



Cosmologie

# La vie est-elle possible dans d'autres

Alejandro Jenkins et Gilad Perez

Une modification des lois de la physique peut conduire à des univers différents et néanmoins habitables. Notre Univers ne serait donc pas un cas exceptionnel.

## L'ESSENTIEL

✓ De nombreux univers différents du nôtre, chacun doté de ses propres lois physiques, ont pu émerger du même vide primordial.

✓ À supposer qu'ils existent, beaucoup de ces univers pourraient abriter des structures complexes et peut-être même des formes de vie.

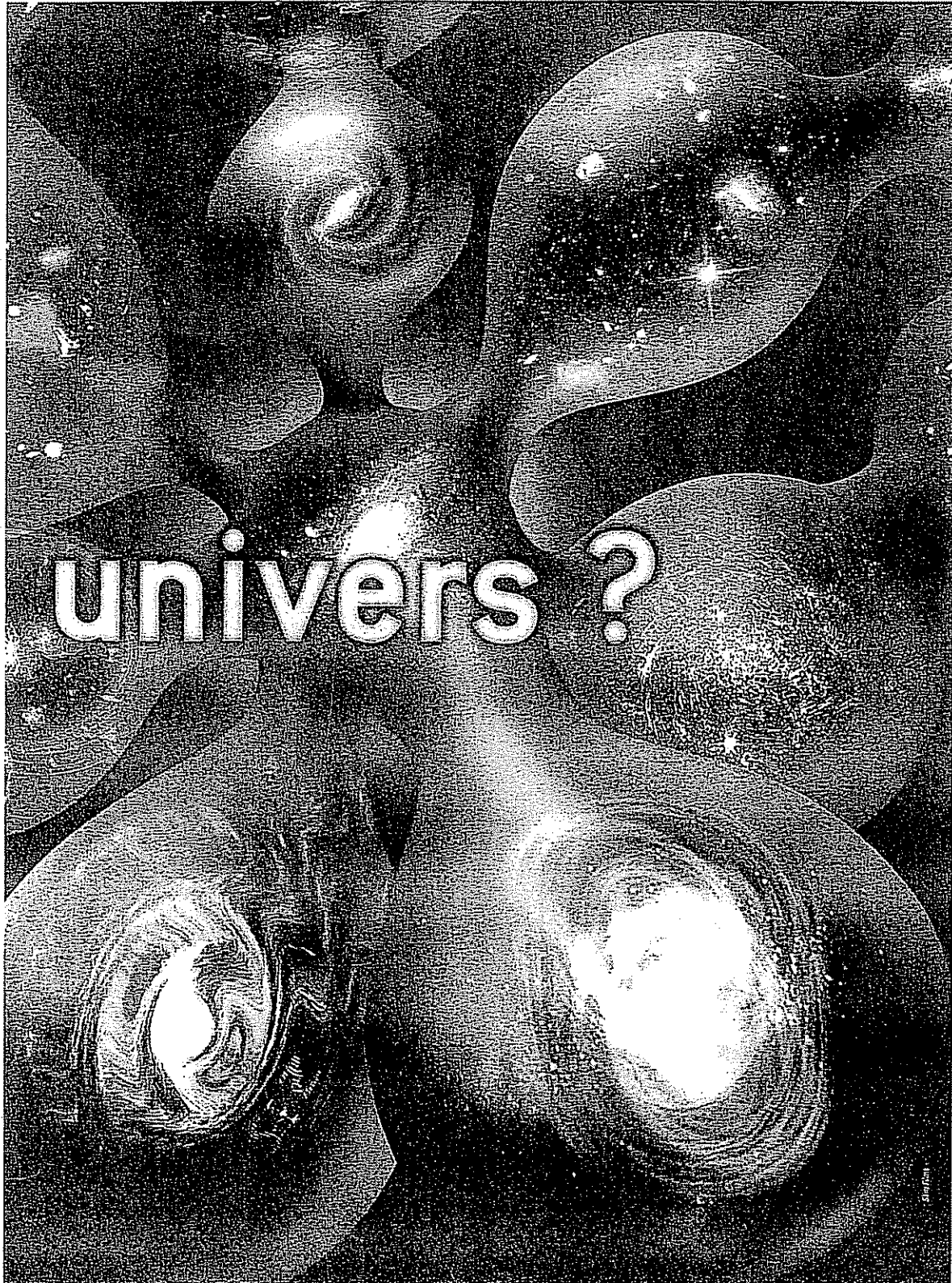
✓ Ainsi, notre Univers ne serait pas paramétré avec précision pour accueillir la vie : il ne représente qu'une possibilité parmi d'autres.

**L**e héros des films d'action hollywoodiens échappe constamment à la mort. Des ennemis lui tirent sans cesse dessus et le ratent de peu. Les explosions se produisent toujours une fraction de seconde trop tard pour le pulvériser. Et un ami survient toujours lorsqu'il est à la merci d'un bandit. À de nombreuses occasions, il s'en faut de peu que le héros ne meure. Pourtant, même sans avoir vu le film, on devine qu'il s'en sortira.

À certains égards, l'histoire de notre Univers ressemble à un film hollywoodien. De nombreux physiciens pensent qu'une minuscule modification d'une seule des lois de la physique perturberait l'évolution de l'Univers au point de rendre notre existence impossible. Par exemple, si l'interaction nucléaire forte, qui assure la cohésion des noyaux atomiques, avait été légèrement plus forte ou plus faible, les étoiles auraient fabriqué très peu de carbone et autres éléments lourds qui sont

nécessaires à la formation des planètes et, à plus forte raison, à la vie. Si le proton était juste 0,2 pour cent plus lourd, tout l'hydrogène de l'Univers primordial se serait désintégré presque immédiatement en neutrons et aucun atome ne se serait jamais formé. La liste de tels exemples est longue.

Les lois de la physique – et en particulier les constantes qui interviennent dans ces lois, comme l'intensité des forces fondamentales – semblent ainsi ajustées avec précision pour rendre notre existence possible. Plutôt que d'invoquer une raison surnaturelle pour expliquer cette troublante coïncidence, les physiciens et les cosmologistes ont imaginé que notre Univers n'est qu'un exemplaire parmi de nombreux autres univers, chacun doté de ses propres lois physiques. Dès lors, selon un raisonnement « anthropique », nous habiterions dans cet univers exceptionnel où les conditions sont réunies



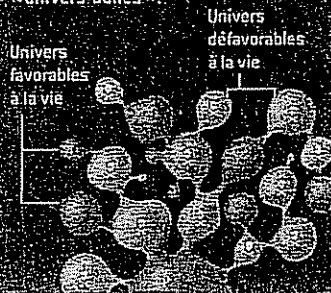
pour que la vie soit possible simplement parce que, dans un autre, nous ne serions pas là pour en parler.

Dans le cadre de la cosmologie moderne, de tels univers parallèles pourraient exister : il pourrait même en surgir sans cesse du vide primordial, de la même façon que le nôtre est issu du Big Bang. Notre Univers ne serait alors qu'un « univers bulle » parmi de nombreux autres au sein d'une entité plus vaste, le multivers. Dans l'écrasante majorité de ces univers, les lois de la physique n'autoriseraient pas la formation de matière telle que nous la connaissons, ni d'étoiles, de planètes ou *a fortiori* de la vie. Mais étant donné le nombre infini de possibilités, la probabilité que la nature tombe sur le bon jeu de lois physiques ne serait pas nulle.

Nos travaux suggèrent cependant que notre Univers n'est pas un cas isolé : certains de ces autres univers – en supposant qu'ils existent – ne sont pas si inhospitaliers. Il existe des valeurs différentes pour les constantes fondamentales, et donc d'autres jeux de lois physiques, susceptibles de donner des univers propices à la vie.

### Qu'est-ce que le multivers ?

✓ Selon le modèle cosmologique dominant, notre Univers a jailli d'une minuscule région d'un vide primordial et a connu une expansion fulgurante, nommée inflation. D'autres univers pourraient continuellement émerger du vide et se déployer. Chacun aurait ses propres jeux de lois physiques ; certains seraient propices à la vie, d'autres non. On désigne sous le nom de multivers l'ensemble de ces « univers-bulles ».



L'idée de notre approche est de changer un aspect des lois de la nature, puis de faire des modifications compensatoires sur d'autres aspects afin d'obtenir un univers hospitalier. Sans résoudre totalement le problème de « l'ajustement fin » des paramètres de notre Univers, les exemples d'univers alternatifs potentiellement habitables que nous avons découverts soulèvent des questions intéressantes.

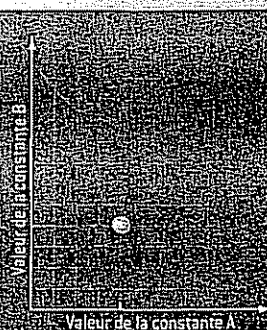
Pour déterminer si une constante de la nature est finement ajustée ou non, il suffit de la considérer comme un paramètre ajustable et de la faire varier tout en laissant les autres constantes inchangées. Avec des lois de la physique ainsi modifiées, les scientifiques déroulent alors le film de l'univers, par des calculs, des simulations numériques ou des expériences de pensée, pour voir ce qui advient. Dans tous les cas, cela conduit à un univers qui ne peut abriter la vie.

Mais il n'y a aucune raison de ne faire varier qu'un paramètre à la fois : cela revient à essayer de conduire une voiture en jouant sur la vitesse ou en tournant le volant, mais pas les deux en même temps !

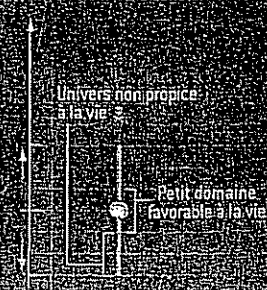
### COMMENT TROUVER DES UNIVERS PROPICES À LA VIE ?

Les lois de la nature semblent très précisément ajustées : une petite modification de l'une quelconque des constantes fondamentales conduirait à une « catastrophe cosmologique ». Les atomes ne peuvent par exemple pas s'y former, ou bien le cosmos se dilata tellement vite que la matière est

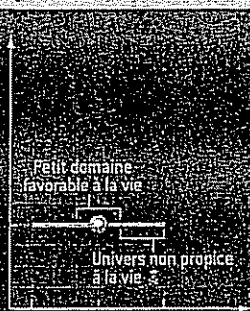
trop diluée pour former des galaxies, des étoiles ou des planètes. Mais en modifiant simultanément plusieurs constantes, on obtient parfois des lois physiques qui sont compatibles avec la formation de structures complexes et peut-être même de formes de vie.



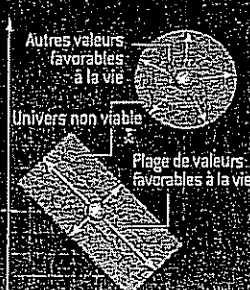
**1. Un couple de constantes**  
Les valeurs observées de deux constantes fondamentales A et B sont représentées par les coordonnées d'un point dans un plan.



**3. Variation de l'autre constante**  
De même, si l'on change la constante B seulement (déplacement sur une ligne verticale), en dehors d'un très petit intervalle, on aboutit à un univers incompatible avec la vie.



**2. Variation d'une constante**  
La modification de la seule constante A est représentée par un déplacement sur une ligne horizontale. En dehors d'un minuscule intervalle autour de la valeur observée, cette nouvelle valeur conduit en général à un univers inadapté à la vie.



**4. Variation simultanée des deux constantes**  
En changeant à la fois les valeurs de A et de B (par exemple le long d'une droite inclinée), on peut trouver de nouveaux couples de valeurs favorables à la vie. Il pourrait aussi exister des « îlots » de valeurs propices loin de celles que nous observons.

Ainsi, pour chercher des jeux de lois alternatifs intéressants, l'un d'entre nous (G. Perez) et ses collaborateurs ne se sont pas contentés de modifier timidement les lois de la physique: ils ont purement et simplement éliminé l'une des quatre interactions fondamentales.

De par leur nom même, les interactions (ou forces) fondamentales semblent indispensables à tout univers qui se respecte. Sans l'interaction nucléaire forte qui lie les quarks en protons et en neutrons, et ces derniers en noyaux atomiques, la matière n'existerait pas. Sans l'interaction électromagnétique, il n'y aurait ni lumière ni atomes ou liaisons chimiques. Sans la gravitation, la matière ne pourrait pas se regrouper pour former des galaxies, des étoiles et des planètes.

### Un monde sans interaction faible

La quatrième force, l'interaction nucléaire faible, a une incidence moins évidente dans l'histoire de notre Univers. Cela ne l'empêche pas d'y jouer un rôle majeur. Entre autres, l'interaction faible permet la transformation des protons en neutrons et *vice versa* (désintégration  $\beta^+$  et  $\beta^-$  respectivement). Dans les premiers instants de l'Univers, des protons ont pu fusionner par quatre et, grâce à l'interaction faible, devenir des noyaux d'hélium 4, constitués de deux protons et deux neutrons. Cette nucléosynthèse s'est déroulée quelques secondes après la naissance de l'Univers, alors qu'il était déjà suffisamment refroidi pour que les baryons (protons et neutrons) se forment, mais encore assez chaud pour que ceux-ci fusionnent.

La nucléosynthèse primordiale a créé l'hydrogène et l'hélium qui allaient former plus tard les étoiles, où la fusion nucléaire et d'autres processus ont forgé pratiquement tous les autres éléments connus dans la nature. Et à ce jour, la fusion des protons en hélium 4 se poursuit au sein de notre Soleil et produit l'énergie qui compense exactement celle qu'il rayonne.

Sans l'interaction faible, il semble donc peu probable qu'un univers puisse présenter une chimie complexe, et encore moins la vie. En 2006, pourtant, l'équipe de G. Perez a découvert des lois physiques ne reposant que sur les trois autres forces fondamentales et qui conduisent néanmoins à un univers accueillant.

L'élimination de l'interaction nucléaire faible nécessitait de modifier le modèle standard de la physique des particules, la théorie qui décrit toutes les forces à l'exception de la gravitation. G. Perez et ses collègues ont montré que ces ajustements peuvent être faits de telle sorte que le comportement des trois autres forces (et d'autres paramètres cruciaux tels que la masse des quarks) soit le même que dans notre Univers. Les ajustements furent choisis *a minima*, afin de faciliter le calcul de l'univers résultant, mais il est possible qu'une vaste famille d'autres univers sans interaction faible existent et soient habitables sans pour autant ressembler au nôtre.

Dans l'univers sans interaction faible de G. Perez et ses collègues, la fusion des protons en hélium 4 est impossible. Il y a cependant d'autres moyens d'alimenter la fusion dans les étoiles et ainsi forger les éléments lourds. Par exemple, notre Univers ne contient quasiment que de la matière et très peu d'antimatière, mais un petit ajustement du paramètre qui contrôle cette asymétrie suffit à garantir que la nucléosynthèse primordiale engendre une quantité importante de deutérium (un isotope de l'hydrogène dont le noyau contient un neutron et un proton).

Les étoiles pourraient alors être le siège de la fusion de protons et de noyaux de deutérium, formant ainsi de l'hélium 3 (deux protons et un neutron). Ces étoiles sans interaction faible seraient plus froides et plus petites que les étoiles que nous connaissons. D'après les simulations d'Adam Burrows, de l'Université de Princeton, elles pourraient briller pendant environ sept milliards d'années et rayonner à une puissance équivalente à quelques pour cent de celle du Soleil.

Comme les étoiles de notre Univers, les étoiles sans interaction faible synthétiseraient des éléments de plus en plus lourds, jusqu'au fer, par fusion nucléaire. Mais la formation des éléments plus lourds que le fer serait compromise. Celle-ci résulte en effet de la capture de neutrons par des noyaux (« processus S »), et de leur éventuelle transformation en protons par la suite. Or en l'absence de l'interaction faible, les neutrons disponibles seraient rares et ils ne se transformeraient pas. Seules de très petites quantités d'éléments lourds, jusqu'au strontium, pourraient être synthétisées par d'autres mécanismes dans les étoiles sans interaction faible.

