كون واحد أم أكوان متعددة ؟
(2)

العيش في الأكوان المتعددة

ستيفن واينبرغ

قسم الفيزياء، جامعة تكساس في أوستن

إعداد وترجمة: جواد بشارة

الكلمة الافتتاحية في ندوة "توقعات نظرية نهائية (Expectations of a Final Theory) "في كلية ترينيتي، كامبريدج، 2 سبتمبر 2005

2.1 مقدمة

عادةً ما نؤرخ للتقدم في تاريخ العلم بما نتعلمه عن الطبيعة، ولكن في لحظات حاسمة معينة، يكون الأمر الأهم هو ما نكتشفه عن العلم ذاته. وتؤدي هذه الاكتشافات إلى تغييرات في كيفية تقييمنا لعملنا، وفي ما نعتبره نظرية مقبولة. على سبيل المثال، لننظر إلى الوراء نحو اكتشاف تم قبل مائة عام بالضبط. فقبل عام 1905، كانت هناك محاولات عديدة –لم تكلل بالنجاح– لرصد تغيرات في سرعة الضوء ناتجة عن حركة الأرض عبر "الأثير". بذل كل من فيتزجيرالد ولورنتس وآخرون محاولات لبناء نموذج رياضياتي للإلكترون (الذي كان يُنظر إليه آنذاك على أنه المكون الرئيسي للمادة بأسرها) يفسر كيفية انكماش المساطر عند تحركها عبر "الأثير"؛ بحيث يضمن هذا الانكماش بقاء السرعة الظاهرية للضوء ثابتة دون تغيير. وفي المقابل، طرح أينشتاين مبدأً للتناظر ينص على أن جميع قوانين الطبيعة –وليس سرعة الضوء فحسب– تظل غير متأثرة عند الانتقال إلى إطار مرجعي يتحرك حركة منتظمة. وقد أبدى لورنتس تذمره، معتبراً أن أينشتاين يفترض ببساطة ما كان هو وآخرون يحاولون إثباته. غير أن التاريخ انحاز إلى جانب أينشتاين؛ إذ مثلت "النسبية الخاصة" –التي طُرحت عام 1905– بداية القبول العام لمبادئ التناظر كأساس صالح للنظريات الفيزيائية.

وهكذا أحدثت النسبية الخاصة تغييراً في طبيعة العلم ذاته. فمن منظور معين، لم تكن النسبية الخاصة أمراً جللاً؛ إذ اقتصر الأمر على استبدال مجموعة تناظر للزمكان ذات عشرة معاملات (وهي "مجموعة غاليليو")

بمجموعة أخرى ذات عشرة معاملات أيضاً (وهي "مجموعة لورنتس"). ولكن لم يسبق من قبل أن يُتخذ مبدأ التناظر فرضيةً معتبرةً يُبنى عليها صرح نظرية فيزيائية.

وكما يحدث عادةً في مثل هذه الثورات العلمية، اقترن التقدم الذي حققه أينشتاين بتراجع في اتجاه آخر؛ إذ تم التخلي نهائياً عن محاولة بناء نموذج كلاسيكي للإلكترون. وبدلاً من ذلك، أصبحت مبادئ التناظر تشكل – بشكل متزايد– الأساس المهيمن للنظريات الفيزيائية. وقد تسارع هذا التوجه بعد ظهور ميكانيكا الكم في عشرينيات القرن العشرين؛ لأن استمرار حضور مبادئ التناظر في نظريات الكم يفرض شروط اتساق صارمة للغاية (مثل وجود الجسيمات المضادة، والعلاقة بين اللف المغزلي– السبين– والإحصاء الكمومي، وإلغاء اللانهائيات والشذوذات الرياضياتية) على النظريات المقبولة فيزيائياً. ويمكن اعتبار "النموذج القياسي" الحالي لتفاعلات الجسيمات الأولية مجرد نتيجة لتناظرات مقياسية (gauge symmetries) معينة وما يرتبط بها من شروط اتساق في ميكانيكا الكم. لم ينطوِ تطوير "النموذج المعياري" على أي تغييرات في تصورنا لما يُعد مقبولاً كأساس للنظريات الفيزيائية؛ إذ يمكن اعتبار هذا النموذج، في الواقع، مجرد نسخة موسعة من "الديناميكا الكهربائية الكمية". وبالمثل، عندما أدت الجهود الرامية إلى توسيع نطاق النموذج المعياري ليشمل الجاذبية إلى اهتمام واسع بـ "نظرية الأوتار"، توقعنا تقييم نجاح هذه النظرية أو فشلها بالطريقة ذاتها التي قُيّم بها النموذج المعياري: فتُعد نظرية الأوتار ناجحة إذا أدت مبادئ التناظر وشروط الاتساق الخاصة بها إلى التنبؤ الناجح بالمعلمات الحرة للنموذج القياسي.

ربما نكون الآن عند نقطة تحول جديدة، أو أمام تغيير جذري فيما نعتبره أساساً مشروعاً لنظرية فيزيائية. وبالطبع، تتبع حالة الحماس الراهنة من اكتشاف عدد هائل من الحلول لنظرية الأوتار، وذلك بدءاً من عام 2000 مع أعمال بوسو (Bousso) وبولشينسكي (Polchinski) [1].1 إذ تحتوي الأبعاد الستة المدمجة (compactified) في نظريات الأوتار من النوع الثاني (Type II) عادةً على عدد كبير (عشرات أو مئات) من السمات الطوبولوجية) دورات ثلاثية الأبعاد أو "3("cycles–، ويمكن لكل منها أن تتخللها تشكيلات متنوعة من التدفقات .(fluxes) ويتناسب لوغاريتم عدد مجموعات القيم المسموح بها لهذه التدفقات طردياً مع عدد السمات الطوبولوجية. وعلاوة على ذلك، نحصل –لكل مجموعة من التدفقات– على نظرية مجال فعالة مختلفة تصف المعلمات النمطية (modular parameters) للمتعدد الشعب (manifold) ذي الأبعاد الستة المدمجة؛ وبالنسبة لكل نظرية مجال فعالة، فإن عدد القيم الدنيا المحلية (local minima) لجهد هذه المعلمات يتناسب أيضاً مع عدد السمات الطوبولوجية. وتناظر كل قيمة دنيا محلية حالة الفراغ لكون محتمل، سواء كان مستقراً أو شبه مستقر.

