الفصل الثاني

الـــكـــــون

الفصل الثاني

الـــكـــــون

هل تعتقدون أن الكون ولد من العدم وبرأيكم كيف تنظر الفيزياء إلى مفهوم العدم؟ هل الحياة وليدة الصدفة أم أنها قدر حتمي؟ وما علاقة الفيزياء بالأمر؟ الكون ولد من العدم...برهان رياضي على أن الكون ربما قد تشكل بطريقة تلقائية ومن لا شيء يفترض علماء الكون أن الاهتزازات الكمومية الحيادية سمحت للانفجار العظيم بالحصول بشكل تلقائي والآن لديهم بر هان رياضي تقول إحدى أعظم نظريات علم الكون الحديث بأن الكون بدأ بانفجار عظيم هذه ليست مجرد فكرة وإنما نظرية علمية يدعمها الكثير من الأدلة في البداية هناك الخلفية الكونية الميكروية وهي نوع من الصدى الناجم عن الانفجار العظيم بعدها هناك توسع مستمر للكون فعند تخيل العودة بالزمن إلى الوراء يدل الأمر على الانفجار العظيم ووفرة في العناصر الأولية مثل الهليوم-٤ والهليوم-٣ والديتريوم وغير ها وكل تلك العناصر يمكن حسابها باستخدام النظرية لكن لا يزال هناك لغز ضخم: ما الذي أدى إلى الانفجار العظيم؟ لسنوات عديدة اعتمد علماء الكون على فكرة أن الكون تشكل تلقائياً وان الانفجار العظيم كان نتيجة لاهتزازات كمومية والتي ادت الى ظهور الكون إلى حيز الوجود من العدم هذا الأمر منطقي عند الأخذ بعين الاعتبار ما نعرفه عن ميكانيك الكم لكن الفيزيائيين يحتاجون في الواقع إلى المزيد -برهان رياضي من أجل تجسيد الفكرة.

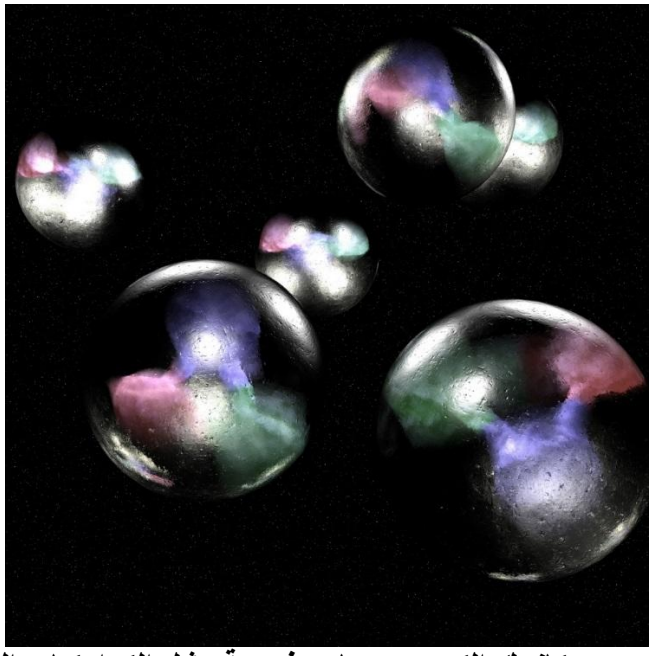
اليوم حصل العلماء على أمنيتهم والفضل في ذلك يعود إلى عمل دونغشان هي (Dongshan He) ورفاقه من معهد و هان للفيز ياء والرياضيات في الصين توصل أولئك الرجال على أول بر هان صارم على امكانية حصول الانفجار العظيم بشكلٍ تلقائي نتيجة للاهتزازات الكمومية يعتمد البر هان الجديد على مجمو عة خاصة من الحلول لمدخلات رياضية تُعرف بمعادلة ويلر-دويت في النصف الأول من القرن العشرين ناضل علماء الكون من أجل الجمع بين ركيز تي الفيز ياء الحديثة ميكانيك الكم والنسبية العامة -من أجل الحصول على وصف معقول للكون. بقدر ما يمكن أن نقول بأن تلك النظر يات كانت غريبة بالكامل بالنسبة إلى بعضها البعض. حصل الإنجاز في ستينات القرن الماضي عندما قام الفيزيائيان جون ويلر (John Wheeler) وبريس دويت (Bryce DeWitt) بجمع الأفكار المتضاربة داخل إطار رياضي يُعرف اليوم بمعادلة ويلر دويت ويستكشف العمل الجديد لدونغشان ورفاقه بعض الحلول الجديدة لهذه المعادلة في جوهر طريقتهم في التفكير يو جد مبدأ الارتياب لهايزنبرغ يسمح هذا المبدأ لفضاء فارغ و صغير بالظهور إلى حيز الو جود بشكل احتمالي

ونتيجة لاهتزازات داخل ما يدعوه الفيزيائيون بالفراغ الخاطئ والمستقر لفترة طويلة (metastable false vacuum) عندما يحصل ذلك هناك احتماليتين إذا لم تتوسع هذه الفقاعة من الفضاء بشكل سريع ستختفي من جديد وغالباً لحظياً لكن إذا كان باستطاعتها التوسع إلى حجم كبير بشكل كاف يمكن أن ينشأ حينها كون بطريقة لا عكوسة (باتجاه واحد) والسؤال هو: هل تسمح معادلة ويلر-دويت بذلك؟ دونغشان وزميله: "برهنا أنه حالما تنشأ فقاعة فراغ حقيقية وصغيرة يكون لديها فرصة من أجل التوسع بطريقة أُسية" يعتمد نهجهم على الأخذ بعين الاعتبار فقاعة كروية وتوصف بشكلٍ كامل عبر نصف قطرها وقاموا بعد ذلك باشتقاق معادلة تصف المعدل الذي يستطيع عنده لنصف القطر التوسع ومن ثم أخذوا بعين الاعتبار أيضاً ثلاث سيناريوهات خاصة بهندسة الفقاعة -مغلقة أو مفتوحة أو مسطحة في كل حالة من تلك الحالات وجدوا حلّاً تستطيع الفقاعة عبره التوسع بشكل أُسي وبالتالي تصل إلى حجم قادر على تشكيل كون -الانفجار العظيم وهذه نتيجة يمكن لعلماء الكون أن يبنوا عليها وتقدم أيضاً عواقب مهمة جداً يعرف أحد أهم العوامل الموجودة اليوم في نماذج الكون بالثابت الكوني ويصف هذا التعبير كثافة طاقة فراغ فضاء ما قدم اينشتاين هذاالتعبير للمرة الأولى في نظريته النسبية العامة ولاحقاً استبعده بنفسه بعد اكتشاف هابل لتوسع الكون حتى تسعينات القرن الماضي افترض معظم علماء الكون أن الثابت الكوني يساوي الصفر لكن بعد ذلك وجدوا أدلة على وجود شيء ما يجعل التوسع الكوني يتسارع، مما يؤكد استحالة أن يكون الثابت الكوني معدوم نتيجة لذلك يجب على أي نظرية جديدة للكون أن تسمح بوجود قيمة غير صفرية للثابت الكوني من الذي يلعب دور الثابت الكوني في النظرية الجديدة لدونغشان ورفاقه؟ يقول أولئك الرجال وبشكلٍ ملفت للنظر بأن كمية تعرف بالكمون الكمومي (quantum potential) تلعب دور الثابت الكوني في الحلول الجديدة ينتج هذا الكمون عن فكرة نظرية الموجة المرشدة المطورة في أواسط القرن العشرين من قبل الفيزيائي ديفيد بوم (David Bohm). تعيد هذه النظرية إنتاج كل التنبؤات التقليدية لميكانيك الكم لكن شرط قبول حد إضافي يعرف بالكمون الكمومي تتمتع هذه النظرية بتأثير جعل ميكانيك الكم حتمية بشكل كامل بما انه بالإمكان استخدام الكمون الكمومي من أجل حل مسائل كالموقع الحقيقي لجسيم ما على أية حال لم يأخذ التيار الرئيسي من الفيزيائيين بفكرة "الانفجار الكبير" لأن تنبؤاتها متطابقة مع النسخة التقليدية من النظرية ولذلك لا تُوجد طريقة تجريبية من أجل جعلهم يميزون بينهما على أية حال دفعت النظرية الفيزيائيين إلى القبول بالتفسير الاحتمالي والاحصائي لطبيعة الواقع - وفي الواقع هو شيء يَسعدون جداً بقبوله فكرة أن الكون الكموي هو جزء ضروري في هذا الاشتقاق الرياضي الجديد لأصل الكون هو أمر مذهل فربما قد حان الوقت من أجل إعطاء أفكار "الانفجار الكبير" دفعة أخرى.

ما هو اللاشيء، وهل ولد الكون من لا شيء؟

هل يوجد مكان ما في الكون حيث لا وجود لشيء فيه حقاً؟ خذ على سبيل المثال الفجوات بين النجوم والمجرات؟ أو الفجوات بين الذرات؟ ما هي خواص اللاشيء؟

أريد منك أن تأخذ ثانية وتفكر حول اللاشيء أغلق عينيك وتصور الأمر في عقلك ركز وركز جداً على اللاشيء... من الصعب جداً القيام بذلك أليس كذلك؟ خصوصاً عندما استمر بالثرثرة إليك بدلاً من ذلك دعنا نأخذ بعين الاعتبار الفضاءات الواسعة الموجودة بين المجرات والنجوم أو الفجوات الكامنة في الذرات والجسيمات المجهرية الأخرى. عندما نتحدث عن اللاشيء في أقاصي الفضاء الواسع فهو ليس لا شيئاً في الواقع هل فهمت الأمر؟ إنه ليس باللاشيء... هناك شيء ما موجود هناك حتى في الأماكن الموجودة في الفضاء بين-المجري يوجد مئات أو آلاف الجسيمات في كل متر مكعب وحتى لو تمكنت من استئجار خادمة "MegaMaid" من متجر القبعة المظلمة وقمت بكنس تلك الجسيمات سيبقى هناك أطوال موجية من الإشعاع الذي سيتمدد على طول المسافات الواسعة في الفضاء هناك جاذبية لا يمكن الإفلات منها في كافة أرجاء الكون وحقل مغناطيسي ضعيف قادم من كوازار بعيد إنه ضعيف جداً لكن ليس لا شيئاً إنه لا يزال شيئاً ما يجادل الفلاسفة وبعض الفيزيائيون في أن ذلك اللاشيء ليس هو نفسه اللاشيء "الواقعي" ينظر الفيزيائيون المختلفون إلى أشياء مختلفة على أنها لا شيء انطلاقاً من اللاشيء الذي يعتبر الفراغ الكلاسيكي (classical vacuum) ووصولاً إلى فكرة اللاشيء كمصطلح غير قابل للتمييز حتى لو تمكنت من إزالة كل الجسيمات وتجنب الحقول الكهربائية والمغناطيسية فإن صندوقك سيستمر باحتواء الجاذبية لأنه لا يمكن تفادي الجاذبية أو إلغاؤها لا تنتهي الثقالة وهي قوة جاذبة دوماً ولذلك لا يمكنك القيام بأي شيء لحجبها وفي فيزياء نيوتن ينتج ذلك عن كونها قوة لكن الأمر مختلف في النسبية فكل من المكان والزمن يمثلان الجاذبية حسناً تخيل أنك أزلت كل الجسيمات والطاقة والجاذبية... كل شيء من النظام عندها كل ما سيبقى لديك هو الفراغ الحقيقي (true vacuum) حتى عند المستويات الطاقية الأقل يوجد هناك اهتزازات في الفراغ الكمومي (quantum vacuum) للكون هناك جسيمات كمومية تستمر بالظهور إلى حيز الوجود في كافة أرجاء الكون إذاً هناك اللاشيء ثم يظهر فجأةً بعض الشيء وبعد ذلك تتصادم الجسيمات مع بعضها وسيعود اللاشيء إلى الظهور من جديد إذاً حتى لو تمكنت من إزالة كل شيء من الكون سيبقى لديك هذه الاهتزازات الكمومية (quantum fluctuations) المدفونة في نسيج الزمكان (spacetime).



تحتوي ميكانيك الكم جسيمات غريبة مثل الكواركات المشاهدة في هذه الصورة.

هناك فيزيائيون مثل لورانس كراوس (Lawrence Krauss) يجادلون بأن "كوناً من لا شيء" يعني في الواقع "كوناً ممكناً" وهو كون يأتي إلى حيز الوجود إذا أضفت كل الكتل والطاقات الموجودة في الكون وأيضاً كل الانحناء الثقالي وكل شيء آخر يبدو الأمر مشابهاً لكون مجموعها جميعاً مساوٍ للصفر ولذلك من المحتمل أن يكون الكون قد ولد من لاشيء وإذا كان ذلك صحيحاً فإن ذلك "اللاشيء" هو في الواقع "كل شيء" نراه حولنا و"كل الشيء" هو لا شيء ما رأيك؟ كيف ستبدو عندما تفكر بفكرة اللاشيء؟

توضيح لانفجار الكبير

الانفجار العظيم

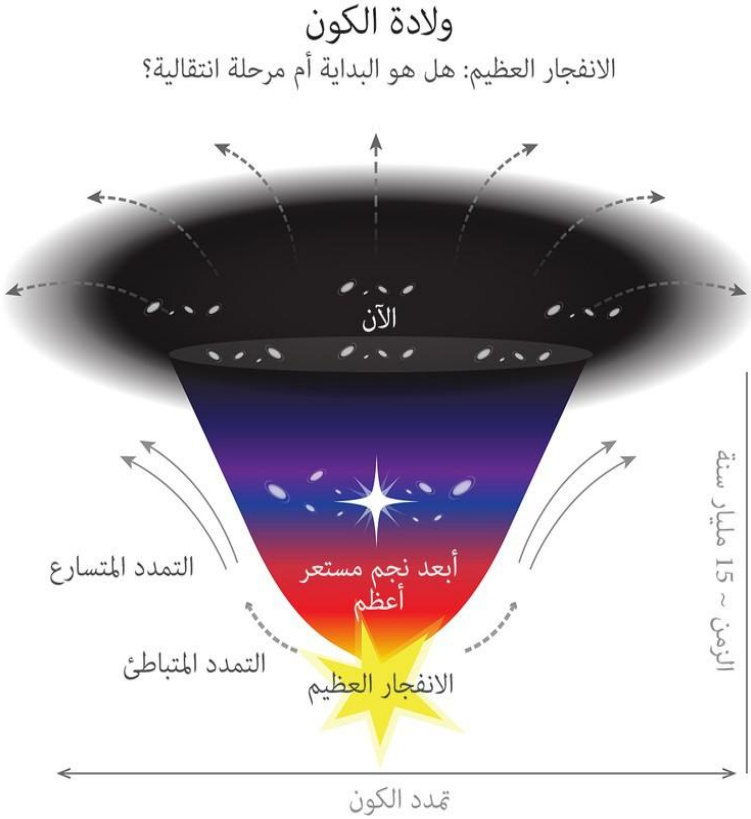
في علم الكون الفيزيائي الانفجار العظيم هوالنظرية السائدة حول نشأة الكون تعتمد فكرة النظرية أن الكون كان في الماضي في حالة حارة شديدة الكثافة فتمدد وأن الكون كان يوما جزء واحد عند نشأة الكون بعض التقديرات الحديثة تقدر حدوث تلك اللحظة قبل ١٣.٨مليار سنة والذي يعتبرعمر الكون وبعد التمدد الأول برد الكون بما يكفي لتكوين جسيمات دون ذرية كالبروتونات والنيترونات والالكترونات ورغم تكون نويات ذرية بسيطة خلال الثلاث دقائق التالية للانفجار العظيم إلا أن الأمر احتاج آلاف السنين قبل تكون ذرات متعادلة كهربيا معظم الذرات التي نتجت عن الانفجار العظيم كانت من الهيدروجين والهيليوم مع القليل من الليثيوم ثم التئمت سحب عملاقة من تلك العناصر الأولية بالجاذبية لتكون النجوم والمجرات وتشكلت عناصر أثقل من خلال تفاعلات الانصهار النجمي أو اثناء تخليق العناصر في المستعرات العظمى تقدم نظرية الانفجار الكبير شرحاً وافياً لمجموعة واسعة من الظواهر المرئية بما في ذلك وفرة من العناصر الخفيفة والخلفية الاشعاعية للكون

والبنية الضخمة للكون وقانون هابل ونظرا لكون المسافة بين المجرات تزداد يوميا فبالتالي كانت المجرات في الماضي أقرب إلى بعضها البعض و من الممكن استخدام القوانين الفيزيائية لحساب خصائص الكون كالكثافة ودرجة الحرارة في الماضي بالتفصيل وبالرغم من أنه يمكن لمسرعات الجسيمات الكبرى استنساخ تلك الظروف لتأكيد وصقل تفاصيل نموذج الانفجار الكبير إلا أن تلك المسرعات لم تتمكن حتى الآن إلا البحث في الانظمة عالية الطاقة وبالتالي فإن حالة الكون في اللحظات الأولى للانفجار العظيم مبهمة وغير مفهو مة ولا تزال مجالاً للبحث كما لا تقدم نظر ية الانفجار العظيم أي شرح للحالة الأولية للكون بل تصف وتفسر التطور العام للكون منذ تلك اللحظة قدم الكاهن الكاثوليكي والعالم البلجيكي جورج لومتر الفرضية التي أصبحت لاحقا نظرية الانفجار العظيم سنة ١٩٢٧ م ومع مرور الوقت انطلق العلماء من فكرته الأولى حول تمدد الكون لتتبع أصل الكون وما الذي أدى إلى تكون الكون الحالي اعتمد الإطار العام لنموذج الانفجار العظيم على النظرية النسبية العامة لآينشتاين وعلى تبسيط فر ضيات كتجانس نظم وتو حد خواص الفضاء و قد صاغ ألكسندر فريدمان المعادلات الرئيسية للنظرية وأضاف ويليم دي سيتر صيغ بديلة لها وفي سنة ١٩٢٩ م اكتشف أدوين هابل أن المسافات إلى المجرات البعيدة مرتبطة بقوة بانزياحها الاحمر استنتج من ملاحظة هابل أن جميع المجرات والعناقيد البعيدة لها سرعة ظاهرية تختلف عن فكرتنا بأنها كلما بعدت زادت سرعتها الظاهرية بغض النظر عن الاتجاه ور غم انقسام المجتمع العلمي يو ما بين نظريتي تمدد الكون بين مؤيد لنظر ية الانفجار العظيم ومؤيد لنظرية الحالة الثابتة الا أن التأكيد بالملاحظة والرصد على صحة سيناريو الانفجار العظيم جاء مع اكتشاف الخلفية الاشعاعية للكون سنة ١٩٦٤ م واكتشاف أن طيف تلك الخلفية الإشعاعية يتطابق مع الإشعاع الحراري للاجسام السوداء منذ ذلك الحين أضاف علماء الفيز ياء الفلكية إضافات رصدية ونظرية إلى نموذج الانفجار العظيم وتمثلها الوسيطى كنموذج لامبدا_سي دي أم الذي هو بمثابة إطار للأبحاث الحالية في علم الكونيات النظري.

تمدد الفضاء

تصف النسبية العامة الزمكان وفق نظام متري يمكن من خلاله تحديد المسافات التي تفصل أي نقطة عن نقطة قريبة هذه النقاط قد تكون مجرات أو نجوم أو أشياء أخرى هذه النقاط نفسها يتم تحديدها باستخدام متعدد شعب أو "شبكة" تشمل كل الزمكان ينص المبدأ الكوني أن هذا النظام المتري يجب أن يكون متجانس وموحد الخواص في المقاييس الكبيرة يمكن تمييزه باستخدام أحداثيات روبرتسون – ووكر هذه الإحداثيات تحتوي على مقياس يصف تغير حجم الكون عبر الزمن مما يسر اختيار نظام أحداثي مناسب يدعى مسافة المسايرة وفق هذا النظام الإحداثي

تتمدد الشبكة بتمدد الكون وتبقى الأجسام التي تتحرك بتمدد الكون في مواضع ثابتة على الشبكة وتبقى مسافاتها الإحداثية (مسافات المسايرة) ثابتة في الوقت الذي تتزايد فيه المسافات الفعلية بين الأجسام طرديًا بتمدد الكون لا يعد الانفجار العظيم انفجارًا للمادة يتحرك نحو الخارج لملء كون فارغ ولكن بمرور الوقت يتمدد الكون في كل اتجاه وتتزايد المسافات الفعلية بين الأجسام المتحركة ونظرًا لكون إحداثيات روبرتسون-ووكر تفترض توزيعًا منتظمًا للكتلة والطاقة فإنها تنطبق فقط على القياسات الكبيرة أما النطاقات المحدودة من المادة مثل مجرتنا المترابطة تجاذبيا فلا تنطبق عليها نظرية التمدد واسع النطاق كما في الفضاء خارج مجرتنا.