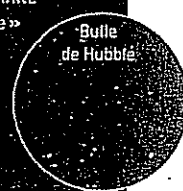
Dans notre Univers, les explosions d'étoiles en supernovae dispersent dans

### Les autres concepts d'univers parallèles

Les physiciens et les cosmologistes, ainsi que les auteurs de science-fiction, parlent d'univers parallèles dans plusieurs contextes différents. Il existe au moins trois notions distinctes de celle du multivers décrit dans cet article.

#### ✓ La bulle de Hubble

Notre Univers est sans doute bien plus grand que la bulle que nous observons de rayon égal à la distance qu'a pu parcourir la lumière depuis l'émission du fond diffus, 400 000 ans après le Big Bang. Si l'Univers est infini, alors il doit exister une infinité de telles « bulles de Hubble » disjointes, centrées sur des observateurs différents. Certaines pourraient être une copie conforme de la nôtre.



Bulle de Hubble

#### ✓ Les branes

Dans le cadre de la théorie des cordes, notre Univers pourrait être une membrane tridimensionnelle

(une « brane »)

parmi d'autres

dans un espace

de dimension

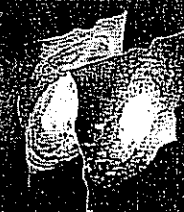
supérieure.

Ces « univers

parallèles »

pourraient

interagir.



Branes parallèles

#### ✓ Les mondes multiples d'Everett

En physique quantique, un objet peut exister dans une superposition de plusieurs états et seule une mesure externe le force à adopter l'un de ces états (comme le célèbre chat de Schrödinger, à la fois mort et vivant avant la mesure). Le physicien Hugh Everett a imaginé que tous les états possibles se réalisent, engendrant des versions séparées de l'Univers.



Le chat de Schrödinger

COURTESY NATURE, 2003

UN UNIVERS ACCEPTABLE DÉPOURVU D'INTERACTION FAIBLE

Un univers possédant seulement trois des interactions fondamentales, au lieu des quatre que nous connaissons, pourrait avoir une apparence très familière. Voici la recette :

• Supprimez l'interaction faible en modifiant plusieurs « constantes » du modèle standard de la physique des particules.

• Conservez les trois autres forces telles qu'elles sont dans notre Univers.

• Modifiez d'autres paramètres pour faciliter la fusion nucléaire au sein des étoiles.

Le résultat est un univers possédant une structure complexe, susceptible d'héberger la vie.

	10 <sup>-10</sup> seconde	10 <sup>-12</sup> seconde	10 <sup>-6</sup> seconde	1 seconde - 3 minutes
<b>NOTRE UNIVERS</b>	<p><b>QUATRE FORCES FONDAMENTALES</b></p> <p>Les particules élémentaires et les quatre forces fondamentales apparaissent. A la température extrême qui règne, l'interaction faible empêche la matière d'avoir une masse.</p>	<p>Le refroidissement atténue l'interaction faible, si bien que les particules acquièrent une masse.</p>	<p>Les quarks u et d se combinent en protons (noyaux d'hydrogène) et en neutrons.</p>	<p>Certains protons fusionnent en noyaux d'hélium 4 en partie grâce à l'interaction faible, qui transforme deux protons en neutrons avec émission de positrons et de neutrinos (désintégration β<sup>+</sup>).</p>
<b>UNIVERS ALTERNATIF</b>	<p>Il apparaît moins de particules élémentaires, mais les particules de matière ont des le départ une masse.</p>	<p>Les quarks u et d se combinent en protons et en neutrons.</p>	<p>Certains protons et neutrons fusionnent en deutérium, puis en noyaux d'hélium 3. Les protons ne peuvent pas se transformer en neutrons.</p>	
<b>TROIS FORCES FONDAMENTALES</b>	<p><b>L'interaction nucléaire faible est absente</b></p> <p>Les quarks u et d se combinent en protons et en neutrons.</p>	<p>Neutron, Deutérium, Proton, Hélium 3</p>		

l'espace les éléments synthétisés, en même temps qu'elles synthétisent d'autres éléments lourds. C'est notamment le cas pour les supernovae qui résultent de l'effondrement gravitationnel du cœur d'étoiles massives. L'énergie dégagée est telle que des réactions nucléaires se produisent durant l'explosion et engendrent les isotopes les plus lourds tels le plomb, l'or ou l'uranium.

Dans un univers dépourvu d'interaction faible, les explosions d'étoiles massives avorteraient comme des pétards mouillés. En effet, l'émission de neutrinos, produits via l'interaction faible, est nécessaire pour soutenir l'onde de choc qui provoque l'explosion. Mais les supernovae thermonucléaires, des explosions d'étoiles déclenchées par l'accrétion de matière au-delà d'une masse critique, se produiraient toujours. Ainsi, des éléments lourds pourraient être dispersés dans l'espace interstellaire, où ils ensemenceraient de nouvelles étoiles et planètes.

Étant donné la faible luminosité des étoiles dans un univers sans interaction faible, une planète de type terrestre

devrait se trouver environ six fois plus proche de son étoile que la Terre ne l'est du Soleil pour recevoir autant d'énergie. Sans interaction faible, les planètes telluriques seraient par ailleurs assez différentes. Sur Terre, la tectonique des plaques et l'activité volcanique sont entretenues par la désintégration radioactive de l'uranium et du thorium dans le manteau. Faute de ces éléments lourds, une planète rocheuse aurait une géologie simpliste, sauf si une source alternative de chaleur était présente, par exemple d'intenses forces de marée.

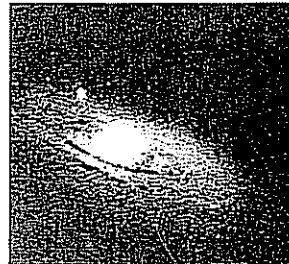
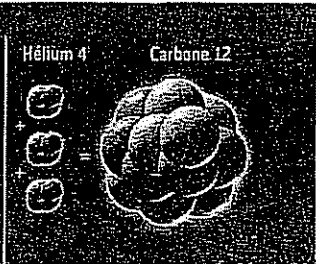
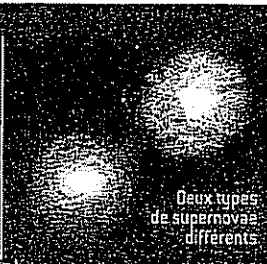
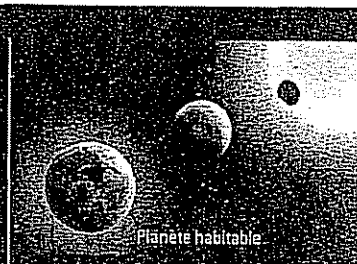
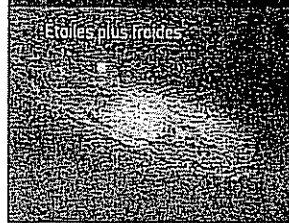
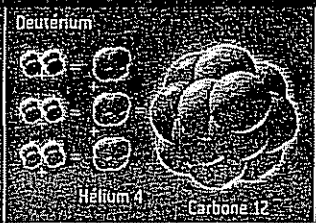
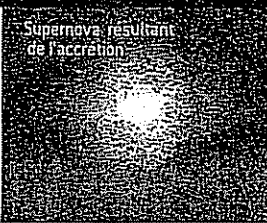
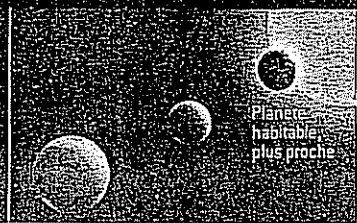
La chimie d'un univers sans interaction faible, en revanche, serait très semblable à la nôtre. Le tableau périodique des éléments s'arrêterait après le fer, à l'exception de quelques traces d'autres éléments plus lourds, mais cette limitation ne devrait pas empêcher l'évolution de formes de vie similaires à celles que nous connaissons. Ainsi, même un univers doté de trois forces fondamentales seulement pourrait être favorable à la vie.

Le second d'entre nous (A. Jenkins) et ses collègues ont pour leur part suivi une

autre approche – des ajustements plus légers sur plusieurs paramètres – pour trouver des jeux alternatifs de lois physiques. En 2008, ils ont étudié dans quelle mesure les masses des trois quarks les plus légers parmi les six (les quarks haut ou u, bas ou d et étrange ou s) peuvent varier sans que la chimie organique ne devienne impossible. Modifier la masse des quarks affecte directement la stabilité des baryons et des atomes, opérant une sélection parmi les éléments qui se répercute sur la chimie.

La chimie des quarks

Il est plausible que la vie, du moins une forme similaire à la nôtre, requiert une forme de chimie organique, par définition fondée sur le carbone. Les propriétés du carbone découlent du fait que son atome a quatre électrons disponibles pour des liaisons, ce qui lui permet de former une immense variété de molécules complexes. Cette tétravalence résulte du nombre d'électrons en orbite ou, de façon équivalente, l'atome étant neutre, de la charge électrique de son noyau, égale à six.

 <p>Les premières étoiles se forment, suivies par les galaxies et d'autres générations d'étoiles. Les étoiles sont principalement alimentées par la fusion de l'hydrogène en hélium 3.</p>	 <p>Hélium 4      Carbone 12</p> <p>Au sein des étoiles se forment, par fusion, des noyaux de carbone et d'autres éléments lourds jusqu'au fer. D'autres processus créant les éléments encore plus lourds.</p>	 <p>Deux types de supernovae différents.</p> <p>Les étoiles massives s'effondrent et explosent en supernovae. D'autres explosent après avoir accrété de la matière. Les supernovae dispersent les éléments lourds dans l'espace.</p>	 <p>Planète habitable.</p> <p>Le Système solaire se forme. La Terre est la troisième planète en partant du Soleil.</p> <p>Des formes de vie intelligentes apparaissent et se demandent pourquoi leur univers est tel qu'il est.</p>
<p>150 000 ans - 7 milliards d'années</p>	<p>7 milliards d'années</p>	<p>8 milliards d'années</p>	<p>13,7 milliards d'années</p>
<p>Les étoiles se forment. Principalement alimentées par la fusion de l'hydrogène et du deutérium en hélium 3, elles dégagent peu d'énergie.</p>	<p>La fusion du deutérium dans les étoiles produit aussi de l'hélium 4, qui conduit au carbone et à tous les éléments jusqu'au fer. Les éléments plus lourds sont pratiquement absents.</p>	<p>Faute de neutrinos, les étoiles qui s'effondrent n'explosent pas en supernovae. Des supernovae résultant de l'accrétion existent cependant, et dispersent les éléments lourds dans l'espace.</p>	<p>Le Système solaire se forme. Pour être habitable, la Terre doit être plus près de sa faible étoile que Mercure ne l'est du Soleil.</p> <p>Des formes de vie intelligentes apparaissent et se demandent pourquoi leur univers est tel qu'il est.</p>
 <p>Étoiles plus froides</p>	 <p>Deutérium</p> <p>Hélium 4      Carbone 12</p>	 <p>Supernova résultant de l'accrétion</p>	 <p>Planète habitable plus proche</p>

On a souvent suggéré qu'une chimie de la vie pourrait se construire autour du silicium, lui aussi tétravalent ; mais cette idée est peu convaincante, car les liaisons entre atomes de silicium sont plus faciles à casser, et, de fait, on ne connaît à ce jour aucune molécule complexe à base de silicium. Par ailleurs, la formation de molécules organiques complexes suppose la présence d'éléments ayant la même structure électronique que l'hydrogène (charge électrique égale à un) et que l'oxygène (charge électrique égale à huit). L'équipe de A. Jenkins a donc vérifié par le calcul que les noyaux de charge un, six et huit sont suffisamment stables pour participer à des réactions chimiques (voir l'encadré page 34).

La stabilité d'un noyau dépend pour une part de sa masse, qui est elle-même fonction des masses de ses constituants, les nucléons (protons et neutrons). Calculer la masse des nucléons et des noyaux directement à partir de celle des quarks (via les équations de la « chromodynamique quantique », qui décrit les interactions fortes) est extrêmement compliqué.

Pour contourner le problème, on peut partir des modélisations récentes des nucléons et, en ajustant l'intensité de l'interaction forte entre quarks, estimer comment de petites modifications des masses des quarks changent la masse des noyaux.

Dans notre Univers, le quark *d* est au moins deux fois plus lourd que le quark *u*, et le neutron est à peu près 0,1 pour cent plus lourd que le proton. Si les masses des quarks étaient telles que le neutron devienne deux pour cent plus lourd que le proton, aucune forme stable de carbone ni d'oxygène n'existerait.

Et si l'on ajustait les masses des quarks de façon que le proton soit plus lourd que le neutron, alors le noyau d'hydrogène (un proton) capturerait l'électron en orbite et se transformerait en neutron, si bien que les atomes d'hydrogène auraient une durée de vie très courte. Mais le deutérium ou le tritium (l'hydrogène 3) pourraient encore être stables, ainsi que certaines formes d'oxygène et de carbone.

De fait, nous avons trouvé que des formes stables d'hydrogène peuvent exister tant que la masse du proton excède

LES AUTEURS












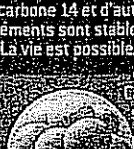











Alejandro JENKINS fait partie du groupe de physique des hautes énergies à l'Université d'État de Floride.

Gilad PEREZ est théoricien à l'Institut Weizmann des sciences à Rehovot, en Israël.

**BRICOLER AVEC LA MATIERE**

Si la masse des quarks légers – ceux qui forment des baryons stables, tels les neutrons et les protons – était différente, les éléments chimiques indispensables à la vie telle que nous la connaissons existeraient-ils toujours ? Plus précisément, sous quelles conditions des noyaux stables de charge électrique 1, 6 et 8 – et donc chimiquement analogues à l'hydrogène, au carbone et à l'oxygène – se formeraient-ils ? Voici quelques cas possibles.

QUARKS LÉGERS	BARYONS STABLES	ÉLÉMENTS STABLES LES PLUS LÉGERS	ÉLÉMENTS LOUROS STABLES
<p><b>NOTRE UNIVERS</b></p>  <p>Le quark <i>d</i> est deux fois plus lourd que le quark <i>u</i>.</p>	<p>Neutron Proton</p>  <p>Le neutron est 0,1 pour cent plus lourd que le proton.</p>	<p>Hydrogène</p> 	<p>Carbone 12</p>  <p>Le carbone 12 et d'autres éléments sont stables ; la vie est possible.</p>
<p><b>UNIVERS ALTERNATIF 1</b></p>  <p>Le quark <i>d</i> est plus léger que le quark <i>u</i>.</p>	<p>Neutron Proton</p>  <p>Le proton est 0,1 pour cent plus lourd que le neutron.</p>	<p>Deutérium</p> 	<p>Carbone 14</p>  <p>Le carbone 14 et d'autres éléments sont stables. La vie est possible.</p>
<p><b>UNIVERS ALTERNATIF 2</b></p>  <p>Le quark <i>s</i> est 10 fois plus léger, tandis que le quark <i>u</i> est ultraléger.</p>	<p>Neutron Sigma</p> 	<p>Hydrogène sigma</p> 	<p>Carbone sigma</p>  <p>Certains noyaux de charge 6 et d'autres noyaux sont stables. La vie est possible.</p>
<p><b>UNIVERS ALTERNATIF 3</b></p>  <p>Le quark <i>u</i> est le seul quark léger.</p>	<p>Delta (charge 2)</p> 	<p>Hélium delta</p> 	 <p>Aucun autre élément n'est stable. L'univers n'est pas propice à la vie.</p>
<p><b>UNIVERS ALTERNATIF 4</b></p>  <p>Trois quarks ultralégers de masses proches.</p>	<p>8 particules différentes</p> <p>Neutron Proton Sigma</p> 	<p>Hydrogène sigma</p>  <p>Hydrogène</p> 	 <p>Aucune forme stable de carbone ou d'oxygène. L'univers n'est pas propice à la vie.</p>

celle du neutron d'au plus un pour cent, ce qui correspond à un quark *d* plus léger que le quark *u*.