1كان سمولين [2] (Smolin) قد أشار في وقت سابق إلى أن نظرية الأوتار تمتلك عدداً كبيراً من حلول الفراغ(vacuum solutions) ، واستكشف نتيجة محتملة ومبتكرة لهذا التعدد. وقبل ذلك أيضاً، في ثمانينيات القرن العشرين، أشار كل من داف (Duff) ونيلسون (Nilsson) وبوب (Pope) إلى أن نظرية الجاذبية الفائقة في 11 بُعداً (D=11 supergravity) تمتلك عدداً لا نهائياً من احتمالات الدمج البُعدي(compactifications) ، ولكن لم يكن معروفاً آنذاك –بطبيعة الحال– أن هذه النظرية تمثل نسخة من نظرية الأوتار. للاطلاع على ملخص، انظر المرجع•[3]

وقد أثبتت الأعمال اللاحقة التي قام بها كل من جيدينجز (Giddings) وكاشرو (Kachru) وكالوش (Kallosh)ولييندي (Linde) ومالوني (Maloney) وبولشينسكي (Polchinski) وسيلفرستين (Silverstein) وسترومينجر (Strominger) وتريفيدي– (Trivedi) في تشكيلات تعاونية مختلفة [4–6]– وجود عدد كبير من حالات الفراغ ذات كثافات طاقة موجبة. قدّر كل من "أشوك" و"دوغلاس" [7] عدد حالات الفراغ (vacua) هذه بما يتراوح بين 10^{100} و10^{500}. وقد استعار منظرو الأوتار مصطلح "مشهد الأوتار string) " (landscapeلوصف هذا التعدد في الحلول من "ساسكيند" [8]، الذي اقتبس المصطلح بدوره من الكيمياء الحيوية؛ حيث تؤدي الخيارات المتاحة لتوجيه كل رابطة كيميائية في الجزيئات الكبيرة إلى عدد هائل من التشكيلات المحتملة. وما لم نتمكن من إيجاد سبب لاستبعاد معظم حالات الفراغ في نظرية الأوتار والإبقاء على قلة منها فقط، فقد نضطر إلى التسليم بأن الكثير مما كنا نأمل في حسابه ليس سوى "معاملات بيئية" —مثل المسافة بين الأرض والشمس— وهي قيم لن نتمكن أبداً من استنتاجها انطلاقاً من المبادئ الأولية. إنها مقايضة بين الخسارة والمكسب؛ فكلما زاد عدد القيم المحتملة للمعاملات الفيزيائية التي يوفرها "مشهد الأوتار"، زادت مشروعية اعتماد نظرية الأوتار على "الاستدلال الأنثروبي" (المتعلق بوجود الإنسان) كأساس جديد للنظريات الفيزيائية. إذ يتحتم على أي عالم يدرس الطبيعة أن يعيش في جزء من هذا المشهد حيث تتخذ المعاملات الفيزيائية قيماً ملائمة لنشوء الحياة وتطورها وصولاً إلى ظهور العلماء.

لقد كان ثمة مثال ناجح –على ما يبدو– على الاستدلال الأنثروبي متاحاً بالفعل قبل اكتشاف "مشهد الأوتار"؛ فعلى مدى عقود، بدا أن هناك أمراً غريباً يتعلق بقيمة كثافة طاقة الفراغ .(\rho_V) إذ تؤدي التقلبات الكمومية في الحقول المعروفة –عند مستويات طاقة مفهومة جيداً (أقل من 100 جيجا إلكترون فولت، مثلاً)– إلى قيمة لكثافة طاقة الفراغ (\rho_V) تفوق القيمة المسموح بها رصدياً بمقدار 10^{56} ضعفاً. ورغم أن هذه المساهمة في طاقة الفراغ قد تُلغى بفعل تقلبات كمومية ذات طاقة أعلى، أو ببساطة عن طريق إدراج حد مناسب يمثل "الثابت الكوني" في معادلات أينشتاين للمجال، إلا أن هذا الإلغاء يتطلب دقة متناهية تصل إلى ست وخمسين خانة عشرية. ولم يُعثر على أي حجة تستند إلى التناظر أو آلية تعديل يمكنها تفسير حدوث مثل هذا الإلغاء الدقيق. حتى لو أمكن العثور على تفسير كهذا، فلن يكون هناك سبب لافتراض أن صافي طاقة الفراغ المتبقية سيكون مكافئاً للقيمة الحالية لكثافة المادة؛ وبما أنها بالتأكيد ليست أكبر بكثير، فقد كان من الطبيعي افتراض أنها أقل بكثير أيضاً، أي صغيرة جداً لدرجة يتعذر معها رصدها.

ومن ناحية أخرى، إذا كانت قيمة ρV (كثافة طاقة الفراغ) تتخذ نطاقاً واسعاً من القيم في الأكوان المتعددة،

فمن الطبيعي أن يجد العلماء أنفسهم في كون فرعي تتخذ فيه ρV قيمة ملائمة لظهور العلماء. لقد أشرتُ في عام 1987 إلى أن هذه القيمة لـ ρV لا يمكن أن تكون كبيرة جداً وموجبة، لأنه في تلك الحالة لن تتشكل المجرات والنجوم [9]. وبشكل تقريبي، يتمثل هذا الحد في أن ρV يجب أن تكون أقل من كثافة كتلة الكون في الوقت الذي بدأت فيه المجرات بالتكثف لأول مرة. ونظراً لأن ذلك حدث في الماضي –حين كانت كثافة الكتلة أكبر مما هي عليه الآن– فإن الحد الأعلى "الأنثروبي" (المتعلق بوجود الإنسان) لكثافة طاقة الفراغ هو أكبر من كثافة الكتلة الحالية، ولكنه لا يفوقها بعدة مراتب من حيث الحجم (أي ليس أكبر منها بأضعاف هائلة).

لكن الحجج الأنثروبية لا تكتفي بتوفير حد لـ ρV فحسب، بل تعطينا أيضاً فكرة عن القيمة المتوقعة لها: إذ ينبغي ألا تختلف ρV كثيراً عن متوسط القيم الملائمة للحياة. وهذا ما يسميه فيلينكين [10] "مبدأ التوسط" (Principle of Mediocrity). وتكون قيمة هذا المتوسط موجبة؛ لأنه لو كانت ρV سالبة، لكان يجب أن تكون قيمتها المطلقة أقل من كثافة كتلة الكون طوال الفترة الزمنية التي تتطور (وإلا لانهار الكون قبل ظهور أي علماء فلك على الساحة[11])، في حين أنه إذا كانت قيمة ρV موجبة، فيكفي أن تكون أقل من كثافة كتلة الكون في الوقت الذي تتشكل فيه معظم المجرات، مما يتيح نطاقاً أوسع بكثير للقيم الموجبة الممكنة مقارنة بالقيم السالبة. في عامي 1997 و1998، أجريتُ –بالتعاون مع مارتل وشابيرو [12]– حسابات مفصلة لتوزيع احتمالية قيم ρV التي قد يرصدها علماء الفلك في أرجاء الأكوان المتعددة، وذلك بافتراض أن توزيع الاحتمالية المسبق (a priori) هو توزيع مسطح (منتظم) ضمن النطاق الضيق نسبياً والمسموح به وفقاً للمبدأ الأنثروبي (للاطلاع على حسابات سابقة، انظر المراجع [13] و[14]). في ذلك الوقت، لم تكن قيمة التذبذب النسبي للكثافة –المُعبّر عنها بالجذر التربيعي لمتوسط المربعات σ –(rms) معروفة بدقة؛ إذ كانت القيمة المستنتجة من رصد إشعاع الخلفية الكونية الميكروي تعتمد على الافتراضات المتعلقة بـ ρV. ولذلك، تعذر حساب متوسط القيمة المتوقعة لـρV ، ولكننا تمكنا –لأي قيمة مفترضة لـ ρV– من تقدير σ واستخدام النتيجة لحساب نسبة علماء الفلك الذين سيرصدون قيمة لـ ρV صغيرة بقدر القيمة المفترضة. وبهذه الطريقة، خلصنا إلى أنه إذا تبين أن) $\Omega\Lambda$ معامل الكثافة اللابُعدي المرتبط بـ (ρV أقل بكثير من 0.6، فإن التفكير الأنثروبي لن يستطيع تفسير سبب صغر هذه القيمة. وقد اعترض محرر مجلة "Astrophysical Journal" على نشر أوراق بحثية تتناول الحسابات الأنثروبية، مما اضطرنا لتسويق مقالنا من خلال الإشارة إلى أننا قدمنا حجة قوية للتخلي عن التفسير الأنثروبي لصغر قيمة ρV في حال تبين أنها صغيرة للغاية.