وفقا لنموذج الانفجار العظيم فإن الفضاء الكوني يتمدد من حالة حارة شديدة الكثافة وما زال يتمدد إلى اليوم يوضح هذا المخطط تمدد الكون حيث تتباعد المجرات مع التمدد.

الطاقة المظلمة

أوضحت قياسات العلاقة بين الانزياح الاحمر القدر الظاهري لمستعر اعظم من النوع A1أن تمدد الكون بدأ في التسارع منذ كان الكون في نصف عمره الحالي ولتفسير هذا التسارع تقول نظرية النسبية العامة بأنه يتطلب أن تكون معظم طاقة الكون سلبية التي تعرف باسم "الطاقة المظلمة" تحل الطاقة المظلمة العديد من المشاكل فقياسات الخلفية الإشعاعية للكون توضح أن الكون تقريبًا مسطح وبالتالي ووفقًا للنسبية العامة لابد وأن يكون للكون قيمة كتلة/طاقة تمامًا وفق حسابات معادلات فريدمان ولكن بحساب كثافة الكتلة من خلال جاذبيتها ووجد أنها تعادل فقط حوالي ٣٠% من كثافتها الحرجة ونظرًا لافتراض النظرية أن الطاقة المظلمة لا تتجمع بالطريقة الاعتيادية فيكون ذلك هو التفسير الأمثل للفقد في كثافة الطاقة وتساعد الطاقة المظلمة في تفسير مقياسين حجميين للمنحنى الكلي للكون الأول باستخدام تردد عدسات الجاذبية والآخر يستخدم النموذج المميز للكون المرصود كمسطرة كونية يعتقد أن الضغط السلبي هو أحد خواص طاقة الفراغ لكن طبيعة ووجود الطاقة المظلمة لا يزال أحد أكبر ألغاز الانفجار العظيم. وفي سنة ٢٠٠٨ م توصل فريق مسبار ويلكنسون إلى أن الكون يتكون من ٧٣% طاقة مظلمة و ٢٣% مادة مظلمة و٤.٦% مادة عادية وأقل من ١% نيوترينوات ووفقًا للنظرية فإن كثافة الطاقة في المادة تقل مع تمدد الكون ولكن تبقى كثافة الطاقة المظلمة ثابتة مع تمدد الكون ولذا كانت المادة في الماضي تمثل جزءً أكبر من الطاقة الكلية للكون أكثر مما هي عليه اليوم وستقل نسبة مساهمتها في المستقبل البعيد عندما تصبح الطاقة المظلمة أكثر هيمنة.

المادة المظلمة

خلال سبعينيات وثمانينيات القرن العشرين أظهرت عدة أعمال رصد عدم وجود مادة مرئية كافية في الكون لتشكل قوة جذب واضحة داخل وبين المجرات أدى ذلك إلى التفكير بأن نحو ٩٠٪ من المادة في الكون هي مادة مظلمة لا ينبعث منها ضوء ولا تفاعل مع المادة الباريونية العادية. ورغم أن فرضية وجود المادة المظلمة مثيرة للجدل إلا أنه يستدل عليها من خلال عمليات الرصد المختلفة: مثل عدم التجانس في الخلفية الإشعاعية للكون وانخفاض سرعات عناقيد المجرات وتوزيع بنية الكون ودراسات عدسة الجاذبية وقياسات الاشعة السينية لعناقيد المجرات كما أن هناك دلائل أخرى غير مباشرة على وجود المادة المظلمة مثل تأثيرها الجذبوي على المواد الأخرى ومازال العديد من المشاريع البحثية الجارية في فيزياء الجسيمات للتعرف على طبيعة المادة المظلمة لعبت المادة المظلمة دوراً أساسياً في تخليق النجوم في البدايات الأولى من الكون إذا كانت المادة المظلمة على هذه الحالة على أية حال يجب أن يشتمل المادة المظلمة على الجزيئات المعروفة بـ"النيوترونات

العقيمة" قام بيتر بير مان من معهد ماكس بلانك لعلوم الفلك الإشعاعي في بون وألكسندر كوسينكو من جامعة كاليفورنيا في لوس أنجلوس باظهار أنه عندما تضمحل النيوترونات العقيمة فإنها تسرع عملية خلق جزيئات الهيدروجين هذه العملية ساعدت على إضاءة النجوم الأولى فقط منذ حوالي ٢٠ إلى ١٠٠ مليون سنة بعد الانفجار الكبير كل هذه المعطيات تعطينا تفسيراً بسيطاً لبعض الملاحظات المحيرة الأخرى التي تتعلق بالمادة المظلمة النيوترونات العقيمة والمادة المضادة اكتشف العلماء بأن تلك النيوترونات لها كتلة خلال تجارب قياس ذبذبة النيوترونات هذا قاد إلى افتراضات بإن النيوترونات العقيمة الموجودة هي كذلك معروفة أيضا بالنيوترونات اليمينية وبأنها لا تشارك في التفاعلات الضعيفة مباشرة ولكنها تتفاعل من خلال خلطها مع النيوترونات العادية.إن العدد الكلي للنيوترونات العقيمة غير واضح إذا كانت كتلة المادة المظلمة تعادل بضعة كيلو إلكترونوفولتز (١ KeV تعادل مليون كتلة ذرة الهيدروجين) فإنها توضح ضخامة الكتلة المفقودة في الكون أحيانا تسمى المادة المظلمة ودعمت ملاحظات الفلكيين الفيزيائيين وجهة نظر باحتمال بأن المادة المظلمة تشتمل على النيوترونات العقيمة.

المادة المظلمة الباريونية والمادة المظلمة الغير باريونية

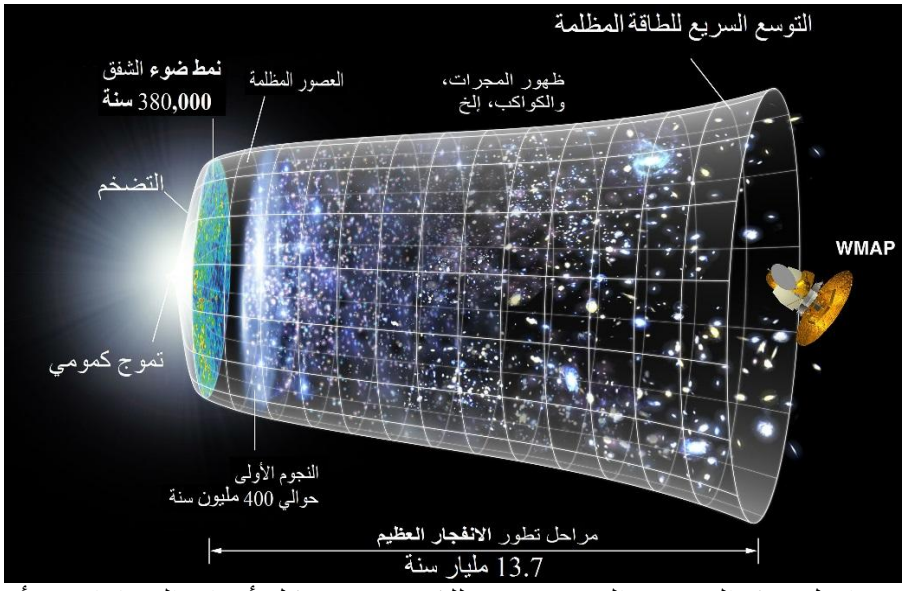
من الممكن لنسبة صغيرة من المادة المظلمة أن تكون مادة مظلمة باريونية: الأجسام الفلكية مثل هالة الأجسام الثقيلة المدمجة المؤلفة من مادة عادية تبعث القليل أو لاتبعث على الإطلاق أي اشعاع كهرومغناطيسي ويشير التوافق مع المشاهدات الأخرى إلى عدم إمكانية الغالبية العظمى من المادة المظلمة الموجودة في الكون لأن تكون مادة مظلمة باريونية أي أنها غير مشكلة من الذرات ولا يمكنها التآثر مع المادة العادية عبر القوى الكهرو مغناطيسية ولا تحمل جسيماتها أي شحنة كهربائية وتتضمن المادة المظلمة الغير باريونية النيوترينو هات مع إمكانية وجود جسيمات افتراضية مثل الأكسيومز أو الجسيمات فائقة التناظر وعلى عكس المادة المظلمة الباريونية لاتساهم المادة المظلمة غير الباريونية في تشكيل العناصر في بداية الكون "الاصطناع النووي للانفجار العظيم" وبالتالي يتم الكشف عن وجودها فقط من خلال تجاذبها الثقالي، بالإضافة إلى ذلك، لو كانت الجسيمات المؤلفة للمادة المظلمة غير الباريونية فائقة التناظر فإنها من الممكن أن تخضع لتفاعلات الإفناء مع نفسها مما يؤدي إلى ملاحظتها من النواتج الفرعية مثل الفوتونات والنيوترينو هات "كشف غير مباشر" تصنف المادة المظلمة غير الباريونية من حيث كتلة الجسيمات المفترضة لتشكيلها و السرعة النموذجية لانتشار تلك الجسيمات (حيث أن الجسيمات الأثقل تكون أبطأ) هناك ثلاثة افتراضات بارزة للمادة المظلمة الغير باريونية و هي المادة المظلمة الساخنة والدافئة والباردة مع إمكانية المزج بينهم النموذج الأكثر مناقشة

للمادة المظلمة الغير باريونية مبني على فرض المادة المظلمة الباردة ويفترض الجسيم المرتبط به ليكون في الغالب جسيم ثقيل ضعيف التآثر من الممكن للمادة المظلمة الساخنة أن تتألف من النيوترينوهات الثقيلة تؤدي المادة المظلمة الباردة إلى تشكيل "قاعدي-علوي" لبنية الكون والمادة المظلمة الساخنة إلى تشكيل "قمي-سفلي" لنفس البنية.

مؤشر لآكتشافها

من الصعب اكتشاف جسيمات المادة المظلمة مباشرة حيث أن تآثر ها وتفاعلها مع المادة العادية ضعيف جدا جداً كما لو كان ليس لها وجود ملايارات من تلك الجسيمات تمر خلال جسمك وأنت تقرأ هذا ولا تشعر بها ولكن يمكن قياس نواتجها فعند اصطدام جسيمان من المادة المظلمة ينتج عنه جسيمان معروفان الالكترون و نقيض الإلكترون المسمى بوزيترون وقد زود علماء محطة الفضاء الدولية بمطياف خاص يقيس البوزيترونات وقد مضى على وجوده في الفضاء نحو عامين سجل مطياف البوزوترونات خلال السنتين نحو ٤٠٠.٠٠٠ بوزيترونا يعتقد أنها ناشئة عن اصطدامات جسيمات المادة المظلمة ويأمل العلماء التأكد من ذلك بحيث لا تكون تلك البوزيترونات ناشئة عن مصدر آخر لا يعرفونه الآن هذا الرقم يتمشى مع تقديرات العلماء عن احتمال تصادم جسيمات المادة المظلمة بعضها البعض ولكن لا بد من التأكد أن البوزيترونات ليست من مصدر آخر لهذا سيتواصل عمل المطياف في الفضاء لزيادة المعلومات والتأكد من مصدر البوزيترونات

ماذا حصل قبل الانفجار العظيم؟

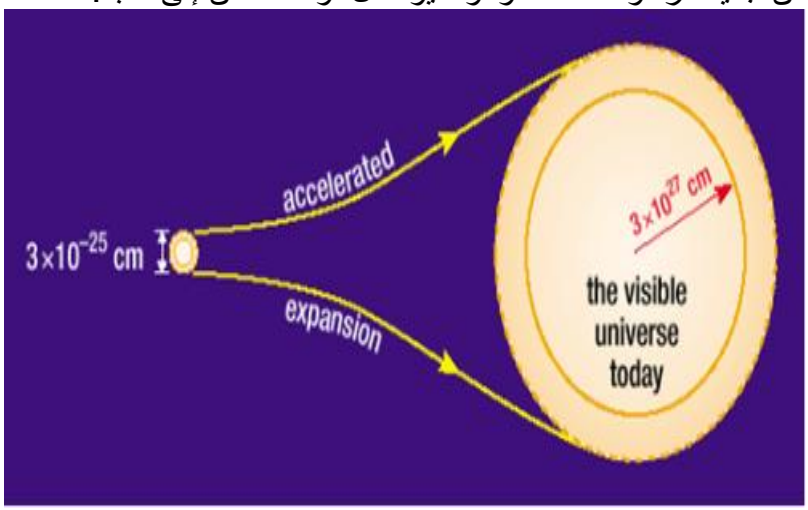


داخل هذه الصورة التي رسمت للكون يوجد كل أنواع الخيارات ويأخذك أحدها عودة بالزمن الى الوراء لتصل الى المرحلة المبكرة من عمر الكون وهي المرحلة التي كان فيها اكثر سخونة وكثافة بكثير وستصل أيظآ الى زمن سيكون فيه كل من الكثافة ودرجة الحرارة أذا صدقت معادلاتك لانهائيين تقدم لنا نظرية أينشتاين في الجاذبية وسيلة لحساب زمن حصول هذه الحالة الانهائية وذالك الزمن مساول١٣.٧ مليار عام حقآ أنه لأمر مذهل جدآ فبأمكانك المسير في أماكن مثل اسكندنافيا واسكوتلندا والتقاط صخور عمرها ٣ مليارات عام وبما ان عمر النظام الشمسي حوالي ٤.٦ مليار عام ولذالك فنحن قريبون من النقطة التي أعتبرت بداية لكل شيء.

صورة للعنقود النجمي الكروي NGC 639 ملتقطة من قبل تلسكوب هابل

عند تلك النقطة يبدأ العلماء بالقلق لأن التنبؤ بشيء لانهائي غالباً ما يكون إشارة إلى أن النظرية التي استخدمتها لصناعة التنبؤ قد وصلت في الحقيقة إلى أقصى حدود إمكانية تطبيقها على سبيل المثال تخيل أنك عالم إيروديناميك وتريد التنبؤ بسرعة تدفق الهواء إذا كان نموذجك بسيطاً جداً لنقل أهملت احتكاك الهواء فإنه قد يتنبأ بأن شيئاً ما سيتغير بسرعة لانهائية خلال زمن محدد لكن لن يصدق أي من علماء الإيروديناميك أن ذلك هو ما حصل في الواقع وسيأخذون ذلك التنبؤ على أنه دليل على عودتك المؤكدة إلى المربع الأول لتحاول جعل نموذجك أفضل بقليل مثلاً عبر طرح فكرة احتكاك الهواء وبعد أخذك للأفكار الجديدة بعين الاعتبار وحل المعادلات ستجد أن الأشياء تغيرت بسرعة كبيرة جداً لكن تلك السرعة ليست لا نهائية لذلك يعمل علماء الكون اليوم بجدية على توسيع نظرية أينشتاين في النسبية لتأخذ في الحسبان النظرية الكمومية التي يمكنها إعطاءنا وصفاً دقيقاً للبداية الظاهرية للكون لا وجود لاتفاق محدد على كيفية القيام بذلك لكن ذلك الأمر يشكل محط

اهتمام الأبحاث الحالية تتنبأ بعض النظريات أن الكون لا يمتلك بداية على الإطلاق وإذا عدت بالزمن إلى الوراء سيرتد الكون ككرةٍ تقريباً ليعود إلى الحالة السابقة ربما يتصرف الكون بشكل دوري ينكمش ويتوسع ومن ثم ينكمش من جديد أو أنه عاد ليتوسع من جديد مرةً واحدة فقط وهو سيواصل توسعه الآن إلى الأبد.



تتنبأ نظرية التضخم بأن الجزء الكامل من الكون المرئي بالنسبة لنا اليوم توسع من منطقة كان صغيرة جداً يخبرنا احتمال اخر ان الكون بدأ من حالة ساكنة وغير مهمة وبعد ذالك بدأ بالتوسع جراء تأثير الاهتزازات الكمومية (quantum fluctuations) وفي هذا السيناريو للتوسع بداية لكن ليس بالضرورة ان يكون للكون بداية محددة.

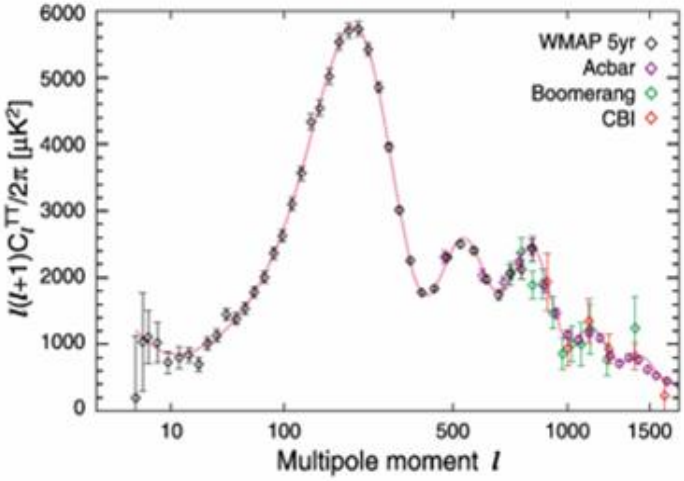
الكون المتوسع

يعتقد الكثير من الناس ان توسع الكون مشابه لانفجار لابد من وجود مركز له بالاضافة الى حافة اذا كنا نشاهد كل شيء يتوسع من حولنا في الكون فأن ذالك لايعني بالضرورة أننا في مركزه ؟ فليس هناك مركز للكون ولاوجود لحواف للتوسع وأسهل طريقة لتصور ذالك هي ان الكون لانهائي دعنا نفكر بكون ثنائي الابعاد كصفيحة مطاطية لانهائية الابعاد في كل الاتجهات اذا كانت تلك الصفيحة تتعرض للتوسع فلا يهم ابدآ مكان وقفك عليها لانك ستشاهد كل شيء يتوسع مبتعدآ عنك يمكنك حينها رسم دائرة حولك لتصف من خلالها حافة الكون الرصدي وسيكون نصف قطر تلك الدائرة ممثلآ للمسافة التي تمكن الضوء من السفر عبرها منذ ان بدأت الصفيحة بالتوسع نسمي تلك المسافة بالافق ولايعني ذالك انه لايوجد صفيحة خلف حدود الدائرة وأنما تعبر هذه الدائرة عن محدودية رؤيتنا فقط.

لكن كيف سيكون الحال لو كان الكون محدوداً؟

اذا مالتقطت قطعة من الورق سيظهر لك وبشكل واضح كل من المركز والحافة لكن يمثل الكون كل شيءموجود فهو ليس انفجارآ وليس عملية توسع داخل شيء ما ولذالك ليس بمقدور كون ثنائي الابعاد ان يكون مشابهآ لقطعة من الورق لكن قد يشابه سطح كرة ما! فيي هذه الحالة يكون الكون محدودآ لكن لو كنت نملة تسير حوله فأنك لن تتمكن من مشاهدة الحافة ولذالك يستطيع السطح المنحني ان يكون محدودآ ودون حافة هذه هي الطريقة التي علينا اتباعها عند التفكير بكون متوسع ومحدود فاذا نفخنا بالونآ مارسم عليه صلبان ستتباعد كل الصلبان عن بعضها اثناء انتفاخ البالون واذا كنت جالسآ فوق بالون سترى كل الصلبان وهي تتحرك مبتعدة عنك ومركز ذالك التوسع لايوجد في حال من الاحوال على البالون.