Avec du deutérium (ou du tritium) à la place de l'hydrogène, les océans seraient constitués d'eau lourde, qui a des propriétés légèrement différentes de celles de l'eau ordinaire. Cependant, cela pourrait ne pas être un obstacle fondamental à l'évolution d'une forme de vie organique.

Dans notre Univers, le troisième quark le plus léger (le quark *s*) est trop lourd pour participer à la constitution du noyau. Mais si sa masse était réduite d'un facteur dix ou plus, les noyaux atomiques pourraient être constitués non seulement de protons et de neutrons, mais aussi d'autres baryons contenant des quarks *s*.

L'équipe de A. Jenkins a par exemple étudié un univers où les quarks *u* et *s* ont à peu près la même masse, alors que le quark *d* est beaucoup plus léger. Les noyaux atomiques stables ne seraient alors pas constitués de protons et de neutrons, mais plutôt de neutrons et d'un autre baryon, nommé  $\Sigma^-$  (« sigma moins »). De façon remarquable, même un univers aussi radicalement différent abriterait des formes stables d'hydrogène, de carbone et d'oxygène et pourrait donc se prêter à la chimie organique. Mais ces éléments seraient-ils assez abondants pour que la vie évolue au sein d'un tel univers ? La question est pour l'instant sans réponse.

Il est néanmoins amusant d'imaginer que des physiciens vivant dans un tel univers seraient sans doute intrigués par le fait que les quarks *u* et *s* aient des masses presque identiques. Ils pourraient même penser que cette coïncidence a une explication « anthropique », fondée sur la nécessité d'une chimie organique...

D'un autre côté, les univers dans lesquels les trois quarks légers ont des masses semblables n'abriteraient sans doute pas de chimie organique : tous les noyaux ayant plus de quelques unités de charge électrique se désintégreraient presque immédiatement, à cause de la répulsion électrostatique entre baryons positifs.

Ces résultats sont prometteurs ; malheureusement, il est très difficile de déterminer plus en détail l'évolution d'univers dont les paramètres physiques diffèrent des nôtres. Des recherches plus poussées seront nécessaires.

Qu'ils résultent de l'absence de l'interaction faible ou de masses inhabituelles pour les quarks, le fait que des univers

soient hospitaliers malgré des paramètres différents rend-il inutile le concept de multivers, initialement invoqué pour expliquer l'ajustement fin des paramètres dans notre Univers ? Nous ne le pensons pas, et ce pour deux raisons.

La première raison est que, selon le scénario cosmologique en vigueur, notre Univers a débuté sous forme d'une minuscule région d'espace-temps qui a connu une phase de croissance exponentielle, l'inflation. Même s'il n'existe pas encore de modèle définitif pour l'inflation, la théorie suggère que différentes régions pourraient s'être dilatées à des rythmes différents, et que chaque région pourrait former une « bulle » isolée qui serait devenue un univers à part entière, caractérisé par ses propres constantes fondamentales.

### L'épineuse constante cosmologique

Le second argument en faveur de l'existence du multivers est qu'il reste une quantité qui semble ajustée avec une précision extrême : la constante cosmologique, aussi appelée énergie sombre, une forme d'énergie qui emplit l'espace vide. La théorie de la relativité générale d'Einstein stipule que l'énergie déforme l'espace-temps : selon son signe, elle provoque son expansion ou sa contraction. Or la physique quantique prédit que même le vide renferme une énergie. Mais si on identifie l'énergie du vide quantique à la constante cosmologique, celle-ci devrait être tellement grande, quel que soit son signe, que l'Univers se serait dilaté bien trop vite pour que des structures aient le temps de se former, ou au contraire qu'il se serait effondré sur lui-même une fraction de seconde après sa naissance.

Une explication possible est qu'un mécanisme – encore inconnu – compense l'effet de l'énergie du vide. Cependant, cet ajustement doit être d'une précision extrême : un écart infime, ne serait-ce qu'à la 100<sup>e</sup> décimale, s'amplifierait considérablement au cours du temps et suffirait à conduire à un univers dépourvu de structures cosmiques.

En 1987, le prix Nobel de physique Steven Weinberg a proposé une explication anthropique à cela. Il a calculé la limite en deçà de laquelle la valeur de la constante cosmologique reste compatible avec la vie, c'est-à-dire qu'elle laisse le temps aux structures cosmiques de se former. D'une cer-

taine façon, notre existence implique une constante cosmologique faible. Puis, à la fin des années 1990, on a découvert que l'Univers se dilate effectivement à un rythme accéléré. L'accélération observée implique que la constante cosmologique est positive et infime : la densité d'énergie du vide est très faible.

Ainsi, la constante cosmologique semble ajustée avec une précision extrême. Et dans ce cas, modifier l'interaction faible ou les masses des quarks comme nous l'avons fait ne paraît pas d'un grand secours : il semble impossible de trouver des univers propices à la vie où la constante cosmologique serait significativement supérieure à la valeur que nous observons. Ainsi, dans le multivers, la grande majorité des univers pourraient avoir une constante cosmologique incompatible avec la vie.

Un scénario fondé sur la théorie des cordes (une théorie décrivant les particules comme des cordes vibrantes microscopiques) suggère qu'au cours de l'inflation, la constante cosmologique et d'autres paramètres ont pu prendre une gamme pratiquement illimitée de valeurs différentes, gamme nommée paysage de la théorie des cordes.

En dehors du problème de la constante cosmologique, nos travaux mettent en doute l'utilité du raisonnement anthropique. Ils soulèvent également des questions. Par exemple, si la vie est vraiment possible dans un univers sans interaction faible, pourquoi notre Univers est-il doté de cette force ? Pour de nombreux physiciens des particules, dans un certain sens, l'interaction faible n'est pas assez faible : sa valeur semble trop élevée dans l'édifice du modèle standard. Certains théoriciens s'attendent ainsi à ce que l'interaction faible soit si faible dans la plupart des univers qu'elle en serait *de facto* absente.

En fin de compte, seule une connaissance plus profonde des mécanismes qui président à la genèse des univers peut répondre à de telles interrogations. Peut-être existe-il des principes physiques encore plus fondamentaux qui impliquent que la nature préfère certains jeux de lois physiques plutôt que d'autres ?

Nous ne trouverons peut-être jamais de preuve directe de l'existence d'autres univers, et il ne nous sera à l'évidence jamais donné d'en visiter un. Mais leur étude pourrait nous éclairer sur notre place dans le multivers – ou toute autre entité dans laquelle nous sommes plongés. □

## Des univers encore plus exotiques

Beaucoup d'autres jeux de lois physiques pourraient émerger du vide primordial. Dans la plupart des cas, dont ceux évoqués ci-dessous, on ignore si l'univers résultant est accueillant pour la vie.

### ✓ Le règne de l'hélium

Dans certaines versions de l'univers sans interaction faible, il ne reste pratiquement pas d'hydrogène après le Big Bang. Les étoiles seraient pour l'essentiel constituées d'hélium.

### ✓ Les multi-quarks

Dans notre Univers, les quarks se lient à deux ou trois pour former des particules, mais dans d'autres univers, ils pourraient aussi s'assembler par quatre, cinq ou plus.

### ✓ Les dimensions supérieures

Selon la théorie des cordes, l'espace a dix dimensions. Dans notre Univers, toutes sauf trois sont invisibles, car repliées sur elles-mêmes. Et si quatre dimensions ou plus étaient encore perceptibles ?

Hypercube de dimension 4



## ✓ BIBLIOGRAPHIE

A. Jenkins et al., Quark masses: an environmental impact statement, *Physical Review D*, vol. 79, n° 6, pp. 065014-1-065014-33, mars 2009.

G. Perez et al., A universe without weak interactions, *Physical Review D*, vol. 74, n° 3, pp. 035006-1-035006-15, août 2006.

R. Bouso et J. Polchinski, Le paysage de la théorie des cordes, *Pour la Science*, n° 326, décembre 2004.

M. Tegmark, De l'Univers au multivers, *Pour la Science*, n° 308, juin 2003.

S. Weinberg, A designer universe ? *Conference on Cosmic Design of the AAAS*, Washington D.C., 1999. En ligne sur [www.physlink.com/Education/essay\\_weinberg.cfm](http://www.physlink.com/Education/essay_weinberg.cfm)

### **Start Young**

Rabbi Eric H. Yoffie ("Israel's Real Crisis: Education," Opinion, Aug. 28) correctly points out that Israel's real crisis is education. I was one of the founders of the department of nuclear physics at the Weizmann Institute of Science and adviser to Shimon Peres as Israel's top expert in Israel on nuclear reactors at the time of the planning for the Dimona reactor. I agree with Rabbi Yoffie that the utter disarray of Israel's educational system is more important than all other factors.

The place to fix this system is to start from the bottom, where first grade children are learning to read. Tests show that one-third of entering seventh-grade pupils have not mastered reading well enough to cope with seventh grade material. We cannot afford to lose one-third of our pupils with bad education.

Back in 1982 when I was teaching quantum mechanics to graduate students at the Weizmann Institute, I was worrying about why this one-third never reached the level of higher education. I

*Continued on next page*

found the trouble began at the bottom and learned that educator Nira Altalef addressed this point. She said that it is the responsibility of our schools to teach all children to read without help from their parents and that she could do it. I found after working on it for over 25 years that she was right and had developed a system called LITAF that worked.

You can read about this success in the high-prestige scientific journal *Nature* and the British education journal *Literature Today*.

**Harry J. (Zvi) Lipkin, Professor Emeritus**  
*Weizmann Institute of Science*  
*Rehovot, Israel*



### On peace

History—not to mention differing languages, cultures, and values—can make peace difficult to achieve. Science is a common ground upon which nations can collaborate to improve our world.

SINCE THE FIRST humans began experimenting with new designs for spears, scientific research has held the potential to change not only the way we live, but also how long we live. Human and animal labor has been replaced by the work of levers and machines. Distances have shrunk as new means of travel have been invented, and communication across these distances has become instantaneous. Modern drugs now cure many lethal diseases. In short, the quality of life and its span have improved for most, unfortunately not all, people on this planet.

Though we sometimes imagine it takes place in isolation from the rest of human activity, science continuously updates our understanding of who we are, the reality of the world we live in, and our place in that world. Science has given us the insight that in a universe not unlike a set of Russian *matryoshka* dolls, the doll that represents us is smaller than a dust mote—with even smaller ones nesting inside. Developments such as satellite television and the internet are changing both the speed at which we receive information from halfway across the planet and our access to the means of disseminating that information. This technology has had a direct impact on politics in both democratic and non-democratic countries around the world. In truth, few human activities influence our daily lives as much as those resulting from scientific research.

Of course, warfare has been a powerful motivator for scientific invention since ancient times. Archimedes, for instance, was the first to lay out the physical

principles of the lever. He also applied those principles in the design of bigger and better catapults for the Greek army. The inventions of pulleys and torsion springs in the classical world allowed soldiers to fling heavier weights over walls and shoot projectiles farther with crossbows. Often, armies quickly adopt and improve technologies that were not specifically intended for waging war. A new method for casting iron led to the invention of the cannon; in the past century, airplane, submarine, and radar technologies were first put to use to fight wars. Yet where would we be today without levers or pulleys, metal casting or airplanes?

It's true that science has enabled some to apply its potential for destruction to heinous goals. Wars have become increasingly technology-based and weapons more destructive, and thus scientific research has also excelled in developing better defense systems.

But can scientific research be used as a catalyst for peace?

Consider this: The results of scientific research are universal. The formula for the velocity of a falling object will always apply, whether that object is dropped from the Great Wall of China or the Empire State Building. The proof of a mathematical theorem is either valid or it's not, and that validity exists independent of any cultural, religious, or national context. Our wireless communications systems are based on electromagnetism research conducted in just a few countries, yet they work the same way wherever we take them. And just one vaccine can protect all the world's



Daniel Zajfman is the president of the Weizmann Institute of Science in Rehovot, Israel.

people from smallpox, even those on opposing sides of a conflict.

Technically, peace between two warring countries is achieved through lengthy negotiations and the signing of complicated agreements by the rival nations' leaders. But true peace cannot be attained or sustained until the citizens of both sides get to know each other and develop a basic dialogue that leads to tolerance, and later to understanding and respect, for their ethnic and national differences.

Peace treaties, tied to a particular time and place, become history the moment they're signed. Science, on the other hand, by the very universality of its language, is the ideal format for opening channels of communication between people, even before a conflict officially ends. In no sense does science belong to any "side," and when two scientists meet, they do so as equals. They may disagree in their discussions, but their differing opinions will be dictated not by politics or nationalism, but rather by the different approaches they have used to solve a scientific problem. Because science is universal, it provides an integral basis for open discussion and, by extension, an ideal platform for communication.

Possibly the best example of the power of scientific collaboration is one that's not well known by the public, though it has been documented extensively. After WWII, when hatred and distrust still ran high on both sides, the first contact between Germans and Israelis took place between scientists of the Weizmann Institute in Israel and the Max Planck Society in Germany. The meetings and scientific collaborations of the 1950s opened the door to the establishment of diplomatic relations between the two countries in 1965. The year 2009 marked the 50th anniversary of the historic visit of Professor Otto Hahn, former president of the Max Planck Society, to Israel.

What can be learned from the German-Israeli example? Why was it so successful, and why does that success continue today?

Almost certainly the initial basis of collaboration—mainly basic science involving fundamental questions in physics, chemistry, biology, and mathematics—created an open environment in which scientists could use another universal commodity, curiosity, to drive cooperation. Here we can see the value of creating the opportunity (through funding) and establishing a broad scientific framework in which a scientist is allowed

to freely choose partners, as well as the mode of cooperation.

Such scientific cooperation, when it becomes firmly established, can spawn further collaborative projects between scientists in other countries where relations are tense. For instance, the scientific ties between Germany and Israel laid the groundwork for the SESAME project: a decommissioned German particle accelerator that is in the process of being upgraded and moved to a site in Jordan. A number of Israeli scientists are deeply involved in the project; when it's finished it will be used by researchers from Israel and other countries in the region ranging from Tunisia and Egypt to Pakistan.

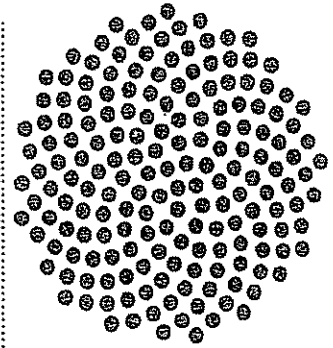
But even before the first particle beam was deployed, SESAME provided a forum for scientists from the different countries to meet and discuss science. In November 2009, 50 years after the first German visit to Israel, Professor Ada Yonath of the Weizmann Institute attended a meeting of researchers in Petra, Jordan. She was surprised to find that those most eager to speak with her and be photographed with her were a group of young Iranian scientists. Not a word of politics passed between them, but if there is to be real peace, it might begin with something as



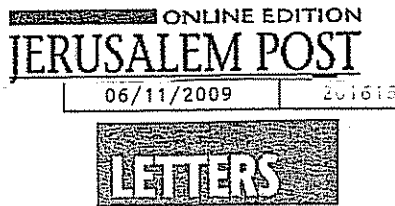
In no sense does science  
belong to any "side," and  
when two scientists meet,  
they do so as equals.

simple as a discussion between a few scientists speaking a common language.

Ultimately, once scientific cooperation is established, along with a certain level of trust, additional messages can be passed through these channels and the issues moved to a higher level. Clearly, scientific collaboration cannot bring about peace on its own. But it can be a useful tool for bridging cultural gaps. By providing a common, universal language, it can open the door to all sorts of communication. ∞



SEED GLOBAL RESET



## Teaching to ask

Sir, – *Kol hukavod* to my colleague and fellow Israel Academy of Sciences and

Humanities member, Nobel Laureate Ada Yonath, for using the prestige and publicity of her prize to raise an issue that deserves serious thought (Another Tack, October 30). Yonath is not a politician nor a journalist. She is a research scientist. As a research scientist myself with no hope for a Nobel (I am only about to be awarded an EMET prize), I know that our mission is not to tell other people what to believe but to ask questions. I feel that I am successful when I have made my students and others think along lines that they would not have followed before.