وبالطبع، تبيّن أن قيمة ρV ليست صغيرة للغاية؛ فبعد فترة وجيزة من هذا العمل، كشفت عمليات رصد المستعرات العظمى (السوبرنوفا) من النوع Ia أن التوسع الكوني يتسارع [15، 16]، وأظهرت النتائج أن قيمة

ΩΛتبلغ حوالي 0.7. بعبارة أخرى، تبلغ نسبة كثافة طاقة الفراغ إلى كثافة الكتلة الحالية ρM0 في كوننا الفرعي (وهي قيمة أستخدمها كمقياس ملائم للكثافة) حوالي 2.3؛ وهي نتيجة أكدتها لاحقاً عمليات رصد إشعاع الخلفية الميكروية.[17] لا تزال هذه النسبة منخفضة نوعاً ما. فقد سبق أن توصلتُ –بالاشتراك مع مارتل وشابيرو– إلى أن احتمال وجود كثافة طاقة فراغ منخفضة بهذا القدر يبلغ 12%. والآن، قمتُ بإعادة حساب توزيع الاحتمالات باستخدام بيانات مسبار "دبليو ماب (WMAP) "ودالة نقل (transfer function) أكثر دقة، وكانت النتيجة أن احتمال أن يرصد عالم فلك عشوائي قيمة منخفضة تصل إلى ρM02.3 قد ارتفع إلى 15.6%2. والآن بعد أن عرفنا قيمةσ ، يمكننا أيضاً حساب أن القيمة الوسيطة لكثافة طاقة الفراغ تبلغ ρM0.13.3

تجدر الإشارة إلى وجود تعقيد في هذه الحسابات؛ فمتوسط حاصل ضرب تقلبات الكثافة عند نقاط مختلفة يؤول إلى اللانهاية كلما اقتربت هذه النقاط من بعضها البعض، وبالتالي فإن القيمة الجذرية لمتوسط مربع (rms) التقلب النسبي للكثافة σ تكون في الواقع لانهائية. ولحسن الحظ، فإن ما نحتاجه فعلياً في هذه الحسابات ليس σبحد ذاتها، بل القيمة الجذرية لمتوسط مربع التقلب النسبي للكثافة محسوبةً عبر كرة ذات نصف قطر مصاحبR (comoving radius) ؛ بحيث يكون هذا النصف قطر كبيراً بما يكفي لتمكين تقلب الكثافة من الاحتفاظ بفعالية بالعناصر الثقيلة التي أنتجها الجيل الأول من النجوم. وقد حُسبت النتائج المذكورة أعلاه لقيمة R(عند إسقاطها على الزمن الحاضر) تساوي 2 ميغابارسيك .(Mpc) وتُعد هذه النتائج حساسة للغاية لقيمة R؛ فعندما تكون R مساوية لـ 1 ميغابارسيك، ينخفض احتمال العثور على طاقة فراغ منخفضة تصل إلى ρM0 2.3إلى 7.2% فقط. إن تقدير القيمة المطلوبة لـ R ينطوي على فيزياء فلكية معقدة، ويحتاج إلى مزيد من الفهم والدراسة.

2.2 مشكلات

أود الآن تناول أربع مشكلات يتعين علينا مواجهتها عند استنباط الدلالات الأنثروبية (المتعلقة بملائمة الكون للحياة) لـ "مشهد الأوتار.(string landscape) ". ما هو شكل مشهد الأوتار؟ لقد خطا كل من دوغلاس [18] وداين وزملاؤه [19، 20] الخطوات الأولى نحو إيجاد القواعد الإحصائية التي تحكم حالات الفراغ المختلفة في نظرية الأوتار. ولا يسعني تقديم تعليق مفيد بهذا الشأن، سوى القول بأنه لن يضر هذا العملَ لو كنا نعرف ماهية نظرية الأوتار أصلاً. وما هي الثوابت التي تخضع لعملية "المسح" (التغير)؟.

يُعد الاستدلال الأنثروبي (المتعلق بملائمة الكون للحياة) منطقياً بالنسبة لثابت معين إذا كان النطاق الذي يتغير فيه هذا الثابت ضمن "المشهد (landscape) "واسعاً مقارنةً بنطاق القيم المسموح به أنثروبياً؛ إذ يمكن حينئذ

افتراض أن توزيع الاحتمالية القَبلي (a priori) يكون مسطحاً (منتظماً) ضمن النطاق المسموح به أنثروبياً. نحن بحاجة إلى معرفة الثوابت التي "تتغير" (أو تخضع للمسح) فعلياً بهذا المعنى. يطمح الفيزيائيون إلى القدرة على حساب أكبر قدر ممكن من القيم، ولذا نأمل ألا يكون عدد الثوابت التي تخضع لهذا التغير كبيراً جداً.

2 لقد تحسن هذا الوضع منذ صدور نتائج العامين الثاني والثالث لمهمة .WMAP وبافتراض أن الفضاء مسطح، وُجد أن نسبة كثافة طاقة الفراغ إلى كثافة المادة تبلغ الآن حوالي 3.2 بدلاً من 2.3.