يوضح المخطط الانسجام الجيد بين تنبؤات نظرية التضخم وعمليات الرصد



الكون المتضخم

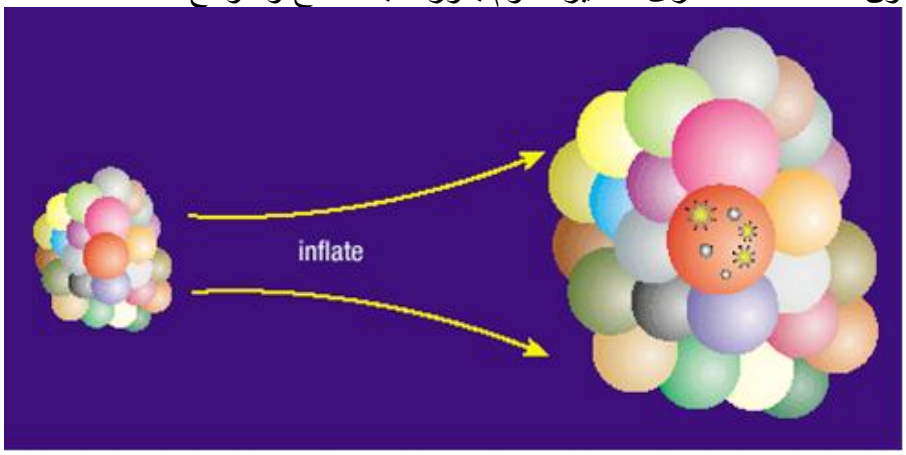
هناك أيظا مزيد من الاحتمالات الاكثر غرابة والتي ظهرت الى الضوء خلال السنوات العشر الاخيرة وتترافق تلك الاحتماليات في العادة مع فكرة الكون المتعدد(multiverse) فقد يكون كوننا واحداً بين العديد من الاكوان المحتملة او بشكل أكثر تحديداً فأن الجزء الذي نحتله من الكون ربما يتصرف بشكل مختلف تمامى عن الأجزاء الأخرى منه تخيل كوناً يتوسع بطرقم ختلفة في اماكن مختلفة منه ففي بعض الاماكن يكون بارداً مثل ذالك الجزء الذي نعيش فيه لكن في اماكن اخرى قد يكون اكثر سخونة بكثير وفي بعض الاحزاء ربما يعاني من عملية انهيار بدلاً من التوسع واذا كان الكون لانهائي لن يكون هناك أية حدود على عدد التغيرات الممكنة داخله جاء هذا النوع من السيناريوهات من نظرية الكون التضخمي (inflationary universe)،وتشرح هذه النظرية بشكل جيد العديد من الخواص التي نرصدها للجزء المرئي من الكون وتتطلب تلك النظرية وجود فترة قصيرة جداً من الزمن في الماضي البعيد كان فيها التوسع الكوني متسارعاً ينتج عن ذالك معدل توسع قريب جداً من ذالك المشاهد في أيامنا هذه وتتنبأ تلك التي نرصدها اليوم وقسم من تلك الاهتزازات تحول الى مجرات ونجوم يمكننا اختبار هذه النظريات باستخدام مراقبات الأقمار الصناعية وحتى الان صمدت هذه النظريات أمام الاختبارات التي أجريناها عليها فقد حصل توافق جيد جداً بين المراقبات والنظرية

لكن هناك توسيع لتلك النظرية وهذا التوسيع أكثر للجدل والخلاف وينص على ان الانفجار الأول للتوسع المتسارع لابد وأنه أثر على الأجزاء المختلفة من الكون

وبطرق مختلفة واذا أمكننا النظر الى أماكن أبعد بكثر في الكون سنشاهد في النهاية مناطق بكثافات مختلفة وبهياكل مختلفة عما نراه في جوارنا الكوني الذي يمتد على طول ١٤مليار سنة ضوئية وينتج ذالك الامر عن التوسع المتسارع للجزء الذي نحتله من الكون.

الكون المتعدد الفقاعي

ينص أحد الجوانب الاخرى من نظرية التضخم و هو جانب اكتشفه علماء الكون على أن الموجة الاولى من التوسع تستطيع ان تكون ذاتية الاستمرار في كل جزء من أجزاء الكون ولذالك ستندفع كل منطقة للتوسع لوحدها وداخل هذه المنطقة سيكون هناك قطعة أخرى صغيرة تقوم بدورها بالاندفاع والتوسع.



كون متعدد فقاعي ومتضخم

يشابه الأمر رغوة من الفقاعات حيث تخلق كل فقاعة عدداً جديداً من الفقاعات التي تتوسع أيضاً ويمكنك التفكير بكل فقاعة داخل تلك الرغوة على أنها كامل الجزء المرئي من كوننا وإذا ما أمكننا النظر خارج فقاعتنا سنشاهد فقاعة أخرى من الرغوة حيث ستكون الشروط مختلفة أحد الأشياء الصادمة والمتعلقة بتلك الفقاعة هو أن تلك العملية لا تحتاج على الإطلاق إلى بداية أو نهاية وفي الحقيقة تتنبأ المعادلات التي تصفها بعدم امتلاكها لنهاية وعلى الأغلب لم يكن لديها بداية لكن تنص النظرية في الوقت نفسه على أن كل فقاعة مفردة كتلك الموجودين داخلها لها بداية وقد تمتلك نهايةً أيضاً فجأة يصبح السؤال المتعلق بوجود بداية للكون سؤالاً تصعب الإجابة عنه ويصير أكثر تعقيداً يشابه الأمر قليلاً حياة الجنس البشري فلكل فردٍ حياته الخاصة والمحددة لكن عمر الجنس البشري ككل هو سؤال أصعب رغم تأكدنا من أن ذلك العمر أكبر بكثير ونتيجة لما سبق تولد احتمالية جديدة تقول باحتمالية أن يصبح الكون أكثر اختلافاً بكثير إذا ما نظرنا إلى الأحجام الكبيرة جداً داخله وتاريخ ذلك

الكون معقد للغاية قبل البداية المفترضة للجزء الذي نحتله من الكون لا بد وأن "رغوة" كمومية كانت مفقودة في كوننا لكن ومن ناحية أخرى حاز كوننا على العديد من "رغوات" كمومية أخرى وكانت مختلفة جداً في بنيتها أعتقد أن الكون التضخمي نظرية تحتوي جزءاً كبيراً من الحقيقة لأن تنبؤاتها تتناسب مع مراقباتنا بشكل ممتاز ولذلك لدينا بعض الثقة بأن المكان الصغير الذي نحتله من الكون عانى من تلك الزيادة السريعة جداً في التوسع.

فقاعاتنا

تتنبأ نظرية الكون المتضخم بأن الفقاعات التضخمة قد تكون مختلفة كثيراً عن بعضها البعض وهناك بعض الفقاعات فقط التي بامكننا التواجد فيها على سبيل المثال فان الفقاعات التي تستمر لثانية واحدة فقط ليست جيدة اذ يمكننا الوجود في فقاعات طويلة العمر وتستمر على الاقل لعشرة مليار عام لتتمكن من ان تصبح كبيرة حقا ذالك الامر ناتج عن حقيقة حاجتنا الى الوقت اللازم لتشكل النجوم والوقت الازم لقيام النجوم بتشكيل عناصر مثل الكربون والنيتروجين والاوكسجين التي تتيح الفرصة أمام وجود وتطور حياة معقدة اذآ يجب ان نوجد في فقاعة كبيرة ومعمرة وباردة ايظآ لايزال هناك مشكلة مهمة لم تحل وهي محاولة معرفة احتمال حصولك على فقاعات بميزات خاصة وماهي فرصة حصولك على فقاعة كبيرة ومعمرة ومن النوع الذي تحتاجه الحياة ؟ هل هذا الامر غير محتمل الى حد بعيد أم أنه محتمل بشكل كبير ام بين الاثنين؟ تلك مجموعة من المشاكل التي نأمل حلها قريبآ فمن الصعب حقآ ان يكون لديك مسألة رياضية تتعلق بصياغة احتمال مافي مثل هذه الحالة الكونية.

الفقاعات الأخرى

تكمن مشكلة أخرى في قدرتنا على التأكد من وجود الفقاعات الأخرى إذ لا يمكننا رؤيتها لأنها تقع خلف الأفق المرئي لكوننا الممتد على ١٤ مليار سنة ضوئية في الحقيقة ذالك السؤال فلسفي ويشابه الى حد كبير سيناريو خيال علمي فأذا لم يكن باستطاعتنا مشاهدة الفقاعات الأخرى هل يجب ان نسمح لها باقحام نفسها في جزء من الصورة الت رسمناها للكون؟ في ثلاثينات القرن الماضي ساد شك واسع حول وجوب اعتماد فلسفة العلم على التحقق (verificathion) أي يجب أن تضع التنبؤ ومن ثم عليك اختباره بالتجربة وأذا تحققت من صحته ستكون النظرية صحيحة وسريعآ لم يعد ذالك النهج مرغوبآ من قبل الكثيرين فاذا تنبات نظريتك ان كل التفاحات خضراء ولم تجد الاتفاحة خذ ضراء واحدة فذالك لن يثبت صحة نظريتك على الاطلاق ربما يوجد بعض التفسيرات الأخرى وقد تكون مختلفة حقآ عن نظريتك فنظريتك تشرح فقط سبب ظهور كل التفاحات خضراء لكن وببساطة ربما لم تصل بعد الى التفاحات الحمراء وعوضآ عن التحقق ركز فلاسفة ككارل بوبر على الزيف

(flalsification) فقد يكون بأمكانك تزييف نظريتك: فأذا وجدت تفاحة حمراء يمكنك استبعادها وبالمثل تستطيع أيظآ استبعاد الكثير من النظريات الأخرى أيظآ ليس بمقدورنا التحقق من وجود الفقاعات الأخرى لكن قد لايزال بإمكاننا تزييف النظرية اذا كانت الفقاعات الأخرى موجودة فربما توجد ميزة خاصة وقابلة للرصد وهي نفسها في كل الفقاعات وبالتالي اذا لم ترصد هذه الميزة في فقاعتنا ستكون النظرية مزيفة لذالك وعلى الرغم من عدم قدرتنا على رؤية الفقاعات الأخرى لازال بأمكاننا اختبار نظريتنا لانها تقول أشياء حول كل الفقاعات وليس عن فقاعة بعينها وربما تكون تلك الطريقة اقصى مايكن أن نأمله في الواقع وهذه مجرد نظريات لما يتخيله العلماء عما كان عليه الكون.

الكون المجهول

الكون... بحر أبدي..لانهائي.. تبحر فيه اعداد هائلة من النجوم والكواكب والمجرات بعضها له سرعة الشهب والاخرى تتحرك في مدارات فلكية وحتى نتمكن من الدخول الى هذا العالم العلوي غير المنظور يجب ان نفتح عقولنا حتى تتسع..لكل مالم نكن نصدقه من قبل اعداد هائلة مجموعات خيالية ومتنوعة من الاجرام السماوية اتساع لا حدود له للدوامة الكونية يجب ان ننسى السرعات والمسافات المألوفة لنا في حياتنا اليومية علينا ان نلقي بثوانينا وسنواتنا وحتى اعمارنا كلها كوحدات لقياس السرعة والزمن يجب ان نفكر بدلالة الالف مليون عام وهو عمر الكون نفكر بمقياس اللانهائية كعمق الكون.. علينا ان نسمح لأفكارنا ان تتعلق بشعاع الشمس الباهر او بضوء نجم متألق يبعد عنا بملايين من الاميال على افكارنا ان تمر بسرعة الضوء الهائلة عليها ان تبحر وتسافر وتنطلق بمسافات طويلة بسرعة الضوء لتصل الى المدى الذي لم تبلغه العين البشرية من قبل فأذا سمحنا لعقولنا لخيالنا ان ينطلق بلا حدود فأذنا عندئذ نبدأ في تصور لجزء من المشهد المجسم الرائع بالغ الروعة الذي نطلق عليه الكون فمهما تكلمنا عن هذا الكون الشاسع فيبقى لغز غامض عميق ومهما دخلنا في تفسيرات للمجهول تتعالى هائمة بين النجوم والمجرات فائقة قدرة العقل البشري في تفسير هذا الكون الغامض.

الاكوان المتوازية

هل هناك أكوان موازية؟؟

هل يوجد أكوان موازية؟ أكوان تكون فيها نائما بدلًا من قراءتك لهذا الكتاب تكون فيها أكثر سعادة أو أقل سعادة أو أكثر غنى أو أكثر فقرا أو ربما ميتا؟

الإجابة هي: "ربما" يعتبر هذا الادعاء ادعاء مختلفا عليه ولكنه كسب عددا متزايدا من المتابعين على مدى العقود القليلة الأخيرة يكمن أصل هذا التوازي في فيزياء الأجسام شديدة الصغر طور الفيزيائيون في أوائل القرن الحادي والعشرين كيمياء الكم (Quantum mechanics) ليفهموا العالم على أصغر المقاييس فتفترض النظرية أن الحقيقة في هذا العالم الصغير تكون مشوشة فالجسيمات الصغيرة كالإلكترونات على سبيل المثال لا تحتاج إلى أن تكون إما هنا أو هناك فيمكن أن تكون في عدة أماكن في نفس الوقت كما أنها يمكن أن تمتلك خصائص أخرى بشكل متزامن خصائص كنا لنعتبر ها في وقت آخر على أنها حصرية ولا تشترك عندما يحدث ذلك يقول الفيزيائيون أن الجسيمات موجودة في وضع تراكب (Superposition) في حالات عديدة مختلفة تظهر التجارب أن التراكب أمر حقيقي

حتى الجزيئات الكبيرة بحجم كرات البوكي جزيئات البوكميستر فوليرين والتي تتكون من ٦٠ ذرة كربون يمكنها حقا أن تكون في عدة أماكن في ذات الوقت

قد يأخذ منك الأمر وقت لتستوعب الموضوع ومن ثم سوف تسأل مباشرة ذلك السؤال الواضح "لماذا عندما أنظر إلى جسيم ما فإني أجده في مكان واحد فحسب؟" هذه هي "مشكلة القياس" المشهورة في ميكانيكا الكم وكذلك وبشكل أكثر إثارة بما أننا جميعا مكونون من جسيمات فلماذا نتواجد نحن في مكان واحد فقط (كما هو واضح)؟

لا توفر كيمياء الكم بذاتها إجابة لهذا السؤال وأحد الاحتمالات الموجودة هو أن النظرية نفسها لا تعطيك صورة كاملة عن الموضوع وربما تكون هناك ميكانيكية أخرى في الطبيعة ميكانيكية لم نفهمها بعد ميكانيكية تجبر الواقع على التقاط حالة واحدة فقط من الحالات المتراكبة عندما نقوم بعملية قياس ما قد يكون الواقع مشوشًا على المقاييس الأكثر صغرا ولكن عندما يقوم مختبر ما او أداة قياس ما بملاحظة الأشياء الأكبر فإن الواقع يجبر على اتخاذ طريق احدة فقط يقول أدريان كينت Adrian Kent وهو عالم فيزياء كمية في جامعة كامبريدج: "إذا ما ظننت أن هناك شيئًا ما إضافيا فإنك تقع في مشكلة وصف ماذا يمكن أن يكون هذا الشيء الإضافي؟" ويضيف: "كيف نصفهُ رياضيا كيف يمكن اختباره تجريبيًا؟ يمثل هذا السؤال أساس برنامج بحث كبير جار الآن".

أخذ الرياضيات بشكل حرفي

هناك احتمالية أخرى وهي احتمالية تحتاج منك إلى نفس عميق آخر قد تكون كل النتائج المحتملة لعملية قياس ما حقيقية كلها: عندما تقوم بعملية القياس لترى على سبيل المثال مكانَ الجسيم ينقسم العالم إلى فروع مختلفة في كل فرع منها توجد نسخة منك ترى الجسيم في واحد من الأماكن المحتملة كان أول من اقترح فكرة "العوالم العديدة" هذه هو الفيزيائي هيو إيفرت Hugh Everett في أطروحته للدكتوراه والمنشورة عام ١٩٥٧ قد تبدو هذه الفكرة جنونية ولكنها مؤصلة بالرياضيات التي تشكل الأساس لكيمياء الكم لا توحي معادلات كيمياء الكم أن شيئًا ما مميزًا يجب أن يحدث عندما تقوم بعملية القياس إذا فلم لا تترك القياسات تأخذ مجراها ومن ثم نرى ماذا سيحدث؟ يوضح دافيد والاس David Wallace وهو عالم بفلسفة الفيزياء في جامعة أوكسفورد: "إن ما تخبرنا به الرياضيات هو أنه إذا ما كان جسيم ما في حالة تراكب مكونة من الحالتين A و B فإن الشخص القائم بعملية القياس ينتقل إلى حالة تراكب مكونة من حالتين يرى في إحداهما الجسيم في الحالة A وفي الأخرى يرى فيها الجسيم في الحالة B" وبذلك يتحول التراكب من تراكب مجهري (Microscopic superposition) إلى تراكب عياني (Macroscopic superposition)

مع أن الرياضيات لا تختار حالة بعينها سواءً A أو B كما أنها لا تقوم بدمج الحالتين في حالة أخرى بحيث لا يمكن فهمها إلا أن التعبير الرياضي الذي يصف الوضع يمكن فصله إلى جزأين يصف كل منهما عالما يرى فيه المختبِر واحدًا فقط من الاحتمالين إذا أخذت هذا المفهوم بحرفيته فإنك لا بد وأن تقر بأن الواقع قد انفصل.

الكون المتفرع

ولكن هل يكون الفيزيائي القائم بالقياس هو الأمر الوحيد الذي يتسبب في انفصال الواقع؟ الإجابة هنا هي لا تعتبر عملية قياس نظام ما موجود في حالة تراكب تفاعلًا معه كما أن هناك عمليات فيزيائية أخرى يمكن أن تتفاعل معه أيضًا فعلى سبيل المثال يمكن للإشعاعات الكونية أن تكون في حالة تراكب من حيث ذهابها في العديد من الاتجاهات المختلفة فإذا كان واحدًا من هذه الاتجاهات مصوبًا نحو بلورة موجودة على الأرض فإن اصطدام الشعاع بها سيترك أثرًا عليها وبالتالي فإن البلورة سوف تقيس بكفاءة مكان الشعاع وكذلك بما أن الشعاع موجود في حالة تراكب يكون فيها مصوبًا نحو البلورة وغير مصوبٍ نحوها فإن البلورة موجودة في حالة تراكب تمتلك البلورة فيها أثرًا للشعاع ولا تمتلك أثرًا له وبهذا الفهم كما يبين تفسير إفريت (Everett interpretation)، يكون الواقع قد انفصل قام الفيزيائي إرفين شرودنجر Erwin Schrödinger بتصميم التجربة الفكرية المشهورة التي تكون فيها قطة موجودة في صندوق وتكون هذه القطة في حالة تراكب مكونة من حالتين: حية أو غير حية بحسب تفسير إفريت فعندما تقوم بفتح الصندوق وملاحظة القطة ينقسم العالم إلى فرعين: تكون القطة في أحدهما ميتة وفي الآخر حية مع وجود الحاجة إلى إزالة المراقب من المشهد يمكنك تخيل لعبة التفرع هذه وكأنها مستمرة منذ بدء الدهر يقول كنت:"-بحسب تفسير العوالم العديدة فإن هذا الأمر ما زال جاريًا بدءًا من الانفجار العظيم ربما بدأ الكون في حالة كمومية بسيطة ولكنها سرعان ما صارت في حالة تراكب للكثير من الوصوفات لهذا الكون العديد من الهيئات للمجرات ففي بعض هذه الفروع تكون الأرض قد تكونت وفي بعضها الآخر لا تكون وفي بعض الفروع التي تكونت فيها الأرض نكون قد تطورنا بشرًا وفي بعضها الآخر لا نكون".

سعدت بمقابلتي

ولكن لماذا لسنا مدركين أبدًا لهذه النسخ الأخرى من أنفسنا؟ لماذا لا نرى قط أشياء كبيرة كالثلاجات والناس في أكثر من مكان واحد في ذات الوقت؟ فكما هو ملحوظ فإن تعبير إفريت الأصلي لم يستبعد هذا الأمر كمبدأ فإن الواقع قد ينفصل في الطريق الخطأ بحيث يرى المختبر إلكترونًا في مكان متوسط غريب على سبيل المثال ولكن إفريت لم يأخذ العالم الخارجي بالحسبان ففي الوقت الذي يتفاعل فيه

الإلكترون مع العالم الخارجي وبوجود الفوتونات أو الشعاعات الكونية محومة هناك فإن أي تدخل قابل للإدراك بين الحالتين "الإلكترون في الموقع A" و"الإلكترون في الموقع B" سيتسرب إلى العالم الخارجي ويتبعثر يمكن تشبيه الأمر بالموجات التي يتسبب بها حجر ألقي في بحيرة والتي تتلاشى كلما انتشرت أكثر فإن التداخل بين الحالتين يصير صغيرًا جدًا لدرجة يكون معها غير قابل للإدراك ويرى المراقب فقط نتيجة واحدةً نهائية عندما ينظر للإلكترون تحدث هذه العملية والتي تدعى بـ"انعدام التماسك" (Decoherence)، بشكل سريع جدًا خلال جزء من الثانية ولذلك فلسنا مدركين لها أبدا.

