السبب في عدم تكون قشرة صلبة لها؟

المجال المغناطيسي Magnetic field

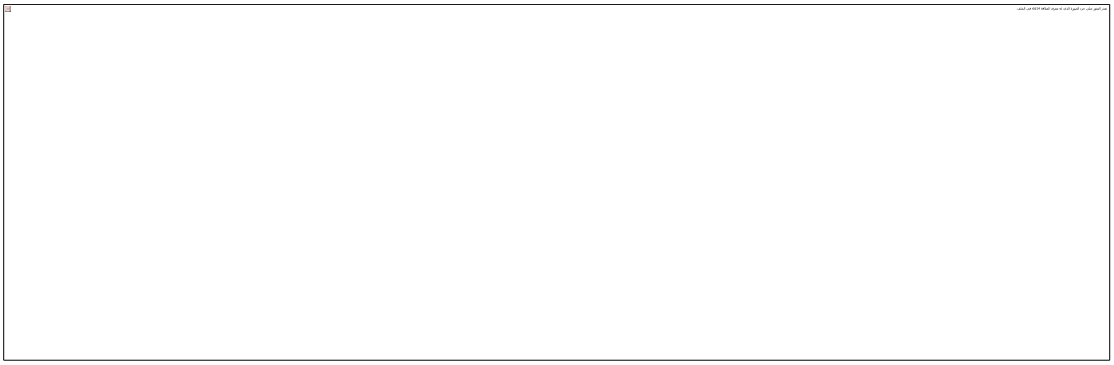
تعادل شدة المجال المغناطيسي للمشتري حوالى 12 مرة مثل المجال المغناطيسي للأرض، وقطبي المجال المغناطيسي في اتجاه معاكس لمجال الأرض، شكل 7-4، وهذا يمكن تفسيره فنحن نعلم أن المجال المغناطيسي للأرض يغير اتجاهه بين الحين والآخر وهذا ما نتوقعه أيضاً بالنسبة لكوكب المشتري، وقد لوحظ أنه توجد أحزمة تحيط بالكوكب مثل أحزمة فان ألن المحيطة بالأرض لكن كميات الشحنات فيها أعلى بكثير، ومن الجدير بالذكر أن خمسة من أقمار المشتري تدور داخل المجال المغناطيسي للكوكب ويلاحظ أن المجال المغناطيسي للمشتري يتمايل إلى أعلى وإلى أسفل.



شكل 7-4: المجال المغناطيسي للمشتري، واللون الأخضر يمثل التيار الكهربي الناتج عن مسار القمر ايو (Astronomy Today)

الأقمار والحلقات satellites and rings

للمشتري 63 قمراً، عدد كبير منهم تم اكتشافه سنة 2003. وثمانية من أقماره تدور حول الكوكب على أبعاد صغيرة (2 مليون كم) وأربعة من الأقمار التالية تبعد مسافة 12 مليون كم ومستويات مداراتها تميل على مستوى دوران المشتري بزواياتبين 25 و 30 درجة، أما الأقمار الأخيرة فهي تتحرك في اتجاه عكسي وعلى مسافات بين 21 و 24 مليون كم، ومداراتها ذات ميل كبير. وللمشتري أربعة أقمار كبيرة تسمى أقمار جاليلو، شكل 7-5، وهي أكبر من أو قريبة من حجم القمر التابع للأرض، بل إن كلا القمرين جانيميد Ganymede وكاليستو Callisto أكبر حجماً من كوكب عطارد جدول 7-5.



شكل 7-5: أقمار المشتري الكبيرة (أقمار جاليلو). من اليمين: كالستو، جانيميد، اوروبا، أيو ذو البراكين النشطة (NASA)

ومن عجيب الأمر أن هذه الأق م ار الأربعة تبدو مختلفة عن بعضها ولا يتشابه أى اثنين منها، وأقربها إلى كوكب المشتري هو القمر ايو Io حيث يبدو كما لو كان قرصاً من البيتزا أو الحلوى المزركشة، وبسبب جاذبية القمرين التاليين له فإن القمر ايو يغير قليلاً من الوجه الذي يقابل به المشتري كما أن مداره يبدو مفلطحاً، وقد وجد على سطحه براكين فعالة، كما أنه يتمدد وينكمش ويبعث حرارة يتأثر بها الكوكب، وهو أكثر أقمار المشتري كثافة بل وأن له أعلى كثافة في أقمار المجموعة الشمسية، وحينما تخرج الحمم الساخنة من براكينه فإن المشتري يجذبها إليه فتخرج كشحنات تسير في المجال المغناطيسي للمشتري مولدة تياراً كهربياً قوياً يبلغ حوالى 5 مليون أمبير، وهو بالطبع تيار كهربي قوي جداً يصعب الاقتراب منه. أما القمر أوروبا Europe فإنه يتميز بدرجة لمعان عالية تشبه درجة لمعان الزهرة والسبب في ذلك أن عليه طبقة من الثلج تخفي معالم سطحه. وإذا اقتربنا من القمر جانيميد فسنجد أنه أكبر أقمار المشتري وهو أكبر في حجمه من عطارد كما أنه أكبر قمر في المجموعة الشمسية كلها من حيث الحجم والكتلة.

جدول 7-5: بعض خواص الأقمار الكبيرة في المجموعة الشمسية

الاسم	نصف القطر (القمر=1)	الكتلة (القمر=1)	الكثافة (الماء=1)
جانيميد	1.51	2	1.9
تيتان	1.48	1.9	1.9
كاليستو	1.38	1.5	1.8
ايو	1.04	1.2	3.5
القمر	1	1	3.3
أوروبا	0.9	0.7	3
تريتون	0.78	0.3	2.1

القمرين جانيميد وكاليستو وكذلك القمر تيتان التابع لزحل هؤلاء الثلاثة متقاربون في الحجم والكتلة والكثافة مما يجعل الفلكيين يعتقدون أن هذه الأقمار الثلاثة متشابهة أيضاً في التركيب الداخلي وبالتالي قد تكون نشأتها من حيث الظروف واحدة، ولقد بينت رحلات فويجر أن التركيب الداخلي لجانيميد وكاليستو عبارة عن نصف صخري والنصف الخارجي ثلجي، كما أن طبقة الوشاح فيهما عبارة عن ماء سائل أو في حالة ثلجية. وهذان القمران يعتبران صورة نموذجية لجيولوجيا هذا العالم الثلجي جدول 7-6. يغطي سطح كاليستو فوهات ناشئة عن اصطدام الشهب بسطحه وهذا يوضح أن:

١) السطح الثلجى يحتفظ بالحفر الناشئة عن الارتطام.
٢) أن الكواكب الخارجية وأقمارها تعرضت لارتطام الشهب تماماً كالكواكب الداخلية.
٣) لاتوجد أية أنشطة جيولوجية أخرى على كاليستو.
٤) الفوهات تكون أوسع على السطح الثلجي إذا كانت درجات الحرارة مناسبة بمعنى أن يحدث تسخين عند الارتطام يؤدي إلى اتساع الحفرة بالتسخين. ولكن من الملاحظ أن السطح الثلجى يكون أشد صلابة في الأقمار التابعة لزحل وما بعده من كواكب حيث تكون البرودة عالية جداً.

جدول 7-6: تكوين الأسطح في الأقمار السبعة الكبيرة

القمر	تكوين السطح
جانيميد	خليط من الثلج
تيتان	غير معلوم
كاليستو	خليط من الثلج
ايو	كبريت، SO_2 ثلجي
قمر الأرض	سيليكات نارية
أوروبا	ثلج الماء
تريتون	ثلج النيتروجين

أما جانيميد فإن عليه فوهات بنسبة أقل مما في كاليستو ويمكن تفسير ذلك بأن الأجزاء الخارجية لجانيميد حديثة في التكوين بحيث أنها تكونت على سطح جانيميد بعد انتهاء فترة الشهب الكثيرة في بداية تكون المجموعة

الشمسية. كما يوجد على سطحه تشققات وقنوات أحدثتها قوى داخلية كما أن الماء الموجود في الوشاح قد جرى بعضه على السطح وتجمد على ذلك. أما القمرين أوروبا و ايو فهما يتشابهان في الكثافة مع القمر التابع للأرض بل أن الأخير أعلى الأقمار من حيث الكثافة، وهما أيضاً قريبان من حيث الحجم من قمرنا، وسطح القمر أوروبا مغطى بطبقة ثلجية كما لو كانت بحيرات من الثلج المتجمد تملأ سطحه كما توجد بعض الفوهات الناشئة عن ارتطام الشهب بالإضافة إلى شبكة ضخمة من التشققات والتي تدل على نشاط داخلي يؤثر على سطحه.