تتمثل الفرضية الأكثر تفاؤلاً في أن الثوابت الوحيدة التي تخضع لعملية التغير (المسح) هي تلك القليلة التي تكون أبعادها الفيزيائية عبارة عن أس موجب للكتلة: وهي طاقة الفراغ، وأي كتلة (أو كتل) قياسية (scalar mass) تحدد مقياس كسر التناظر الكهروضعيف. ومع ثبات جميع المعلمات الأخرى في النموذج القياسي، فإن مقياس كسر التناظر الكهروضعيف يكون محصوراً من الأعلى بقيمة تتراوح بين 1.4 و2.7 أي الضعف. تُحدد قيمة s في كوننا الفرعي بناءً على شرط أن تكون كتلة البيون صغيرة بما يكفي لجعل القوة النووية قوية بالقدر الكافي للحفاظ على استقرار الديوتيرون (نواة الديوتيريوم) ضد الانشطار [21]. (أما شرط استقرار الديوتيرون ضد اضمحلال بيتا –والذي يفرض قيداً أكثر صرامة– فلا يبدو لي ضرورياً؛ فحتى الديوتيرون غير المستقر تجاه اضمحلال بيتا سيعيش لفترة كافية للسماح بتخليق الهيليوم في الحقبة الكونية المبكرة، حيث سيُحرق الهيليوم ليتحول إلى عناصر ثقيلة في الجيل الأول من النجوم فائقة الكتلة، ومن ثم يمكن للأجيال اللاحقة أن تحظى بأعمار طويلة وهي تحرق الهيدروجين عبر دورة الكربون). ومع ذلك، فإن مجرد كون مقياس كسر التناظر الكهروضعيف أكبر ببضع مراتب قدرية فقط من مقياس الديناميكا اللونية الكمومية (QCD) لا ينبغي أن يقودنا بحد ذاته إلى استنتاج مفاده أن هذا المقياس يجب أن يكون محدداً وفقاً للمبدأ الأنثروبي (المبدأ الإنساني). إذ تظل هناك دائماً احتمالية أن يتحدد مقياس كسر التناظر الكهروضعيف بناءً على الطاقة التي يصبح عندها ثابت اقتران قياسي (gauge coupling constant) ما قوياً؛ فإذا تصادف أن ازداد هذا الاقتران –مع انخفاض الطاقة– بسرعة تفوق قليلاً سرعة ازدياد اقترانQCD ، فإن مقياس كسر التناظر الكهروضعيف سيكون –بشكل طبيعي– أكبر ببضع مراتب قدرية من مقياس.QCD إذا كان مقياس كسر التناظر الكهروضعيف محدداً وفقاً للمبدأ الأنثروبي، فيمكننا حينئذٍ التخلي عن البحث –المستمر منذ عقود– عن حل "طبيعي" لمشكلة التسلسل الهرمي .(hierarchy problem) ويُعد هذا احتمالاً جذاباً للغاية؛ نظراً لأن أياً من الحلول "الطبيعية" المقترحة –مثل نظرية "التكنوكولور (technicolor) "أو التناظر الفائق منخفض الطاقة– لم تكن خالية من الصعوبات. وعلى وجه الخصوص، فإن التخلي عن التناظر الفائق منخفض الطاقة قد يعيد بعضاً من أكثر السمات جاذبية في النموذج القياسي غير المتناظر، فائقاً، وهي: الانحفاظ التلقائي للعدد الباريوني والعدد الليبتوني في التفاعلات التي تصل أبعادها إلى 5 و4 على التوالي؛ والانحفاظ الطبيعي للنكهات (flavors)في التيارات المتعادلة؛ وصغر قيمة العزم ثنائي القطب الكهربائي للنيوترون. بل إن أركاني–حامد

وديموبولوس [22] وآخرين [23–25] قد أظهروا إمكانية الحفاظ على السمات الإيجابية للتناظر الفائق، مثل التقارب الأكثر دقة لثوابت الاقتران الخاصة بمجموعات التناظر SU(3) و SU(2)وU(1)نحو قيمة موحدة، ووجود مرشحات للمادة المظلمة، وتحديداً الجسيمات الضخمة ضعيفة التفاعل .(WIMPs) تتمثل فكرة "التناظر الفائق المنفصل (split supersymmetry) "في أنه على الرغم من انكسار التناظر الفائق عند طاقة عالية جداً، إلا أن جسيمات "الغوجينو (gauginos) "و"الهيغزينو (higgsinos) "تظل خفيفة الكتلة بفضل تناظر كيرالي .(chiral symmetry) (وهناك حاجة إلى تناظر منفصل إضافي لمنع خرق قانون حفظ عدد الليبتونات في عملية الاختلاط بين الهيغزينو والليبتون، ولضمان استقرار أخف الجسيمات تناظراً فائقاً). ومن المزايا الجيدة للتناظر الفائق المنفصل أنه –على عكس العديد من الأمور التي نناقشها في هذه الأيام–

يقدم تنبؤات يمكن التحقق منها في مصادم الهادرونات الكبير .(LHC) إذ يُتوقع وجود جسيم "هيغز" محايد واحد بكتلة تتراوح بين 120 و165 جيجا إلكترون فولت ، وهو ماتم اكتشافه بالفعل(GeV)، مع احتمال وجود جسيمات "وينو (winos) "و"بينو(binos) "، ولكن دون وجود جسيمات "سكوارك (squarks) "أو "سليبتون " (sleptons)، بالإضافة إلى وجود جسيم "غلوينو (gluino) "طويل العمر) .وبالمناسبة، استخدمت مجموعة بحثية في جامعة ستانفورد [26] مؤخراً اعتبارات تتعلق بالتخليق النووي في الانفجار العظيم للقول بأن جسيم الغلوينو الذي تبلغ كتلته 1 تيرا إلكترون فولت (TeV) يجب أن يكون له عمر افتراضي أقل من 100 ثانية، مما يشير إلى أن مقياس انكسار التناظر الفائق يقل عن $10^{\wedge}10$ جيجا إلكترون فولت. ولكنني أتساءل عما إذا كان الكون –حتى لو كان للغلوينو عمر أطول وتحلل بعد مرحلة التخليق النووي– قد يتعرض لإعادة تسخين تتجاوز درجة حرارة تفكك الهيليوم، مما يمنح عملية التخليق النووي في الانفجار العظيم فرصة ثانية لإنتاج وفرة الهيليوم المرصودة. ماذا عن ثوابت اقتران "يوكاوا (Yukawa couplings) "عديمة الأبعاد في النموذج المعياري؟ إذا كانت هذه الثوابت مقيدة بشدة وفقاً للاعتبارات الأنثروبية (المتعلقة بوجود الإنسان)، فقد يكون من المنطقي افتراض أنها تأخذ نطاقاً واسعاً من القيم في الأكوان المتعددة، بحيث تتاح للاعتبارات الأنثروبية فرصة التأثير على القيم التي نرصدها. وقد قام هوغان [27، 28] بتحليل القيود الأنثروبية على هذه الثوابت، مع تثبيت مقياس انكسار التناظر الكهروضعيف ومجموع ثوابتي يوكاوا للكواركين العلوي (u) والسفلي(d) ، وذلك لتجنب التعقيدات الناجمة عن اعتماد القوى النووية على كتلة جسيم "البيون .(pion) "وهو يفرض الشروط التالية $md - mu - me > 1.2$ (1) :ميجا إلكترون فولت(MeV) ، وذلك لضمان ألا يتحول الكون المبكر بأكمله إلى نيوترونات؛ $md - mu + me < 3.4$ MeV (2) ، بحيث يكون تفاعل البروتون–بروتون (pp) طارداً للطاقة؛ و $me > 0.$ (3) ومن خلال هذه الشروط الثلاثة المتعلقة بالمعاملات mu و mdوme، يجد الباحث بطبيعة الحال أن هذه المعاملات محصورة في نطاق محدود، يتبين أنه صغير للغاية. وللوهلة الأولى، يعطي هذا انطباعاً بأن ثوابت اقتران "يوكاوا (Yukawa couplings) "الخاصة بالكواركات واللبتونات تخضع

لقيود أنثروبية (بشرية المنشأ/متعلقة بوجود الحياة) صارمة، مما قد يدفعنا لاستنتاج أن هذه الثوابت تخضع لعملية "مسح" أو تباين محتمل.