بما أن الناس والثلاجات تتفاعل مع عدد يفوق الحصر من الجسيمات طوال الوقت فإن انعدام التماسك يسيرها بشكل محكم في عالم ذي مسار واحد فهي إما هنا أو هناك إذا كنت تتعامل مع شيءٍ مجهري كالإلكترون فإنه يمكن أن تكون قادرًا على أن تعزله عن العالم الخارجي عزلًا كافيًا لتلاحظ التراكب ولا يكون ذلك عن طريق ملاحظتها بشكل مباشر ولكن عن طريق تركها وحدها ومن ثم النظر إليها لترى علامات حكاية حكيت تخبر عن التراكب الذي لا بد وأن يكون حدث كانت هذه بالضبط هي الطريقة التي استخدمها العلماء والتي جعلتهم قادرين على تأكيد أن هذا التراكب موجود يوضح والاس: "ولكن كلما كبر النظام زادت صعوبة عزله عن البيئة الخارجية وبالتالي تزداد صعوبة تحديد أن ما نملكه هنا هو حدثان متفاعلان بدلًا من حدث واحد".

أيهم "أنا" الحقيقي؟

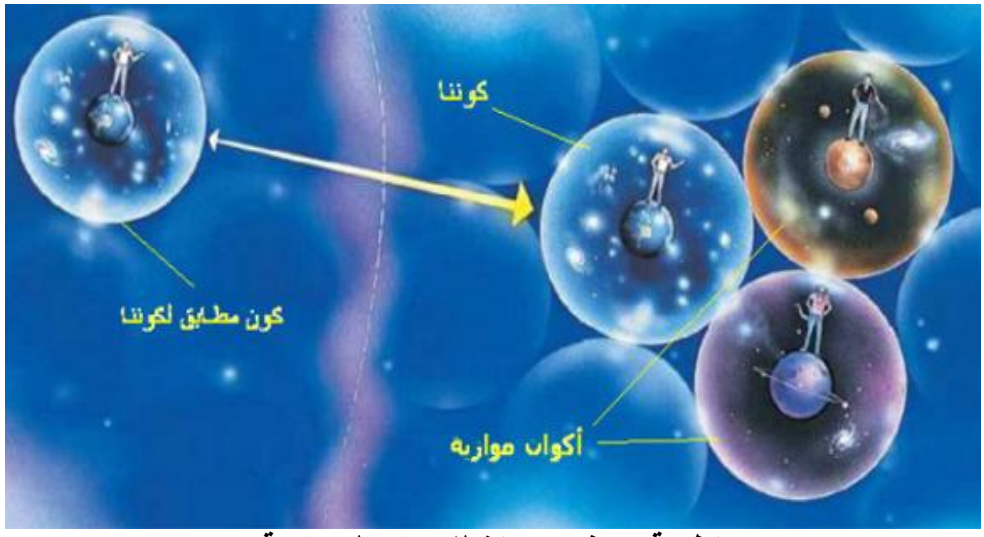
ماذا يعنينا في ذلك؟ يقول كينت: "بحسب رؤية إفريت فإن كل الفروع متواجدة في الواقع وهناك العديد من النسخ منك وليس من المنطق أن تسأل أي من هذه النسخ هو الحقيقي توجد ديمقراطية بين هذه النسخ وكل هذه النسخ موجودة بأحقية وجود متساوية ستملك أنت نفس الذكريات وكذلك الأمر مع كل النسخ الأخرى منك وذلك حتى اللحظة التي تنفصل فيها بعد ذلك قد يكون هناك فروق بسيطة بين النسخ منك أو ربما بعد بعض الوقت يكون هناك فروق كبيرة." يشير كينت والذي يعد غير مناصر لتفسير العوالم العديدة أيضًا إلى أن هذه الأمر له تبعات بليغة على سلوكك في الحياة "من الممكن أن يجعلك ذلك شديد العدمية[1] لأنه وفي نهاية المطاف ما هو الهدف من القيام بمجهودات كبيرة فعلى كل الأحوال سينجح الأمر الذي تحاول فعله في

---

(١) العدمية (Nihilism): موقف فلسفي يقول بأن الحياة كلها بما فيها الإنسان خالية من كل مضمون وعديمة القيمة.

بعض هذه الفروع كما أنه يمكنك أن تكون مليئًا بالأسى فكل مرة تقود فيها مركبتك على الطريق السريع فإن القليل من التفرعات ستبدأ بالتلاشي لأنك تتحطم فيها وتموت ويمكنك أيضًا أن تكرس حياتك لتكون مجتنبًا للمخاطر قدر الإمكان من أجل أن تحافظ على النسخ المستقبلية منك بقدر الإمكان ويجدر بأولئك الذي يتخذون نظرة إيثارية للمجتمع مائلين إلى الاشتراكية أو المساواتية أن يتبنوا نفس تلك النظرة (المجتنبة للمخاطر) لأولئك الذين سيخلفونهم بل إنك يجب أن تتشدد في تبنيك لتلك النظرة وذلك لأن كل تلك النسخ هي أنت وبالتالي فإن عليك واجبًا أخلاقيًا أقوى تجاههم من اجل.ان(تحافظ.عليهم)
قد لا يستهوي المنطق السليم تفسير العوالم العديدة هذا ولكن مناصريه يولون تقديرا لجماله العلمي فهي تعتمد على الرياضيات الموجودة لميكانيكا الكم لا تحتاج إلى أن تقترح وجود ذلك "الشيء الإضافي" الغامض والذي يجعل الواقع يخرج من حالة التراكب إلى حالة واحدة نهائية يقول والاس: "ليس هناك افتراض جديد وليس هناك مبدأ فيزيائي جديد هذا التفسير فقط هو ما ينبع من أخذنا للنظرية التي نملكها أصلًا ومعاملتها بجدية".

كل الناس ليسوا مؤمنين بذلك كما لا يشمل ذلك الجنون الواضح لهذه النظرية ففي النهاية بدت العديد من النظريات جنونية عندما ابتكرت لأول مرة أما الآن فلا يوجد فيزيائي معتد يلقي بالًا لهذا الأمر ينتهي الأمر في النهاية إلى مشكلتين بعض الناس بمن فيهم كينت لا يؤمنون بأن انعدام التماسك كاف لتفسير الانفصال الجميل للعالم إلى فروع بحيث يظهر العالم كما يظهر لنا الآن هم قلقون أذنا سنحتاج في النهاية إلى بعض الافتراضات الإضافية لنجعل من انعدام التماسك أمرًا فاعلا المشكلة الثانية هي أن الرياضيات تعطي للفروع المختلفة من العالم ما يظهر وكأنه "احتمالات" ولكن إذا كانت كل الفروع حقيقية بنفس النسبة كيف يكون من المنطق أن نقول أن أحدها أكثر احتمالا من الآخر؟ في تسعينيات القرن الماضي جاء الفيزيائي دافيد دويتش David Deutsch بطريقة جذابة لنجعل من هذا الأمر منطقيا: تخيل أنك تراهن على ذواتك المستقبليين.



نظرية ستيفن هوكنغ للاكوان المتوازية

ثورة كوبرنيكوس العلمية

تمكن اربعة علماء اوربيون عاشوا في القرن السادس عشر والسابع عشر من تقويض فكرة بطليموس لان الارض مركز الكون.

ففي سنة ١٥٤٣ قلب الفلكي نيكولا كوبرنيكوس (١٥٤٣_١٤٧٣ ميلادية) هذه النظرية راسا على عقب حين قال في كتابه (دوران الاجسام السماوية) ان الشمس يجب ان تكون مركزا لكل شيء حتى تتمكن من ان تمد سائر الكواكب السيارة بالضوء وعندما جرب بعض علماء الفلك الانجليز والالمان بشكل خاص ان يعتنقوا فرضيات كوبرنيكوس وحسبوا مواضيع الكواكب بناء على نظرياته وجدوا من الناحية العلمية ان نظام كوبرنيكوس copernical system اسهل استخداما من نظام بطليموس ويعطي تنبؤات اكثر دقة برغم ان كوبرنيكوس قد افترض خطأ ان الكواكب السيارة تتبع في حركات مدارات دائرية تماما وحيث ان كل نظرية علمية يجب ان تخضع لتجارب عديدة وقياسات ارصاد كثيرة باستمرار الا ان كوبرنيكوس عندما توفي في عام ١٥٤٣ لم يترك سوى سبعة وعشرين رصدا بدلا من الألاف اللازمة لذألك ومع هذا فكانت نظريته عن مركزية الشمس ادق وأوضح مما سبقها ولقد قدر لأعمال الفلكي الدانماركي تايخو براهي (١٥٤١_١٦٠١) ميلادي ان تؤدي دورا حيويا في اثبات نظرية كوبرنيكوس فقد ولد براهي بشخصية تنسجم انسجاما وثيقا مع تنظيم الأرصاد الفلكية فقد ولد براهي بشخصية تنسجم انسجاما وثيقا مع تنظيم الأرصاد الفلكية فقد كان ابن نبيل دانماركي على درجة كبيرة من الثقافة العلمية كما كانت له طاقة بلا حدود على العمل وقد حدثت سلسلة من الاحداث

الغريبة جاءت بتايخو براهي الى علم الفلك ففي الثالثة عشر من عمره رأى كسوفا جزئيا للشمس فأثر في نفسه ابلغ تأثير كما راعه ان رأى في السماء انفجارا هائلا لنجم (سوبرنوفا) وهذا الحدث نادر جدا في حياه البشرية فأخذ يقيس بعد هذا النجم من عدة مدن كما انه صمم أجهزة فلكية اكبر واكثر اتقانا من الناحية الهندسية والعلمية تفوق أية أجهزة أخرى سبق استخدامها في أي وقت من الأوقات بنى براهي مرصدا فريدا في عام ١٥٧٦ ميلادية اطلق عليه (يورانيبرج) ومعناه (قلعة السماء) وقد اخذ ومعاونوه بقياس مواضع النجوم والكواكب في السماء مدة تزيد على عشرين سنة جامعين البيانات اللازمة لرصد الاجرام الفضائية وكان براهي يؤمن بنظام ثالث اطلق عليه (النظام التايخوي) وهو غير نظامي بطليموس وكربرنيكوس ويقول فيه ان الكواكب تدور حول الشمس وان كل هذه المجموعة تدور حول الأرض وكان هذا النظام الجديد تسوية بين النظامين الاخرين فبينما تدور الكواكب حول حول الشمس حسب رأي كوبرنيكوس الان الأرض ثابتة راسخة حسب نظرية بطليموس وبرغم هذا فأن أبحاث تايخو براهي الفلكية التي زاد عليها علماء لاحقون ساعدت على إقامة الدليل على صحة نظرية كوبرنيكوس.

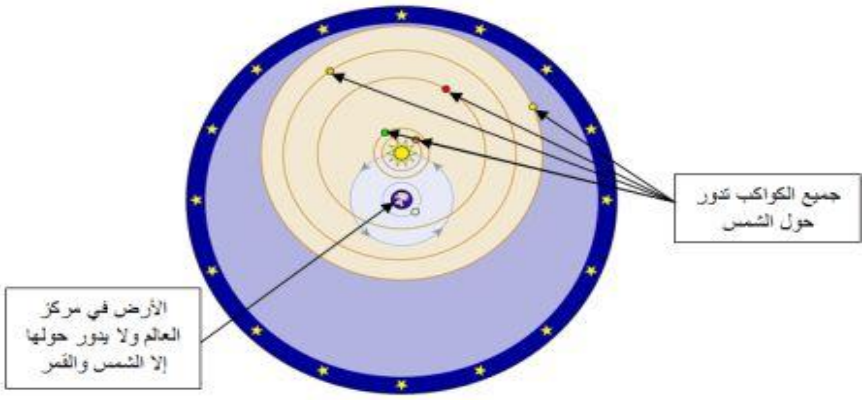
لقد كانت نظرية تايخو براهي بغير الحسابات الفلكية اللازمة مجرد خيال لا طائل تحته ومن ثم كان بحاجة الى عالم رياضي يساعده والا ضاعت كل ارصاده وعمل السنوات العشرين هباء وكان الشخص الوحيد الذي يستطيع ان يمد له يد العون هو جوهان كيلر (١٥٧١_١٦٣٠) الشاب الذي يدرس الرياضيات وقد بدت منه مهارة فائقة عندما كان يحسب مدارات الكواكب السيارة ليست دائرية تامة كما كانت تقضي قواعد الكون عند كوبرنيكوس بل هي قطع ناقص او اهليجية Eliptical وان الشمس تحتل احدى بؤرتي القطع الناقص وكان هذا اول قانون من قوانين كبلر الثلاثة التي تحكم النظام الشمسي.

اما القانون الثاني فهو ان الكواكب السيارة تزيد سرعتها عندما تقترب في مداراتها البيضاوية من الشمس بالمقارنة بسرعتها في أجزاء مداراتها البعيدة عن الشمس.

وقال كبلر في قانونه الثالث ان مربع زمن الدورة لأي كوكب يدور حول الشمس تتناسب مع مكعب بعده عنها وبالجمع بين هذه القوانين الثلاثة يتضح ان ثمة قوة جاذبية تعمل بين الاجرام السماوية لقد كان من طموحات كبلر منذ شبابه ان يكتشف العلاقة بين ابعاد الكواكب لكي يتجلى امام عينيه ذألك الانسجام الرائع ولهذا يسمى القانون الثالث أيضا بالقانون الترافقي Harmonic فهو يبين في الواقع ان هناك تأثيرا جوهريا بين الكواكب والشمس وهذا القانون التوافقي هو الذي قاد نيوتن الى نظرية الجاذبية فالوقت الذي يستغرقه الكوكب في قطع الرحلة الواحدة حول الشمس بادئة ومنتهية في نقطة تقع على خط يصل بين احد النجوم البعيدة هو ما يسمى

(بالفترة الفلكية) تمكن كبلر ايظاً من حساب مدارات القطع الناقص (الإهليجي) لكواكب المجموعة الشمسية في مداراتها حول الشمس و من ثم حطم الفكرة القديمة القائلة بأن مسارات الكواكب السيارة دائرية الشكل وأوضح بذألك معالم القوانين الأساسية للنظام الشمسي كما هو معروف في الوقت الحاضر.

و جاء جاليليو جاليلي (١٥٦٤_١٦٤٢) ليصوب للمرة الأولى التلسكوب الى السماء عام ١٦٠٩ ويظن المؤرخون ان صانع النظارات الهولندي هانز ليبرشي هو الذي صنع اول تلسكوب في العالم انتابته الدهشة اذ وجد نفسه وجها لوجه مع نظام كوبرنيكوس الفلكي الذي ينص على ان الشمس وليست الأرض هي مركز مجموعتنا الشمسية لقد رأى جاليليو أربعة أقمار تدور حول كوكب المشتري هو ما يثبت ان الأرض ذات القمر الواحد لا يمكن أن تكون أبرز عضو في المجموعة السماوية كذألك أمكن ان يراقب كوكب الزهرة فوجد أنه يظهر وجها كامل الإضاءة حين يكون قريبا من الشمس و هذه الظاهرة لا يمكن تفسيرها على أساس نظام بطليموس بل يمكن تعليلها حسب نظام كوبرنيكوس الذي يقضي بأن يدور كوكب الزهرة حول الطرف البعيد من الشمس وقد اقنعت هذه المشاهدات الفلكية جاليليو بالتحمس لنظرية كوبرنيكوس.



نظام كوبرنيكوس

سديم رأس الحصان وهي سحابة من الغبار الكوني البارد تنصب امام طاقة متوهجة تنبعث من النجوم القريبة.

الكون المتعدد: علم أم تخمين؟

صورة التقطها تلسكوب هابل لعنقودين مليئين بالنجوم فائقة الكتلة التي قد تكون في مرحلة الولادة.

إذا أردت أن ينفجر دماغك فإن علم الكون سيكون مجالاً جيداً للقيام بذلك هناك حديث عن أكوان أخرى وأبعاد إضافية وحتى عن عقول غير متجسدة تهتز بشكل عشوائي لتظهر إلى حيز الوجود وكل ذلك باسم العلم لكن هل هذا علم حقاً؟

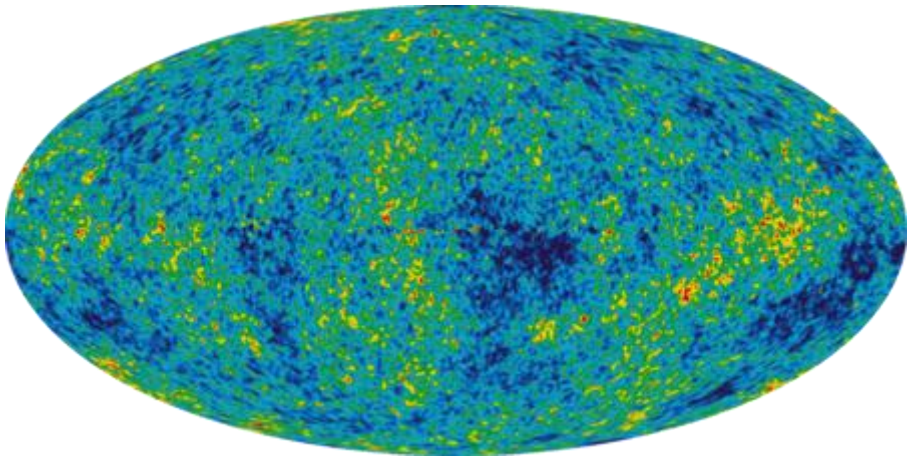
الكثير من الأشياء التي يتحدث عنها علماء الكون لا يمكن اختبارها في التجارب وربما لن يحدث ذلك أبداً إذا هل يجب الاستغناء عن قسم من علم الكون واعتبار ذلك القسم مجرد تخمين؟ وفقاً لعالم الرياضيات والفلك برنارد كار (Bernard Carr): نعم ربما بالإمكان اعتباره كتخمين لكن ألن يقود ذلك بالضرورة إلى الاستبعاد ويتابع: "عندما تصل إلى أقاصي حدود الفيزياء تظهر وبشكل واضح وأنت تصارع مفاهيم جديدة جدا ومعظم علماء الفيزياء غير معتادين عليها" ويضيف: "قد يأخذك ذلك إلى ما وراء مفهوم العلم الذي نطبقه عادةً" علمنا التاريخ في العديد من المناسبات أن النظريات التي ظهرت يوماً على أنها تخمينية (مثل كون الأرض كروية) تحولت في النهاية إلى حقيقة راسخة ويضيف كار: "مفاهيم العالم والقوانين التي تحكمها وفي الواقع حتى طبيعة العلم نفسها تغيرت منهجياً في كل مرحلة كان هناك معارضة وقال الناس : هذا ليس علماً مناسباً إنه مجرد تخمين غيبي في ذلك الوقت ربما ظهرت وجهة نظرهم منطقية لأنه لم يبدو لهم أن الشخص قد طرح أفكاراً يمكن اختبارها مع ذلك أرانا التاريخ أنه إذا انتظرت لفترة أطول بقليل فإن تطور التلسكوبات أو الأفكار الخيالية سمح لنا باستيعاب هذا الجزء الموسع من الظواهر" ذلك صحيح دون أدنى شك لكن لدى علم الكون مشكلة خاصة تسبق التجارب العلوم الأخرى فأنت ترصد شيئاً ما لنقل تفاعل كيميائي وتأتي بعدها بنظرية

لشرح ما شاهدته وبعد ذلك ترصد العديد من التفاعلات الأخرى لمعرفة فيما إذا كانت نظريتك مناسبة عندما تقوم بممارسة علم الفلك لا تستطيع القيام بذلك لكن هناك على الأقل ملايين وملايين النجوم والمجرات الموجودة في مراحل مختلفة من تطورها وترصدها لتجري تجربة تشمل كافة أنواع الظواهر التي تريد دراستها بالتالي أصبح علم الفلك جزءاً مقبولاً في العلوم لكن حالما تتحدث عن ظواهر تقع عند حدود ما يمكنك رؤيته زمانياً ومكانياً تصبح في حالة غريبة جداً فأنت لم يعد بامكانك اختبار الأشياء أحد الأفكار التي تلخص هذه المسألة هي فكرة الكون المتعدد (multiverse) تنص هذه الفكرة على أننا كون واحد موجود داخل فقاعة مليئة بأكوانٍ أخرى يتمتع كل من تلك الأكوان بقوانينه الطبيعية الخاصة فبعضها قد يكون مختلفاً كثيراً عن كوننا وبعضها الآخر ربما يشابهه قد يكون بعضها بارداً ولا حياة فيه وكل ما فيه فضاء فارغ في حين قد يحتوي بعضها الآخر على بشر بثلاثة رؤوس إنه شيء محير جداً وجميل.