لقد كان اكتشاف البراكين الفعالة على القمر ايو واحدا من أهم النتائج التي أتت بها مركبة فويجر 1، فقد رصدت ثماني براكين يخرج منها حمم وذلك في مارس عام 1979 كما رصدت فويجر1 ستة من البراكين نفسها بعد أربعة أشهر من نفس العام. والمادة التي تخرج من البراكين عبارة عن كبريت وثاني أكسيد الكبريت SO_2 تُقذف لمسافة بعيدة ثم تتجمد لتنـــزل إلى سطح القمر ايو كحبيبات من الثلج، ولون ثاني أكسيد الكبريت أبيض أما الكبريت فيعطي اللونين الأحمر والبرتقالي وهذه هي مصدر الألوان البديعة لأيو. وبطبيعة الحال فإن كثرة البراكين الفعالة تؤدي إلى إخفاء أي حفر ناشئة عن ارتطام الشهب ولذلك لا تظهر حفر على سطح القمر ايو. وتظهر صور أخرى للنشاط البركاني منها تكون طبقات بركانية ومنها أن بعض الأماكن تكون ذات درجة حرارة مرتفعة تقدر بحوالى 300 كالفن أي مساوية لدرجة الحرارة على الأرض وهي تعتبر درجة حرارة عالية إذا ما قورنت بدرجة الحرارة اليومية العادية على سطح القمر ايو والتي تساوي 130 كالفن، وتكون الغازات التي تخرج من البراكين غلافاً جوياً رقيقاً على القمر ايو. وحيث أنه يدور داخل المجال المغناطيسي لكوكب المشتري لذلك تصل إليه شحنات عالية الطاقة من كوكب المشتري ولذلك تتأين الغازات في غلافه ومن ثم تتبع المجال المغناطيسي مكونة تياراً كهربائياً قوياً يميز مدار القمر ايو حول المشتري. ولكن ما السبب في هذه البراكين القوية التي رصدت على القمر ايو؟ في محاولة تفسير ذلك نلاحظ أن بعد القمر ايو عن كوكب المشتري مساو تقريباً لمسافة القمر من الأرض ولكن المشتري أكبر من الأرض بكثير ولذلك فإن قوة جاذبية المشتري على القمر ايو تكون عالية بحيث تسبب في فلطحة شكله، كما أن قرب القمرين أوروبا وجانيميدا من ايو تسبب في أن لهما جاذبية عالية عليه ولذلك فإن ايو لا يدور حول كوكب المشتري بوجه ثابت كبقية الأقمار بل نجده يغير وجهه أمام كوكب المشتري وهذا يؤدي بدوره إلى أنه يعاني من تذبذب والتواء، وكما أن مساره حول كوكب المشتري إهليجي والتغير في قوة الجاذبية على ايو والإلتواء في حركته يؤدي إلى تسخينه من الداخل وانصهار باطنه بحيث تحدث البراكين بهذه القوة التي نلاحظها عليه.

أما بقية أقمار المشتري فهي ما بين متوسطة وصغيرة، وأربعة منها أقرب للمشتري من ايو وأشكالها غير منتظمة كبقية الأقمار الصغيرة. ويمكن القول بأن أغلب أقمار المشتري تدور حول الكوكب بوجه واحد كما هو حال قمرنا (التابع للأرض). وبشكل عام فإن الأقمار الداخلية بما فيهم ايو بها كمية قليلة من الثلج وأغلب مادتها من الصخور، أما الأقمار الخارجية فإن أغلب مادتها ثلجية ولذلك فإن كثافتها صغيرة. السطح الخارجي للأقمار الخارجية ملئ بالفوهات الناشئة عن الشهب. ومن الاكتشافات الحديثة أنه قد رصد حلقة رفيعة تدور حول كوكب المشتري وهي عبارة عن كميات هائلة من حبيبات صغيرة الحجم، أنظر جدول7-7. ولعل المزيد من رحلات الفضاء تظهر لنا أشياء أخرى عن أسرة كوكب المشتري الكبيرة.

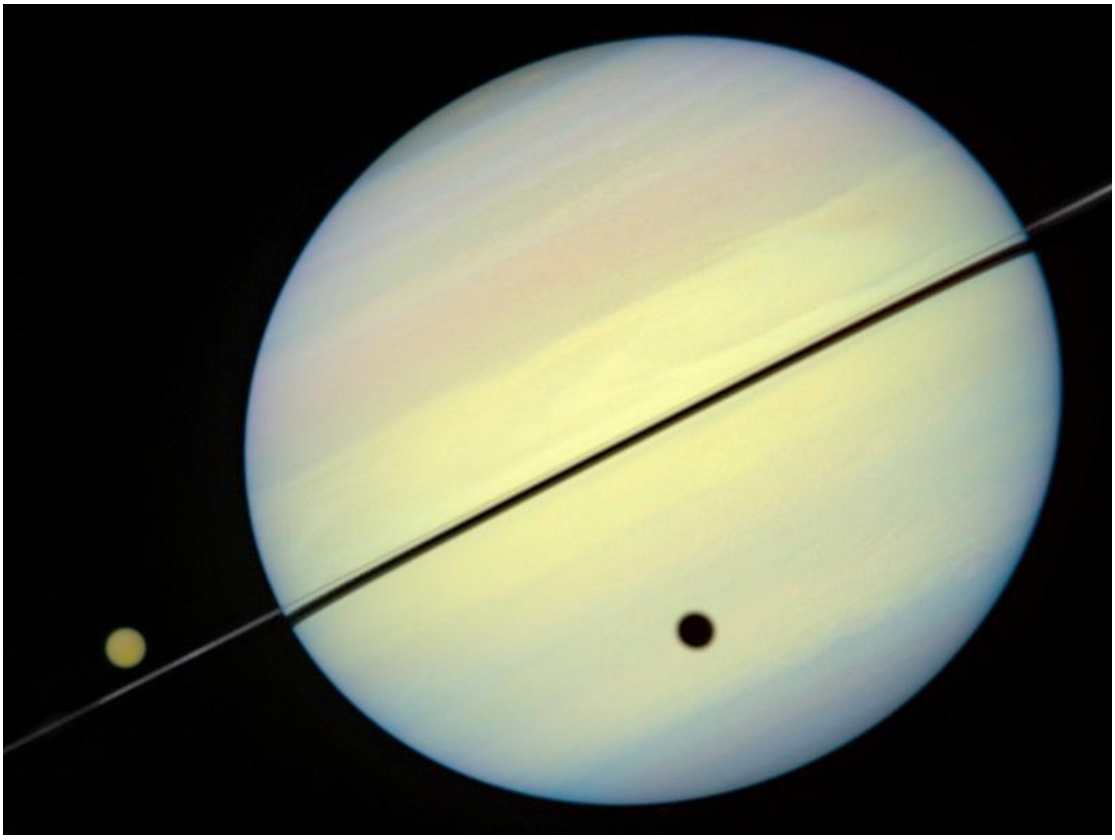
جدول 7-7: معلومات عن حلقات الكواكب العملاقة

الكوكب	سمك الحلقات (كم)	مادة الحلقات	الكتلة (طن)
المشتري	128 ألف	رمل دقيق Fine dust	10^{7}
زحل	140 ألف	لامعة (ثلج الماء)	10^{16}
أورانوس	51 ألف	داكنة (مواد كربونية)	10^{11}
نبتون	63 ألف	داكنة (مواد كربونية)	10^{9}