لدي تحفظان على هذا الاستنتاج. أولهما أن تفاعل البروتون–بروتون (pp) ليس ضرورياً لنشوء الحياة؛ إذ يمكن لتفاعل (pep) —أي $p + p + e^- \rightarrow d + \nu$— أن يُبقي النجوم في حالة احتراق للهيدروجين لفترة طويلة. وفي هذه الحالة، لا نحتاج إلى الشرط $md - mu + me < 3.4\ MeV$، بل يكفي الشرط الأقل صرامة: $md - mu - me < 3.4\ MeV$. وبالتالي، لا تفرض الشروط الثلاثة قيوداً على كل من md وmu وme بشكل منفصل لحصرها في نطاق محدود، بل تكتفي بقصر قيمة المقدار (md – mu – me) على النطاق الواقع بين 1.2 MeV و3.4 MeV، وهو ليس قيداً أنثروبياً صارماً للغاية. (في الواقع، هويشير إلى أن [الحالة 4] ستكون مستقرة طالما أن المقدار (md – mu – me) أقل من حوالي 13 ميغا إلكترون فولت(MeV) ، مما يسمح ببدء عملية التخليق النووي النجمي عبر حرق الهيليوم في النجوم الضخمة من "الجيل الثالث " (Population III)، تليها مرحلة حرق الهيدروجين في الأجيال اللاحقة من النجوم. أما تحفظي الثاني فيتعلق بأن القيود الأنثروبية (المتعلقة بملائمة الكون للحياة) المفروضة على ثوابت اقتران "يوكاوا Yukawa) " couplings)تصبح أقل صرامة إذا افترضنا –كما نوقش أعلاه– أن مقياس كسر التناظر الكهروضعيف ليس ثابتاً، بل حر في اتخاذ أي قيمة تقتضيها الضرورة الأنثروبية. على سبيل المثال، وفقاً لنتائج المرجع [21]، يمكن جعل طاقة ربط الديوتيرون (deuteron) تصل إلى حوالي 3.5 ميغا إلكترون فولت من خلال جعل مقياس كسر التناظر الكهروضعيف أقل بكثير مما هو عليه في كوننا؛ وفي هذه الحالة، يصبح حتى شرط أن يكون تفاعل البروتون–بروتون (pp) طارداً للحرارة شرطاً أقل تقييداً بكثير. وبالمناسبة، أنا لا أولي أهمية كبيرة لتلك "المصادفة" الشهيرة التي أكد عليها "هويل(Hoyle) "، والمتعلقة بوجود حالة مثارة لنظير الكربون–12 (C12)تمتلك بالضبط الطاقة المناسبة للسماح بإنتاج الكربون عبر تفاعلات جسيمات ألفا (α) ونواة البريليوم–8 (Be8) داخل النجوم. نحن نعلم أن الأنوية ذات العدد الزوجي من البروتونات والنيوترونات even–even) nuclei)تمتلك حالات يمكن وصفها بدقة على أنها مركبات من جسيمات ألفا. ومن أمثلة هذه الحالات الحالة الأرضية لنواة البريليوم–8(Be8) ، وهي حالة غير مستقرة وتتفكك إلى جسيمتي ألفا. ومن المتوقع طبيعياً أن يؤدي جهد التفاعل بين جسيمتي ألفا– (α–α potential) الذي ينتج تلك الحالة غير المستقرة في –Be8 إلى إنتاج حالة غير مستقرة في الكربون–12 (C12) تتكون أساساً من ثلاث جسيمات ألفا، وبالتالي تظهر كحالة رنين منخفضة الطاقة في تفاعلات .α–Be8 لذا، لا يبدو لي أن وجود هذه الحالة يقدم أي دليل على وجود "ضبط دقيق (fine–tuning) "للكون.

ما هي المتغيرات الأخرى التي قد تخضع لعملية "المسح" (أي التغير عبر نطاق من القيم المحتملة)؟ لقد طرح كل من "تيغمارك" و"ريس [29] (Tegmark and Rees) "تساؤلاً حول ما إذا كان متوسط الجذر التربيعي لتقلبات الكثافة (σ) قد يخضع هو نفسه لعملية المسح هذه. وإذا كان الأمر كذلك، فإن القيد الأنثروبي المفروض على طاقة الفراغ (vacuum energy) سيصبح أضعف، مما يعيد طرح مشكلة صغر قيمة طاقة الفراغ (ρV) إلى الواجهة من جديد إلى حد ما. غير أن غاريغا وفيلينكين [30] أشارا إلى أن المقدار الذي يخضع فعلياً لقيود أنثروبية (بشرية المبدأ) هو النسبة$\rho V/\sigma^3$ ؛ وبالتالي، حتى لو تغيرت قيمة σ (أي خضعت لتنوع في القيم الممكنة)، فإن التنبؤ الأنثروبي المتعلق بهذه النسبة يظل متيناً وصحيحاً.

وقد قدم كل من أركاني–حامد وديموبولوس وكاشرو [31] –المشار إليهم اختصاراً بـ –ADK سبباً محتملاً لافتراض أن معظم الثوابت لا تخضع لهذا التغير (أي لا تأخذ قيماً متنوعة). فإذا كان لدينا عدد كبير N من الحقول النمطية (modular fields) غير المترابطة، بحيث يأخذ كل منها عدداً قليلاً من القيم الممكنة، فإن التوزيع الاحتمالي للكميات التي تعتمد على جميع هذه الحقول سيكون حاد الذروة (متركزاً بشدة)، مع عرض يتناسب طردياً مع $1/\sqrt{N}$. ووفقاً لما ذكره ديستلر وفاراداراجان [32]، ليس من الضروري هنا وضع افتراضات تعسفية بشأن فك الارتباط بين الحقول القياسية (scalar fields) المختلفة؛ إذ يكفي اعتماد "الجهد الفائق متعدد الحدود (polynomial superpotential) "الأكثر عمومية واستقراراً، بمعنى أن التصحيحات الإشعاعية لا تغير قيم الاقتران الفعالة –عندما تكون N كبيرة– بمقادير تفوق قيم الاقتران نفسها. ويُركّز ديستلر وفاراداراجان على الجهود الفائقة من الدرجة الثالثة (التكعيبية)، نظراً لأن الجهود الفائقة متعددة الحدود التي تزيد درجتها عن الثالثة لا تحمل –على الأرجح– أي معنى فيزيائي. ومع ذلك، ليس من الواضح ما إذا كانت حتى الجهود الفائقة التكعيبية تشكل تقريبات مقبولة، أو ما إذا كانت الذروات ستظهر عند قيم معقولة في توزيع ثوابت الاقتران اللابعدية (أي الخالية من الوحدات) بدلاً من ظهورها عند تركيبات معينة من هذه الثوابت[3]. كما أنه ليس من الواضح ما إذا كان تعدد حالات الفراغ (vacua) في هذا النوع من نظريات الحقل القياسي الفعال قادراً على تمثيل تعدد قيم التدفق (flux values) في نظريات الأوتار [33] بشكل صحيح؛ ولكن حتى وإن تعذر ذلك، فمن المفترض أن هذا النموذج قادر على تمثيل تنوع القيم الدنيا (minima) للجهد بالنسبة لمجموعة محددة من حالات فراغ التدفق.