I am depressed when I see Yonath's message being dragged into a political quagmire by Uri Avnery and Sarah Honig.

Ada Yonath has motivated me to ask questions. Who are these prisoners? Is it good for Israel to keep them in prison? Would it be better to let some of them go free? Which ones? Do we really want a peace agreement with a Palestinian state? Who will be the leaders of this Palestinian state? Are we holding the future Palestinian Nelson Mandela, who also spent time in prison and then became a remarkable leader for his country?

I have no idea how to answer these questions. But I think that we must all think about them and people who are much brighter than I may find answers.

A non-Jew once asked a Jew, "Why do you Jews always answer a question by

asking another question?" The Jew answered "Why not?"

I am a good Jew. I ask questions.

HARRY J. LIPKIN  
Professor Emeritus  
Weizmann Institute of Science  
Rehovot

## 'Differential Teaching': Israel's Key to Success

To the Editor:

A central problem for schools, in the teaching of reading as well as other subjects, is finding a system that can educate all children to learn, and to love learning ("Legislation Would Replace Federal Reading Programs," *Nau 11*, 2009). Teachers must be given the training and tools to succeed in reaching students with widely differing abilities and home environments, and to enable each of those students to achieve according to his or her individual potential.

In Israel, a "differential teaching" program known as LITAF, developed by the educator Nira Altalef, has had spectacular success in teaching children to read with understanding, fluency, and enjoyment. The Israeli experience may help educators in other countries succeed in the crucial task of educating all children, with none left behind.

Her programs begin by recognizing classroom reality: the pupils we have, the teachers we have, and the budgets we have. While others fail and blame their failure on these realities, Ms. Altalef succeeds with differential-

teaching strategies that accept the fact that we must live in the real world, not some imaginary one where everything is better. Her programs insist that it is the responsibility of the school and the education system to teach all children, including those who receive no help from their parents. The success of these programs has shown that it can be done.

In July 2000, I published a "millennium essay" in the journal *Nature* that included a picture of a 1st grade classroom in Israel; the photo shows children working quietly in small, independent groups, and its caption reads, "Ninety percent of 6-year-old Israelis can read, understand, and learn independently." Ms. Altalef's LITAF reading program recognizes that all children, as well as all teachers, are different. But a good system with a realistic, positive approach can fit everyone.

All pupils can learn to read, all teachers can teach them, and all can finish each day with a feeling of satisfaction and accomplishment.

Harry J. Lipkin  
Professor Emeritus  
Weizmann Institute of Science  
Rehovot, Israel

Source: Nature (Main)  
Edition:  
Country: UK  
Date: Thursday 18, March 2010  
Page: 21  
Area: 153 sq. cm  
Circulation: BPA 53932 Weekly  
BRAD info: page rate £4,702.00, scc rate £66.00  
Phone: 020 7833 4000  
Keyword: Weizmann Institute of Science

## RESEARCH HIGHLIGHTS

### JOURNAL CLUB

Eran Segal  
Weizmann Institute of Science,  
Rehovot, Israel

**A computational biologist looks at how identical cells come to differ.**

My main interest is in understanding how complex biological behaviours are encoded by DNA. An example of such behaviour is the ability of genetically identical cells to generate diversity in their phenotypes, or observable traits, by changing how genes are expressed from one cell to the next. How expression variability occurs over short timescales (for example, during a cell cycle) has been well studied; much less is known about it over longer timescales.

So I was excited by work from Narendra Maheshri of the Massachusetts Institute of Technology in Cambridge and his colleagues. They demonstrate that slow expression fluctuations of a yeast gene are regulated locally, or in *cis*, by that gene's promoter — a nearby stretch of DNA that regulates the gene's expression

(L. M. Octavio *et al.* *PLoS Genet.* 5, e1000673; 2009).

They studied the yeast protein FLO11, placing two copies of the protein's promoter in the same cell, each in front of an engineered fluorescent 'reporter' gene. The reporters switched expression slowly and independently, implying that the expression fluctuations were locally encoded. The authors further identified global, or *trans*, regulators that affect the fast and slow expression fluctuations of FLO11. The type of expression effect that a regulator exerts seems to depend on several factors, including the location of the regulator relative to the site at which transcription, or reading of the DNA, begins, and relative to sites for other regulators.

Although the mechanistic details of this encoding are still unclear, applying similar approaches to many more promoters should bring us closer to understanding how other complex phenomena are encoded by DNA. This will hopefully allow us to one day predict the phenotypic effects of human genetic variation.

Discuss this paper at <http://blogs.nature.com/nature/journalclub>

**FUTURE MICROCHIPS**  
Pushing Performance Boundaries

**A VIRTUAL ECONOMY**  
Real Cash from Fantasy Worlds

# SCIENTIFIC AMERICAN

January 2010

[www.ScientificAmerican.com](http://www.ScientificAmerican.com)

How to  
Cure  
**1 BILLION  
PEOPLE**  
page 74

## Life in the Multiverse

Could the strange physics  
of other worlds breed life?

How Asteroids Built  
Continents



\$5.99 U.S. / UK £4.10

פרסומים ותקשורת

**PLUS**  
The Truth about  
Nanobacteria

# Looking for Life in the MULTIVERSE

Universes with different physical laws might still be habitable

BY ALEJANDRO JENKINS AND GILAD PEREZ

## KEY CONCEPTS

- Multiple other universes—each with its own laws of physics—may have emerged from the same primordial vacuum that gave rise to ours.
- Assuming they exist, many of those universes may contain intricate structures and perhaps even some forms of life.
- These findings suggest that our universe may not be as “finely tuned” for the emergence of life as previously thought.

—The Editors

**T**he typical Hollywood action hero skirts death for a living. Time and again, scores of bad guys shoot at him from multiple directions, but miss by a hair. Cars explode just a fraction of a second too late for the fireball to catch him before he finds cover. And friends come to the rescue just before a villain's knife slits his throat. If any one of those things happened just a little differently, the hero would be *hasn't-launched-baby*. Yet even if we have no scene the movie before, something tells us that he will make it to the end in one piece.

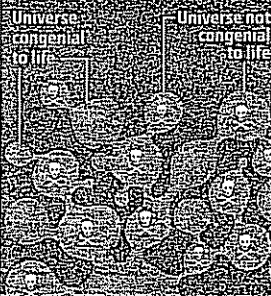
In some respects, the story of our universe resembles a Hollywood action movie. Several physicists have argued that a slight change to one of the laws of physics would cause some disaster that would disrupt the normal evolution of the universe and make our existence impossible. For example, if the strong nuclear force that binds together atomic nuclei had been slightly stronger or weaker, stars would have forged

very little of the carbon and other elements that seem necessary to form planets (let alone life). If the proton were just 0.2 percent heavier than it is, all primordial hydrogen would have decayed almost immediately into neutrons, and no atoms would have formed. The list goes on.

The laws of physics—and in particular the constants of nature that enter into those laws, such as the strengths of the fundamental forces—might therefore seem finely tuned to make our existence possible. Short of invoking a supernatural explanation, which would be by definition outside the scope of science, a number of physicists and cosmologists began in the 1970s to try solving the puzzle by hypothesizing that our universe is just one of many existing universes, each with its own laws. According to this “anthropic” reasoning, we might just occupy the rare universe where the right conditions happen to have come together to make life possible.

## WHAT IS THE MULTIVERSE?

Alternative universes have now become a legitimate field of study, in part because they may actually exist. According to the prevailing cosmological theory, our universe was spawned from a microscopic region of a primordial vacuum by a burst of exponential expansion called inflation. But the vacuum may continually spawn other universes as well. Each universe might have its own physical laws; some would be hospitable to life, some not.



Amazingly, the prevailing theory in modern cosmology, which emerged in the 1980s, suggests that such “parallel universes” may really exist—in fact, that a multitude of universes would incessantly pop out of a primordial vacuum the way ours did in the big bang. Our universe would be but one of many pocket universes within a wider expanse called the multiverse. In the overwhelming majority of those universes, the laws of physics might not allow the formation of matter as we know it or of galaxies, stars, planets and life. But given the sheer number of possibilities, nature would have had a good chance to get the “right” set of laws at least once.

Our recent studies, however, suggest that some of these other universes—assuming they exist—may not be so inhospitable after all. Remarkably, we have found examples of alternative values of the fundamental constants, and thus of alternative sets of physical laws, that might still lead to very interesting worlds and perhaps to life. The basic idea is to change one aspect of the laws of nature and then make compensatory changes to other aspects.

Our work did not address the most serious fine-tuning problem in theoretical physics: the smallness of the “cosmological constant,” thanks to

which our universe neither recollapsed into nothingness a fraction of a second after the big bang, nor was ripped part by an exponentially accelerating expansion. Nevertheless, the examples of alternative, potentially habitable universes raise interesting questions and motivate further research into how unique our own universe might be.

## The Weakless Way of Life

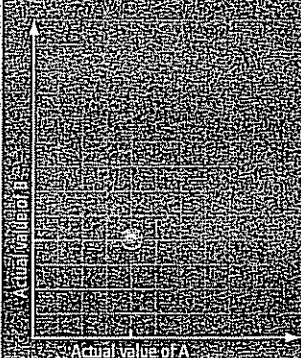
The conventional way scientists find out if one particular constant of nature is finely tuned or not is to turn that “constant” into an adjustable parameter and tweak it while leaving all other constants unaltered. Based on their newly modified laws of physics, the scientists then “play the movie” of the universe—they do calculations, what-if scenarios or computer simulations—to see what disaster occurs first. But there is no reason why one should tweak only one parameter at a time. That situation resembles trying to drive a car by varying only your latitude or only your longitude, but not both: unless you are traveling on a grid, you are destined to run off the road. Instead one can tweak multiple parameters at once.

To search for alternative sets of laws that still give rise to complex structures capable of sustain-

### THE BASIC IDEA

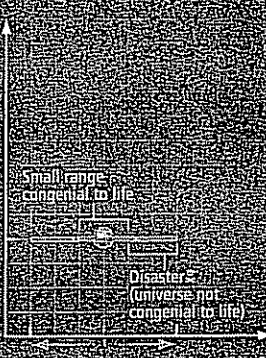
## HOW TO FIND HOSPITABLE UNIVERSSES

Many features in the laws of nature appear to be finely tuned: a small change to any one of the constants that appear in physics equations typically leads to a disaster. For example, atoms cannot form, or matter gets dispersed in space so thinly that it cannot condense into galaxies, stars or planets. Changing two constants at a time, however, can sometimes lead to sets of possible values that are compatible with the formation of complex structures and perhaps even some forms of intelligent life. Changing three or more constants widens the range of possibilities even more.



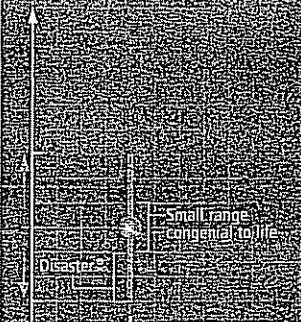
### 1. TWO CONSTANTS

Physicists can plot the observed values of two different constants, A and B, as two coordinates of a point on a plane. Each point on the plane represents a different pair of values.



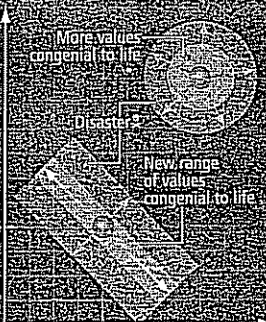
### 2. TWEAK ONE CONSTANT

Changing the constant A (while keeping everything else the same) is represented by moving on a horizontal line. Going beyond a tiny change usually results in a disaster, and the universe would be unsuitable for life.



### 3. TWEAK ANOTHER CONSTANT

Changing the constant B and keeping everything else the same is represented by moving on a vertical line. Beyond a small tweak, this also often results in a disaster.



### 4. CHANGE BOTH CONSTANTS

The ability to change both A and B at once—for example, moving along a diagonal—can lead to new sets of values that are congenial to life. Farther away from the known values could also lie other “islands” of congenial values.

LUCY READING-IRKHAIDA (multiverse and charts)

ing life, one of us (Perez) and his collaborators did not make just small tweaks to the known laws of physics: they completely eliminated one of the four known fundamental forces of nature.

By their very name, the fundamental forces sound like indispensable features of any self-respecting universe. Without the strong nuclear force to bind quarks into protons and neutrons and those into atomic nuclei, matter as we know it would not exist. Without the electromagnetic force, there would be no light; there would also be no atoms and no chemical bonds. Without gravity, there would be no force to coalesce matter into galaxies, stars and planets.

The fourth force, the weak nuclear force, has a subtler presence in our everyday life but still has played a major role in the history of our universe. Among other things, the weak force enables the reactions that turn neutrons into protons, and vice versa. In the first instants of the big bang, after quarks (among the first forms of matter to appear) had united in groups of three to form protons and neutrons, collectively called baryons, groups of four protons were then able to fuse together and become helium 4 nuclei, made of two protons and two neutrons. This so-called big bang nucleosynthesis took place a few seconds into the life of our universe, when it was already cold enough for baryons to form but still hot enough for the baryons to undergo nuclear fusion. Big bang nucleosynthesis produced the hydrogen and helium that would later form stars, where nuclear fusion and other processes would forge virtually all other naturally occurring elements. And to this day, the fusion of four protons to make helium 4 continues inside our sun, where it produces most of the energy that we receive from it.

Without the weak nuclear force, then, it seems unlikely that a universe could contain anything resembling complex chemistry, let alone life. Yet in 2006 Perez's team discovered a set of physical laws that relied on only the other three forces of nature and still led to a congenial universe.

Eliminating the weak nuclear force required several modifications to the so-called Standard Model of particle physics, the theory that describes all forces except gravity. The team showed that the tweaks could be done in such a way that the behavior of the other three forces—and other crucial parameters such as the masses of the quarks—would be the same as in our world. We should stress that this choice was a conservative one, intended to facilitate the calculation of how

the universe would unfold. It is quite possible that a wide range of other “weakless” universes exist that are habitable but look nothing like our own.

In the weakless universe, the usual fusing of protons to form helium would be impossible, because it requires that two of the protons convert into neutrons. But other pathways could exist for the creation of the elements. For example, our universe contains overwhelmingly more matter than antimatter, but a small adjustment to the parameter that controls this asymmetry is enough to ensure that the big bang nucleosynthesis would leave behind a substantial amount of deuterium nuclei. Deuterium, also known as hydrogen 2, is the isotope of hydrogen whose nucleus contains a neutron in addition to the usual proton. Stars could then shine by fusing a proton and a deuterium nucleus to make a helium 3 (two protons and one neutron) nucleus.

Such weakless stars would be colder and smaller than the stars in our own universe. According to computer simulations by astrophysicist Adam Burrows of Princeton University, they could burn for about seven billion years—about the current age of our sun—and radiate energy at a rate that would be a few percent of that of the sun.

### Next Generation

Just like stars in our universe, weakless stars could synthesize elements as heavy as iron through further nuclear fusion. But the typical reactions that in our stars lead to elements beyond iron would be compromised, primarily because few neutrons would be available for nuclei to capture to become heavier isotopes, the first step in the formation of heavier elements. Small amounts of heavy elements, up to strontium, might still be synthesized inside weakless stars by other mechanisms.

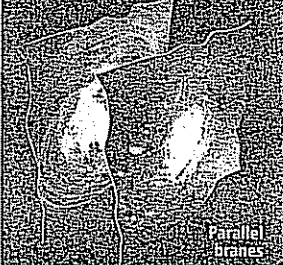
In our universe, supernova explosions disperse the newly synthesized elements into space, and synthesize more of the elements themselves. Supernovae can be of several types: in the weakless universe, the supernova explosions caused by collapsing ultramassive stars would fail, because it is the emission of neutrinos, produced via the weak-force interactions, that transmits energy out of a star's core so as to sustain the shock wave that is causing the explosion. But a different type of supernova—the thermonuclear explosion of a star triggered by accretion, rather than by gravitational collapse—would still take place. Thus, elements could be dispersed into interstellar space, where they could seed new stars and planets.