الفصل الثاني

زحل Saturn

يتميز بحلقاته الجميلة



صورة رائعة من تلسكوب هابل Hubble الفضائي لزحل وقمره تيتان وظله على زحل (HST)

كوكب زحل هو آخر الكواكب التي عرفت منذ قديم الزمان حيث يمكن رؤيته بالعين المجردة، وفي الحقيقة إن كوكب أورانوس يمكن رؤيته بالعين المجردة تحت شروط جيدة ولكنه لم يكتشف إلا بعد استخدام التلسكوبات في الرصد، مما يجعل له أهمية خاصة من الناحية التاريخية حيث أنه يعتبر السبب في إدارة السؤال المهم: هل يوجد كوكب آخر؟ ورغم أن كتلة زحل أكبر من الأرض بحوالى 100 مرة إلا أن مادته تشغل مساحة كبيرة حيث أن كثافته أقل من كثافة الماء، وهو يدور حول الشمس في مدة 30 سنة. يقدر بعد زحل عن الشمس بحوالى ضعف بعد المشتري عنها، ويميل مستوى مداره على مستوى مدار الأرض بزاوية صغيرة، والزاوية بين محوري دورانه أعلى قليلاً مما على الأرض ولذلك فإن عليه تغيرات فصلية. وقطره يساوي تسعة أمثال قطر الأرض. وهو يبدو مفلطحاً مثل المشتري وذلك لدورانه الشديد حول نفسه، أما كتلته فحوالى 100 كتلة أرضية، ويتميز كوكب زحل بأقل كثافة يمكن أن توجد في الكواكب وسطح أبرد قليلاً من المشتري كما في جدول7-8.

يعتبر كوكب زحل الأخ الأصغر لكوكب المشتري من حيث الغلاف الجوي والتركيب الداخلي، فنلاحظ من جدول 7-9 أن الغازات الموجودة في الكوكبين واحدة مع اختلاف طفيف في نسبتها، إلا أن البرودة الشديدة الموجودة على كوكب زحل ساعدت على زيادة الجزيئات المركبة وزيادة السمك النسبي للغلاف الجوي في زحل أكثر مما في المشتري، كما أن فصول السنة تختلف على كوكب زحل لميل مستوى دورانه بزاوية مقدراها27 درجة، بينما لا تختلف فصول السنة على المشتري، كما أن انقسام الغلاف الجوي إلى طبقات كما هو واضح في المشتري يبدو بشكل أخف على زحل وذلك لارتفاع السحب لمسافات كبيرة على زحل. وكما هو الحال في المشتري فإن زحل يشع طاقة حرارية أكثر مما يكتسبه من الشمس بمقدار 1.8 مرة. أما المجال المغناطيسي فإنه أضعف بكثير مماهو على المشتري كما هو مبين في جدول 7-10، ويبدو أن السبب في ذلك يرجع إلى أن الحلقات الكبيرة حول زحل تسببت في إعاقة زيادة المجال المغناطيسي رغم لفه السريع حول نفسه، ولقد لوحظ أن المجال المغناطيسي يتذبذب في الحجم الذي يشغله بحيث أن أكبر أقمار زحل وهو تيتان أحيانا يكون داخل المجال المغناطيسي للكوكب وأحيانا يكون خارجه.

جدول 7-8: الخواص العامة لزحل

متوسط البعد	9.56 وحدة فلكية
أقرب مسافة	9.02 وحدة فلكية
أبعد مسافة	10.09 وحدة فلكية
مقدار الاستطالة	0.056
السنة	29.46 سنة
ميل المدار	2.49 درجة
اليوم	10.65 ساعة
ميل المحورين	26.73 درجة
متوسط القطر	9 قطر الأرض
القطر القطبي	8.54 قطر الأرض
القطر الاستوائي	9.46 قطر الأرض
الكتلة	95.12 كتلة الأرض
الكثافة	0.13 كثافة الأرض
قوة الجاذبية	1.13 جاذبية الأرض
سرعة الهروب	36 كم/ث
درجة الحرارة	134 كالفن
العاكسية	0.47
عدد الأقمار	60

جدول 7-9: تركيب الغلاف الجوي لكل من المشتري وزحل

الغاز	المشتري	زحل
H_2	1	1
He	0.12	0.6
CH_4	0.002	0.002
NH_3	0.0002	0.00002
C_2H_2	$8x10^{-7}$	10^{-7}
C_2H_6	$4x10^{-5}$	$8x10^{-6}$
PH_3	$4x10^{-7}$	$3x10^{-6}$

جدول 7-10: المجال المغناطيسي لبعض الكواكب

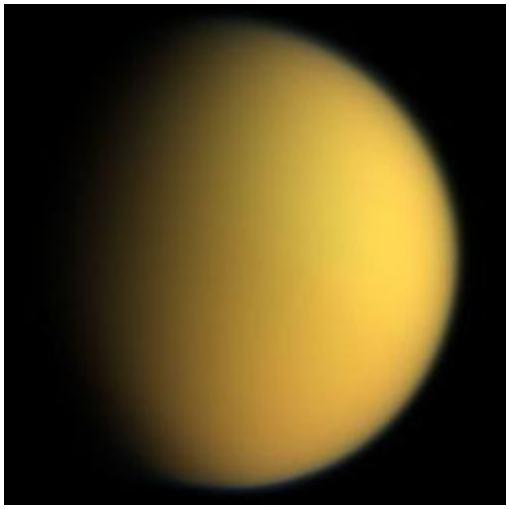
الكوكب	متوسط القوة على السطح (جاوس)	الانحناء (درجة)	الإزاحة عن مركز الكوكب (نصف قطر الكوكب)	قطر المجال نصف قطر الكوكب
المشتري	4	10	0.1	50-100
زحل	0.2	10	0.0	15-25
أورانوس	0.3	60	0.3	15-20
نبتون	0.2	55	0.5	15-20
الأرض	0.3	11	0.0	10-200

أما من حيث التركيب الداخلي فهو مثل المشتري يتركب من أربع طبقات: اللب الداخلي صخري وسمكه 8 آلاف كم ثم طبقة ثلجية سمكها 7 آلاف كم وفوقها طبقة من معدن الهيدروجين وسمك هذه الطبقة أقل

كثيراً مما في المشتري (14 ألف كم)، أما الطبقة السطحية فهي هيدروجين سائل وسمكها 30 ألف كم. العاكسية على زحل مشابهة لعاكسية المشتري، ورغم أنه أصغر من المشتري حجماً وكتلة إلا أنه يتمتع بعدد 61 من الأقمار التي تدور حوله.

الأقمار Satellites

لكوكب زحل 61 قمراً، وأكبر أقماره هو القمر تيتان Titan والذي يعد ثاني أكبر أقمار المجموعة الشمسية. يلي تيتان في الكتلة ثمانية أقمار متوسطة الكتلة والباقي أقمار صغيرة تأخذ أشكالاً غير منتظمة، وآخر قمر يسمى فوب وبعده عن الكوكب أربعة أمثال بعد بقية الأقمار وهو يتحرك حركة تراجعية (عكس بقية الأقمار).