3 م. دوغلاس، مراسلة شخصية.

إذا كانت معظم الثوابت لا تخضع فعلياً لتغير في القيم، فلماذا إذن تنجح الحجج الأنثروبية في تفسير طاقة الفراغ ومقياس كسر التناظر الكهروضعيف؟ يشير كل من ADK إلى أنه حتى لو كان لثابت ما توزيع ضيق نسبياً، فإن الحجج الأنثروبية (المتعلقة بملائمة الكون للحياة) تظل سارية إذا كان النطاق المسموح به أنثروبياً

أضيق من ذلك، ويقع بالقرب من نقطة يتسم التوزيع بالتناظر حولها. (يفترض ADK أن هذه النقطة تقع عند الصفر، لكن هذا ليس ضرورياً). وينطبق هذا الأمر، على سبيل المثال، على طاقة الفراغ إذا كان الجهد الفائق (superpotential) الكلي W عبارة عن مجموع جهود فائقة Wn لعدد كبير من الحقول القياسية (scalar fields) غير المترابطة، حيث يخضع كل منها لكسر منفصل في تناظر R، مما يجعل القيم الممكنة لكل Wn متساوية ومتعاكسة. وحينئذٍ، سيكون التوزيع الاحتمالي للجهد الفائق الكلي W = Σ Wn توزيعاً غاوسياً (طبيعياً)، وسيمتد توزيع طاقة الفراغ الفائقة التناظر (πG W²8) عبر نطاق ضيق مماثل من القيم السالبة، مع قيمة عظمى عند الصفر. وعند أخذ كسر التناظر الفائق في الاعتبار، يتسع التوزيع الاحتمالي ليشمل قيماً موجبة لطاقة الفراغ، ممتداً حتى قيمة موجبة تعتمد على مقياس كسر التناظر الفائق. وبالنسبة لأي مقياس معقول لكسر التناظر الفائق، فإن هذا التوزيع الاحتمالي – ورغم ضيقه مقارنة بمقياس بلانك – سيكون واسعاً جداً مقارنة بالنطاق الضيق للغاية المسموح به أنثروبياً حول ρV = 0؛ ولذا يمكن توقع أن يكون التوزيع الاحتمالي مسطحاً (ثابتاً) ضمن هذا النطاق ينبغي أن تكون الحجج الأنثروبية (المتعلقة بالمبدأ الأنثروبي) فعالة. وتنطبق ملاحظات مماثلة على حد "ميو (μ–term) "في النموذج القياسي فائق التناظر، الذي يحدد مقياس كسر التناظر الكهروضعيف.

كيف ينبغي لنا حساب الاحتمالات المشروطة أنثروبياً؟

نتوقع أن يتناسب التوزيع الاحتمالي المشروط أنثروبياً لقيمة معينة لأي ثابت قابل للتغير (أو "المسح") مع عدد الحضارات العلمية التي ترصد تلك القيمة. وفي الحسابات الموصوفة أعلاه، افترضتُ أنا ومارتل وشابيرو أن هذا العدد يتناسب مع نسبة الباريونات الموجودة داخل المجرات، ولكن ماذا لو كان العدد الإجمالي للباريونات نفسها قابلاً للتغير؟ وماذا لو كان هذا العدد لانهائياً؟ كيف يتم ملء "المشهد(landscape) "؟ هناك أربع طرق على الأقل يمكننا من خلالها تصور الوجود الفعلي لـ "الأكوان" المختلفة التي يصفها مشهد نظرية الأوتار:

(i)قد تكون الأكوان الفرعية المختلفة مجرد مناطق متباينة في الفضاء. وتتحقق هذه الصورة بأبسط أشكالها في نظرية التضخم الفوضوي [34–38]. إذ يمكن للحقول القياسية (scalar fields) في مناطق التضخم المختلفة أن تتخذ قيماً متفاوتة، مما يؤدي إلى قيم مختلفة لثوابت الاقتران الفعالة المتنوعة. وفي الواقع، تكهن ليندي (Linde) بإمكانية تطبيق المبدأ الأنثروبي على علم الكونيات بُعيد طرح نظرية التضخم الفوضوي39] ، .40

(ii)قد تكون الأكوان الفرعية عبارة عن حقب زمنية مختلفة ضمن انفجار عظيم واحد. فعلى سبيل المثال، قد تعتمد ما يبدو أنها ثوابت للطبيعة في الواقع على حقول قياسية تتغير ببطء شديد مع توسع الكون.[41]

(iii)قد تكون الأكوان الفرعية مناطق مختلفة في الزمكان. ويمكن أن يحدث هذا إذا تغيرت الحقول القياسية المتنوعة –التي تعتمد عليها "ثوابت" الطبيعة– عبر سلسلة من تحولات الطور من الرتبة الأولى [42–44]، بدلاً من التغير السلس مع مرور الزمن. ففي هذه التحولات، تتشكل فقاعات شبه مستقرة داخل منطقة ذات طاقة فراغ أعلى؛ ثم تتشكل داخل كل فقاعة فقاعات أخرى ذات طاقة فراغ أقل؛ وهكذا دواليك. في السنوات الأخيرة، أُعيد إحياء هذه الفكرة في سياق "مشهد الأوتار (string landscape) "، 46 .[وعلى وجه الخصوص، طُرح اقتراح [47] مفاده أن انحناء كوننا في هذا السيناريو يكون صغيراً لأسباب أنثروبية (تتعلق بوجود الإنسان)، وبالتالي فمن المحتمل أن يكون كبيراً بما يكفي لرصده.

(iv)يمكن أن تكون الأكوان الفرعية أجزاءً مختلفة من فضاء هيلبرت الميكانيكي الكمومي. وفي إعادة تفسير لأعمال هوكينغ السابقة حول الدالة الموجية للكون [48، 49]، أظهر كولمان [51] أن بعض السمات الطوبولوجية –المعروفة باسم الثقوب الدودية– في تكامل المسار (path integral) للدالة الموجية الإقليدية للكون، ستؤدي إلى تراكب للدوال الموجية؛ حيث يمكن لأي ثابت اقتران غير مقيد بمبادئ التناظر أن يأخذ أي قيمة ممكنة. وقد ناقش كل من أوغوري وفافا وفيرلينده [57] وجود دالة موجية محددة للكون، لكنني لا أدرك كيف يمكن لأحد أن يحدد ما إذا كانت هذه الدالة –أو أي دالة موجية أخرى مقترحة– هي بالفعل الدالة الموجية للكون.

إن هذه البدائل ليست متنافية بأي حال من الأحوال. وعلى وجه الخصوص، يبدو لي أنه –مهما كانت الاستنتاجات التي قد نصل إليها بشأن البدائل الثلاثة الأولى– تظل هناك احتمالية أن تكون الدالة الموجية للكون عبارة عن تراكب لحدود مختلفة تمثل طرقاً متنوعة لملء "المشهد (landscape) "في المكان و/أو الزمان.