## OTHER NOTIONS OF PARALLEL UNIVERSES

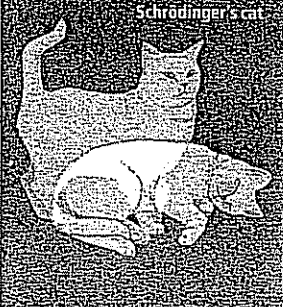
Physicists and cosmologists—and often science-fiction writers—talk of parallel universes in several different contexts; at least three notions exist distinct from the multiverse described in this article.

**▽ HUBBLE BUBBLE**  
Our universe is probably much larger than the part we can observe, our “Hubble bubble.” If it is infinite in size, then infinitely many separate Hubble bubbles (centered on observers in remote galaxies) must exist. Some could be identical to ours; with another you reading this exact article.

**▽ BRANES**  
If space has more than three dimensions, our universe could be one of many three-dimensional membranes, or “branes,” in a wider, multidimensional space. These “parallel universes” can affect one another and even collide.



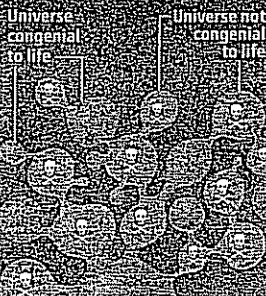
**THE MANY WORLDS HYPOTHESIS**  
In quantum physics, the same object can exist in multiple states, as in the famous cat that is simultaneously dead and alive—and only external prodding will force it to settle into one state. Some physicists believe that all possible states continue to exist, each in a separate, “branched out” version of the universe.



NASA (deep space in “Hubble bubble”); LUCY READING-IRKHAIDA (branes and cat)

## WHAT IS THE MULTIVERSE?

Alternative universes have now become a legitimate field of study, in part because they may actually exist. According to the prevailing cosmological theory, our universe was spawned from a microscopic region of a primordial vacuum by a burst of exponential expansion called inflation. But the vacuum may continually spawn other universes as well. Each universe might have its own physical laws; some would be hospitable to life, some not.



Amazingly, the prevailing theory in modern cosmology, which emerged in the 1980s, suggests that such “parallel universes” may really exist—in fact, that a multitude of universes would incessantly pop out of a primordial vacuum the way ours did in the big bang. Our universe would be but one of many pocket universes within a wider expanse called the multiverse. In the overwhelming majority of those universes, the laws of physics might not allow the formation of matter as we know it or of galaxies, stars, planets and life. But given the sheer number of possibilities, nature would have had a good chance to get the “right” set of laws at least once.

Our recent studies, however, suggest that some of these other universes—assuming they exist—may not be so inhospitable after all. Remarkably, we have found examples of alternative values of the fundamental constants, and thus of alternative sets of physical laws, that might still lead to very interesting worlds and perhaps to life. The basic idea is to change one aspect of the laws of nature and then make compensatory changes to other aspects.

Our work did not address the most serious fine-tuning problem in theoretical physics: the smallness of the “cosmological constant,” thanks to

which our universe neither recollapsed into nothingness a fraction of a second after the big bang, nor was ripped part by an exponentially accelerating expansion. Nevertheless, the examples of alternative, potentially habitable universes raise interesting questions and motivate further research into how unique our own universe might be.

## The Weakless Way of Life

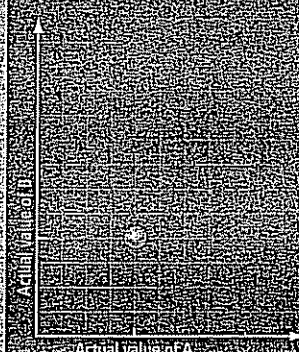
The conventional way scientists find out if one particular constant of nature is finely tuned or not is to turn that “constant” into an adjustable parameter and tweak it while leaving all other constants unaltered. Based on their newly modified laws of physics, the scientists then “play the movie” of the universe—they do calculations, what-if scenarios or computer simulations—to see what disaster occurs first. But there is no reason why one should tweak only one parameter at a time. That situation resembles trying to drive a car by varying only your latitude or only your longitude, but not both: unless you are traveling on a grid, you are destined to run off the road. Instead one can tweak multiple parameters at once.

To search for alternative sets of laws that still give rise to complex structures capable of sustain-

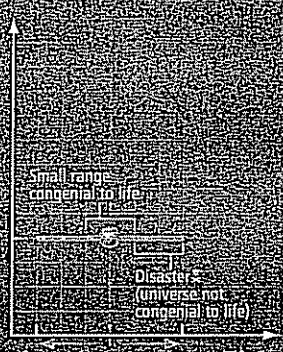
### (THE BASIC IDEA)

## HOW TO FIND HOSPITABLE UNIVERSES

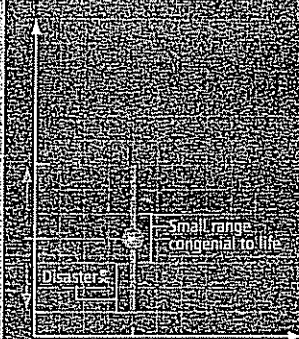
Many features in the laws of nature appear to be finely tuned: a small change to any one of the constants that appear in physics equations typically leads to a disaster. For example, atoms cannot form, or matter gets dispersed in space so thinly that it cannot condense into galaxies, stars or planets. Changing two constants at a time, however, can sometimes lead to sets of possible values that are compatible with the formation of complex structures and perhaps even some form of intelligent life. Changing three or more constants widens the range of possibilities even more.



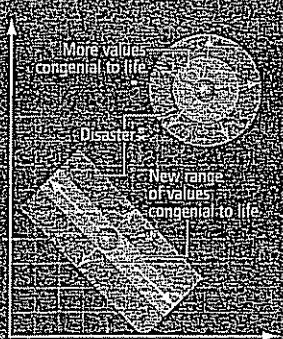
**1. TWO CONSTANTS**  
Physicists can plot the observed values of two different constants, A and B, as two coordinates of a point on a plane. Each point on the plane represents a different pair of values.



**2. TWEAK ONE CONSTANT**  
Changing the constant A (while keeping everything else the same) is represented by moving on a horizontal line. Going beyond a tiny change usually results in a disaster, and the universe would be unsuitable for life.



**3. TWEAK ANOTHER CONSTANT**  
Changing the constant B and keeping everything else the same is represented by moving on a vertical line. Beyond a small tweak, this also often results in a disaster.



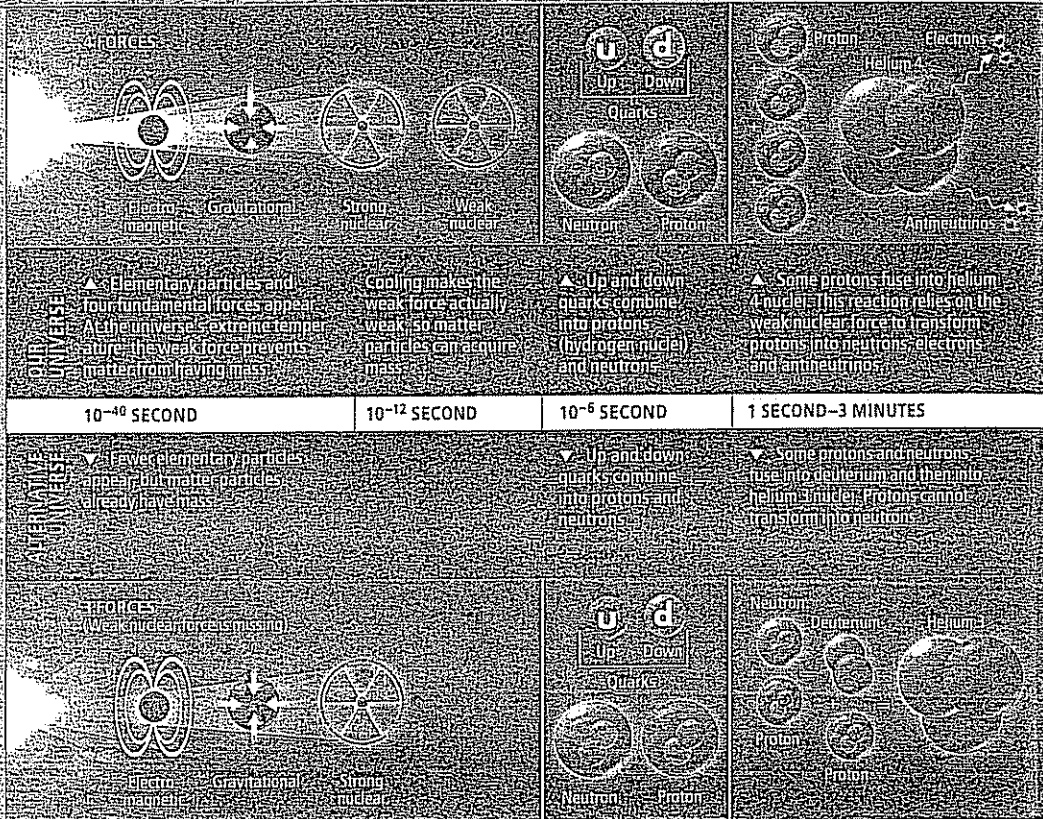
**4. CHANGE BOTH CONSTANTS**  
The ability to change both A and B at once—for example, moving along a diagonal—can lead to new sets of values that are congenial to life. Farther away from the known values could also lie other “islands” of congenial values.

## SHORT HISTORY OF AN ALTERNATIVE UNIVERSE

A universe with three fundamental forces, instead of the usual four, could still look surprisingly familiar. Here is how to find out:

- 1. Remove the weak nuclear force by modifying several constants in the Standard Model of particle physics.
- 2. Keep the other three forces exactly as they are in our universe.
- 3. Modify other parameters to facilitate nuclear fusion in stars.

The result is a world with complex structure that could support life forms similar to those on Earth.



Given the relative coldness of the weakless stars, a weakless Earth-like body would have to be about six times closer to its sun to stay as warm as our own Earth. To the inhabitants of such a planet, the sun would look much bigger. Weakless Earths would be significantly different from our own Earth in other ways. In our world, plate tectonics and volcanic activity are powered by the radioactive decay of uranium and thorium deep within Earth. Without these heavy elements, a typical weakless Earth might have a comparatively boring and featureless geology—except if gravitational processes provided an alternative source of heating, as happens on some moons of Saturn and Jupiter.

Chemistry, on the other hand, would be very similar to that of our world. One difference would be that the periodic table would stop at iron, except for extremely small traces of other elements. But this limitation should not prevent life-forms similar to the ones we know from evolving. Thus, even a universe with just three fundamental forces could be congenial to life.

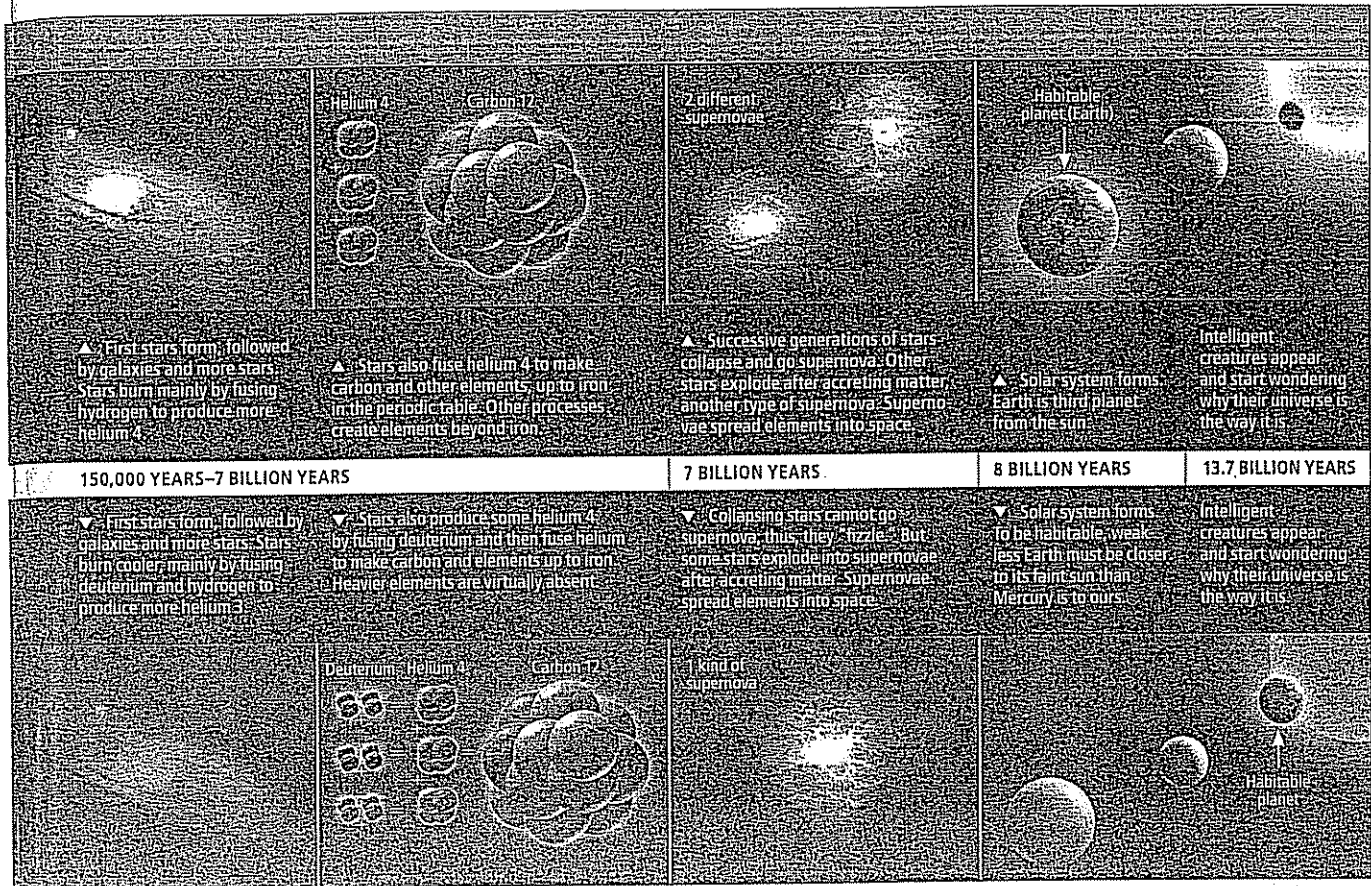
Another approach, pursued by the other of us (Jenkins) and his collaborators, searches for

alternative sets of laws by making smaller tweaks to the Standard Model than in the case of the weakless universe, though still involving multiple parameters at once. In 2008 the group studied to what extent the masses of the three lightest of the six quarks—called the up, down and strange quarks—may vary without making organic chemistry impossible. Changing the quark masses will inevitably affect which baryons and which atomic nuclei can exist without decaying quickly. In turn, the different assortment of atomic nuclei will affect chemistry.

### Quark Chemistry

It seems plausible that intelligent life (if it is not very different from us) requires some form of organic chemistry, which is by definition the chemistry that involves carbon. The chemical properties of carbon follow from the fact that its nucleus has an electric charge of 6, so that six electrons orbit in a neutral carbon atom. These properties allow carbon to form an immense variety of complex molecules. (The suggestion often made by science-fiction writers that life could instead be based on silicon—

**We may need to learn more about other universes to understand our true place in the multiverse.**



COURTESY OF CHARLES SUGGS AND CENTER FOR THEORETICAL PHYSICS (ONLINE); COURTESY OF GILAD PEREZ (Perez)

the next element in carbon's group in the periodic table—is questionable: no silicon-based molecules of any significant degree of complexity are known to exist.) Furthermore, for complex organic molecules to form, elements with the chemistry of hydrogen (charge 1) and oxygen (charge 8) need to be present. To see if they could maintain organic chemistry, then, the team had to calculate whether nuclei of charge 1, 6 or 8 would decay radioactively before they could participate in chemical reactions [see box on next page].