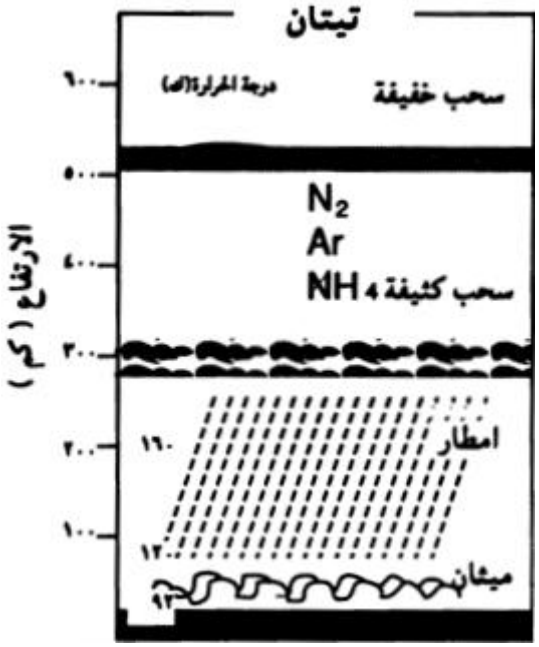
شكل 7-6: القمر تيتان أكبر أقمار زحل

جدول 7-11: تركيب الغلاف الجوي لتيتان

العنصر	النسبة (%)
نيتروجين	98 - 90
أرجون	10 - 0
ميثان	5 - 1
هيدروجين	0.6 - 0.2

توجد على تيتان ظاهرة تستحق الاهتمام حيث نشاهد معملاً كيميائياً من نوع لم نألفه، فإن لهذا القمر غلافا جويا أشد عمقاً من الغلاف الجوي للأرض وبهذا يعد تيتان القمر الوحيد الذي رأينا له غلافاً جوياً سميكاً في المجموعة الشمسية والضغط على سطحه 1.5 بار أي أنه أعلى من الضغط الجوي على الأرض. ويتكون الغلاف الجوي له، جدول 7-11، من النيتروجين بشكل أساسي وهو بذلك يشبه الأرض، كما يوجد عليه أرجون بنسبة أقل من 0.10 وميثان بنسبة تتراوح ما بين 0.01 إلى 0.05 كما تم التعرف على مركبات أخرى في الغلاف الجوي لتيتان مثل أول أكسيد الكربون CO ومركبات مختلفة من الكربوهيدرات ومركبات النيتروجين مثل HCN، وبصفة خاصة فإن رصد HCN يعتبر من الاكتشافات المهمة لأنه يمثل نقطة البداية لتكوين المركب DNA وهو جزئ عضوي، ووجوده يشير إلى احتمال وجود حياة بنوع ما على هذا القمر، بالطبع هذا أمر مثير لكنه مازال أملاً لم يتحقق بعد. وتوجد في غلافه عدة طبقات من السحب وأكثرها قرباً لسطح تيتان توجد في طبقة التروبوسفير على ارتفاع 10 كم وهي تتركب من الميثان، شكل 7-6، وحيث أن درجة الحرارة على سطح تيتان

تبلغ حوالى 90 كالفن لذلك فإن الميثان يمكن أن يوجد في الحالات الثلاث (صلب وسائل وبخار) وهذا يعني أن هناك سحباً من الميثان كما أن هناك أمطاراً من الميثان تسقط على سطحه ولذلك توجد هناك بحيرات من الميثان، وهذا شئ عجيب يجعلنا نتساءل هل هناك مخلوقات تستطيع أن تعيش في مثل هذه الظروف ويكون شرابها الميثان؟ ويحتمل أن تكون بعض بحيرات تيتان من النيتروجين، وقد اتضح من أرصاد الرادار أن البحيرات لا تملأ سطح تيتان بل إن مظاهر السطح تتغير من مكان لآخر وهذا ما يحتاج إلى أرصاد أكبر دقة لمعرفة تركيب السطح ومدى تشابهه مع أي من أسطح الكواكب. كما توجد سحب خفيفة ذات لون بني وضباب يتكون من مركبات كيماوية عضوية، وتبلغ درجة الحرارة على سطح تيتان حوالى 90 كالفن، وعند هذه الدرجة المنخفضة نتوقع وجود بحيرات من الميثان والإيثان.



شكل 7-7: تركيب الغلاف الجوي لتيتان

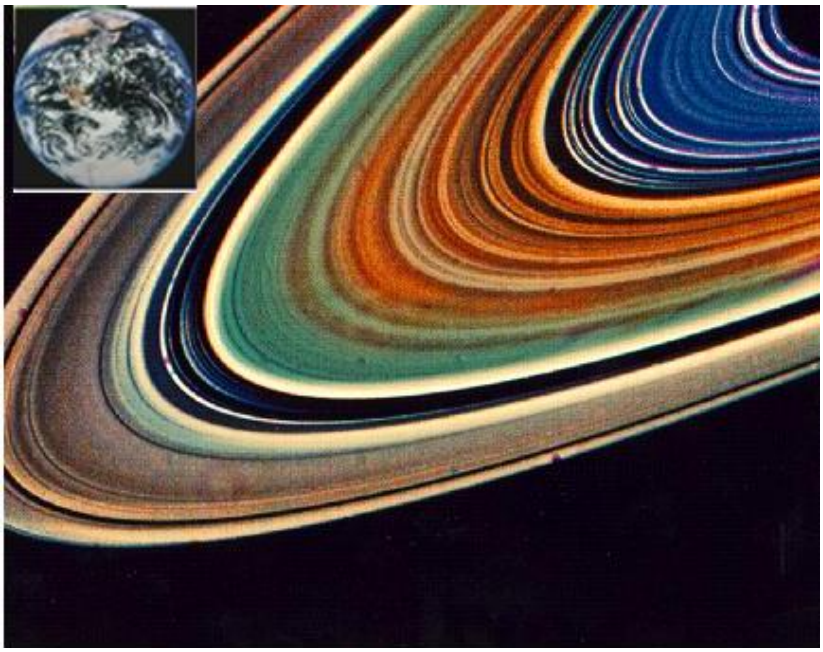
ونأتى إلى السؤال المهم وهو لماذا يحيط بتيتان غلاف جوي سميك بينما لا يوجد مثيله على جانيميد أكبر أقمار المجموعة الشمسية؟ ويتأكد هذا التساؤل إذا علمنا أن كثير من العوامل تشير إلى تشابه القمرين من حيث التركيب، فحجمهما متقارب وكذلك الكثافة عليهما واحدة. ولاشك أن هذه واحدة من الأسرار العديدة التي لم نفهمها بعد عن مجموعتنا الشمسية. ويعتقد الفلكيون أن الإجابة قد تكمن في عدة عوامل منها ان بعد تيتان عن الشمس أكبر من بعد جانيميد مما يجعله أكثر برودة، ومن المحتمل أنه قد أخرج غازات من داخله أكثر من جانيميد وكاليستو، ومن المحتمل كذلك أن تركيز المادة لم يكن متجانساً في جميع أنحاء السحابة التي تكونت منها المجموعة الشمسية وهذا أمر طبيعي ومفهوم فقد يكون الغاز الذي تجمع ليكون القمر تيتان قد تبقى منه كمية كبيرة كونت الغلاف المحيط به. ربما تبلغ الكثافة على تيتان 2 جم/سم^3 ، ويعتقد أنه يتكون من خليط من الثلج والمواد الصخرية.