4 تستند بعض هذه الأعمال إلى شرط أولي لنشأة الكون اقترحه كل من هارتل وهوكينغ.[50]

5 لقد جادل هوكينغ وآخرون بأن الدالة الموجية للكون تبلغ ذروة حادة عند قيم للثوابت تؤدي إلى طاقة فراغ صفرية في الأزمنة المتأخرة [52–55]. وقد تم الطعن في وجهة النظر هذه في المرجع [56]. وأنا أفترض هنا عدم وجود مثل هذه الذرى.

2.3 الخلاصة

في الختام، أود التعليق على تأثير التفكير الأنثروبي (المتعلق بوجود الإنسان) داخل مجتمع الفيزياء وخارجه؛ إذ أبدى بعض الفيزيائيين استياءً شديداً من الحجج الأنثروبية. (لقد سمعت ديفيد غروس يقول: "أنا أكره ذلك"). وهذا أمر مفهوم؛ فمن المؤكد أن النظريات القائمة على الحسابات الأنثروبية (المتعلقة بالمبدأ الإنساني) تمثل

تراجعاً عما كنا نأمله: أي حساب جميع الثوابت الأساسية انطلاقاً من المبادئ الأولية. ورغم أنه من السابق لأوانه التخلي عن هذا الأمل، فقد نضطر –حتى وإن لم يرق لنا الأمر– إلى التسليم بهذا التراجع، تماماً كما اضطر نيوتن إلى التخلي عن أمل كبلر في حساب الأحجام النسبية لمدارات الكواكب انطلاقاً من المبادئ الأولية.

وهناك أيضاً سبب أقل وجاهة لمعارضة فكرة "الأكوان المتعددة"، وهو يستند إلى حقيقة أننا لن نتمكن أبداً من رصد أي أكوان فرعية أخرى غير كوننا الخاص. وقد قدم كل من ليفيو وريس [58] وتيغمارك [59] مناقشات وافية حول عناصر أخرى متنوعة في نظريات مقبولة علمياً –عناصر لا يمكننا رصدها أبداً– دون أن يدفعنا ذلك إلى رفض تلك النظريات. فمعيار صحة النظرية الفيزيائية لا يكمن في أن يكون كل شيء فيها قابلاً للرصد وأن تكون كل تنبؤاتها قابلة للاختبار، بل في أن يكون القدر المرصود منها –والقدر القابل للاختبار من تنبؤاتها– كافياً لمنحنا الثقة بصحة النظرية.

وأخيراً، لقد سمعت اعتراضاً مفاده أنه عند محاولة تفسير سبب ملاءمة قوانين الطبيعة تماماً لظهور الحياة وتطورها، تكتسب الحجج الأنثروبية (المتصلة بمبدأ الملاءمة للإنسان) طابعاً دينياً. لكنني أعتقد أن العكس هو الصحيح تماماً؛ فمثلما أوضح داروين ووالاس كيف يمكن للتكيفات المذهلة في الكائنات الحية أن تنشأ دون تدخل خارق للطبيعة، كذلك قد يفسر "مشهد الأوتار (string landscape) "كيف يمكن لثوابت الطبيعة التي نرصدها أن تتخذ قيماً ملائمة للحياة دون الحاجة إلى ضبط دقيق من قِبَل خالقٍ مُحِب. وقد وجدتُ فهماً جيداً لهذا التوازي في مكان غير متوقع: مقال في صحيفة "نيويورك تايمز" بقلم كريستوف شونبورن، الكاردينال ورئيس أساقفة فيينا [60]. ويخلص مقاله إلى ما يلي:

"الآن، وفي مطلع القرن الحادي والعشرين، وأمام مزاعم علمية مثل الداروينية الجديدة وفرضية الأكوان المتعددة في علم الكونيات –التي ابتُكرت لتجنب الأدلة الدامغة على وجود غاية وتصميم في العلم الحديث– ستدافع الكنيسة الكاثوليكية مجدداً عن الطبيعة البشرية عبر التأكيد على أن التصميم الكامن في الطبيعة هو حقيقة واقعة. إن النظريات العلمية التي تحاول تفسير ظهور التصميم باعتباره نتاجاً لـ 'الصدفة والضرورة' ليست علمية على الإطلاق، بل هي –على حد تعبير يوحنا بولس– تخلٍّ عن الذكاء البشري."

من الجيد أن نرى أبحاث علم الكونيات تحظى ببعض الاهتمام الذي يُولى هذه الأيام لنظرية التطور، ولكن بالطبع، ليست مثل هذه الأحكام المسبقة الدينية هي التي يمكنها حسم أي قضايا علمية.

يجب الإقرار بوجود فرق كبير في درجة الثقة التي يمكننا منحها لكل من الداروينية الجديدة ونظرية الأكوان المتعددة. فمن الأمور الراسخة –بقدر ما يمكن لأي حقيقة علمية أن تكون راسخة– أن تكيفات الكائنات الحية على الأرض قد نشأت بفعل الانتقاء الطبيعي الذي يعمل على تباينات وراثية عشوائية وغير موجهة. أما فيما يتعلق بالأكوان المتعددة، فمن المناسب الإبقاء على عقل منفتح، إذ تتفاوت آراء العلماء حولها بشكل كبير. أثناء تواجدي في مطار أوستن في طريقي لحضور هذا الاجتماع، لفت انتباهي عدد شهر أكتوبر من مجلة تُدعى "علم الفلك(Astronomy) "، وقد حمل غلافها عنواناً رئيسياً يقول: "لماذا تعيش في أكوان متعددة؟". وعند تصفح المجلة، عثرت على تقرير حول مناقشة جرت في مؤتمر بجامعة ستانفورد؛ حيث صرح مارتن ريس بأنه يثق في نظرية الأكوان المتعددة لدرجة تجعله يراهن بحياة كلبه عليها، بينما قال أندريه ليندي إنه سيراهن بحياته هو شخصياً. أما أنا، فثقتي في نظرية الأكوان المتعددة تبلغ قدراً يكفي فقط للمراهنة بحياة كلٍ من أندريه ليندي وكلب مارتن ريس.

شكر وتقدير

تستند هذه المادة إلى عمل حظي بدعم من "المؤسسة الوطنية للعلوم (National Science Foundation) " بموجب المنحتين رقم PHY–0071512 وPHY–0455649، وبدعم من "مؤسسة روبرت أ. ويلش (The Robert A. Welch Foundation)" بموجب المنحة رقمF–0014 ، وكذلك بدعم منحة من البحرية الأمريكية – "مكتب البحوث البحرية (Office of Naval Research) "بموجب المنحتين رقم–1–03–N00014 0639و) 0336–1–04–N00014مبادرة البصريات الكمومية.(

المراجع

[1] R. Bousso and J. Polchinski. JHEP, 0006 (2000), 006.

[2] L. Smolin. Life of the Cosmos (New York: Oxford University Press, 1997).

[3] M. J. Duff, B. E. W. Nilsson and C. N. Pope. Phys. Rep. 130 (1986), 1.

[4] S. B. Giddings, S. Kachru and J. Polchinski. Phys. Rev. D 66 (2002), 106006.