كار برنارد عالم رياضيات وفيزياء فلك في جامعة لندن

طور علماء الكون فكرة الكون المتعدد لأسباب نظرية جيدة وقد لا تكون نظرية الكون المتعدد صادمة إلى الدرجة التي تبدو عليها للوهلة الأولى فمثل الكثير من الأفكار السابقة إنها وببساطة تحركنا كبشر مع تجاربنا بعيداً عن فكرة كوننا مركز العالم يقول كار: "بالنسبة لي يبدو من الغرور افتراض أن الجزء الصغير المرئي هو كل شيء موجود في الحقيقة ذلك خاطئ دون أدنى شك لا يمكن أن يكون ما نرصده كامل الكون ولن ينكر أي شخص ذلك السؤال هو: إلى مدى يتوسع الكون وفيما إذا كان هناك الكثير من الأكوان الأخرى المنفصلة" تكمن المشكلة في تعريف تلك الأكوان إذ أنه من المستحيل أن تكون متاحة بالنسبة لنا إذا ما كان هناك أمل

بزيارة إحداها يوماً ما حينها لن تكون أكواناً أخرى وإنما مجرد أجزاء بعيدة من كوننا كار: "السؤال هو فيما إذا كان التخمين حول هذا الشيء أمر علمي" ويتابع قائلاً: "يعود ذلك الأمر إلى إمكانية وجود أية أدلة رصدية عليها لا يمكنك رؤية الأكوان الأخرى مباشرة وفقاً للتعريف لكن ذلك لا يعني بحال من الأحوال عدم إمكانية وجود أدلة غير مباشرة عليها" بالنسبة لنظرية الكون المتعدد هناك بعض الأمل في الحصول على دليل غير مباشر على وجودها وينتج ذلك جزئياً عن ظاهرة نعرفها بالتدفق المظلم (dark flows) كار: "الفكرة هي أنه هناك منطقة كبير في الكون الرصدي تمتلك حركة غريبة ووفقاً لبعض الراصدين تولد هذه الحركة جراء وجود كمية كبيرة من المادة وراء أفقنا المعطى بالمسافة التي يستطيع الضوء قطعها منذ الانفجار العظيم (Big Bang)" لذلك قد يوجد كون ما خارج أفقنا ويضيف كار: "لكن الأدلة جدلية ولا يقبل الجميع هذا التفسير" ربما يوجد مكان آخر يحمل أدلة على الكون المتعدد و هذا الشيء هو إشعاع الخلفية الكونية الميكروي (CMB) الإشعاع الذي تركه وراؤه الانفجار العظيم والذي نستطيع قياسه بدقة كبيرة جداً



صورة لإشعاع الخلفية الكونية الميكروي

تكمن الفكرة في أن بعض الفقاعات الأخرى الموجودة داخل الكون المتعدد قد تصادمت مع فقاعتنا وترك ذلك التصادم بصماته في الـ CMB كار: "حتى الآن لا نمتلك أي دليل محدد على ذلك لكن أشخاصاً أجروا عمليات محاكاة لنماذج الكون المتعدد ومن الواضح من حيث المبدأ أنه يمكنك إيجاد أدلة" مع احتمالية الحصول على دليل غير مباشر في المستقبل لا يتوجب علينا استبعاد الكون المتعدد واعتباره تخميناً خصوصاً إذا ما عرفنا أن هذه الفكرة تتمتع بالعديد من المميزات الجذابة

نظرياً إنها جذابة إلى درجة اقتراح البعض أنها قد تغير من معايير العلم حتى نستوعبها كار: "السؤال الرئيسي هو: ما مقدار أهمية وجوهرية القابلية للاختبار؟" ويضيف: "وجهة نظري هي أن تلك القابلية أمر جوهري ويجب أن تكون قادراً على اختبار نظرية ما لتجعلها علماً" يدافع كار عن تصنيف أفكار مثل الكون المتعدد في فهرسٍ خاص دعاه علم الكون الماورائي (meta-cosmology) أي كل ما هو موجود خارج حدود العلم لكنه ليس بواقعٍ عند النهاية البعيدة من الخيال.

كار: "إنها حالة وسطية حالة بين الجنة والنار هي الحالة الموجودة قبل أن تقرر فيما إذا كان شيء ما علماً صحيحاً أم لا" بالنظر إلى افتقادنا إلى الأدلة فإن السهولة التي يرتبط بها الفيزيائيون بفكرة الكون المتعدد قد تكون مفاجئة لكن العلم لن يتطور كما يفعل الآن لو أن الناس لم يتجرؤوا على الوقوف عند حافة المعرفة المقبولة لكن هناك أفكار أخرى لا يتجرأ معظم الفيزيائيون على الاقتراب منها وأحد تلك الأفكار هو السؤال عن الوعي وعلاقته بالواقع الذي نشاهده يقول كار: "شخصياً أعتقد أنه من الممكن أن يكون الوعي أمراً جوهرياً عوضاً عن كونه ميزة عرضية للكون" ويتابع: "تقع مسألة الوعي حتمياً في إطار علم الكون الماورائي ومن المرجح أن تبقى هناك لفترة طويلة من الزمن" لكن الناس مخلوقات وجدت لتحرز نجاحات مؤقتة في مؤتمر جمع علماء الكون والفلاسفة لمواجهة بعض المسائل المعقدة في علم الكون تكلم كار "بشكل من الأشكال ذلك الحوار الذي جمع علماء الكون والفلاسفة هو الذي أدى إلى ظهور هذا الموضوع المهيب".

اكبر جسم في الكون؟

ان أكبر هيكل او جسم في الكون يدعى بـ "جدار هرقل كورونا القطبي العظيم Hercules-Corona Borealis Great Wall" او "سور انفجار أشعة جاما العظيم – Great Gamma-Ray Burst Wall(GRB Wall)" انفجارات أشعة جاما هي انفجارات ذات طاقة عالية جدا تبعث أشعة جاما الحدث الكهرومغناطيسي الأكثر بريقا في الكون يعتقد بأن مصدر انفجارات أشعة جاما مرتبط بسكرات الموت لنجوم كبيرة داخل المجرات البعيدة بالنسبة للعلماء هذه الإشعاعات عبارة عن منارات تشير بأن تلك المناطق محاطة بطبقة كثيفة من الغبار الكوني مؤخرا وجد العلماء منطقة كثيفة من الفضاء بعدد كبير بشكل غريب من هذه المنارات ١٤ تحديدًا قام العلماء بربط هذه الأجسام بسور حيث ترتب الأجسام الهائلة هذه مثل لَبنات البناء لكن بدلًا من أن تمتد من جانب منزل إلى أخر هذا السور يمتد مِن سنوات ضوئية عبر الفضاء الواسع إن بعد السور عنا الكبير جدًا يجعله أخفت وأصعب لتحديد موقعه بدقة مع ذلك التقدير الأولي لحجمه يتراوح من ٥.٤ مليار سنة ضوئية (وهو كبير بشكل لا يمكن تخيله) إلى ١٨ مليار سنة ضوئية (وهذا رقم لا يمكن تحمل تخيله حتى). وإذا

كان تخيل هذا الجسم صعبا فما بالك بتخيل الصعوبة التي واجهها العلماء لمعرفة كيفية تشكله وهذا ما يجعله كبيرًا جدًا لأن يكون موجودًا حتى أنه كبير جدًا حتى يتم اعتباره بقايا مِن الانفجار العظيم أو نتيجة لتلاحم المادة جون هاكيلا (Jon Hakkila) أحد مؤلفي الدراسة وبروفيسور في كلية تشارليزتون (College of Charleston)، علق قائلًا: "إن النماذج النظرية التي تصف تركيب هذه الأجسام تبدو غريبة عن المراقبات" والأكثر غرابة هذا الجسم يبدو وكأنه يزداد حجمًا "أسوار انفجارات أشعة جاما يتم تحديدها بمعدل ثابت نسبيا وهذا يعني أنها تنمو ببطئ" هناك جسم آخر يبدو مقاربا بالحجم لهذه السحابة الهائلة ولكن إذا توخينا الدقة فإنه ليس بجسم وبدلا من أن يكون من أكبر أماكن تجمع المادة فإنه أكبر منطقة لغياب المادة: إنه الفراغ العظيم الفراغ العظيم هو مساحة كبيرة جدا تبلغ تقريبًا ١.٤ مليار سنة ضوئية وعندما نقارنه بسور أشعة جاما فإن الفراغ العظيم سيكون ضئيل الحجم بالرغم من اسمه منطقة الفضاء هذه ليست فارغة حقًا: إنها رشات من المجرات والمادة المظلمة لكن كثافة المادة في هذه المنطقة أقل بشكل ملحوظ من باقي الفضاء ما الذي يجعل هذه البقعة الكونية غير ملفتة للمجرات وباقي المادة لزيارتها؟ إستفان سزابودي (Istvan Szapudi) الذي قاد فريق العلماء الذي بحث في أصل الفراغ العظيم في جامعة هاواي سيساعدنا لفهم هذا الأمر إن الانفجار العظيم هو التوسع في الزمكان (الزمان والمكان) كان موحدًا – نفس الشكل في كل اتجاه يتوسع بشكل مثالي وعلى كل فإن بعض الأماكن غير ثابتة أحيانًا توجد هناك تغيرات طفيفة على المستويات تحت الذرية سزابودي فسر كيف لهذه العيوب الكمية أن تأخر عملية التكوين"ووفقآ لنظريتنا الفراغ العظيم يتوافق مع التقلبات الكمية الأساسية للتضخمات التي حدثت مباشرةً بعد الانفجار العظيم" كما يقول سزابودي "وبالأصل كانت تقلبات صغيرة لكن عندما توسع الكون كبرت التضخمات فأصبحت منطقة فارغة كبيرة تفتقد لعشرات الآلاف من المجرات" بسبب وجود نقصان للمادة في هذه المنطقة أصبحت هذه المنطقة أبرد من المناطق المحيطة بِها و هذا ما يعطي الفراغ العظيم اسمهُ المستعار: البقعة الباردة هذان الجسمان تقريبآ متعاكسان هما الجباران المسيطران على أكبر هيكل وفراغ في الكون إن حجمهما غير القابل للتخيل كافٍ لإذهال أي أحد وفي الوقت نفسه الفلكيون والمناظير مشغولون بتفحص السماء ومن يدري؟ لربما يوجد ما هو اكبر منهما.

شكل الكون

إنه الكون المنزل الوحيد الذي عرفناه وبفضل قوانينه الفيزيائية الجوهرية والثوابت المعروفة للطبيعة وكرات النار المقذوفة المكونة من المعدن الثقيل والتي تدعى سوبرنوفا نعتبر نحن مخلوقات ضئيلة تتشبث بكرة صخرية دائمة الدوران في

زاوية بعيدة من المكان والزمان ألا ترى أنه من الفظاظة أنك لا تعلم الكثير عن الكون ذاته؟ فمثلاً ماذا كنا سنرى إن كان باستطاعتنا النظر إليه من الخارج؟ ظلاماً مطبقاً؟ أم بحراً من الفقاعات؟ أم كوناً كالثلج؟ أم متاهة فئران؟ إن الإجابة كما يبدو أبسط وأغرب من جميع تلك الخيارات فشكل الكون هو مسألة نحب الخوض فيها مع اختلاق كل ضروب الحماقات تصف النصوص الدينية الهندوسية الكون على أنه يبدو مثل بيضة كونية بينما يعتقد الجينيون[١] بأنه يبدو مثل شكل الإنسان أما الرواقيون الإغريق فقد رأوا الكون مثل جزيرة منفردة تسبح في فراغ لا متناه من نوع آخر وقد كان أرسطو يؤمن بأنه كان يتكون من سلسلة محدودة من أجسام كروية متحدة المركز أو ربما أذها ببساطة " تتقوقع كلما اتجهت إلى الأسفل" والله اعلم يعود الفضل إلى عبقرية أينشتاين الرياضية في أن علماء الكونيات يستطيعون اختبار صحة نماذج متعددة تصف شكل الكون وقواقعه ومتاهاته وكل شيء آخر.

ويفضل العلماء أخذ ثلاثة أشكال رئيسية بالحسبان وهي:

الشكل المنحني الإيجابي والشكل المنحني السلبي والشكل المسطح ونحن نعلم أنه يتواجد ضمن أربعة أبعاد على الأقل ولذلك فإن أيا من هذه الأشكال التي نتحدث عنها ستكون محتوية على هندسة الجنون التي تتميز بها أعمال الرعب اللوفكرافتي[٢] إذا كان شكل الكون منحنياً إيجابياً (تخيل ذألك) فسيبدو ذلك تقريباً مثل كرة رباعية الأبعاد وسيكون هذا الشكل محدوداً في الفضاء إلا أن حافته لا يمكن إدراكها وفي الواقع إذا ما كان هنالك جزيئان بعيدان عن بعضهما البعض يسافران في خطين مستقيمين فسيتقاطعان على الأرجح قبل وصولهما لمكان انطلاقهما إليك تجربة يمكنك تطبيقها في المنزل أمسك ببالون وارسم عليه خطاً مستقيماً باستخدام قلم خطاط عندها سيلتقي الخط مع نقطة انطلاقه وإذا ما رسمت خطاً ثانياً على الجانب المعاكس من البالون فستحصل على نفس النتيجة وسيتقاطع مع الخط الأول قبل التقائه مع طرفه الآخر مجدداً وهذا الشكل من أشكال الكون والذي يسهل علينا تخيله في ثلاثة أبعاد سيظهر فقط في حال احتواء الكون على كمية ضخمة محددة من الطاقة.

ومن أجل أن يكون الكون منحنياً أو مغلقاً إيجابياً عليه أن يتوقف عن التمدد وهو الأمر الذي سيحدث فقط في حال احتوائه على طاقة كافية لتسليم الجاذبية زمام الأمور إلا أن المراقبات الحالية في علم الكونيات تشير إلى أن الكون آخذ في التمدد

---

(١) الجينيون: أتباع الطائفة الجينية وهي طائفة دينية فلسفية يشكل أتباعها أقلية في الهند.

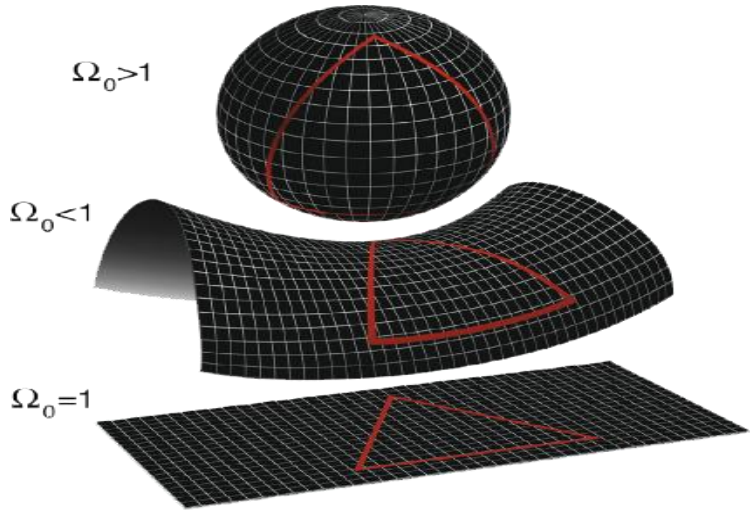
(٢) اللوفكرافتي Lovecraftian: نوع من أنواع قصص الرعب التي تركز الرعب الكوني والخوف من المجهول وهي تنسب إلى المؤلف الأمريكي هوارد فيليبس لوفكرافت.

إلى الأبد ولذلك فسنستبعد في الوقت الراهن السيناريو سهل التخيل وإذا كان شكل الكون منحنياً سلبياً فسيبدو مثل سرج حصان ذي أربعة أبعاد وسيكون مفتوحاً حيث لا يوجد حدود للمكان والزمان كما أنه سيحتوي على كمية ضئيلة من الطاقة والتي لن توقف التمدد كما أنه في هذا الشكل إذا ما كان هنالك جزيئان يسافران في خطين مستقيمين فإنهما لن يلتقيا أبداً في الواقع سيستمران في التباعد عن بعضهما البعض بينما يتصاعد الوقت اللامحدود أما إذا ما تبين أن الكون يحتوي على كمية قليلة من الطاقة في منطقة خصلات الذهب Goldilocks تتذبذب بين الأطراف على نحو خطر فسيبدأ بالانفجار بعد مدة غير محدودة من الزمن وهذا ما يدعى بالكون المسطح حيث تستمر الجزيئات في بالسير في طريقها اليسير في مسارات متوازية مستقيمة فهي لا تلتقي مطلقاً فضلاً عن أنها لا تتباعد كذلك.

الكرة، سرج الحصان، والسطح المستوي، كلها أشياء يمكن تخيلها بسهولة كما أن هنالك خيارات أخرى مثل كرة القدم أو الدونات أو آلة البوق فكرة القدم تبدو أقرب إلى الكون الكروي إلا أنه كون ذو علامة مميزة وهي أنه يشبه قاعة من المرايا مطبوعة على الخلفية الميكروية للكون. أما الدونات فهي تشبه الكون المسطح إلا أنه يكون متصلاً في أماكن متعددة حيث يعتقد بعض العلماء أن البقع الكبيرة الدافئة في الخلفية الميكروية للكون قد تكون دليلاً على هذا النوع من الأشكال اللذيذة وأخيراً نصل إلى آلة البوق وهي طريقة أخرى لتصور الكون المنحني سلبياً فهو يبدو مثل سرج حصان منحن ليدخل في أنبوب طويل مع نهاية واحدة واسعة ونهاية أخرى ضيقة حيث أن أحداً ما ممن يقطنون في النهاية الضيقة سيرى الكون ضيقاً وسيكون له بعدين فقط بينما سيكون بمقدور شخص آخر ممن يقطنون في النهاية الواسعة أن يسافر بعيداً قبل أن يجد نفسه قد التف وأصبح في الطريق المعاكس من دون معرفة السبب.

إذا، فأيها هو الشكل الصحيح؟ هل يبدو كوننا مثل برتقالة أم كعكة؟ هل يبدو مثل رقائق شيبس برينغلز؟ أو مثل شريحة جبنة؟ أو مثل قطعة نقود معدنية أو آلة موسيقية نفخيه؟ كما أن العلماء لم يستبعدوا بعد أكثر الاقتراحات سخافة وهو الشكل المنحني سلبياً مثل السرج أو آلة البوق. لمعرفة شكل كوننا يستمر الفلكيون في محاولة الحصول على قياس دقيق لشكل الكون وتنبا اكثر النظريات قبولا ب: تحديد كثافة الكون وهندسته أو شكله وإذا ما كانت كثافة الكون زائدة عن حد يعرف بـ "الكثافة الحرجة"، بالتالي فإن شكل الفضاء سيكون منحني بشكل مشابه لكرة عملاقة وإذا كانت كثافة الكون أقل من "الكثافة الحرجة" سيكون شكل الفضاء منحني بشكلٍ مشابه لسطح السرج اما إذا كانت كثافة الكون مساوية تماماً للكثافة الحرجة سيكون

شكل الكون مسطحاً مثلا صفيحة من الورق لذا لن نعرف شكل الكون كيف هو الا من خلال النظر لخارج الكون وهذا مستحيل !! يتم اجراء الاختبارات وارسال الاقمار الصناعية للوصول لخارج كوننا بالعودة إلى أحدث بيانات مرصد بلانك الفضائي والمنشورة في شباط ٢٠١٥ فإن شكل الكون على الأرجح هو مسطح فهو محدود بشكل لا محدود كما أنه ليس منحن تماماً وإنما فيه القليل من الانحناء و هو يحتوي على كمية قليلة محددة من الطاقة التي توفرها كل من المادة المظلمة والطاقة المظلمة أعلم ان الأمر مربك وممل ولكن إليك ما آمل أنك ستدركه من كل ما سبق إنه لمن المذهل أنه لا يمكننا إلا أن نخمن شكل كوننا الرائع ولكن هنالك أشخاص عباقرة يعملون من دون ككلل من أجل مساعدتنا على فهمه و هو أحد الأمور التي تجعلني أشعر بسعادة أكبر عند الحديث عن الكون وعلم الفضاء فأنا متشوقة ولا أستطيع الانتظار لأرى الخطوة المقبلة.