الأقمار المتوسطة والصغيرة Medium and small satellites

لزحل ستة أقمار عادية في صفاتها وتتراوح أقطارها ما بين 400 إلى 1600 كم، والكثافة تبلغ حوالى 1.3 جم/سم^3 مما يشير إلى أنها تتكون من نسبة عالية من ثلج وماء. وأكبرهم هو القمر ريا Rhea وهو نصف القمر أوروبا في الحجم، وقد لوحظ عليه وعلى إخوانه ميماس Mimas، ودايون Dione وتيثس Tethys وجود حفر كثيرة وأسطحها لامعة لأنها من ثلج الماء الصافي، كما وجدت تشققات وغير ذلك من التطورات الجيولوجية وقد أصبحت مستقرة جيولوجيا منذ أكثر من عدة ملايين من السنين. ولزحل قمران غير عاديين، لابيتس lapetus وانسيلادس Encalades، فالأول في حجم القمر ريا وأحد وجهيه يشبه ريا أما الوجه الآخر فيختلف تماماً، حيث يكون الوجه المقابل لزحل مغطى بطبقة داكنة من المواد الكربونية، والفارق بين وجهيه كالفارق بين أرضين إحداهما مغطاة بطبقة ثلجية حديثة والأخرى أسفلت، فالأولى شديدة اللمعان والأخرى لونها داكن، وهذا اللون لابد وأن يكون مرتبط بشيء ما يدور في داخل هذا القمر، وقد يكون أحد الموضوعات الشيقة التي تساعدنا على فهم الكيمياء الأولية للمجموعة الشمسية. أما القمر انسيلادس فرغم صغره في الحجم (قطره حوالى 500 كم) إلا أن نصف سطحه خالي من الحفر كما توجد شواهد على نشاط جيولوجي قوي، وسطحه يتمتع بأعلى عاكسية في المجموعة الشمسية كلها بحيث يتكون سطحه من ثلج متبلور ولذلك فإن درجة عاكسيته عالية جداً، وهو يعكس تقريباً كل ما يسقط عليه من أشعة الشمس وهذا نموذج فريد لم نكن نتصور وجوده في الطبيعة فسبحان من خلق فأبدع، كما أن هذا القمر يتحرك مع حلقة بعيدة من حلقات زحل ويرمز لها بالرمز E وهي أيضاً مكونة من حبات ثلج متبلور وهذا أمر شديد الغرابة فهل حدث قذف بركاني أو تطاير لمادة من شهاب بعد ارتطامه بسطح زحل بحيث وصلت منه حبات من ثلج الماء لتغطي القمر انسيلادس ولتكون الحلقة E من بلورات لامعة؟ وهناك تساؤل آخر محير، كيف يمكن لجسم صغير مثل انسيلادس أن يحتفظ بنشاط داخلي رغم أن صغر حجمه يكفي بأن يجعله قد برد منذ زمن بعيد؟ وبقية أقمار زحل صغيرة وعليها حفر كثيرة وتغطيهم طبقات ثلجية ولها أشكال غير منتظمة ولكن الأمر الذي يستحق الدراسة في شأنها هو حركتها المدارية حول زحل وتفاعلاتهم مع مادة الحلقات. فالقمر هايبريون Hyperion مثلاً له أسلوب شاذ في الدوران فهو لا يدور حول زحل بوجه ثابت كبقية الأقمار كما أنه ليست له فترة زمنية محددة يمكن معرفتها كمدة لدورانه حول زحل وهو ما يعرف حالياً بالدوران الفوضوي، تعبير مضحك ولكنه يدل على مدى عجز الإنسان في التعبير عن ظاهرة لم يفهمها بعد، وهناك نظرية حديثة في الفيزياء تعرف بنظرية الفوضى Chaotic theory وهي نظرية تستخدم في التعبير عن ظواهر يصعب تفسيرها بقوانين الفيزياء المعروفة، ومن الواضح أن هايبريون أحد الأجسام الكونية التي تحقق هذه النظرية، والسبب في ذلك بالنسبة لهايبريون أن قوة الجاذبية بينه وبين القمر تيتان تجعله يغير من طاقة الدفع الدورانية بين دورتيه حول نفسه وحول زحل. كما أن القمرين جانوس Janus وإيميثيوس Epimethius يدوران حول زحل تقريباً في نفس المدار، ولو كان لهما نفس مدة الدوران حول زحل لما حدث أي تقارب بينهما ولكن هذه الحالة غير ممكنة ديناميكياً، والفرق بين مداريهما يساوي 50 كم؛ مما يتسبب في اختلاف في مدة دورانهما بنسبة 1:2080 ، والقمر الداخلي منهما يتبع قانون كبلر بحيث يتحرك مع الخارجي بسرعة نسبية مقدارها 9 م/ث، ويوجد بينهما تفاعل من حيث الجاذبية بحيث يغيران مدارهما حول زحل وبالتالي فإن السرعة النسبية لهما تنعكس فيتباعدان بعد تقارب في دورة تتكرر كل 4 سنوات. يتضح مما سبق أن الأقمار تحوي العديد من المعلومات المدهشة والظواهر الكونية العجيبة التي تستحق البحث والتنقيب.

الحلقات Rings

من أروع ما نراه في المجموعة الشمسية هذه الحلقات التي تدور حول زحل، شكل 7-8، وهي تتكون من حبيبات يتراوح قطرها ما بين عدة سنتيمترات إلى عدة أمتار. وتتكون حلقات زحل من ثلج الماء ولذلك فإن عاكسية حلقات زحل عالية، ولكل حبة أو حجر مداره الخاص الذي يتحرك فيه حول الكوكب ويمكن تحديد دورة كل حجر حول الكوكب تبعاً لقوانين حركة الكواكب، وهذا يعني أن الحلقات لا تدور كجسم صلب حول الكوكب بحيث تكون كل الجسيمات فيه تتحرك بسرعة ثابتة. ويمكن تفسير تشكل هذه الحلقات بأن هناك منطقة معينة على بعد من الأجسام ذات الكتل العالية يمكن أن نطلق عليها حزام الجاذبية (تعرف بحدود روش) يحدث عندها اتزان بين قوة الجذب وقوة المد (التي تساعد على الهروب).



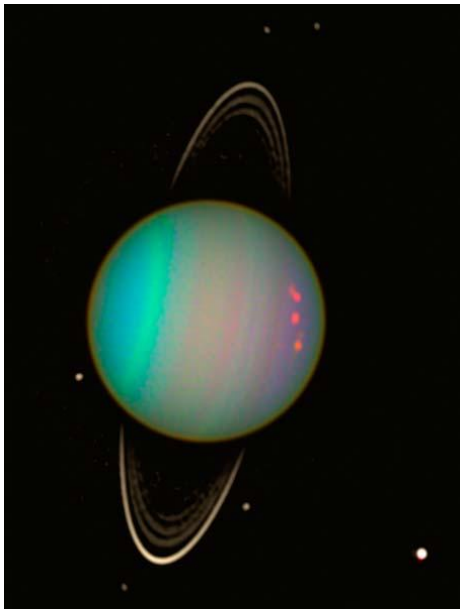
شكل 7-8: حلقات زحل، مقارنة مع الأرض (NASA)

من الواضح أن كلا من كوكبي المشتري وزحل وأقمارهما الكثيرة قد أفادا العلم كثيراً حيث شاهدنا في هاتين الأسرتين مجموعة من الأسرار سواء فيما يخص الحلقات أو تأثير دورانهما على تركيب الغلاف الجوي وكذلك قوة المجال المغناطيسي وحركة الأقمار داخل هذا المجال، كذلك تعلمنا أنه ليس شرطاً لازماً أن يكون الجسم كبيراً حتى يكون له غلافا جويا، فتيتان له غلاف أكبر من غلاف الأرض رغم صغره في الكتلة والحجم بالنسبة للأرض. إننا في حاجة إلى المزيد من المعلومات والدراسات حتى نستطيع فهم الكون من حولنا بشكل أدق وأعمق.

الفصل الثالث

أورانوس Uranus

أصغر العمالقة



يورانوس وحلقاته وبعض أقماره (HST)

لم يتم اكتشاف أورانوس إلا بعد اكتشاف التلسكوبات في أواخر القرن الثامن عشر رغم أنه يمكن أن يرى بالعين المجردة ولكن بشئ من الصعوبة، إنه يبعد عن الشمس بمسافة مقدراها 20 وحدة فلكية، أي أنه يقع في النصف الخارجي للمجموعة الشمسية، وهذا يعني أن الدائرة التي تضم المجموعة الشمسية بكاملها يشغل نصفها الداخلي الشمس وحولها الكواكب حتى زحل والنصف الثانى يشغله أورانوس ونبتون. يتم أورانوس دورته حول الشمس في 84 سنة، ويلف حول نفسه في 17 ساعة فهو بذلك أسرع لفا من الأرض. يميل مستوى دوران الكوكب حول نفسه على مداره حول الشمس بزاوية مقدارها 98 درجة وهذا يعني أن قطبه الشمالي يتجه لأسفل وقطبه الجنوبي يتجه لأعلى ولذلك فإن الكوكب يتحرك بطريقة غريبة، وكذلك فإن فصول السنة تأخذ شكلاً عجيباً جداً، حيث يتجه قطبه الجنوبي حالياً ناحية الشمس. وقد لوحظ أن حلقات كوكب أورانوس وكذلك الأقمار التي تدور حوله كلها تأخذ نفس الميل واتجاه الحركة. ويميل مداره حول الشمس على دائرة البروج بزاوية أقل من الدرجة الواحدة. ويظهر الكوكب بشكل مفلطح وذلك بسبب سرعة لفه حول نفسه. وكتلته تزيد عن 14 كتلة أرضية وكثافة