The stability of a nucleus partly depends on its mass, which in turn depends on the masses of the baryons it is made of. Computing the masses of baryons and nuclei starting from the masses of the quarks is extremely challenging even in our universe. But after tweaking the intensity of the interaction between quarks, one can use the baryon masses measured in our universe to estimate how small changes to the masses of the quarks would affect the masses of nuclei.

In our world, the neutron is roughly 0.1 percent heavier than the proton. If the masses of the quarks were changed so that the neutron be-

came 2 percent heavier than the proton, no long-lived form of carbon or oxygen would exist. If quark masses were adjusted to make the proton heavier than the neutron, then the proton in a hydrogen nucleus would capture the surrounding electron and turn into a neutron, so that hydrogen atoms could not exist for very long. But deuterium or tritium (hydrogen 3) might still be stable, and so would some forms of oxygen and carbon. Indeed, we found that only if the proton became heavier than the neutron by more than about 1 percent would there cease to be some stable form of hydrogen.

With deuterium (or tritium) substituting for hydrogen 1, oceans would be made of heavy water, which has subtly different physical and chemical properties from ordinary water. Still, there does not appear to be a fundamental obstacle in these worlds to some form of organic life evolving.

In our world, the third-lightest quark—the strange quark—is too heavy to participate in nuclear physics. But if its mass were reduced by a factor of more than about 10, nuclei could be made not just of protons and neutrons but


















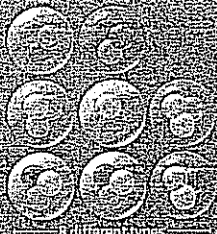


**THE AUTHOR**

Alejandro Jenkins, a native of Costa Rica, is in the High Energy Physics group at Florida State University. He has degrees from Harvard University and the California Institute of Technology, and he investigated alternative universes while at the Massachusetts Institute of Technology with Bob Jaffe and Itamar Kimchi. Gilad Perez is a theorist at the Weizmann Institute of Science in Rehovot, Israel, where he received his Ph.D. in 2003. While at Lawrence Berkeley National Lab, he explored the multiverse with Roni Harnik of Stanford University and Graham D. Kribs of the University of Oregon. He has also done stints at Stony Brook University, Boston University and Harvard.



## TINKERING WITH MATTER

Imagine changing the masses of the light quarks (meaning the quarks that can form stable baryons, such as neutrons and protons). Would you still get the elements crucial to life as we know it? At the very least, the resulting universe should contain stable nuclei of electrical charge 1, 6 and 8, because those charges would give them properties similar to those of hydrogen, carbon and oxygen, respectively. Here are a few cases of what occurs.

	LIGHT QUARKS	STABLE BARYONS	LIGHTEST STABLE ELEMENTS	RESULTING CHEMISTRY
OUR UNIVERSE	 Up Down Down quark is twice as heavy as up	 Neutron Proton Neutron is 0.1% heavier than proton	 Hydrogen	 Carbon-12 Carbon-12 and other elements are stable; life is possible
ALTERNATIVE UNIVERSE	 Up Down Down quark is lighter	 Neutron Proton Proton is 0.1% heavier than neutron	 Deuterium atom	 Carbon-14 Carbon-14 and other elements are stable; life is possible
ALTERNATIVE UNIVERSE	 Up Down Strange One more light quark (strange) down quark is lighter	 Neutron Sigma Neutron and sigma	 Sigma hydrogen	 Sigma carbon Some nuclei with charge 6 (thus with carbonlike chemistry) and other nuclei are stable; life is possible
ALTERNATIVE UNIVERSE	 Up Only one light quark	 Delta (charge 2)	 Delta helium	 No other elements are stable; universe not congenial to life
ALTERNATIVE UNIVERSE	 Up Down Strange three light quarks of roughly same mass	 Sigma baryon different types	 Sigma hydrogen	 No stable form of carbon or oxygen; universe not congenial to life

also of other baryons containing strange quarks.

For example, the team identified a universe in which the up and strange quark would have roughly the same mass, whereas the down quark would be much lighter. Then atomic nuclei would not be made of protons and neutrons but instead of neutrons and another baryon, called the  $\Sigma^-$  ("sigma minus"). Remarkably, even such a radically different universe would have stable forms of hydrogen, carbon and oxygen and therefore could have organic chemistry. Whether those elements would be produced abundantly enough for life to evolve somewhere within them is an unanswered question.

But if life can arise, it would again happen much like it does in our world. Physicists in such a universe might be puzzled by the fact that the up and strange quarks would have almost identical masses. They might even imagine that this amazing coincidence has an anthropic explanation, based on the need for organic chemistry. We know, however, that such an explanation would be wrong, because our world has organic chemistry even though the masses of the down and strange quarks are quite different.

On the other hand, universes in which the three light quarks had roughly the same masses would probably have no organic chemistry: any nucleus with more than a couple of units of electrical charge would decay away almost immediately. Unfortunately, it is very difficult to map out in detail the histories of universes whose physical parameters are different from our own. This issue requires further research.

## String Landscaping

Fine-tuning has been invoked by some theoretical physicists as indirect evidence for the multiverse. Do our findings therefore call the concept of a multiverse into question? We do not think that this is necessarily the case, for two reasons. The first comes from observation, combined with theory. Astronomical data strongly support the hypothesis that our universe started out as a tiny patch of spacetime, perhaps as small as a billionth the size of a proton, which then went through a phase of rapid, exponential growth, called inflation. Cosmology still lacks a definitive theoretical model for inflation, but theory suggests that different patches could inflate at different rates and that each patch could form a "pocket" that can become a universe in its own right, characterized by its own values for the constants of nature [see "The Self-Reproducing Inflationary Universe," by Andrei Linde; SCIENTIFIC AMERICAN, February 2008].

TIFIC AMERICAN, November 1994]. Space between pocket universes would keep expanding so fast that it would be impossible to travel or send messages from one pocket to the next, even at the speed of light.

The second reason to suspect the existence of the multiverse is that one quantity still seems to be finely tuned to an extraordinary degree: the cosmological constant, which represents the amount of energy embodied in empty space. Quantum physics predicts that even otherwise empty space must contain energy. Einstein's general theory of relativity requires that all forms of energy exert gravity. If this energy is positive, it causes spacetime to expand at an exponentially accelerating rate. If it is negative, the universe would recollapse in a "big crunch." Quantum theory seems to imply that the cosmological constant should be so large—in the positive or negative direction—that space would expand too quickly for structures such as galaxies to have a chance to form or else that the universe would exist for a fraction of a second before recollapsing.

One way to explain why our universe avoided such disasters could be that some other term in the equations canceled out the effects of the cosmological constant. The trouble is that this term would have to be fine-tuned with exquisite precision. A deviation in even the 100th decimal place would lead to a universe without any significant structure.

In 1987 Steven Weinberg, the Nobel Prize-winning theorist at the University of Texas at Austin, proposed an anthropic explanation. He calculated an upper bound on the value of the cosmological constant that would still be compatible with life. Were the value any bigger, space would expand so quickly that the universe would lack the structures that life requires. In a way, then, our very existence predicts the low value of the constant.

Then, in the late 1990s, astronomers discovered that the universe is indeed expanding at an accelerating rate, pushed by a mysterious form of "dark energy." The observed rate implied that the cosmological constant is positive and tiny—within the bounds of Weinberg's prediction—meaning that dark energy is very dilute.

Thus, the cosmological constant seems to be fine-tuned to an exceptional degree. Moreover, the methods our teams have applied to the weak nuclear force and to the masses of quarks seem to fail in this case, because it seems impossible to find congenial universes in which the cosmo-

**IS ANYBODY REALLY LUCKY?**


Many more sets of physical laws could emerge from the primordial vacuum. In most cases, including those below, it is unknown if the universes would be congenial to life. But future research may tell.

**HELIUM UNIVERSES**  
 Certain tweaks to the universe with no weak nuclear force would produce one with virtually no hydrogen left over from the big bang. Stars would be made mostly of helium.

**WILDER QUARKS**  
 In our universe, quarks form particles in sets of two or three, but in other universes they might also form sets of four, five or more.

**HIGHER DIMENSIONS**  
 According to string theory, space has 10 dimensions. In our universe, all but three curled up or otherwise became invisible. What if four or more dimensions were still visible?

4-D Hypercube



## ➔ MORE TO EXPLORE

**A Designer Universe?** Steven Weinberg. Conference on Cosmic Design of the American Association for the Advancement of Science, Washington, D.C., April 1999. Available online at [www.physlink.com/Education/essay\\_weinberg.cfm](http://www.physlink.com/Education/essay_weinberg.cfm)

**Parallel Universes.** Max Tegmark in *Scientific American*, Vol. 288, No. 5, pages 30–41; May 2003.

**A Universe without Weak Interactions.** Roni Harnik, Graham D. Kribs and Gilad Perez in *Physical Review D*, Vol. 74, No. 3, pages 035006–1–035006–15; August 2006.

**Quark Masses: An Environmental Impact Statement.** Robert L. Jaffe, Alejandro Jenkins and Itamar Kimchi in *Physical Review D*, Vol. 79, No. 6, pages 065014–1–065014–33; March 2009.

logical constant is substantially larger than the value we observe. Within a multiverse, the vast majority of universes could have cosmological constants incompatible with the formation of any structure.

A real-world analogy—as opposed to an action-movie one—would be to send thousands of people trekking across a mountainous desert. The few who make it out alive might tell stories full of cliffhangers, encounters with poisonous snakes, and other brushes with death that would seem too close to be realistic.

Theoretical arguments rooted in string theory—a speculative extension of the Standard Model that attempts to describe all forces as the vibrations of microscopic strings—seem to confirm such a scenario. These arguments suggest that during inflation the cosmological constant and other parameters could have taken a virtually limitless range of different values, called the string theory landscape [see “The String Theory Landscape,” by Raphael Bousso and Joseph Polchinski; *SCIENTIFIC AMERICAN*, September 2004].

Our own work, however, does cast some doubt on the usefulness of anthropic reasoning, at least beyond the case of the cosmological constant. It also raises important questions. For example, if life really is possible in a weakless universe, then why does our own universe have a weak force at all? In fact, particle physicists consider the weak force in our universe to be, in a sense, not weak enough. Its observed value seems unnaturally strong within the Standard Model. (The leading explanation for this mystery requires the existence of new particles and forces that physicists hope to discover at the newly opened Large Hadron Collider at CERN near Geneva.)

As a consequence, many theorists expect that most universes would have weak interactions that are so feeble as to be effectively absent. The real challenge, then, may be to explain why we do *not* live in a weakless universe.

Eventually only a deeper knowledge of how universes are born can answer such questions. In particular, we may discover physical principles of a more fundamental level that imply that nature prefers certain sets of laws over others.

We may never find any direct evidence of the existence of other universes, and we certainly will never get to visit one. But we may need to learn more about them if we want to understand what is our true place in the multiverse—or whatever it is that is out there.



# דעות

{ פרופ' אלכס צמירי }

## קודונות הכרחיים

### חשוב שהעיתונות תפרסם את האמת: ניסויים בבעלי חיים הכרחיים לקידום המדע, וביצועם בישראל נמוך יחסית בהשוואה לעולם

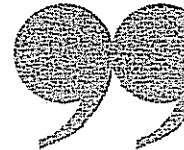
**ת**עקב אחר העיתונות בישראל עם זכיית פרופ' עדה יונת בפרס נובל, גילה תמיכה גורפת במחקר המדעי. אכן, לב כולנו התמלא גאווה לאור הזכייה ההיסטורית וכולנו מודעים ומוטרדים ממצב החינוך המדעי כיום וחוששים כי העתיד צופן פגיעה בטיב המחקר המדעי ובהצטיינות חוקריה, שאחד הביטויים שלה הוא זכייה בפרס נובל.

פופוליסטיות שונות, בהן הרצון לפגוע במחקר בסיסי (מסוג שפרופ' יונת זכתה עליו בפרס נובל), או למנוע את היבואייצוא החופשי של בעלי חיים, שכלעריו אין שיתוף פעולה בינלאומי ולא יהיו פרסי נובל. מדינת ישראל פועלת בהתאם לסטנדרטים המקובלים בעולם בתחום הניסויים, וכלל בסיסי הוא שמירה מירבית על רווחת בעלי החיים

זאת, בהשוואה ל-13,760 חיות לאלף תושבים שנצרכו למזון בישראל. מטרה להתקפות החכיבה על מתנגרי הניסויים הם הניסויים בקופים. ניסויים אלה הם המועטים ביותר, המאשרים רק במקרים ההכרחיים וקשורים למידע חיוני ויישום עתידי באדם. גם כאן מספר הקופים המשמשים לניסויים ביורפואיים בישראל נמוך בהרבה (5.5 קופים למיליון תושבים) בהשוואה למספר מדינות המשמשות רוגמה נפוצה להקפדה על רווחת החיות (43 בכלגיה, 7 בשוודיה, 61 בשווייץ ו-75 בבריטניה). בתחום זה ישנה חשיבות רבה לעיתונות. לעתים יוצאים כתבים מסוימים למסע צלב נגד הניסויים הללו בגלל רעותיהם האישיות, ואינם מבחינים בין ריווח הוגן לבין הבעת דעה אישית. חובתה של העיתונות היא לאפשר לאנשי מדע המכירים את הנושא מקרוב, להביא ליריעת הציבור מידע אמין וברוק. יהיה זה לתועלת המחקר המדעי אם נזכור כולנו כי החלטות פופוליסטיות והטלת איסורים והגבלות נוספים על הניסויים בבעלי חיים עלולים לפגוע פגיעה אנושה במחקר הביורפואי ובעתידה של ישראל כמובילה בתחום המחקר והיישום הביוטכנולוגי. ©

הכותב הוא יו"ר המורים הבין-אוניברסיטאי למדעי תרפואה בישראל, ומשתתף למח' לבקרת ביולוגית במכון ויצמן

רק 44 חיות לאלף תושבים נלקחות לניסויים בישראל, בהשוואה ל-13,760 חיות לאלף תושבים שנצרכו למזון



ומניעת סכל מהם. איננו נלהבים לבצע את הניסויים בבעלי חיים, אולם זהו הכרח לשם קידום המחקר המדעי ולשם קידום בריאות הציבור ואיכות החיים של כולנו, כולל בעלי החיים. ההוכחה החרמשמיעית ליעילות מערכת האישור של ניסויים אלו מתבטאת במספר היחסי הנמוך שלהם בניסויים בישראל (44 חיות, רוב רובן תולדות ועכברים, ל-1,000 תושבים) לעומת מדינות אחרות (68 בכלגיה, 64 בדנמרק, 46 בפנילנד, 58 בשוודיה 63 בשווייץ ו-60 בבריטניה).

אות הבעיות של המחקר המדעי בישראל הוא ביטוי עיונות, כמו ההתקפה המתמשכת של עיתונאים מסוימים, ידוענים מתחום הבידור והאמנות וסתם מעדיפי חיות על האדם, נגד המחקר הביורפואי וניסויים בבעלי חיים. ההסתה כוללת השמצות חסרות יסוד וטענה כוזבת שההוק המסדיר ניסויים בבעלי חיים כארץ מתירני בהשוואה לזה שבארצות התרבות האחרות. החוקרים בתחום הביורפואה נאלצים להתמודד בכנסת מול הצעות הוק

שבו ערכו של הקבוע הקוסמולוגי גבוה במידה ניכרת ממה שאנחנו צופים כעת. ברב-יקום, ברוב המוחץ של היקומים יכול להיות קבוע קוסמולוגי שלא יתאים ליצירת שום מבנה.

אם נחפש מקבילה מן העולם האמיתי, ולא מעולם סרטי הפעולה, נוכל לחשוב על שליחת אלפי אנשים למסע רגלי לחציית מדבר הררי. המעטים שיצליחו לסיים את המסע בחיים עשויים לספר סיפורים עמוסים בהתנודרות על פי תהומות, מפגשים עם נחשים ארסיים ושאר התכוכויות כמוות שייראו קרובות מכדי להיות אמיתיות.