شكل الهندسات الممكنة للكون

ما هو مصير الكون؟

يخمن علماء الكون بوجود مصيرين محتملين أمام الكون: التجمد الكبير (big freeze) او الانسحاق العظيم (big crunch) يتحدد تطور الكون بوساطة التنافس الكائن بين زخم الحركة المتجه نحو الخارج والناتج عن التوسع وبين السحب نحو الداخل والناجم عن الجاذبية تعتمد قوة الجاذبية على كثافة الكون وإذا كانت كثافة الكون أقل من الكثافة الحرجة سيتوسع الكون إلى الأبد أما إذا كانت كثافة الكون أكبر من الكثافة الحرجة بالتالي ستنتصر الجاذبية في النهاية وسينهار الكون على نفسه كما ذكر.

يعتبر الكون مسطحاً وليس كروي الشكل؟

غالباً ما يساء فهم معنى الانفجار العظيم(Big Bang) الكثير من الناس يعتقدون بأن شيئاً ما قد انفجر في مكان ما ثم توسع فنشأ الكون و هذا اعتقاد خاطئ فلم يكن هناك مكان ولا زمان قبل الانفجار العظيم أي أنه لا يوجد شيء خارج نطاق الانفجار العظيم إن الكون بدأ بحجم صغير جداً ثم توسع إلى حجمه الحالي الضخم جداً ولا يزال توسعه مستمراً حتى اليوم لذا فإن حجم المكان الذي نحن فيه الآن يطابق حجم الكون في وقت مبكر من عمره بمعنى أن الانفجار العظيم حدث في كل مكان في الكون بما في ذلك المكان الذي نحن فيه الان لقد كان سؤال "لماذا يبدو الكون مسطحاً؟" إن معظم علماء الفلك يؤمنون بنظرية التضخم(Inflation) وهناك العديد من الأدلة التي تدعمها أيضاً وهي نظرية تفترض بأن الكون قد خضع لتوسع هائل بعد حوالي ٨١٠-٣٠ ثانية من الانفجار العظيم بحيث بدأ بحجم ذرة ثم توسع إلى حجم يماثل حجم النظام الشمسي في نهاية حقبة التضخم وبما أن الحال هكذا فسوف يبدو الكون مسطحاً بالنسبة لنا بغض النظر عن شكله الأصلي تماماً مثل نفخ بالون كروي ليبلغ حجماً كبيرا توضع على سطحه نملة صغيرة تظن أنها موجودة على سطح ممتد كسطح ورقة فهي لا يمكن أن تلاحظ التقوس لسطح البالون نظراً لصغر حجمها نسبة إلى حجم البالون وبعبارة أخرى فإن المسافات التي نتحقق منها ونكتشفها صغيرة جداً لكشف أي انحناء في الكون هناك مفهومان ينبغي التمييز بينهما وهما: "الكون (Universe) "و"الكونالمرصود(Observable Universe)"، إذ يعبر مصطلح الكون تقنياً عن كل شيء موجود بالمطلق بينما الكون المرصود يعبر عن كل شيء موجود داخل أفقنا أي ما تمكنا من رصده لحجم الكون من خلال الضوء الذي تسنى له الوقت الكافي للوصول إلينا وإلى حد الآن اقتصرت كل عمليات الرصد في الأوقات التي مضت على الكون المرصود، كما أنه ما من طريقة لمعرفة ما يحدث بالضبط وراء هذا الأفق ومع هذا فإن معظم الناس يستخدمون مصطلح الكون إختصاراً لمصطلح الكون المرصود مما قد يؤدي إلى الخلط بينهما ولذلك عندما

نقول: مسبار ويكليذسون لتباين الأشعة الكونية WMAP قدم أدلة على أن الكون مسطحا" فنحن نعني بهذا أن الكون المسطح هو ذاته الكون المرصود ووفقاً لنظرية التضخم فإن الكون المرصود ينبغي أن يكون مسطحاً على المستوى الذي نستطيع قياسه حتى لو كان للكون إنحناء طفيف لكننا لا نعلم إذا ما كانت نظرية التضخم صحيحة تماماً لذلك فمن المهم القيام بالمزيد من التجارب مثل تجارب رصد مسبار WMAP، وإذا تسنى لنا كشف إنحرافات في تسطح الكون المرصود فسيقدم ذلك أدلة ضد نظرية التضخم.

عمر الكون

يقدر عمر الكون حالياً بـ ١٣.٨ مليار سنة في حين يقدر عمر نظامنا الشمسي بـ ٤.٦ مليار سنة يتم تقدير عمر الكون من خلال قياس توزع المادة والطاقة في الكون بالإضافة إلى قياس سرعة التمدد.

البنية

في بداية الكون لم تكن بنية الكون واضحة بسبب التوزع المتساوي للمادة والطاقة إلا أن تأرجحاً صغيراً بذلك التوزع كان كفيلاً بنشوء المجرات، العناقيد المجرية، النجوم، وغيرها، وذلك في المناطق التي زادت كثافتها في حين أن المساحات الأقل كثافة بقيت كمساحات فارغة مظلمة فمثلاً زيادة ٠.٥% في المنطقة التي تحوي مجرتنا درب التبانة عن المناطق المجاورة بعد ٥٠٠ ألف سنة من الانفجار العظيم كان سبباً لنشوء مجرتنا.

المحتوى

قبل ٣٠ سنة كان الاعتقاد السائد أن المادة الباريونية هي ما يشكل الكون (المقصود بالمادة الباريونية هي كل المواد التي تتشكل من صنف الجسيمات الأولية المعروف باسم "الباريونات" والتي منها البروتونات والنترونات) كما ذكر اليوم تغير ذلك فنحن نعرف أن الكون يتشكل من: ٤.٦% مادة عادية ٢٣% المادة المظلمة والباقي هو الطاقة المظلمة المسؤولة عن تسارع تمدد الكون.

لماذا نحن هنا؟ وهل هناك داع لوجود خالق خير؟ وماهو المبدأ الإنساني؟

قدم ديفيد سلوان (David Sloan) إجابة لشخص يسأله عن العمل الذي يعيش من وراءه لقد أجاب سلوان: "أحسب احتمالية وجود الكون".

جاء هذا الوصف نتيجة لعمل سلوان كطالب أبحاث ما بعد الدكتوراه في جامعة كامبريدج وهو يعمل في مشروع يعرف بتأسيس فلسفة علم الكون (Establishing the Philosophy of Cosmology) يهدف المشروع إلى جمع الفلاسفة وعلماء الكون معاً

لمعالجة الأسئلة الفلسفية الكبيرة الموجودة في مجال علم الكون ويعمل سلوان على مسألة القياس في علم الكون (measure problem)، والتي تلخص بالسؤال التالي: "ما هو احتمال أن ينتهي بك المطاف في كون يشبه كوننا إذا افترضنا وجود شروط ابتدائية عشوائية" استحضرت هذه الفكرة البسيطة مباشرة نطاقاً واسعاً من الأسئلة الفلسفية وتلك التي تنتمي إلى علم الكون وكان منها: كيف نتنبأ بالنهاية التي سيؤول إليها الكون انطلاقاً من بعض الشروط الابتدائية؟ وكيف نحسب احتمالية أن يظهر كون ما مشابه لكوننا؟ وماذا نعني بعبارة "كون مشابه لكوننا" على أية حال؟

كيف جئنا إلى هنا؟

يوصف تطور الكون بمعادلات فريدمان التي وضعها عام ١٩٢٢ عالم الفيزياء الكسندر فريدمان (Alexander Friedmann)، حيث استخدم فريدمان نظرية أينشتاين في النسبية العامة للتنبؤ بتوسع الكون وفي ذلك الوقت كانت تلك الفكرة ثورية وقادت أينشتاين إلى رفض معادلات فريدمان واعتبرها مثيرة رياضياً لكنها أصبحت الآن جزءاً من الصورة القياسية لعلم الكون تصف المعادلات كيفية تطور الكون أثناء المراحل المبكرة من التضخم (inflation)، سلوان: "ركز عملي على مجال المعاملات الابتدائية التي قادت إلى المراقبات التي نشاهدها كتلك التي رصدتها الأقمار الصناعية بلانك و WMAP في الخلفية الكونية الميكروية وركز أيضاً على كيفية وضع قياس محتمل لتلك الخلفية" هنالك العديد من الحلول المحتملة لمعادلات فريدمان ويمثل كل منها كوناً محتملاً فقد تكون بعض تلك الأكوان ككوننا في حين تختلف أخرى كثيراً عنه فمنها ما يستمر للحظات قليلة فقط ومنها أكوان لا تتشكل فيها مجرات ونجوم أبدا تمثل كل الأفكار السابقة فضاء الحلول المحتملة وتشكل الأكوان ذات الخواص المختلفة مناطق مختلفة داخل هذا الفضاء كما تشير الأحجام النسبية لتلك المناطق إلى احتمالات مختلفة لظهور نوع محدد من الأكوان التي ستتطور بشكل مطابق لنموذجنا يعمل سلوان على تحديد شكل فضاءات الحلول تلك وتحديد المناطق المختلفة وكيفية حساب أحجامها لتقديم الاحتمالية الخاصة بتطور مجموعة من الأكوان التي تتمتع بخواص معينة لقد كانت الحسابات الفعلية التي عمل عليها معقدة للغاية لكن بإمكانك تصور الأمر وتبسيطه كثيراً عند أخذ بعض القيم المحتملة للمعاملات بعين الاعتبار.

فلنفترض أنه لدينا معامل ما يدعى x وهو موجود في نموذجنا الخاص بتطور الكون ويمكن لهذا المعامل أن يأخذ أي قيمة بين ٠ و١ وستعتمد خواص الكون الناتج على قيمه فإذا كانت $x_{>=}$ ١.٤ *١٠^-١١، لن يوجد بالتالي تضخم كاف ليطابق المراقبات التي نشاهدها في بيانات الأقمار الصناعية التي تدرس الكون وإذا كان $x_{=<}$ ١.٤ *١٠^-١١، يكون التضخم الحاصل كاف والمراقبات الكونية الناجمة ستبدو كتلك الخاصة بكوننا لذلك فعند الأخذ بعين الاعتبار أن x تستطيع أخذ مجموعة من القيم فإنه من المرجح بشكلٍ ساحق (أي احتمالية بقيمة مشابهة لـ ٠.٩٩٩٩٩) أن ذلك النموذج سيعطي كوناً مشابهاً لكوننا.

معادلة فريدمان

تأخذ معادلة فريدمان الخاصة بكون مسطح الشكل التالي:

$$H(t)\ 2 = 8\pi G 3c\ 2 \in (t)$$

يمثل التابع (أوبسيلون) طاقة الكون المؤلفة من الطاقة المخزنة في الحقول والمادة بفضل معادلة أينشتاين وتتغير هذه الطاقة بمرور الزمن أما التابع H(t) فهو معامل هابل (Hubble parameter)، الذي يوضح توسع الكون إذا لم تكن قيمته مساوية للصفر عندما رصد هابل انزياحاً نحو الأحمر في المجرات البعيدة (الانزياح نحو الأحمر هو المكافئ الضوئي لمفعول دوبلر الذي تسمعه عندما تمر بجوارك سيارة إسعاف) برهن على أن قيمة H موجبة أما الأجزاء المتبقية في المعادلة فكلها مألوفة بالنسبة لنا.

أنت هنا

لكن ماذا نعني بالتحديد عندما نقول "كون مشابه لكوننا"؟ تجيب الطريقة البراغماتية على هذا السؤال بالقول بأننا في كون يقدم مراقبات مشابهة لتلك التي نرصدها بأنفسنا فقد ساهمت بيانات كتلك الخاصة بإشعاع الخلفية الكونية الميكروي وبشكل جذري في رسم الصورة الخاصة بكوننا ويجب أن ينتج أي كون "مشابه لكوننا" نفس المراقبات التي نراها في الـ CMB ومصادر البيانات الأخرى وعلى الرغم من ذلك إلا أن هنالك تعقيد آخر حيث أننا لا يوجد لدينا إلا كوننا لننظر إليه ولا نمتلك أية أمثلة بديلة لإجراء عملية مقارنة أو لسبر المعلومات سلوان: "ما يميز علم الكونيات عن غيره من أقسام الفيزياء ويضعنا على نفس الخط المتصل مع العلوم الاجتماعية هو أنه بإمكاننا إجراء التجارب الطبيعية فقط حيث أنه لا يمكننا تصميم كون ولا يمكننا بناء آلة ووضع بعض الشروط الابتدائية داخلها ومن ثم تشغيلها في المختبر ورؤية ما يحصل لا يمكننا إلا أن نرصد الكون كما هو" هذا الأمر مشابه لحالة علم الفلك (astronomy)، لكن مع وجود فرق واحد أساسي فحسبما يقول سلوان: "لا يحتاج علماء الفلك إلى بناء النجوم ومعرفة ما يحصل إذ يمكنهم رصدها فقط إلا أن لديهم الكثير الكثير من النجوم لينظروا إليها أما بالنسبة لنا فلدينا نقطة بيانية واحدة فقط: كون وحيد هو ذلك الذي نعيش فيه وكما سيقول لك أحد دارسي العلوم فإن النقطة البيانية الوحيدة تعد مشكلة كبيرة عند محاولة ممارسة العلوم".

يتطلب هذا النقص في نقاط البيانات استخدام نهج مختلف وهنا بالتحديد تصبح وجهة النظر الفلسفية مفيدة فقد تؤدي مشكلة امتلاكنا لجزء مقنع من الدليل وهو أن الكون موجود وافتقادنا لأجزاء أخرى إلى تفسير ينص على أن الكون ضبط بشكل دقيق من أجل ظهور الحياة إذا ما أخذت بالحسبان وفرة الكربون في الكون فقد تعتقد أن تلك الوفرة ما هي إلا معجزة لأن الكربون ضروري لوجود الحياة كما نعرفها ويضيف سلوان: "إذا ما غيرنا المعاملات بطريقة ما لن يكون هنالك أي كربون وما كنا لنوجد" لكن قد يصير ذلك التفسير ضعيفاً عند تغيير طريقة التفكير بالأمر سلوان: "طرح دوغلاس آدامز Douglas Adams فكرة جيدة عندما افترض أن هنالك حوضاً

داخل ثقب وحينها ستسأل: يا للعجب! أليس من المذهل أن يكون هنالك ثقب يبدو بشكل يناسبني تماماً؟ لا بد وأن هذا الثقب قد صمم من أجلي" إذاً وبدلاً من تفسير الضبط المثالي لكوننا عبر إقحام وجود خالقٍ محب للخير تستطيع استدعاء شيء ما يعرف بالمبدأ الإنساني (anthropic principle)، وهو ينص على أن كوننا مفضل بالنسبة للحياة لأنه ما كنا لنرصده في حالات أخرى علينا العودة خطوة إلى الوراء والنظر إلى طيفٍ واسعٍ من الأكوان المحتملة التي تنتج عن حلول لمعادلات فريدمان فهل نحن مهتمون فقطً بالأكوان التي يمكننا أن نوجد داخلها أو هل سيكون أي من الأكوان التي تسمح بوجود مراقب ذكي واحدا من تلك الحلول التي سنسمح بها وبإمكانية وجود كائنات كالبشر لتراقب؟ ويضيف "إذا أجريت حساباً وكان العدد ثلاثة بدلاً من سبعة وعرفت أن كل شيء سيكون كما هو الآن عدا فرق واحدٍ هو أن لوننا سيكون أخضراً فهل سنقول حينها أن ذلك مقبول أم لا؟ والان لنقل أن الأعداد المختلفة الناتجة أشارت إلى حالات مؤداها أن الأشياء الحية يجب أن تكون مركبة من السيليكون بدلاً من الكربون فهل سيكون ذلك مقبولاً أيضاً؟ بالطبع من الصعب جداً معالجة هذا النوع من الأسئلة ولا نملك أي تكنولوجيا قادرة على تطوير الأشياء وصولاً إلى نقطة الحياة ولكن ما نستطيع قوله مع وجود شروط محددة هو أنه سيكون هناك كمية اكبر بكثير من الإشعاع وبالتالي فقد يتم استبعادنا من العملية أو على الأقل فإن الحياة كما نعرفها لن تظهر وبوجود شروطٍ أخرى ستعيش النجوم لحوالي ١٠ ثانية وبذلك يُمكننا استبعاد أي شيء قد ينتج عن تطور تلك النجوم".

لماذا نحن هنا؟

يبدو كل ذلك مثل لعبة ممتعة بالنسبة للفلاسفة وأولئك الساعين وراء تفسير مكاننا في الكون إلا أن بحث سلوان يقدم كذلك أداة عملية لاختبار نظريات الفيزياء ويشرح سلوان الأمر قائلاً: "يعطينا استكشاف (مسألة القياس) درجة من الثقة أو فقداناً للثقة في قدرة نماذج الفيزياء على التفسير". فقد افترض مثلاً أن حساباته تقول أن نموذجاً معيناً في الفيزياء يشير إلى أن تطور كون مشابه لكوننا هو أمر غير مرجح بشكل كبير بمعنى أن احتمالية تطور مثل هذه الأكوان ستكون قريبة من الصفر عندها يمكننا أن نسأل أنفسنا هل يغلب على الظن أن النموذج صحيح وبالتالي سينتهي بنا المطاف هنا بصرف النظر عن الاحتمالية الصغيرة أم أنه من المرجح أكثر أن نموذجنا خاطئ منذ البداية؟.

يضيف سلوان: "إذا ادعيت أنه إما أن الفيزياء خاطئة أو أنني رميت نرداً لستة مليارات مرة وحصلت على الرقم ستة في كل الأوقات فأي الحالتين هي الأرجح؟ في تلك الحالة يغلب على الظن أن الفيزياء خاطئة وكونك عالماً فإنك ستتخلى عن

الفيزياء حينها" بناء على ذلك تفتح تلك الحسابات الاحتمالية نافذة على أسئلة ما كنا لنختبرها في أحوال أخرى ما يقدم لنا طريقة لاختبار الأمور غير القابلة للاختبار.

يقول سلوان: "إن من طبيعة تلك الأمور أنه من العادي أن تكون الاحتمالات قريبة جداً من الصفر أو من الواحد" فإذا ما تبين لك أن الاحتمالية قريبة من الواحد يمكنك أن ترتاح وتدعي أن نموذجك في الفيزياء يقدم تفسيراً جيداً لتطور الكون فعلى سبيل المثال استخدم سلوان هذا النهج لفحص نظريات الجاذبية الكمومية الحلقية (loop quantum gravity)، وفيها يرتد الكون من الانكماش إلى التوسع بدلاً من البدء من انفجار عظيم ابتدائي تكمن ميزة هذه النظرية عن غيرها في أنه بإمكانك إجراء الحسابات عند نقطة الارتداد في حين تتحطم بقية النظريات عند تلك النقطة سلوان: "تجد هناك احتمالية كبيرة جداً لوجود كون يظهر بنفس الشكل الذي يأخذه حالياً وبوجود افتراضات معينة في النموذج ستكون الاحتمالية التي ستحصل عليها من مراقبات WMAP مساوية لحوالي ١ مطروح منه جزء من مليون أو ما شابه ولذلك فإنّ هذه النظرية مرجحة كثيراً" يعد ذلك دعماً كبيراً وقوياً لأنصار هذه النظرية يضيف "إنها تقول: نعم إذا كانت هذه النظرية هي النظرية الصحيحة في الفيزياء فلا تقلق فعمليات الرصد لم تخبرك أبداً أن تقوم بالاستغناء عن النظرية الفيزيائية هذه"

في النهاية يود سلوان تطوير نوع من الصناديق السوداء لمعالجة مسألة القياس ويقول: "إن أحد الأمور التي ستكون جميلة إلا أنه سيتطلب الكثير من العمل هو خلق نموذجٍ لأخذ النماذج الأساسية للفيزياء ويشمل ذلك نظريات الأوتار ونظريات السببية والاقتراحات الإحادية وكل امتدادات النسبية العامة هذه وبعد ذلك القيام بمعالجتها وسينتج عن كل ذلك رقم سيخبرك أنها مرجحة على نحو مدهش أو أنها غير مرجحة على نحو مدهش ومن ثم سيكون بإمكانك استخدام هذا (الصندوق) كاختبار لنظريات ستكون في حالات أخرى غير قابلة للاختبار على الإطلاق" تسمح لنا دراسة مسألة القياس بإلقاء نظرة على الإجابة للسؤال : لماذا نحن هنا؟ بحث سلوان سيعطينا بالتأكيد لمحة عن تلك الإجابة.