[5] A. Strominger, A. Maloney and E. Silverstein. In The Future of Theoretical Physics and Cosmology, eds. جي. دبليو. غيبونز، وإي. بي. إس. شيلارد، وإس. جيه. رانكين (كامبريدج: مطبعة جامعة كامبريدج، 2003)، ص 570–591.

[6]إس. كاتشرو، وآر. كالوش، وإيه. دي. ليندي، وإس. بي. تريفيدي. مجلة*Phys. Rev. D* ، المجلد 68 (2003)، 046005.

[7]إس. كيه. أشوك، وإم. دوغلاس. مجلة*JHEP* ، العدد 0401 (2004)، 060.

[8]إل. سسكيند. هذا المجلد.[hep-th/0302219] (2007)

[9]إس. واينبرغ. مجلة*.Phys. Rev. Lett* ، المجلد 59 (1987)، 2607.

[10]إيه. فيلينكين. مجلة*.Phys. Rev. Lett* ، المجلد 74 (1995)، 846.

[11]جي. دي. بارو، وإف. جيه. تيبلر. *المبدأ الكوني الأنثروبي* (أكسفورد: كلارندون، 1986).

[12]إتش. مارتيل، وبي. شابيرو، وإس. واينبرغ. مجلة*.Astrophys. J* ، المجلد 492 (1998)، 29.

[13]جي. إفستاثيو. مجلة*.Mon. Not. Roy. Astron. Soc* ، المجلد 274(1995) ، L73.

[14]إس. واينبرغ. في كتاب *حوارات نقدية في علم الكونيات(Critical Dialogues in Cosmology) *، تحرير إن. توروك) سنغافورةWorld Scientific :، 1997.(

[15]إيه. جي. ريس، وإيه. في. فيليينكو، وبي. تشاليس وآخرون. مجلة *.Astron* ج.116 (1998)، 1009.

[16]س. بيرلماتر، ج. ألدرينغ، ج. جولدهابر وآخرون. الفلك. ج.517

(1999)، 565.

[17]دي إن سبيرجيل، إل فيردي، إتش في بيريس وآخرون. الفلك .J .ملحق. 148، (2003)، 175.

[18]إم آر دوجلاس. كومبت. مزق. فيز. 5 (2004)، 965.[hep-ph/0401004]

[19]م. داين، د. أونيل، زد. صن. جيهيب، 0507 (2005)، 014.

[20]م. داين و ز. صن(2006) JHEP 0601 .، 129.[hep-th/0506246]

[21]في. أغراوال، إس. إم. بار، جي. إف. دونوغو، ود. سيكل. فيز. القس د 57

(1998)، 5480.

[22]ن. أركاني حامد وس. ديموبولوس. جيهيب، 0506 (2005)، 073.

[23]جي إف جوديس وأ. رومانينو. نوكل. فيز. ب 699 (2004)، 65.

[24]ن. أركاني حامد، س. ديموبولوس، ج. ف. جوديس وأ. رومانينو. نوكل. فيز. ب 709 (2005)، 3.

[25]أ. ديلجادو وجي. إف. جوديس. فيز. بادئة رسالة. ب 627 (2005)، 155.[hep-ph/0506217]

[26] A. Arvanitaki، C. Davis، P. W. Graham، A. Pierce and J. G Wacker. فيز. القس د 72 (2005)، [hep-ph/0504210].075011

[27] سي. هوجان. القس وزارة الدفاع. فيز. 72، 1149 (20 ٠٠).

[28] سي. هوجان. هذا المجلد (2007).[astro-ph/0407086]

[29] إم. تيغمارك وإم. جيه. ريس .Astrophys. J. 499 (1998)، 245.526

[31] إن. أركاني حامد، إس. ديموبولوس وإس. كاتشرو.[hep-th/0501082]

[32] جيه. ديستلر ويو. فاراداراجان.[hep-th/0507090]

[33] تي. بانكس

[34] .[hep-th/0011255]أ. د. ليندي. رسائل الفيزياء 129 ب (1983)، 177.

[35]أ. فيلينكين. المراجعة الفيزيائية د 27 (1983)، 2848.

[36]أ. د. ليندي. رسائل الفيزياء ب 175 (1986)، 305.

[37]أ. د. ليندي. الكتابة الفيزيائية ت 15 (1987)، 100.

[38]أ. د. ليندي. رسائل الفيزياء ب 202 (1988)، 194.

[39]أ. د. ليندي. في كتاب الكون المبكر جدًا، تحرير ج. و. جيبونز، س. و. هوكينغ، وس. سيكلوس (كامبريدج: مطبعة جامعة كامبريدج، 1983).

[40]أ. د. ليندي .Rep. Prog. Phys. 47 (1984)، 925.

[41] تي. بانكس. الفيزياء النووية ب 249 (1985)، 332.

[42] إل. أبوت. رسائل الفيزياء ب 150 (1985)، 427.

[43] جيه. دي. براون وسي. تيتلبوم. رسائل الفيزياء ب 195 (1987)، 177.

[44] جيه. دي. براون وسي. تيتلبوم. الفيزياء النووية ب 297 (1987)، 787.

[45] جيه. إل. فينغ، جيه. مارش-راسل، إس. سيثي وإف. ويلكزك. الفيزياء النووية ب 602

(2001)، 307.

[46] إتش. فيروزجاهي، إس. سارانجي وإس.-إتشTye. JHEP .، 0409(2004) ، 060.

[47]ب. فريفوجل، م. كليبان، م. ر. مارتينيز، و ل. سوسكيند(2006) JHEP 3 .، 39.[hep-th/0505232]

[48]س. و. هوكينج(1984) Nucl. Phys. B 239 .، 257.

[49]س. و. هوكينغ. النسبية، والمجموعات، والطوبولوجياII ، معهد الدراسات المتقدمة التابع لحلف الناتو، الدورة الأربعون، ليه هوش، 1983، تحرير ب. س. ديويت و ر. ستورا (أمستردام: إلسيفير، 1984)، ص 336.

[50]ج. هارتل و س. و. هوكينج.2960 ,(1983) 28 Phys. Rev. D .

[51] S. Coleman. Nucl. Phys. B 307 (1988), 867.

[52] S. W. Hawking. In Shelter Island II – Proceedings of the 1983 Shelter Island Conference on Quantum Field Theory and the Fundamental Problems of Physics, eds. R. Jackiw et al. (Cambridge: MIT Press, 1985).

[53] S. W. Hawking. Phys. Lett. B 134 (1984), 403.

[54] E. Baum. Phys. Lett. B 133 (1984), 185.

[55] S. Coleman. Nucl. Phys. B 310 (1985), 643.

[56] W. Fischler, I. Klebanov, J. Polchinski and L. Susskind. Nucl. Phys. B 237

(1989), 157.

[57] H. Ooguri, C. Vafa and E. Verlinde. Lett. Math. Phys. 74 (2005), 311 [hep-th/0502211].

[58] M. Livio and M. J. Rees. Science, 309 (2003), 1022.

[59] M. Tegmark. Ann. Phys. 270 (1998), 1.

[60] C. Schönborn. N.Y. Times (7 July 2005), p. A23. 3