דומה שטיעונים תיאורטיים הנוטעים בתורת המיתרים - הרחבה ספקולטיבית של המודל הסטנדרטי המנסה לתאר את כל הכוחות כתנודרות של מיתרים מיקרוסקופיים - מאוששים תרחיש כזה. הטיעונים האלו מעלים את האפשרות שבמהלך האינפלציה, הקבוע הקוסמולוגי ושאר משתנים היו יכולים לקבל ערך מתוך קשת רחבה ובלתי מוגבלת למעשה של ערכים שונים, קשת המכונה הנוף של תורת המיתרים.

עם זאת, עבורתנו שלנו אכן מטילה ספק מסוים ביעילותם של היקשים אנתרופיים, לפחות כשהם חורגים מן המקרה של הקבוע הקוסמולוגי. היא גם מעלה שאלות חשובות. לדוגמה, אם החיים אכן אפשריים ביקום נטול כוח חלש, או מדוע ביקום שלנו יש בכלל כוח כזה? למעשה, בעיני פיזיקאי החלקיקים, הכוח החלש שביקום שלנו אינו חלש דיו, במובן מסוים. הערך הנצפה שלו נראה חזק במידה בלתי טבעית במסגרת המודל הסטנדרטי. (ההסבר המוביל לתעלומה הזו דורש קיום של חלקיקים וכוחות חדשים שהפיזיקאים מקווים לגלות במאיץ ההדרונים הגדול, LHC, שנפתח לא מכבר במעבדת CERN הסמוכה לזינווה.)

כתוצאה מכך, תיאורטיקנים רבים משערים שבמרבית היקומים האינטראקציות החלשות יהיו קלושות כל כך, עד שאפשר בעצם לא להתחשב בקיומן. האתגר האמיתי אפוא יהיה להסביר מדוע איננו חיים ביקום נטול כוח חלש.

בסופו של דבר, רק ידע מעמיק יותר בשאלה כיצד נולדים יקומים יכול לענות על שאלות כאלו. בפרט, אנו עשויים לגלות עקרונות פיזיקליים ברמה יסודית יותר, שילמדו על כך שהטבע מעדיף מערכות חוקים מסוימות על פני אחרות.

ייתכן שלעולם לא נמצא ראיה ישירה לקיומם של יקומים אחרים, ובוודאי שלעולם לא נזכה לבקר ביקום כזה. אבל ייתכן שנצטרך ללמוד עליהם יותר אם ברצוננו להבין מה מקומנו האמיתי ברב-יקום - או במה שלא יהיה שמצוי שם בחוץ.

**יש שם מישהו?**

מערכות רבות נוספות של חוקי פיזיקה עשויות להיחנות הוואקום הבראשיתית במרבית המקרים. ובכללם המתוארים כאן. לא ידוע אם היקומים האלה יתאימו לחיים. אבל ייתכן שהמחקרים העתידיים יגדלו.

**הלים וסולם**

כיוונונים מסוימים של היקום ונטול הכוח הגרעיני החלש יפיקו יקום שלא יישאר בו לסעשה שום מימן אחרי המפץ הגדול. הכוכבים יהיו עשויים בעיקר מהליום.

**רב-קווארק**

ביקום שלנו, הקווארקים מתאגדים לקבוצות של שניים או שלושה בשביל ליצור חלקיקים, אבל ביקומים אחרים הם עשויים גם ליצור קבוצות של ארבעה, חמישה או יותר.

**ממדים נבדלים יותר**

על פי תורת המיתרים, יש למרחב עשרה ממדים. ביקום שלנו, כל הממדים למעט שלושה הנתמך סביב עצמם או הפכו לבלתי ראיים בדרך אחרת. מה היה קורה אילו ארבעה ממדים או יותר היו עדיין וראיית?

**ועוד בנושא**

A Designer Universe? Steven Weinberg. Conference on Cosmic Design of the American Association for the Advancement of Science, Washington, D.C., April 1999. Available online at [www.physlink.com/Education/essay\\_weinberg.cfm](http://www.physlink.com/Education/essay_weinberg.cfm)

Parallel Universes. Max Tegmark in *Scientific American*, Vol. 288, No. 5, pages 40-51; May 2003.

A Universe without Weak Interactions. Roni Hamik, Graham D. Kribs and Gilad Perez in *Physical Review D*, Vol. 74, No. 3, pages 035006-1-035006-15; August 2006.

Quark Masses: An Environmental Impact Statement. Robert L. Jaffe, Alejandro Jenkins and Itamar Kimchi in *Physical Review D*, Vol. 79, No. 6, pages 065014-1-065014-33; March 2009.

תפיחה. עדיין אין בקוסמולוגיה מודל תיאורטי כרוך של האינפלציה, אבל התיאוריה מורה על כך שטלאים אחרים היו יכולים לתפוח בקצב אחר ושכל טלאי היה יכול ליצור "כיס" שעשוי להפוך ליקום בזכות עצמו, המתאפיין בערכים משלו לקבועי הטבע. המרחב שבין יקומי הכיס יכול להמשיך להתפשט כל כך מהר עד שלא יתאפשר לעבור או לשלוח מסרים מכיס אחד למשנהו, אפילו במהירות האור.

הסיבה השנייה שעשויה לספק תמיכה עקיפה לקיומו של הרב-יקום היא שגודל אחד עדיין נראה מכוונן בדיוק פנטסטי: הקבוע הקוסמולוגי, המייצג את כמות האנרגיה הגלומה במרחב הריק. בפניויות הקוונטים, אפילו מרחב ריק מכל דבר אחר חייב להכיל אנרגיה ועל פי תורת היחסות הכללית של איינשטיין, כל צורות האנרגיה מפעילות כבידה. אם האנרגיה הזו חיובית, היא גורמת למרחב-זמן להתפשט בתאוצה הגדלה בקצב מעריכי. אם היא שלילית, יקרום היקום מחדש ב"ריסוק גדול." דומה שתורת הקוונטים מרמזת שהקבוע הקוסמולוגי צריך להיות גדול כל כך, אם חיובי ואם שלילי, עד שהמרחב עצמו יתפשט מהר מכדי שיהיה למבנים כגון גלקסיות סיכוי להיווצר, או שהיקום יתקיים רק לשבריר שנייה לפני שיקרום מחדש.

אחת הדרכים להסביר מדוע היקום שלנו התחמק מאסונות כאלה היא שגורם אחר כמושוואות ביטל את ההשפעות של הקבוע הקוסמולוגי. הבעיה היא שהגורם הזה יצטרך להיות מכוונן בדיוק של חוט השערה. כל סטייה, אפילו במקום המאה שאחרי הנקודה העשרונית, תיצור יקום נעדר מבנה משמעותי.

סטיבן ווינברג, התיאורטיקן חתן פרס נובל מאוניברסיטת טקסס שבאוסטין, הציע ב-1987 הסבר אנתרופי לתעלומת הקבוע הקוסמולוגי. הוא חישב חסם עליון לערך של הקבוע, שעדיין יכול לעלות בקנה אחד עם חיים. אם הערך יהיה גדול יותר, המרחב יתפשט כל כך מהר עד שלא יימצאו ביקום המבנים הדרושים ליצירת חיים. במובן מסוים אפוא עצם קיומנו מנבא את הערך הנמוך של הקבוע.

ואז, בשלהי שנות ה-90, גילו האסטרונומים שהתפשטות היקום אכן מאיצה, תאוצה שמאחוריה עומדת צורה מסתורית של "אנרגיה אפלה." הקצב שנצפה לימד. שהקבוע הקוסמולוגי הוא חיובי וזעיר, בגבולות החיזוי של ווינברג, ומשמעות הדבר היא שהאנרגיה האפלה דלילה מאוד.

לפיכך דומה שהקבוע הקוסמולוגי מכוונן בדיוק בלתי רגיל. יותר מזה, נראה שהשיטות שהפעילו הצוותים שלנו על הכוח הגרעיני החלש ועל מסות הקווארקים נכשלו במקרה הזה, מכיוון שנראה בלתי אפשרי למצוא יקום מתאים לחיים

**תרחיש 2: יקומים עם קווארקים אחרים**

**התנסקות בחומר**

דמיינו לעצמכם שאנו חשנים את החסות של הקווארקים הקלים (כלומר הקווארקים שיכולים ליצור בריונים יציבים, כגון נויטרונים ופרוטונים). האם עדיין יתקבלה היסודות ההכרחיים ליצירת חיים כפי שאנו מכירים אותם? היקום שיתקבל צריך להכיל לכל הפחות גרעינים יציבים בעלי מטענים חשמליים בדלים 1, 6 ו-8, מכיוון שמטענים כאלו יעניקו להם תכונות דומות לתכונותיהם של מימן, של פחמן ושל חמצן, בהתאמה. הנה כמה אפשרויות למה שיתרחש.

הכימיה המתקבלת היסודות היציבים הקלים ביותר בריונים יציבים קווארקים קלים

היקום שלנו	יקום הלופי 1	יקום הלופי 2	יקום הלופי 3	יקום הלופי 4
<p><b>פחמן 12</b></p> <p>פחמן 12 ויסודות אחרים יציבים; החיים אפשריים</p>	<p><b>פחמן 14</b></p> <p>פחמן 14 ויסודות אחרים יציבים; החיים אפשריים</p>	<p><b>פחמן סיגמה</b></p> <p>כמה גרעינים בעלי מטען 6 (ולפיכך בעלי כוונה דמוית פחמן) וגרעינים אחרים יציבים; החיים אפשריים</p>	<p><b>הליום-דלתא</b></p> <p>אף יסוד אחר אינו יציב; היקום אינו מתאים לחיים</p>	<p><b>מימן סיגמה</b></p> <p>אין צורה יציבה של פחמן או חמצן; היקום אינו מתאים לחיים</p>
<p>מטען 0 קווארק מסה u d</p>	<p>מטען 0 קווארק מסה u d</p>	<p>מטען 0 קווארק מסה u d</p>	<p>מטען 0 קווארק מסה u</p>	<p>מטען 0 קווארק מסה u d</p>
<p>פחמון נויטרון ב-0.1% מן הפחמון</p>	<p>פחמון נויטרון ב-0.1% מן הפחמון</p>	<p>פחמון נויטרון ב-0.1% מן הפחמון</p>	<p>פחמון נויטרון ב-0.1% מן הפחמון</p>	<p>פחמון נויטרון ב-0.1% מן הפחמון</p>
<p>מימן</p>	<p>מימן</p>	<p>מימן סיגמה</p>	<p>הליום-דלתא דלתה (מטען 2)</p>	<p>מימן סיגמה</p>
<p>קווארקים קלים</p>	<p>קווארקים קלים</p>	<p>קווארקים קלים</p>	<p>קווארקים קלים</p>	<p>קווארקים קלים</p>

בעולם שלנו, הקווארק שמסתו היא השלישית בגודלה (כשהם מסודרים מן הקל אל הכבד), הקווארק "מזור", כבר מכדי להשתתף בתהליכים של פיזיקה גרעינית. אבל אם תהיה המסה שלו קטנה יותר לפחות בסדר גודל אחר, הגרעין יוכל להיות מורכב לא רק מפרוטונים ומנויטרונים אלא גם מכריונים אחרים המכילים קווארקים מזורים.

לדוגמה, הצוות זיהה יקום שבו לקווארק מעלה ולקווארק מזור תהיה פחות או יותר אותה מסה, ואילו הקווארק מסה יהיה הרבה יותר קל. גרעיני האטום לא יהיו עשויים מפרוטונים ומנויטרונים אלא מנויטרונים ומבריון אחר, המכונה 'ס' ("סיגמה מינוס"). ראוי לציין שאפילו ביקום שונה במידה קיצונית כל כך יהיו צורות יציבות של מימן, של פחמן ושל חמצן ולפיכך תוכל להתקיים בו כימיה אורגנית. השאלה, אם היסודות האלה יופקו בכמות מספקת כדי שחיים יוכלו להתפתח במקום כלשהו בתוכם, נותרה בינתיים ללא מענה.

אבל אם יוכלו החיים לצמוח, הדבר יקרה שוב באופן דומה למדי למה שהתרחש בעולם שלנו. פיזיקאים בעולם כזה עשויים לקמט את מצחם לנוכח העובדה שלקווארק מעלה ולקווארק מזור יש כמעט אותה מסה. הם עשויים אפילו לרמיץ שיש לצירוף המקרים המרהים הזה הסבר אנתרופי, המבוסס על הצורך בכימיה אורגנית. ועם זאת אנו יודעים שהסבר כזה יהיה שגוי, מכיוון שבעולם שלנו יש כימיה אורגנית למרות שהמסה של הקווארק מסה שונה בתכלית מן המסה של הקווארק מזור.

אבל ביקומים שבהם לשלושת הקווארקים הקלים יש בערך אותה מסה, סביר להניח שלא תהיה שום כימיה אורגנית: כל גרעין בעל מטען חשמלי גבוה משתי יחידות יתפרק כמעט מיד. למרבה הצער, קשה מאוד למפות לפרטי פרטים את ההיסטוריות של היקומים שהמשתנים הפיזיקליים שלהם שונים מן המשתנים ביקום שלנו. הסוגיה הזו דורשת מחקר נוסף.

אדריכלות נופך פיתרית הכוונן המדויק של הקבועים הועלה בידי כמה פיזיקאים עיוניים כראיה עקיפה לקיומו של דב-יקום. האם הממצאים שלנו מטילים אפוא ספק במושג הדב-יקום? איננו סבורים כך, וזאת משתי סיבות. הראשונה נובעת מתצפית המשולבת בתיאוריה. נתונים אסטרונומיים תומכים במובהק בהשערה שהיקום שלנו התחיל בתור שלאי זעיר של מרחב-זמן, אולי מיליארדית מגודלו של פרוטון, שעבר שלב של גירול מהיר ומעריפי המכונה אינפלציה, או

מאת דניאל פרידמן

**רעיונות אחרים בדבר  
 "יקומים מקבילים"**

פזיקאים ומוסמלוגים ולעתים  
 מרובות: סופר מדע בדיוני  
 מוזרים על עולמות מקבילים  
 בכמה וכמה הקשרים שונים.  
 הוחם לפחות שלושה מעונות  
 השונים מריון הרב-יקום  
 המסואר במאמר זה.

מיוני האבל  
 סביר להניח שהיקום שלנו  
 הרבה יותר גדול מן החלק  
 שבו אנו יכולים לצפות  
 ב"עולם האבל" שלנו. אם נדלו  
 אינסופי מן ההכרח שקיימות  
 אינסוף "מנות האבל" ופרדות  
 (שבמרכז כל אחת מן)  
 ויצבים צופים המתגוררים  
 בכלקסיות מרחקות) חלק  
 מן יכולות להיות זהות לשלנו.  
 עם מקבילה שלכם שקוראת  
 עמנו בדיוק את המאמר הזה.

ברנות (branes)  
 אם למחב יש יותר משלושה  
 ממדים, אז היקום שלנו יכול  
 להיות ממברנה אחת מתוך  
 הרבה ממברנות תלת-ממדיות.  
 המכונות "ברנות", המשוונות  
 במרחב רב-ממדי רחב יותר.  
 היקום המקבילים האלה  
 יכולים להשפיע זה על זה  
 ואפילו להתנגש זה בזה.



ברנות  
 מקבילות  
 השערת העולמות המרובים  
 כפיזיקת הקוונטים, עצם אחד  
 יכול להתקיים בכמה וכמה  
 סגבים - כמו במקרה של  
 התחל המפורסם, התיינות  
 בעת ובעונה אחת - ורק הפרעה  
 חיצונית תאלץ אותו להתקבע  
 במצב יחיד. יש פיזיקאים  
 המאמינים שכל המצבים  
 האפשריים האלה ממשיכים  
 להתקיים, כל אחד מהם בגישה  
 "מסתעפת" אחרת של היקום.