رؤية الفيزياء الكلاسيكية للضوء والاشعاع

نظريات الضوء فيما قبل نيوتن

علمنا مما سبق أن الفيزياء الكلاسيكية كانت قد تبنت النموذج الجسيمي للوصف والتفسير والذي كان قد اكتسب مشروعيته الكونية من نجاحه المنقطع النظير في تطبيقه على ما لا يحصى من الظواهر الميكانيكية والفلكية والحرارية حيث تتم معالجة الكينونات الملحوظة بوصفها جسيمات مادية والتي تمتلك في جميع الأوقات قيما محدودة لمواضعها وسرعاتها وبجملة واحدة فإن النموذج الجسيمي قد نجح في استيعاب جميع مستويات الوجود المادي تقريبا وعلى الرغم من ذلك فلقد بدا أن الكثير من الظواهر البصرية تتملص من إمكانية الخضوع لهذا النموذج الجسيمي والتي استدعت بقوة إنشاء نموذج آجر للوصف والتفسير على تخوم النموذج الجسيمي ألا و هو: النموذج الموجي والذي حاول تفسير الظواهر الضوئية بدلالة الموجات والاضطرابات في الأثير طبقًا لما أوضحته تجارب جيرمالدي، وهيجنز، ويانج، وفرنل، وأخيرًا ماكسويل، وهيرتز.

فإن هذه التطورات التي حدثت في مجال البصريات Optics لم تكن منبتة الجذور ولا منقطعة الأواصر عن التطورات العلمية التي كانت قد سبقتها ومن أجل تبيان ذلك فإنه يجدر بنا أن نعطي لمحة تاريخية موجزة عن تطور علم البصريات.

نظريات الضوء فيما قبل نيوتن

فقد كان من المعروف منذ أيام اليونانيين القدماء أن أشعة الضوء تتمتع بخصائص عديدة كقدرتها على الانتشار propagation في الفراغ في خطوط مستقيمة وقدرتها على الإنعكاس reflection عن طريق المرايا وقدرتها على الانكسار refraction فلقد أُدرِكت خاصية انتشار الضوء في خطوط مستقيمة منذ أيام إمبادوقليس Empedocles، حيث رأى أن الضوء هو عبارة عن تدفق مادي material effluence والذي ينطلق من الجسم المضيء وينتشر في الفضاء المادي بسرعات محددة فيما عرفت بنظرية الانبعاث أو الإصدار أو نظرية نسخة الجسم والتي طورها الذريون وعلى وجه الخصوص أبيقور (Epicure 341- ٢٧٠ ق.م)، والتي تقوم على دعوى مفادها: أن الأجسام تبث بشكل متواصل ردودها في جميع الاتجاهات وتقطع هذه الردود الهواء بخط مستقيم في تكتلات أو تجمعات متماسكة من الذرات محافظة على الاتجاه والشكل واللون الذي كانت تملكه عن الجسم الصادرة عنه وتدخل هذه الأغشية الدقيقة عين المراقب كذلك أُدرِكت خاصية انعكاس الضوء عن طريق المرايا منذ أيام إقليدس Euclid، وأعطى هيرو الإسكندري Herou of Alexandria وصفاً للظروف الميكانيكية لانعكاس الأشعة المرئية وأوضح فيه أن زوايا سقوط الأشعة على جسم عاكس تساوي زوايا انعكاسها (المعروف بقانون الانعكاس) كما تمت البرهنة بشكل تجريبي على هذا القانون عن الانعكاس البصري عن طريق بطليموس Ptolemyكذلك فإن خاصية انكسار الضوء قد أدركت منذ أيام بطليموس

والـذي قـام بالدراسـة التجريبيـة الجـادة الأولـى عـن انكسـار الضـوء حيـث أوضـح بطليموس أن أشعة الضوء يمكنها أن تنكسر refracted أو تنحني bent مبتعدة عن سيرها في خط مستقيم عند مرورها من وسط مادي لآخر مختلفين في الكثافة على سبيل المثال من الهواء للماء وأوضح أن مقدار الانحراف عن المسار الأصلي يعتمد على درجة الاختلاف في الكثافة حيث أن الدرجة الأكبر من الكثافة ينتج عنها درجة أكبر من انحراف الأشعة ان النقطة الجديرة بالاعتبار هنا بالنسبة لبطليموس هي وجهة نظره حول عملية الرؤية حيث أن بطليموس ما يزال يعتقد ومتابعًا في ذلك إقليدس وخلافًا لإمبادوقليس أن أشعة الضوء تنبعث من العين والتي تتلمس طريقها في الفضاء حتى تسقط على الجسم المرئي فيما عرفت بالنظرية الحسية للإبصار أو نظرية البث والتي تقوم على دعوى مفادها أن العينين تطلقان شعاعين غير مرئيين يتم بهما إدراك الأجسام كقرني الاستشعار عند الحشرات وينقلان إحساسهما إلى المخ وبذلك يحدث الإحساس البصري حيث كان يفترض بداهة أن الأشعة لا تقطع الفضاء إلا بخطوط مستقيمة تمتد من العين إلى اللانهائي ولقد كانت هذه النظرية مقبولة أول الأمر ولكنها ما لبثت أن انهارت عندما فشلت في تفسير استحالة رؤية الأجسام في الظلام.

إن التطور الهام في ميدان البصريات قد جاء على يد ثلة من الفلاسفة العرب والمسلمين في القرن التاسع للميلاد فلقد كتب أبو يوسف يعقوب بن اسحاق الكندي (al-Kindi 800– 873)، فيلسوف العرب والمسلمين الأول عدة أبحاث عن البصريات والتي برهن فيها على انتشار أشعة الضوء في خطوط مستقيمة كما تناول بالتحليل ظاهرتي الانبعاث والانكسار ولكنه قد نحى منحى بطليموس في قوله بنظرية البث أو النظرية الحسية للأبصار وفي الحقيقة فإننا نجد أن المساهمات الأبرز للحضارة الإسلامية قد جاءت على يد ابن الهيثم (Ibn-al-Haithm 965– 1038)، والمعروف عند فلاسفة العصور الوسطى اللاتينيين باسم ابن الخازن Ibn-al-Hazan، والذي تركزت أبحاثه في مجال البصريات على شرح وتفسير ظواهر انعكاس وانكسار الضوء فلقد فسر ابن الهيثم ظاهرة انعكاس الضوء عن طريق إرجاعها إلى خاصية ما والتي تكمن في الجسم العاكس أي قوة "تنافره" أو "مقاومته" للضوء هذه القوة تكون أقوى في الأجسام المصقولة منها في الأجسام الخشنة بسبب أن أجزاء الأولى أي جسيمات الأجسام المصقولة تكون محتشدة بشكل محكم بالطريقة التي لا تسمح للضوء أن ينفذ من بينها بينما الأجسام الخشنة تكون كثيرة المسام وتكون أجزاء سطحها متفرقة غير متضامه ومن أجل ذلك ينفذ قسم من الضوء في المسام حيث يضيع ثم ينعكس القسم الآخر متفرقا متشتتا مثلما يرى بوضوح.

ومن هنا يتبين لنا أن ابن الهيثم قد أدرك حقيقة أن الضوء يرتد أي ينعكس عن الأجسام الصقيلة إذا وقع عليها كما ترتد الكرة عن الجسم الصلب عندما تصطدم به

مع فارق أن الكرة تتحرك إلى جهة مخصوصة والضوء يتحرك على الاستقامة في جميع الاتجاهات التي يجد سبيله إليها فإذا سقط الشعاع على سطح صقيل بشكل عمودي فإنه ينعكس على نفسه وإذا سقط بشكل مائل فإنه يرتد بشكل مائل مشكلاً مع ذلك السطح زاوية مساوية للزاوية التي يكونها عند السقوط عليه أما إذا سقط الشعاع الضوئي على الأجسام غير الصقيلة فإن قسمًا من الضوء ينفذ من خلال مسامها وينعكس الباقي مشتتا فلا تراه العين.

ابن الهيثم قد تناول ظاهرة الانكسار بالتفسير حيث أوضح أن انكسار الضوء يحدث عندما يصطدم الضوء بسطح وسط ذي كثافة أكبر من الوسط الذي يسقط منه كما أوضح أن الضوء ينتقل بسرعة عالية في الأجسام الشفافة وأن سرعته تكون أعظم في الوسط الأقل كثافة (مثل الهواء) منها في الوسط الأكبر كثافة (مثل الماء أو الزجاج) وبناء على ذلك فإن ابن الهيثم يرى أن انعطاف الضوء أي انكساره عند مروره في أجسام مشفة مختلفة الشفيف أي عند مروره من وسط مشف معين إلى وسط مشف غير متجانس معه إنما يحدث بسبب أن سرعة الضوء في الوسطين ليست واحدة وأن سرعته في المشف الألطف أعظم من سرعته في المشف الأغلظ فإذا مرت الأشعة الضوئية من المشف الألطف إلى المشف الأغلظ انعطفت جهة العامود وإذا مرت من المشف الأغلظ إلى المشف الألطف انعطفت إلى خلاف جهة العامود أما إذا مرت عمودية من وسط معين إلى وسط غير متجانس معه فإن الانعطاف يكون معدومًا كذالك فان ابن الهيثم قد تقدم بمساهمة أخرى غاية في الأهمية وهي تفسيره الصحيح لعملية الرؤية عن طريق القول بأن الرؤية تكون ناشئة عن شيء ما ينبعث من الجسم المرئي باتجاه العين والذي يؤثر في أعصاب الإبصار ليحدث الرؤية في معارضة واضحة لتصورات إقليدس وبطليموس ومن هنا فإنه يمكن القول أن علم البصريات قد بدأ يتخذ صورته الحديثة مع ابن الهيثم وظلت أبحاثه عن البصريات المرجع الرئيسي في هذا الميدان حتى القرن السابع عشر فلقد استبدل ابن الهيثم تمامًا مفهوم الإبصار فقبله كان الاتجاه الأهم عند الرياضيين خاصة هو فكرة الشعاع البصري أي خروج الشعاع البصري من البصر إلى المبصر إلا أن ابن الهيثم عكس الأمر وبين أن خروج الأشعة يكون من المبصر إلى البصر وبالاتفاق مع هذا الاتجاه الجديد الذي دشنه ابن الهيثم تأتي مساهمة كبلر حول طبيعة الرؤية حيث وصفها كبلر بأنها "الإحساس بإثارة الشبكية" فلقد اعتقد كبلر أن الرؤية تكون ناشئة عن طريق شيء ما والذي ينبعث من الجسم المرئي باتجاه العين حيث تكون العدسات البلوريةCrystalline Lenses للعين صورة للجسم المرئي والتي تقع على الشبكية retina.

ان ذلك الاتجاه الجديد الذي دشنه ابن الهيثم والذي لقي قبولاً لدى كبلر باعتباره يشكل تقدماً حقيقياً في علم البصريات عموما وفي تفسير عملية الإبصار

بشكل خاص لم يستحوذ على قبول الجميع على سبيل المثال فإن ديكارت كان ما يزال مصرا على أن عملية الرؤية إنما تتم عن طريق انبعاث ضوء من العين والذي ينتشر بشكل فوري propagated instantaneously عن طريق انضغاطات تنتقل من جسم إلى جسم بسرعة لا نهائية داخل الوسط الأثيري Ethereal medium الذي افترض أنه يملئ الفضاء برمته والذي يكون ممتدا بين العين والشمس والذي يتألف من كريات صغيرة جدًا ذات حجم لا يتغير تتلامس كصف في سلسلة إن النقطة الجديرة بالاعتبار هنا هي أن مبدأ الانتشار الفوري للضوء يكون نتيجة ضرورية لمفهوم ديكارت عن الوسط الذي يستخدمه بوصفه حامل للضوء كما أن طبيعة ذلك الوسط إنما تكون محددة عن طريق التعريف الديكارتي للمادة فطبقاً لديكارت فإن طبيعة الجوهر المادي تتوقف على كونه ممتدًا فالامتداد بالإضافة للحركة هي الخصائص الأساسية للجوهر المادي ومن ثم فإن الوسط المادي لابد وأن يتكون من جسيمات متناهية الصغر تكون حاملة للضوء تقدماً هاماً قد حدث في مجال البصريات عن طريق أول رومير Ole Romer في عام ١٦٧٦ عندما أعلن ولأول مرة عن اكتشافه للسرعة المحددة للضوء عن طريق قياساته في المرصد الملكي في باريس والتي أوضح أنها تبلغ ٢١٤٣٠٠ كم/ث في معارضة تامة مع تصور أرسطو وكبلر و ديكارت والذين رأوا أنها تكون غير محددة ومن ثم أدى اكتشاف رومير لمحدودية سرعة الضوء إلى هدم نتيجة أساسية في طريقة انتشار أشعة الضوء و هي الانتقال في اللحظة والآن للظاهرات الضوئية أعني التصور الديكارتي للانتشار الفوري للضوء أن المساهمة الأخرى الجديرة بالاعتبار بالنسبة لرومير Romer هي محاولته إعطاء تصور محدد حول طبيعة الضوء ذاته وذلك من خلال دراسته لظاهرة طيف الألوان المعروف منذ القدم أي قوس قزح rainbow فلقد خمن رومير أن اختلاف ألوان الطيف يكون ناتجا عن جسيمات تدور بسرعة محددة ومن ثم فإن الجسيمات التي تدور بشكل أكثر سرعة تنتج الإحساس باللون الأحمر في العين بينما الجسيمات التي تدور بشكل أبطأ تنتج الإحساس باللون الأصفر والأزرق والأخضر على الترتيب ينبغي علينا أن نلاحظ أن تصور رومير حول طبيعة الضوء لم يكن إلا تخميناً فحسب ولم يرتقي إلى مرتبة البرهان وربما يعزى ذلك لنقص الأدوات التجريبية التي لم تكن متاحة في ذلك الوقت والتي يمكن من خلالها اختبار افكار روميرو وثلة من الافكار الاخرى بيد أنه من الأهمية بمكان التأكيد على أن غالبية التصورات والنظريات التي تجلت حتى الآن تقريباً إنما تتضمن بشكل أو بآخر وصف الضوء باعتباره يتكون من سيل من الجسيمات سواء ما كانت تلك الجسيمات تنبعث من العين باتجاه الجسم المرئي طبقاً للتصور الزائف لإقليدس وبطليموس وديكارت أو تنطلق من الجسم باتجاه العين طبقاً للتصور الصحيح لإمبادوقيلس وأبيقور وابن الهيثم وغيرهم وبكلمات أخرى فإن الوصف المتبنى حتى هذه اللحظة

في وصف الضوء ومعالجة خصائصه المختلفة إنما يعتمد وبشكل جوهري على النموذج الجسيمي أي على كون الضوء ذو طبيعة جسيمية بشكل أكثر أو أقل برغم أن هذه الطبيعة لم تكن معلنة بوضوح في كثير من النظريات لكن السيادة المطلقة لهذا النموذج الجسيمي في تفسيره للظواهر البصرية قد بدأت في الانحسار والأفول في عام ١٦٦٥ عندما أعلن فرانسيسكو جيرمالدي Francesco Grimaldi(1618– 1663) أن أشعة الضوء لا تسير في خطوط مستقيمة ولكنها تميل ميلاً خفيفًا أو تتشتت عندما تقترب من حواف الأجسام ومن ثم فإن جيرمالدي قد أرجع كلتا الظاهرتين إلى أن الموجات الضوئية تتصرف مثل الموجات المائية الخفيفة أو نبضات الصوت أما اختلاف الألوان فعزاه إلى أن لكل لون موجة ضوئية خاصة به والتي تختلف عن موجات الألوان الأخرى في أطوالها ومن هنا أعلن جيرمالدي عن ميلاد نموذج آخر لوصف الضوء ألا وهو النموذج الموجي والذي يكون متطلبًا من أجل وصف ظواهر الحيود diffraction. ففي بحثه المنشور بعد وفاته فإن جيرمالدي قد ادى الى لفت الانتباه أن:الضوء قد يكون منتشرًا أو منتقلاً ليس فقط بطريقة مباشرة أو عن طريق الانكسار أو عن طريق الانعكاس ولكن أيضاً بطريقة رابعة عن طريق الحيود".

وبناء على ذلك فإنه يمكننا القول أن جيرمالدي يعتبر أول من أشار لظاهرة الحيود وهي الظاهرة التي تبدو فيها الخاصية التموجية للضوء بشكل أكثر وضوحٍ وأكثر إقناعٍ ولقد قام جيرمالدي بعمل العديد من التجارب التي اتضح منها أن الضوءً ينثني بمقدارٍ ضيئل عندما يمر عبر ثقب في حاجز ومن ثم فإن الضوء لا يقتصر على الانتشار في خطوط مستقيمة مثلما تفترض ذلك النظرية الجسمية كما اتضح من تجاربه ايضا أنه لم يكن هناك انتقال حاد من الضوء للظلام بل تعاقبات متكررة لمناطق الضوء والظلام والتي ذكرته بتعاقب الموجات عندما يلقى حجر في بركة والذي أدى به لافتراض أن الضوء يكون مرتبطاً بطريقة ما بحركة موجية وبذلك تعتبر مساهمة جيرمالدي مبشرة بإمكانية وجود شكل ما لنظرية موجية والتي تتبنى الوصف الموجي لتفسير ظواهر الحيود وإمكانية تفسير الخصائص البصرية الأخرى هذه البشارة لجيرمالدي بإمكانية وجود شكل ما لنظرية موجية قد تعززت عن طريق روبرت هوك (Robert Hooke 1635– 1703). ففي عام ١٦٦٥ وهي نفس السنة التي تم فيها نشر أبحاث جيرمالدي حول الحيود قام هوك بنشر مجموعة من الأبحاث والتي تناولت طبيعة الألوان من ناحية وتناولت أيضاً طبيعة الضوء من ناحية أخرى فلقد رأى هوك أن الضوء الأبيض المألوف (ضوء الشمس) يكون مؤلفا من مجموعة من الألوان مثل تلك التي تظهر في قوس قزح والذي يكون ناتجا عن اهتزازات سريعة لجسيمات في الجسم المضيء وأن هذه الاهتزازات تنتشر إلى خارج الجسم المضيء على شكل نبضات كروية في وسط شفاف يقول هوك:"إن الضوء ليس

سوى نبضة أو حركة تنتشر عبر وسط شفاف منتظم ومتجانس وأن اللون ليس سوى اضطراب للضوء الأبيض عن طريق اتصال تلك النبضة بأخرى والذي يحدث عن طريقه الانكسار إن بياض وسواد اللون ليس سوى وفرة أو ندرة من أشعـــة الضـــوء غير المضطربة وأن اللـــونين[الأزرق والأحمر] ليسا سوى تأثيرات لنبضة مركبة أو اضطرابات في انتشار الحركة والذي يكون مُسَبَّباً عن طريق الانكسار".

من هنا يتضح لنا بالنسبة لتصور هوك عن الألوان أن الضوء الأبيض يرى كذلك نتيجة لتأثير حركة أو نبضة غير مركبة وغير مضطربة والتي تنتشر في وسط شفاف ومتجانس أعني وسط أثيري وأن جميع الألوان تنشأ بسبب اضطراب الضوء عن طريق الانكسارإن هذا يتضمن أن الألوان التي تظهر في أشعة الضوء كما في قوس قزح ليست خصائص أصلية أو فطرية متضمنة في أشعة الضوء.

وعلـى الـرغم مـن أن مسـاهمة هـوك حـول الألـوان ذات أهميـة كبيـرة إلا أن مساهمته الأكثر أهمية تلك التي كانت حول طبيعة الضوء ذاته حيث يظهر فيها بوضوح السمة التموجية للأشعة الضوئية حيث أنه إذا كان الضوء عبارة عن حركة أو نبضة:"فإن الحركة تكون منتشرة في كل ناحية عبر وسط متجانس في خطوط مستقيمة بسرعة متساوية equal velocity. انه لمن الضروري أن كل نبضة Pulse أو اهتزاز Vibration للجسم المضيء في هذا الوسط سوف تولد مجالاً [تموجيا] والذي سوف يتزايد بشكل مستمر وينمو بشكل أكبر بنفس الطريقة التي تنتشر بها الموجات على سطح الماء (رغم أنها تكون أسرع بشكل غير محدود) والتي تتضخم إلى دوائر أكبر فأكبر حول محورها فعن طريق إلقاء حجر في بركة فإن الحركة تكون قد بدأت إنه ينتج من ذلك بالضرورة أن جميع أجزاء هذه الكرات المتموجة عبر وسط متجانس كهذا تتقاطع مع اتجاه الأشعة بزوايا مستقيمة" من هنا يبدو لنا أن أفكار هوك تحمل بشارة بمولد نظرية موجية عن الضوء والتي لم تكن خالصة تمامًا من التصورات الجسيمة حيث أنه يكاد يوحي لنا بفكرة ازدواجية السمات الجسيمية والموجية بالنسبة للضوء فعلى الرغم من أن الضوء هو في طبيعته جسيمات مضيئة تنبعث من المصدر الضوئي في جميع الاتجاهات بخطوط مستقيمة عبر المائع المادي الأثيـري (لـديكارت) إلا أن هـذه الجسـيمات تتولـد عنهـا اهتـزازات تموجيـه فـي هـذا الوسط والتي تكون عمودية على اتجاه انتشار الأشعة الضوئية والتي تكون مماثلة تمامًا لحركة موجات الماء ومن ثم فإنه يمكن أن يعزى إليها نوعا ما من الحركة الموجية المستعرضة Transverse motion.