جدول 7-12: الخواص العامة لأورانوس

متوسط البعد	19.22 وحدة فلكية
أقرب مسافة	18.31 وحدة فلكية
أبعد مسافة	20.13 وحدة فلكية
مقدار الاستطالة	0.046
السنة	84.01 سنة
ميل المدار	0.77 درجة
اليوم	17.23 ساعة
ميل المحورين	97.87 درجة
القطر المتوسط	3.97 قطر الأرض
القطر القطبى	3.92 قطر الأرض
القطر الاستوائى	4.02 قطر الأرض
الكتلة	14.54 كتلة الأرض
الكثافة	0.23 كثافة الأرض
قوة الجاذبية	0.89 جاذبية الأرض
سرعة الهروب	21.2 كم/ث
درجة الحرارة	76 كالفن
العاكسية	0.5
عدد الأقمار	27

مادته أقل قليلاً من كثافة المشتري المتوسطة ولكنه أعلى بلا شك في الكثافة من زحل، درجة الحرارة عليه تبلغ 76 كالفن مما يؤكد أننا نغوص في عالم الثلج، أما عاكسيته فتشبه قيمتها في المشتري وزحل. عدد أقماره 27 قمراً اكتشف عشرة منها بواسطة رحلة الفضاء فويجر2 التي وصلت إليه وإلى كوكب نبتون.

الغلاف الجوي والتركيب الداخلي Atmosphere and inner structure

الغلاف الجوي لأورانوس يشبه في تركيبه الغلاف الجوي للمشتري وزحل، فهو يتكون من جزيئات الهيدروجين والهيليوم والميثان، ويغطي الميثان الطبقات العليا من غلاف أورانوس ولذلك فهو يبدو بلون أزرق لامع. لا نستطيع أن نميز عليه الطبقات التي لاحظناها على كل من المشتري وزحل، بينما في حالة المشتري وزحل توجد غازات تعلو غاز الميثان ولذلك يظهران بألوان أخرى. ونظام دوران الهواء على أورانوس كما هو الحال في المشتري وزحل مما يدل على أن أشعة الشمس تصل إلى هذا الكوكب البعيد وتؤثر على غلافه فيتحرك بفعل ما يمتصه من طاقة شمسية وتحت تأثير دوران الكوكب، فنجد لذلك أن الغلاف مقسم إلى سحب ترتفع لأعلى وأخرى تنـــزل لأسفل، ولكن الغلاف الجوي يبدو متجانساً بحيث يصعب تمييز الطبقات. يتكون الكوكب داخليا من عدة طبقات، الطبقة الداخلية صخرية وهي في حجم الأرض وتليها طبقة ثلجية وتعلوها طبقة من الهيدروجين والماء في حالة سائلة، كما أنه يوجد في أسفل الغلاف الجوي طبقات ثلجية من الميثان والأمونيا، شكل7-2.

الأقمار والحلقات Satellites and rings

يمكن تقسيم أقمار أورانوس إلى مجموعتين: الأولى خمسة أقمار كبيرة نسبياً، وهي التي رصدت بالتلسكوبات الأرضية، والثانية أقمار صغيرة وداكنة تم اكتشافها بواسطة رحلات فويجر، وجميع الأقمار تدور حول الكوكب بوجه واحد، وأسطح الأقمار معتمة في الغالب، وبعض الأقمار موجود داخل منطقة الحلقات.

الأقمار الكبيرة لها أقطار تتراوح ما بين 500 إلى 1600 كم كالأقمار المتوسطة لزحل. والكثافة على هذه الأقمار تتراوح مابين 1.4 إلى 1.6 جم/سم^3 ويوجد على سطحها طبقة ثلجية ولكن العاكسية عليها ضعيفة جداً0.2 إلى 0.4 مما يؤكد أن سطحها مليء بالشوائب وليس من الثلج الصافي. كما أنها مليئة بالفوهات ومن الواضح أن القمرين تيتانيا Titania وأوبرون Oberon يوجد على سطحيهما تشققات أو وديان، أما القمرين القريبين لأورانوس وهما آريل Arial وميراندا Miranda فلهما خواص جيولوجية تستحق الاهتمام، فالقمر آريل وقطره 1160 كم يتميز بوجود طبقات سطحية متعددة تظهر في وديانه والتي قد تكون ناشئة عن الحمم التي خرجت من براكينه من خليط من الماء والأمونيا أو من أول أكسيد الكربون والميثان. أما نشاطه الجيولوجي فمحاط بالغموض، فسطحه يشبه سطح جانيميد حيث يتكون من فوهات قديمة وعميقة كما تنتشر على سطحه تركيبات صغيرة منها أودية وهضاب، كما شوهد عليه جبال شاهقة ومنحدرات شديدة الميل وبعضها يشير إلى أنشطة جيولوجية متعددة مع وجود مواد مقذوفة إلى سطحه كرد فعل لنشاط داخلي، وليس من المفهوم كيف تحدث هذه الأنشطة على مثل هذا القمر الصغير.

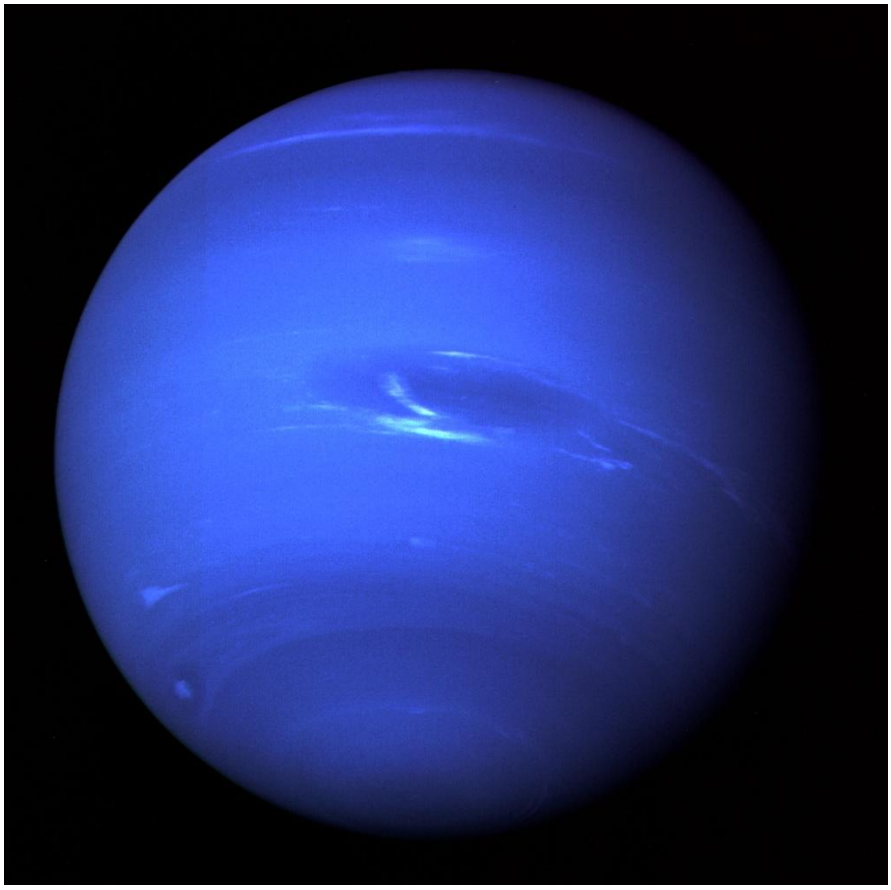
أما حلقات أورانوس فإنها رفيعة بالمقارنة مع حلقات زحل، وتتميز بأنها تتكون من أحجار حجمها في حدود المتر بينما حلقات زحل تتكون من أحجار ذات أبعاد مختلفة، وعدد حلقات أورانوس11 حلقة.

ولأورانوس مجال مغناطيسي مقارب في قوته للمجال المغناطيسي على الأرض ولكن مركز المجال المغناطيسي على أورانوس بعيد عن مركز الكوكب، كما يميل محور المجال المغناطيسي على محور الدوران بزاوية 60 درجة وهذا شيء يستحق الدراسة.

الفصل الرابع

نبتون Neptune

توأم أورانوس



صورة رائعة من فويجر2 توضح النشاط الجوي على نبتون (NASA)

كوكب نبتون خافت بحيث لا يمكن رؤيته بالعين المجردة، وقد تم حساب موقعه أولاً بالحسابات من خلال حساب تأيره على مدار أورانوس ثم رصد نبتون بعد ذلك مما يعد انتصاراً لعلم الميكانيكا السماوية. وقد ظل نبتون كواكبا غامضا حتى بدأت رحلات الفضاء في دراسته عن قرب. بينما يبدو أورانوس أملس، فإن نبتون تظهر عليه بقع لامعة وأخرى زرقاء داكنة بسبب حركة الهواء إلى أعلى وأسفل، وسحبه تتحرك بحيث تظهر فيه الطبقات بما يشبه الكوكبين العملاقين، المشتري وزحل ولكن اللون العام أزرق كما هو الحال في أورانوس والسبب هو غاز الميثان أيضاً. ومن الواضح أن الغلاف الجوي لنبتون في حالة حركة بحيث يمكن مشاهدة بعض مظاهر الطقس عليه، والسبب في ذلك أنه يرسل أكثر مما يستقبل من حرارة كما هو الحال في المشتري وزحل، بل إنه يشع بشكل أقوى إذا ماقارنا نسبة الكتل. وذلك على عكس أورانوس الذي لايشع حرارة من باطنه، والطبقة الخارجية للغلاف الجوي لنبتون شفافة، كما تظهر على الكوكب بقعة كبيرة زرقاء غامقة مثل البقعة الكبيرة الحمراء الموجودة على المشتري، ويبدو أن هذه البقعة ناشئة عن عواصف ثابتة في ذلك المكان. وتوجد كذلك بقع أصغر لامعة وداكنة تتحرك على الكوكب.

وللكوكب مجال مغناطيسي يميل بزاوية مقدارها 55 درجة على مستوى اللف، بينما يميل المجال المغناطيسي لأورانوس بزاوية مقدارها 60 درجة على مستوى دورانه حول نفسه كما هو مبين في جدول 7-10. يبعد نبتون أكثر من 30 وحدة فلكية عن الشمس ولذلك فهو يحتاج إلى حوالى 165 سنة كي يتم دورة كاملة حول الشمس، أي أن الأرض تتم 165 دورة حول الشمس في فترة دورانه هو مرة واحدة حولها. يميل مداره على دائرة البروج بأقل من درجتين، أما الزاوية بين مستوى دورانه حول نفسه وحول الشمس فتبلغ حوالى 29.5 درجة وهذا يشير لوجود تغيرات فصلية عليه. يلف نبتون حول نفسه بسرعة أكثر قليلا من أورانوس فيومه حوالى 16 ساعة، ويعاني الكوكب من التفلطح كما هو الحال في بقية الكواكب المشتراوية بسبب سرعة لفها حول نفسها. ورغم أن نبتون يأتي بعد أورانوس إلا أنه يزيد عنه في الكتلة والكثافة، أما درجة الحرارة والعاكسية فمتشابهان. ولكوكب نبتون ثلاث عشر قمرا، وكما هو الحال بالنسبة لأقمار أورانوس فإن ستة من أقمار نبتون رصدت بواسطة رحلة الفضاء فويجر2، أما بواسطة التلسكوبات فلم نرى سوى قمرين وهما نيريد وتريتون. التركيب الداخلي لنبتون يشبه تركيب أورانوس إلا أن لبه الداخلي أكبر سمكاً من اللب في أورانوس إذ يبلغ سمك اللب في نبتون حوالى عشرة آلاف كم.

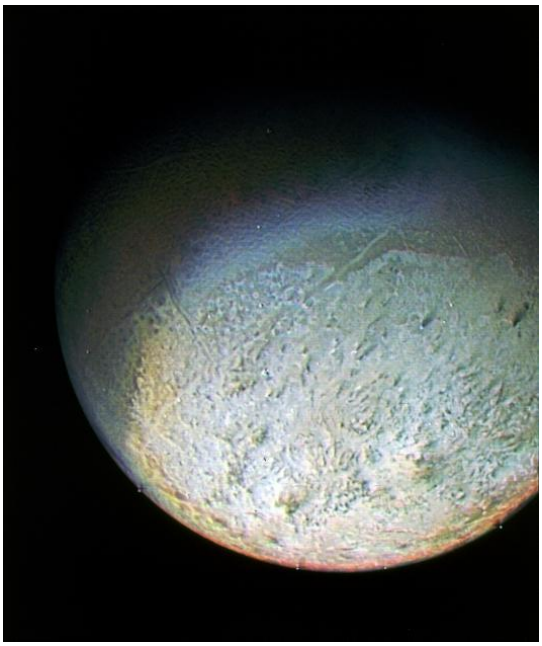
جدول 7-13: كوكب نبتون

متوسط البعد	30.11 وحدة فلكية
أقرب مسافة	29.85 وحدة فلكية
أبعد مسافة	30.37 وحدة فلكية
مقدار الاستطالة	0.01
السنة	164.79 سنة
ميل المدار	1.77 درجة
اليوم	16.05 ساعة
ميل المحورين	29.57 درجة
القطر المتوسط	3.86 قطر الأرض
القطر القطبى	3.83 قطر الأرض
القطر الاستوائى	3.89 قطر الأرض
الكتلة	17.15 كتلة الأرض
الكثافة	0.31 كثافة الأرض
قوة الجاذبية	1.13 جاذبية الأرض
سرعة الهروب	23.5 كم/ث
درجة الحرارة	74 كالفن
العاكسية	0.5
عدد الأقمار	13

الأقمار والحلقات Satellites and rings

لقد تم من خلال رحلة فويجر 2 التي وصلت إلى نبتون عام 1989م اكتشاف 6 أقمار، وتوالى اكتشاف الأقمار ليصبح 13 قمرا حتى نهاية عام 2007، وكل هذه الأقمار المكتشفة تدور حوله بشكل طبيعي كما أنها صغيرة في الحجم وقريبة منه، على عكس القمر نيريد والذي يبعد عن نبتون مسافة تعادل 14 ضعف نصف قطر الكوكب. ستة من أقمار نبتون تظهر بشكل وخواص مشابهة لبقية الأقمار في المجموعة الشمسية، واثنين من أقماره يتميزان بخصائص عجيبة، فالقمر تريتون له غلاف جوي، ويدور حول نبتون بشكل تراجعي، بينما القمر نيريد بعيد وهو صغير جداً، كما أنه يسير في مدار شديد التفلطح بحيث أن النسبة بين أصغر وأكبر بعدين له عن الكوكب تقدر بحوالى 1:50.