يمكننا القول أن هذه الحزمة من الأفكار التي قدمها هوك حول طبيعة الضوء والألوان قد شكلت تقدمًا محدودًا باتجاه تكريس النموذج الموجي لوصف حركة الضوء وطبيعته حيث أنه لم يقل بوضوح أن نبضاته أو موجاته تتبع كل واحدة منها

الأخرى بفترات فاصلة منتظمة regular intervals أي أنه لم يقل بدورية Periodicity موجات الضوء.

النظرية الموجية لهيجنز

في غضون تلك الفترة تقريباً والتي قدم فيها نيوتن اقتراحاته حول الطبيعة الجسيمية للضوء أي بوصفه تدفقاً Flux أو تياراً Stream من الجسيمات المتناهية الصغر فإن نظرية أخرى كانت قيد التكون في هولندا Holland عن طريق كريستيان هيجنز (1629– 1695) Christian Huygens فلقد قدم هيجنز اقتراحاً مضاداً تماماً لاقتراح نيوتن عن الضوء الذي لم يرى فيه نيوتن أي سمة موجية وعلى العكس من ذلك فإن هيجنز قد افترض أن الضوء ذي سمة تموجية تماماً حيث أن أشعة الضوء يمكنها أن تنحني وتلتقي ثانية حيث يقول:

" إن الضوء ينتشر مثلما ينتشر الصوت عن طريق الموجات والأسطح الكروية ولذلك فإنني أسميها بالموجات من خلال تشابهها مع تلك التي ترى موجودة في الماء عندما يلقى حجر فيه." ومن هنا يتبين لنا أن هيجنز قد افترض ومنذ أبحاثه الأولى عن الانكسار في عام ١٦٥٢ أن انتشار الضوء يكون متماثلاً مع انتشار موجات الماء عندما يلقى حجر في بركة ساكنة ولهذا فإن النمط الناتج يكون عبارة عن سلسلة من الموجات الصغيرة المتحدة المركز Concentric ripples والذي تكون فيه ذرى hills الموجات منفصلة بشكل مطرد عن طريق المسافة التي تسمى الآن بالطول الموجي Wave length هذه التماثلات بين موجات الضوء وموجات الماء والصوت هي مقبولة ظاهرا ولكنها تثير تساؤلاً هاماً وهو: ما الوسط الذي يكون متطلبا من أجل انتشار موجات الضوء ؟ إنه لمن الطبيعي القول أنه عندما نلقي حجرا في الماء فإنه يحدث موجات فيه ومن ثم فلكي تنتشر موجات الماء وتنتقل من مكان لآخر فإنها تتطلب وجود وسط تنتشر فيه أي الماء كما أن موجات الصوت تستلزم وسطا أي الهواء لكي تنتشر وتنتقل من مكان لآخر فصوت الكمانViolin على سبيل المثال يصل إلى آذاننا بسبب اهتزاز أوتاره strings ثم تنتشر تلك الاهتزازات vibrations عبر اصطدامها جزيئات الهواء والتي تحدث موجات متضاغطة تنتقل إلى الأذن.

ومن هنا اقتيد هيجنز إلى ضرورة أن يكون هناك وسطا ما من أجل انتقال موجات الضوء وبطبيعة الحال فانه لا يمكن أن يكون ذلك الوسط هو الهواء والذي تحدث فيه موجات الصوت حيث أن الضوء يمكنه أن يمر عبر الفراغ وبدلا من ذلك فإن هيجنز قد سلم بأنه من الضروري وأن يكون هناك شكل آخر للمادة أي مادة أثيرية Ethereal matter ذات مرونة elasticity مطلقة باعتبارها أداة انتقال the vehicle الضوء ومن ثم فإن هيجنز قد افترض وجود الأثير بوصفه جوهرا ماديا

متابعًا في ذلك ديكارت والذي يكون مؤلفًا من جزئيات صغيرة جدًا وذات استجابة سريعة جدًا في نقلها للضوء والذي يشكل كل منها مركزا لحركة ارتجافية وافترض أنه يكون موجودا في تلك الأجزاء من الفضاء التي تعتبر ظاهريا خاوية هكذا إذن شكلت فرضية الإثير قلب وجوهر النموذج الموجي لهيجنز والركيزة الأساسية له فلقد افترض هيجنز مثل ديكارت ونيوتن وآخرين أن الفضاء برمته يعمه الإثير بوصفه وسطا مرنا رقيقاً جداً من أجل تفسير انتشار الضوء والذي يتكون من جسيمات متجاورة ذات أحجام متساوية ويعتبر كل جسيم منها مركزا لموجة كروية ومن ثم تنتقل موجات الضوء عن طريق تتابع حركات تلك الجسيمات الموجودة كصف في سلسلة والتي تحمل كل منها الموجاتالكروية في جميع الاتجاهات وبهذه الطريقة تنتقل وتنتشر موجات الضوء ولكن هذا الانتقال لا يتم بشكل منتظم ولكن على حد وصف هيجنز :"كطرقات percussions عند مراكز هذه الموجات والتي لا تمتلك أي تتابع منتظم إنه ليس من الضروري وأن نفترض أن الموجات نفسها تتبع كل واحدة منها الأخرى بمسافات متساوية."

ومن هنا يتبين لنا أن هيجنز أيضا كسلفه هوك لم يقل بدورية periodicity موجات الضوء بالأحرى فإن موجات هيجنز هي بمثابة نبضات منفصلة isolated pulses والتي تكون متولدة عن طريق اصطدام جسيمات الإثير بها والتي تتبع كل واحدة منها الأخرى بفترات غير منتظمة إن النتيجة المنطقية المترتبة على حقيقة أن انتشار موجات الضوء طبقا لهيجنز يكون بشكل تتابعي والتي تتبع كل واحدة منها الأخرى بفترات غير منتظمة هي أن الضوء لابد وأن يستغرق زمنا ما لكي ينتقل من مكان لآخر أيأن هناك سرعة محددة للضوء وذلك خلافا للتصور الديكارتي القائل بالانتشار الفوري instantaneously للضوء والآن إذا كان الضوء ينتقل على صورة موجات في الايثير طبقاً لهيجنز فما نوع الحركة التي تنتشر وتنتقل بها موجات الضوء ؟ نحن نعلم أن هناك نوعان من الحركة الموجية: حركة طولية Longitudinal motion وحركة مستعرضة Transverse motion فبينما تنتمي حركة موجات الصوت إلى النوع الأول فإن حركة موجات الماء تنتمي إلى النوع الأخير فبالنسبة لموجات الصوت فإن كل جسيم للوسط الحامل لها أي الهواء يتحرك ذهاباً وإياباً على طول الاتجاه الذي تنتشر فيه الموجات أي أن سعة الموجةamplitude تكون موازية لاتجاه انتشارها ولذلك سميت بحركة طولية فعلى سبيل المثال فان موجات الصوت الصادرة من جرس مثلا تصل إلى آذاننا بسبب أن كل جسيم للهواء يتحرك بالتناوب مقتربا ومبتعدا عن الجرس في اتجاه انتشار الموجة لكن الأمر مختلف بالنسبة لموجات الماء حيث أنه وإن كانت موجات الماء تنتشر على طول سطح الماء فإن الجسيمات المفردة للماء لا تنتشر بمثل تلك الطريقة إن حركة تلك الجسيمات تكون لأعلى وأسفل وبزاويا عمودية على السطح

وعمودية على اتجاه انتشار الموجة أي أن سعة الموجة تكون عمودية على اتجاه انتشارها ولذلك سميت بحركة موجية مستعرضة أما فيما يتعلق بموجات الضوء فبينما ذهب هوك Hooke، من قبل إلى أن موجات الضوء تكون متماثلة تماما مع موجات الماء ومن ثم فإنه نسب إليها حركة موجية مستعرضة فإن هيجنز قد رأى وعلى العكس من هوك أن موجات الضوء تكون أكثر شبه بموجات الهواء ومن ثم فإنه نسب إليها حركة موجية طولية ومن ثم فإن فكرة التذبذبات العمودية على اتجاه الانتشار ظلت غريبة على هيجنز والذي رأى أن جزيئات الإثير تتحرك باتجاه الشعاع.

النظرية الموجية لهيجنز قد نجحت في وصف وتفسير عدد من الخصائص المعروفة للضوء مثل الانعكاس والانكسار بشكل مقنع وان لم تؤد لإقناع الجميع بها في تفسيرها لانتشار الضوء في خطوط مستقيمة يتضح لنا مما سبق ملامح منهجية هيجنز فبخلاف نيوتن فإنه لم يكن ملتزماً على الإطلاق بالتعاليم البيكونية فلم يحاول هيجنز صنع قائمة كاملة عن خصائص الضوء عن طريق التجربة مثلما فعل نيوتن كما أنه لم يكن ليعتقد بأن قائمة كهذه تكون ضرورية من أجل أغراضه إن اهتمامه الوحيد كان إعطاء تفسير ميكانيكي واضح لخصائص قليلة عن الضوء والتي اعتقد أن فلاسفة طبيعيين آخرين قد أخفقوا في تفسير ما كان يحاول هيجنز تفسيره هو "وقائع الخبرة "ولكنه لم يكن ليدعي في أي موضع من بحثه أنه ينطلق من تلك الوقائع للبرهنة على النظرية التي قدمها بالأحرى فإن مناقشاته ترتكز على توضيح كيف أن هذه الوقائع تتفق مع مفاهيمه أكثر من تلك المفاهيم التي كانت مفترضة عن طريق الفلاسفة الطبيعيين الآخرين قبله ولذلك فإن نقطة بدايته كانت المشكلات التي تنبثق من النظريات السابقة أكثر من الوقائع ذاتها) على سبيل المثال : مشكلة الانتقال الفوري للضوء في النسق الديكارتي (وعن طريق فحص الصعوبات المتضمنة في الفروض الموجودة من قبله فإنه اقتيد إلى تعديل تلك الفروض أو اقتراح فروض جديدة ومن ثم فإنه يشرع في إيضاح كيف يمكن لفروضه أن تفسر التجارب إنه عادة ما يقدم فروضه بوصفها تفسيرات تخمينية Conjectural explanation للتجارب وبالاختصار فان منهج هيجنز التقليدي كان دائم الانطلاق من الفرض إلى التجربة وليس العكس وبكلمات أخرى فإنه يمكننا القول أن السمة العامة لمنهجية هيجنز تكمن في تبنيه لما عرف بوصفه المنهج الفرضي الاستنباطي -Hypothetico-deductive Method بخلاف المنهج الاستقرائي inductive-Method، المتبنى عن طريق نيوتن والذي يرتكز على الانطلاق من فروض توحي بها معطيات التجربة وملابسات الظواهر المدروسة لبناء نظرية عن طريق الاستنباط نظرية لا يمكن الأخذ بها كنظرية صحيحة إلا إذا أكدتها التجربة أي تاركا مسألة صحتهااو عدم صحتها للتجربة وللتجربة وحدها يبدو لنا أنه بحلول نهاية القرن السابع عشر قد بزغت

نظريتان متعارضتان في مجال البصريات حول طبيعة الضوء أي النظرية الجسيمية والنظرية الموجية حيث تبنت كل منهما نسقاً مفاهيمياً متعارضاً مع الآخر فلقد بدا الجسيم طبقاً للتصور النيوتيني لكي يكون ذي وجود محدد بإحداثيات محددة تماماً أي في موضع معين وفي لحظة معينة كما أن الجسيمات تصطدم وترتد بطاقة متبادلة يمكن حسابها بدقة مطلقة على الأقل من حيث المبدأ بينما بدت الموجة طبقاً للتصور الموجي لكي تكون منتشرة بشكل غير محدود في مكان ما من الوسط الموجي إنها تكون موجة في ذلك الوسط ومن ثم فإن انتشار الموجة ينقص بشكل جوهري من تحديد أية إحداثيات لها.

بالإضافة إلى ذلك فانه لا يوجد شيء في الحركة الموجية يتطابق مع تصادم الجسيمات وارتدادها على الإطلاق فكرات البلياردو وتموجات البركة هي كينونات مختلفة جوهرياً في النوع ومن ثم بدا أن كلاً من النظريتين تكونان مستبعدتين تبادلياً إن كلا منهما لا يمكن أن يكون صحيحًا في الوقت نفسه حيث أنه يكون من المستحيل تصور إمكانية وصف أي حدث عن طريق كل من هاتين الطريقتين للوصف في نفس الوقت إن هذه الاستحالة ليست استحالة تصورية فحسب ولكنها تتضمن أيضًا استحالة ملاحظية notationally impossibility تتعلق بإجراء عمليات حقيقية لإمكانية ملاحظة خصائص الموجة وخصائص الجسيم في نفس الوقت، كما أن اللغات الوحيدة المتاحة حينئذ لوصف ديناميكيات الموجة والجسيم تشكل تعارضا حقيقيا بيد أن الأمر لم يستمر كثيرا على هذا النحو من وجود نظريتين متنافستين تدعي كل منهما أهليتها في وصف وتفسير خصائص الضوء فعلى الرغم من النجاحات المؤزرة للنظرية الموجية في تفسير الكثير من الظواهر البصرية فإنها ما لبثت أن سحقت تماماً تحت وطأة ما أصبح شائعاً بوصفه التأويل الجسيمي النيوتيني للضوء لكي يدشن بوصفه التأويل التقليدي Orthodoxal interpretation، مثلما تم التنويه عنه من قبل ان النموذج الجسيمي عن الضوء قد بدأ بالأُول مع بداية القرن التاسع عشر عندما أثرى توماس يونج (1773– 1829) Thomas Young (وأوغسطين فرنل 1827 –1788) Augustine Fresnel الفرض الموجي بأفكار جديدة حيث اتضح من مساهماتهما أن جميع أنواع الظواهر البصرية المعروفة في ذلك الوقت يمكن تفسيرها بشكل ملائم عن طريق الأفكار الموجية.

التحول الحاسم صوب النظرية"الموجية"

لم يكد يمر عقد ونصف من الزمان على بحث يونج عن النظرية الموجية والذي تم تجاهله حتى تلقت النظرية الموجية تأييدا كبيرا عن طريق أوغسطين فرنل(1788– 1827 Augustine Fresnel)، والذي وضع في اعتباره أن النظرية التموجية تساعد بصورة أفضل على تفسير المسار المعقد للظاهرات الضوئية أي ظواهر الحيود وعندها يعود للظهور التماثل مع الصوت والاعتراض المعتاد القائل بأن الموجات تدور حول الحواجز فرنل قد توصل إلى نفس استنتاجات يونج السابقة في العام ١٨١٥ عندما قام بصياغة أفكار يونج بمهارة رياضية فائقة إنه كان قادراً وللمرة الأولى على القيام بوصف كمي في ضوء النظرية الموجية لعدد هائل من المعطيات التجريبية المتاحة والتي إزاءها فإن معظم المدافعين عن النظرية الجسيمية قد لاذوا بالصمت ومن ثم فإن النظرية الجسيمية قد نحيت جانباً حيث أخفقت في تقديم أي تفسيرات معقولة لظواهر الحيود والتداخل والتي أمكن تفسيرها فقط في ضوء التمثيلات الرياضية المقنعة لفرنل وعلى الرغم من ذلك فإن بعضا من الذيوتينين لم يقتنعوا بأن تصورات يونج والتمثيلات الرياضية لفرنل تعبر عن الحقيقة المطلقة ربما لأنهم وضعوا في اعتبارهم حقيقة أن النجاح المؤزر لإحدى النظريات لا يشكل في حد ذاته تفنيداً لنظرية منافسة فربما يمكن مستقبلاً إنقاذ النظرية الجسيمية عن طريق تعديل بعض من الفروض المساعدة أو وضع عدد من الفروض الغرضية لكنه وبصفة عامة أصبح من المقبول اعتبار الضوء بوصفه يتألف من تموجات حيث أنه من المستحيل أن يؤدي تيار من الجسيمات إلى حيود الآخر وإلغائه بالطريقة الملحوظة في تجربة ذات الشقين.

ان النظرية الموجية قد تلقت تأييداً ساحقاً آخرا عندما قام كل من فيزو Fizeau 1819– 1896)) في العام ١٨٤٩، وفوكو Foucault (1819– 1868) في العام ١٨٥٠، بقياس سرعة الضوء في الفراغ باعتبارها ظاهرة موجية صرفة لقد اكتشف فيزو أن سرعة الضوء في الفراغ تبلغ ٣١٥.٣٠٠ كيلو متر في الثانية بينما اكتشف فوكو أن سرعة الضوء تبلغ ٢٩٨.٦٠٠ كيلو متر في الثانية والتي تقترب من القيمة الصحيحة لسرعة الضوء المكتشفة عن طريق ميكلسون Michelson والتي تبلغ ٢٩٩.٧٧٠ كيلو

متر في الثانية تجربة "فوكو" لقياس سرعة الضوء ذات أهمية مطلقة حيث كان الغرض منها الفصل بين النظرية الجسيمية والنظرية الموجية عن طريق اختبار تفسيراتهما الخاصة بظاهرة الانكسار إن النظرية الجسيمية تتطلب وكنتيجة ضرورية لوجهة نظرها الديناميكية الأولية انتقال الضوء بشكل أسرع more rapidly في الأوساط الأكثر كثافة في حين أن مبدأ هيوجنز يتطلب أن العكس يكون صحيحا في تلك الحالة وعندما نجح فوكو في اختراع الأداة التي أمكنه عن طريقها المقارنة بين سرعات الضوء في الهواء وفي الماء فإنه اكتشف أن الضوء قد انتقل بشكل أسرع في الهواء أي في الوسط الأقل كثافة بينما انتقل بشكل أبطئ في الماء أي في الوسط الأكثر كثافة وعندما أعلن فوكو نتيجة تجربته فإنها كانت قد قبلت بصفة عامة بوصفها تفنيدا حاسما للتفسير الذيوتيني للانكسار واعتبرت تجربته بوصفها تجربة حاسمة Crucial Experiment ضد الرؤية الجسيمية ومؤيدة تماما للنظرية الموجية ومن ثم فقد أصيبت النظرية الجسيمية بالضربة القاضية أو على حد تعبير سير جيمس جينز: "بهذا الأزميل فإنه قد دق المسمار الأخير في تابوت النظرية الجسيمية للضوء" [في الحقيقة فإن وجهة نظر السير جيمس جينز تكون معارضة بوجهة نظر فيلسوف العلم المجري إيمري لاكاتوش (Imre Lakatos 1922- 1974) فيرى لاكاتوش أن وجود براهين مضادة ليست شرطا كافيا لاستبعاد نظرية محددة فبالرغم من ظهور مئات المتناقضات المعروفة فنحن لا نعتبر ها مكذبة حتى نحصل على أفضل منها ذلك لأن هذه المتناقضات يمكن أن تتحول إلى براهين معززة في أي وقت ولذلك فإنه ليس من الحكمة استخدام الحد "تجربة حاسمة" بتهور أكثر مما ينبغي حتى إنه عندما يكتسح برنامج بحث عن طريق سلفه فإنه لا يكتسح عن طريق تجربة حاسمة يبدو أن تاريخ العلم يؤيد وجهة نظر لاكاتوش إذ عادت النظرية الجسيمية عن الضوء والإشعاع للظهور مرة أخرى عن طريق بلانك، وأينشتين, وبور وقع تجربة فوكو على عقول فيزيائيي القرن التاسع عشر كان بعيد الأثر لأقصى مدى حيث أنهم كانوا قد تخلوا عن أي محاولات لتطوير الفرض الجسيمي وذلك لإدراكهم استحالة القيام بمحاولة تطوير النظرية الجسيمية عن الضوء بدون

القيام بتحريف الفيزياء النيوتينية ذاتها حيث أن النتيجة المفندة عن طريق تجربة فوكو هي نتيجة للقانون الثاني للحركة.