القمر تريتون Triton

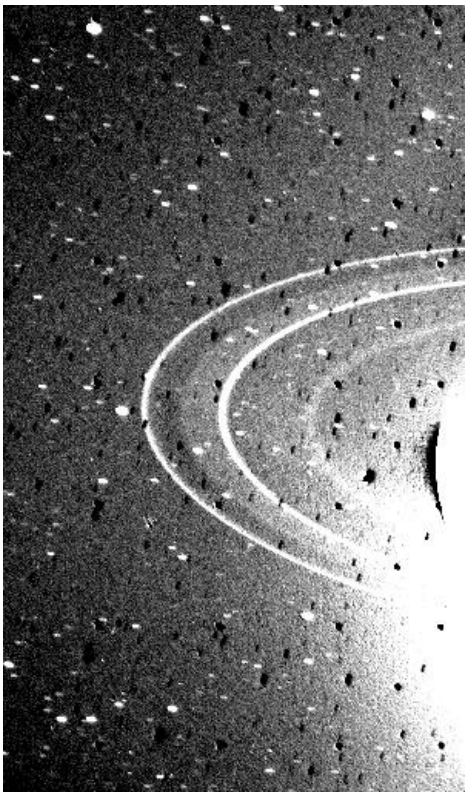


شكل 7-9: سطح القمر تريتون (NASA)

هو آخر الأقمار الكبيرة في المجموعة الشمسية وتبلغ كتلته 0.3 من كتلة قمرنا ويتحرك تريتون حركة تراجعية حول نبتون، ويتشابه حجم القمر تريتون مع بلوتو كما يتشابها في الكثافة المتوسطة 2.1 جم/سم^3 مما يشير إلى تشابههم في التركيب الداخلى (0.75 مادة صخرية + 0.25 ثلج الماء). ويظهر سطح تريتون كطبقة ثلجية حديثة ذات عاكسية عالية تبلغ حوالى 0.80، والثلج المكون لسطح تريتون عبارة عن خليط من H_2O، CH_4 والنيتروجين N_2 وجميعها في حالة تجمد لانخفاض درجة الحرارة عليه، ويعكس سطحه أغلب ما يسقط عليه من أشعة الشمس لذلك تظل درجة الحرارة عليه منخفضة حيث تبلغ على سطحه ما بين 35 إلى 40 كالفن وعند هذه الحرارة المنخفضة تتجمد أغلب المواد فيما عدا كمية قليلة من النيتروجين والموجودة في حالة غازية مكونة الغلاف الجوي الرقيق له. ومن المدهش حقاً أنه توجد سحب تتحرك في غلافه الجوي. ودراسة تفاصيل سطحه توضح أن له تاريخاً طويلاً من التطورات الجيولوجية فتوجد عليه فوهات ناشئة من ارتطام الشهب بسطحه كما توجد مناطق تحركت فيه المواد المنصهرة من باطنه لتحدث على سطحه طرقاً وقنوات وبحيرات كما توجد عليه جبال تشبه جبال القمر جانيميد. وتوجد قبعة ثلجية تغطي معظم النصف الجنوبي من القمر تريتون والتي تتبخر في اتجاه القطب الشمالي، وتتكون قبعة الثلج من النيتروجين المتجمد، وعند تبخر قبعة الثلج تخرج المادة في شكل نافورة جبارة وبشكل مدهش إلى ارتفاع 10كم فوق السطح مكونة ما يعرف ببراكين الثلج، وهذه البراكين تختلف عن براكين القمر ايو بأن براكين الثلج لا تأتي من نشاط في باطن تريتون ولكن من تسخين الشمس لسطحه. وتريتون نشط جيولوجيا حيث توجد عليه براكين، ولكن من المدهش حقا أن هذه البراكين تخرج منها غازات متجمدة، فهي لذلك تعد ظاهرة أو قل لغزاً مثيراً على هذا القمر البعيد، بذلك يمكننا القول أن الأرض والقمرين ايو وتريتون هي فقط الأجسام التي تحتوي على نشاط جيولوجي مستمر حتى الآن، كما لوحظ وجود حفر مستديرة وتشققات مما يدل

على أن القشرة الخارجية قد تكسرت وتزحزحت عن مكانها الأصلي بواسطة قوى داخلية، والغلاف الجوي لتريتون رقيق جداً بحيث أن الضغط عند سطحه يعادل حوالى 15 ميكرو بار ($15x10^{-6}$ بار). لا يوجد حول تريتون مجال مغناطيسي، ورغم ذلك يظهر عليه شفق كالشفق القطبى، والسبب في ذلك هو وصول شحنات من أحزمة المجال المغناطيسي لنبتون.

أما حلقات نبتون فهي موجودة بشكل كامل حول الكوكب، ولكن الحلقات معتمة بحيث يصعب رؤيتها وهي عبارة عن ثلاث حلقات رفيعة بالإضافة لنطاق من الحبيبات والتي تمتد بالقرب من الكوكب ، شكل 7-10. وبعض الأقمار التي اكتشفت حديثاً موجودة داخل نطاق الحلقات. ومن الواضح أن حلقات نبتون تتكون من حبيبات صغيرة ليخالف بذلك توأمه السابق أورانوس.



شكل 7-10: حلقات نبتون (NASA)

ملخص Summary

١) الكواكب المشتراوية عالم بدائي لم يتغير كثيراً منذ نشأته.

٢) الكواكب المشتراوية عالم من الثلج والمواد المتجمدة.

٣) يتميز كوكب المشتري بما يلي: أكبر الكواكب، أقصر الكواكب في طول يومه وأسرعهم في الدوران حول نفسه، له أكبر مجال مغناطيسي بين الكواكب، يدور حوله أربعة من الأقمار الكبيرة في المجموعة الشمسية، توجد في غلافه بقعة حمراء كبيرة، له حلقة رفيعة معتمة، ويدور حوله أكبر عدد من الأقمار.

٤) يتميز كوكب زحل بما يلي: له أكبر الحلقات سمكاً ولمعاناً حيث أن حلقاته من ثلج الماء،، أقل الكواكب من حيث متوسط الكثافة، يشبه المشتري في أغلب صفاته.

٥) أورانوس هو أول كوكب يتم اكتشافه بالتلسكوبات.

٦) يتميز أورانوس بما يلي: أقل الكواكب العملاقة في الكتلة، الزاوية بين محوري أورانوس تزيد عن 98 درجة ولذلك فإنه يتحرك بميل كبير وقطبيه في اتجاه معاكس لاتجاه القطبين في بقية الكواكب، لا يشع من داخله كما تفعل الكواكب العملاقة، أقماره ما بين صغيرة ومتوسطة.

٧) نبتون أكبر من أورانوس في الكتلة وأعلى منه في الكثافة ويشع من داخله أكثر مما يكتسب من الشمس ويتميز ببقعة زرقاء كبيرة وداكنة تشبه في خواصها البقعة الحمراء الكبيرة على المشتري.

٨) القمر تيتان يعد ثاني أكبر أقمار المجموعة الشمسية وهو تابع لزحل.

٩) الغلاف الجوي لتيتان 10 أمثال الغلاف الجوي للأرض من حيث العمق.

١٠) جانيميد هو أكبر الأقمار في المجموعة الشمسية ويدور حول المشتري.

١١) القمر ايو يتميز بنشاطه الجيولوجي القوي.

١٢) يدور حول نبتون أحد الأقمار الكبيرة في المجموعة الشمسية وهو القمر تريتون.

١٣) يوجد براكين ثلجية على تريتون وهو نشط جيولوجيا كما توجد عليه قبعات ثلجية كتلك التي على المريخ.

١٤) يوجد تشابه بين القمر تريتون وبلوتو من حيث التركيب الداخلي.

١٥) جميع الكواكب العملاقة تدور حولها حلقات، سمك الحلقات أكبر ما يمكن في زحل وأقلها سمكاً تلك التي تدور حول المشتري.

أسئلة

١) قارن بين الكواكب المشتراوية من حيث: التركيب الداخلي، الغلاف الجوي، المجال المغناطيسي

٢) يمكن تمييز كل كوكب بصفات تميزه عن غيره. بين ذلك.

٣) كيف نفسر البقعة الحمراء الكبيرة على المشتري؟

٤) ما سبب اللون الأزرق لكوكب أورانوس؟

٥) الكواكب العملاقة عالم بدائي. كيف نفهم ذلك؟

٦) لماذا تتمتع الكواكب العملاقة بنسبة عالية من الهيدروجين؟

٧) قارن بين أورانوس ونبتون من حيث نقاط الاختلاف.

٨) قارن بين جانيميد وكاليستو وتيتان.

٩) أجب بصح أو بخطأ:

أ – المشتري هو أعلى الكواكب العملاقة في الكثافة

ب – زحل هو أقل الكواكب العملاقة في الكثافة.

ت – لنبتون أكبر عدد من الأقمار في المجموعة الشمسية.

ث – لايوجد مجال مغناطيسي حول أورانوس.

ج – توجد دوامات هوائية في غلاف نبتون.

ح – كتلة نبتون أكبر من كتلة أورانوس.

خ – أورانوس لونه أزرق بسبب وجود سحب الميثان في غلافه الجوي.

د – لا توجد حلقات سوى حول زحل