ביקום נעדר כוח חלש, אי אפשר ליצור הליום  
 מפרוטונים באמצעות מיוג, מכיוון שבתהליך  
 הזה שני פרוטונים חייבים להפוך לנויטרונים.  
 אבל יכולים להתקיים מסלולים אחרים ליצירת  
 היסודות. לרנגמה, כמות החומר ביקום שלנו גדולה  
 במידה עצומה מכמות האנטי-חומר, אבל די לכונן  
 קלות את המשחנה האחראי על אי הסימטריה הזאת  
 כדי לנודא שהנוקליאוסיתזה של המפץ הגדול  
 תותיר מאחוריה כמות נכבדה של גרעיני דויטריום.  
 דויטריום, הידוע גם בשם מימן 2, הוא איזוטופ של  
 מימן שבגרעין שלו יש נויטרון בנוסף לפרוטון.  
 במקרה כזה הכוכבים יוכלו לנודח על ידי היתוך  
 של פרוטון וגרעין דויטריום כדי ליצור גרעין של  
 הליום 3 (המורכב משני פרוטונים ונויטרון אחד).  
 כוכבים כאלו, נערי הכוח החלש, יהיו קרים  
 יותר וקטנים יותר מן הכוכבים שביקום שלנו. על פי  
 הרמיות מחשב שערך האסטרופיזיקאי אדם בוראז  
 מאוניברסיטת פרינסטון, הם יוכלו לבעור במשך  
 כשבעה מיליארדי שנים - בערך גילה הנוכחי של  
 השמש שלנו - ולהקרין אנרגיה בשיעור לא מבוטל  
 של כמה אחוזים ממה שמקרינה השמש שלנו.

**הדור הבא**

ממש כמו כוכבים ביקום שלנו, גם כוכבים ביקום  
 נטול הכוח החלש יוכלו לסגת יסודות כבדים כמו  
 ברזל באמצעות היתוך גרעיני. אבל התגובות  
 הטיפוסיות שמוכילות כוכבים שלנו ליצירת  
 יסודות כבדים יותר מברזל ייעשו זניחות, בראש  
 ובראשונה מכיוון שלא יהיו לגרעינים די נויטרונים  
 זמינים ללכידה לצורך הפיכתם לאיזוטופים כבדים  
 יותר - הצעד הראשון ביצירת יסודות כבדים יותר.  
 ייתכן שכמיות קטנות של יסודות כבדים, עד  
 סטרונציום, יוכלו להיווצר בתוך כוכבים נטולי  
 כוח חלש באמצעות מנגנונים אחרים.

ביקום שלנו, התפוצצויות סופרנובה מפזרות  
 בחלל את היסודות החדשים שסונתו, ומסנתזות  
 בעצמן עור מן היסודות האלה. יכולים להיות  
 כמה סוגי סופרנובות: ביקום נעדר כוח חלש לא  
 יתקיימו התפוצצויות סופרנובה הנגרמות מקריסה  
 של כוכבים בעלי מסה גבוהה, מכיוון שפליטת  
 הנויטרונים, המופקים באמצעות הכוח החלש, היא  
 שמעכירה מליכת הכובד את האנרגיה שמתחזקת  
 את גל ההלם שגורם לפיצוץ. עם זאת, סוג אחר של  
 סופרנובה - פיצוץ תרמו-גרעיני של כוכב שמונע  
 על ידי ספיחה (accretion), ולא על ידי קריסה  
 כבידתית - עדיין יתרחש. לפיכך, עדיין תהיה  
 ליסודות אפשרות להתפזר בחלל הבין-כוכבי  
 ולהנביט שם כוכבים וכוכבי לכת חדשים.

פרוטונים ונויטרונים, ואז קושר את הנוקליאונים  
 האלה ליצירת גרעיני אטום, לא היה מתקיים החומר  
 כפי שאנו מכירים אותו. ללא הכוח האלקטרומגנטי,  
 לא היה אור; כמו כן, לא היו אטומים ולא קשרים  
 כימיים. ללא הכבירה, לא היה כוח שיגבש את  
 החומר ליצירת גלקסיות, כוכבים ופלנטות.

לכוח הרביעי, הכוח הגרעיני החלש, יש נוכחות  
 חמקמקה יותר בחיי היום-יום שלנו, אבל הוא עדיין  
 ממלא תפקיד חשוב בהיסטוריה של היקום שלנו.  
 בין השאר, בזכות הכוח החלש מתאפשרות התגובות  
 שהופכות נויטרונים לפרוטונים ולהפך. ברגעים  
 הראשונים של המפץ הגדול, הקווארקים, הנמנים על  
 צורות החומר הראשונה שהופיעו, התאגדו בשלשות  
 ליצירת פרוטונים ונויטרונים, חלקיקים שניתן להם  
 השם הקיבוצי "בריונים". אחר כך היו יכולות קבוצות  
 בעלות ארבעה פרוטונים לעבור היתוך ולהפוך  
 לגרעיני הליום 4, המורכבים משני פרוטונים ושני  
 נויטרונים. תהליך זה, הנוקליאוסיתזה של המפץ  
 הגדול, התרחש כשהיקום שלנו היה בן כמה שניות,  
 והיה כבר קר די הצורך להיווצרות בריונים אבל  
 עדיין די חם כדי שהבריונים יוכלו לעבור היתוך  
 גרעיני. בנוקליאוסיתזה של המפץ הגדול נוצרו  
 המימן וההליום שמאחר יותר ישמשו כחומר הגלם  
 שממנו ייווצרו כוכבים. כוכבים האלה, באמצעות  
 היתוך גרעיני ותהליכים אחרים, יחשלו בעצם כל  
 שאר היסודות המופיעים באופן טבעי. ועד ימינו  
 אלה, ההיתוך של ארבעה פרוטונים ליצירת הליום 4  
 ממשך להתחולל בקריבה של השמש שלנו, ובזכותו  
 מופקת מרבית האנרגיה שאנחנו מקבלים מן השמש.  
 ללא הכוח הגרעיני החלש דומה שלא מתקבל  
 על הועת יקום שיוכל להכיל משהו שדומה לכימיה  
 מודרנית, וודאי שלא לחיים. ועם זאת, ב-2006  
 גילתה הקבוצה של פרז מערכת חוקים פיזיקלית  
 שהתבססה אך ורק על שלושת כוחות הטבע  
 האחרים ועדיין הפיקה יקום ראוי לשימוש.

ביטול הכוח הגרעיני החלש דרש כמה וכמה  
 תיקונים כמה שמכונה המודל הסטנדרטי של  
 פיזיקת החלקיקים, התיאוריה שמתארת את כל  
 הכוחות מלבד הכבירה. הצוות הראה שאפשר  
 לכונן את המערכת באופן שיאפשר לשלושת  
 הכוחות האחרים, ולעוד כמה משתנים חיוניים  
 כגון המסות של הקווארקים, להתנהג באופן דומה  
 להתנהגותם בעולם שלנו. עלינו להדגיש שהבחירה  
 הזו הייתה שמרנית, ונועדה להקל על החישובים  
 המתארים את אופן ההתפתחות של היקום. בהחלט  
 ייתכן שקיימת קשת רחבה של יקומים אחרים  
 שנעדר מהם הכוח החלש, אך הם ניתנים ליישוב  
 ואינם דומים במאומה ליקום שלנו.

החומר נכתב על ידי פרופ' דניאל פרידמן, אוניברסיטת תל אביב

<p>כוכב לכת האור ליישוב (מתהגה)</p>	<p>2 סופרנובות שונות</p>	<p>הליום 4 פחמן 12</p>	
<p>יצורים תבוניים מופיעים ומתחילים לתהות מדוע היקום שלהם הוא כפי שהוא</p> <p>מערבת השמש מארת כדור הארץ הוא כוכב הלכת השלישי מן השמש</p>	<p>הזרות הבאים של כוכבים קורסים והופכים לסופרנובות בסוג אחר של סופרנובה כוכבים אחרים מתפוצצים אחרי שהם סופחים חומר סופרנובות מפורזות יסודות בהלל</p>	<p>כוכבים חשתמשים בהליום 4 גם כדי ליצר פחמן ויסודות אחרים, עד לבדל בטבלה המחזורית תהליכים אחרים יוצרים יסודות שמעבר לברזל</p>	<p>בהתחלה נוצרים כוכבים ואחר כך נלקסיות ועוד כוכבים. הכוכבים זורחים בעיקר על ידי היתוך מימן ויצירת עוד הליום 4.</p>

<p>יצורים תבוניים מופיעים ומתחילים לתהות מדוע היקום שלהם הוא כפי שהוא</p> <p>מערבת שמש נוצרת כדי שתהיה הארץ ליישוב המתקן שבין "כדור ארץ" גודל כזה הלש ובין השמש הקלושה שלו חייב להיות קטן יותר מן המתקן שבין מכתב חסה לשמש שלנו</p>	<p>כוכבים קורסים אינם יסלים להפך לסופרנובה; לכן הם "העכים" אבל כמה כוכבים מתפוצצים והופכים לסופרנובות אחרי שהם סופחים חומר סופרנובות מפורזות יסודות בהלל</p>	<p>כוכבים יוצרים גם קצת הליום 4 על ידי היתוך דויטריום ואז באמצעות היתוך נוסף, מפיקים פחמן ושאר יסודות עד לסילל יסודות כבדים יותר גנדרים למעשה.</p>	<p>בהתחלה נוצרים כוכבים ואחר כך נלקסיות ועוד כוכבים. זוהר הכוכבים קר יותר, ונוצר בעיקר על ידי היתוך דויטריום ומימן כדי ליצור עוד הליום 3.</p>
<p>כוכב לכת האור ליישוב</p>	<p>סוג אחר של סופרנובה</p>	<p>הליום 4 דויטריום פחמן 12</p>	

**המתחפרים**

אלחנדרו ג'נקינס (Jenkins), יליד קוסטה ריקה, עובד בצוות הפיזיקה באוניברסיטת ניוהאמפשייר באוניברסיטת מדינת פלורידה. הוא מחזיק בתארים מאוניברסיטת הרווארד וכן המכון הטכנולוגי של קליפורניה. הוא חקר יקוסים חלופיים כששהה במכון הטכנולוגי של מסצ'וסטס (MIT) יחד עם בוב יפה ואיתחר קמחי. גלעד פרוז הוא תיאורטיקן במכון ויצמן למדע ברחובות, שם קיבל את תואר הדוקטור שלו ב-2003. כששהה במעבדה הלאומית ע"ש לורנס ברקלי, הוא חקר את הרב-יקום עם רוני הרניק מאוניברסיטת סטנפורד ועם נרהם ד' קריבס מאוניברסיטת אורגון. כמו כן הוא עבד כפרופסור זוטר באוניברסיטת סטוני ברזק, באוניברסיטת בוסטון ובהרווארד.

שלנו כרי להעריך כיצד שינויים קטנים במסות הקווארקים ישפיעו על מסות הגרעינים. בעולם שלנו, הנויטרון כבד בערך ב-0.1% מן הפרוטון. אם נשנה את מסות הקווארקים כך שהנויטרון יהיה כבד יותר מן הפרוטון ב-2%, לא תתקיים שום צורה מאריכת חיים של פחמן או חמצן. אם יוחאמו מסות הקווארקים בצורה כזו שהפרוטון יהיה כבד יותר מן הנויטרון, ילכוד הפרוטון שבגרעין המימן את האלקטרון שסביבו ויהפוך לנויטרון, כך שאטומי מימן לא יוכלו להתקיים זמן רב. אבל דויטריום או טריטיום (מימן 3) עדיין עשויים להיות יציבים, כמזהם בצורות מסוימות של המצן ופחמן. אכן, גילגו שרק במקרה שהפרוטון יהיה כבד יותר מן הנויטרון ביותר מאחוז אחד לא תהיה אף צורה יציבה של מימן. אם יחליפו הדויטריום (או הטריטיום) את המימן 1, האוקיינוסים יהיו עשויים ממים כבדים, שהתכונות הפיזיקליות והכימיות שלהם שונים מעט מן ההכונות של מים רגילים. עדיין, לא נראה שעולמות כאלו מציבים מכשול עקרוני בפני התפתחות צורה מסוימת של חיים אורגניים.

אלקטרונים בהיערכות המאפשרת לפחמן ליצור מגוון עצום של מולקולות מורכבות. (סופרי מדע בדיוני רבים הציגו שאפשר לבסס חיים על צורן (סיליקון), היסוד שמתחת לפחמן בטבלה המחזורית, במקום על פחמן, אך הרעיון הזה מוטל בספק: לא ירוע על קיומן של מולקולות מבוספות צורן בעלות דמת מורכבות משמעותית כלשהי.) יותר מזה, כרי שייצרו מולקולות אורגניות מורכבות יש צורך בנכחות של יסודות בעלי כימיה של מימן (מטען גרעיני 1) ושל חמצן (מטען גרעיני 8). לכן, כדי לראות אם כימיה אורגנית כזו יכולה להתקיים, הצוות היה חייב לחשב ולבודק אם גרעינים בעלי מטען 1, 6 או 8 יעברו פירוק רדיואקטיבי לפני שיספיקו להשתתף בתגובות כימיות וראו תיבה בעמוד הבא. יציבות הגרעין תלויה בין השאר במסה שלו, והיא עצמה תלויה במסות הבריונים שמהם עשוי הגרעין. חישוב מסות הבריונים והגרעינים, כשנקודת המוצא היא מסות הקווארקים, היא משימה מאתגרת להפליא אפילו ביקום שלנו. אבל אחרי כוונון עוצמת האינטראקציה שבין הקווארקים, אפשר להשתמש במסות הבריונים שנמדדו ביקום

**תחיש 1: יקום וטול כוח חלש**

**קיצור תולדות היקום החלופי**

<p><b>פוטונים</b> היום 4</p> <p><b>חלקיקי מיטרים</b></p> <p>חלק מן הפוטונים הופכים לגרעיני הליום 4 באמצעות היתוך. התגובה הזו מסתמכת על הכוח הגרעיני החלש שהופך פרוטונים לנייטרונים, לפחותונים ולחלקיקי מיטרים.</p>	<p><b>מעלה מטה קווארקים</b></p> <p><b>נייטרון פרוטון</b></p> <p>קווארקי מעלה וקווארקי מטה מתאחדים והופכים לפרוטונים (גרעיני מימן) ונייטרונים.</p>	<p><b>4 כוחות</b></p> <p><b>חלקיקים אלמנטריים</b></p> <p>וארבעה כוחות יסוד מופיעים. בטמפרטורה הקיצונית של היקום, הכוח החלש מונע מן החומר לקבל מטה.</p> <p><b>התקררות מרמת לכה החלש להיות חלש בפועל והדבר מאפשר לחלקיקי החומר לקבל מטה.</b></p>
<p><b>פוטונים</b> היום 3</p> <p><b>חלקיקי מיטרים פרוטון</b></p> <p>בתהליך היתוך פוטונים ונייטרונים הופכים לנייטרונים ואחר כך לגרעיני הליום 3. פרוטונים אינם יכולים להפוך לנייטרונים.</p>	<p><b>מעלה מטה קווארקים</b></p> <p><b>נייטרון פרוטון</b></p> <p>קווארקי מעלה וקווארקי מטה מתאחדים והופכים לפרוטונים ונייטרונים.</p>	<p><b>3 כוחות (הכוח הגרעיני החלש נעדר)</b></p> <p><b>חלקיקים אלמנטריים מופיעים, אבל לחלקיקי החומר כבר יש מטה.</b></p>

יקום בעל שלושה כוחות יסודיים, במקום הארבעה הרגילים, עדיין עשוי להיראות מוכר במידה מפתיעה. לפניכם המרשם כיצד לולות זאת.

- סלקו את הכוח הגרעיני החלש על ידי הכנסת שיטתים בכסה "קבועים" במודל הסטנדרטי של פיזיקת החלקיקים.
- השאירו את שלושת הכוחות הנותרים בדיוק כפי שהם ביקום שלנו.
- התאימו משתנים אחרים כדי להקל על יצירת היתוך גרעיני בכוכבים.
- התוצאה היא עולם בעל מבנה מורכב שבכוחו לתמוך בצורות חיים הדומות לחיים שעל כדור הארץ.

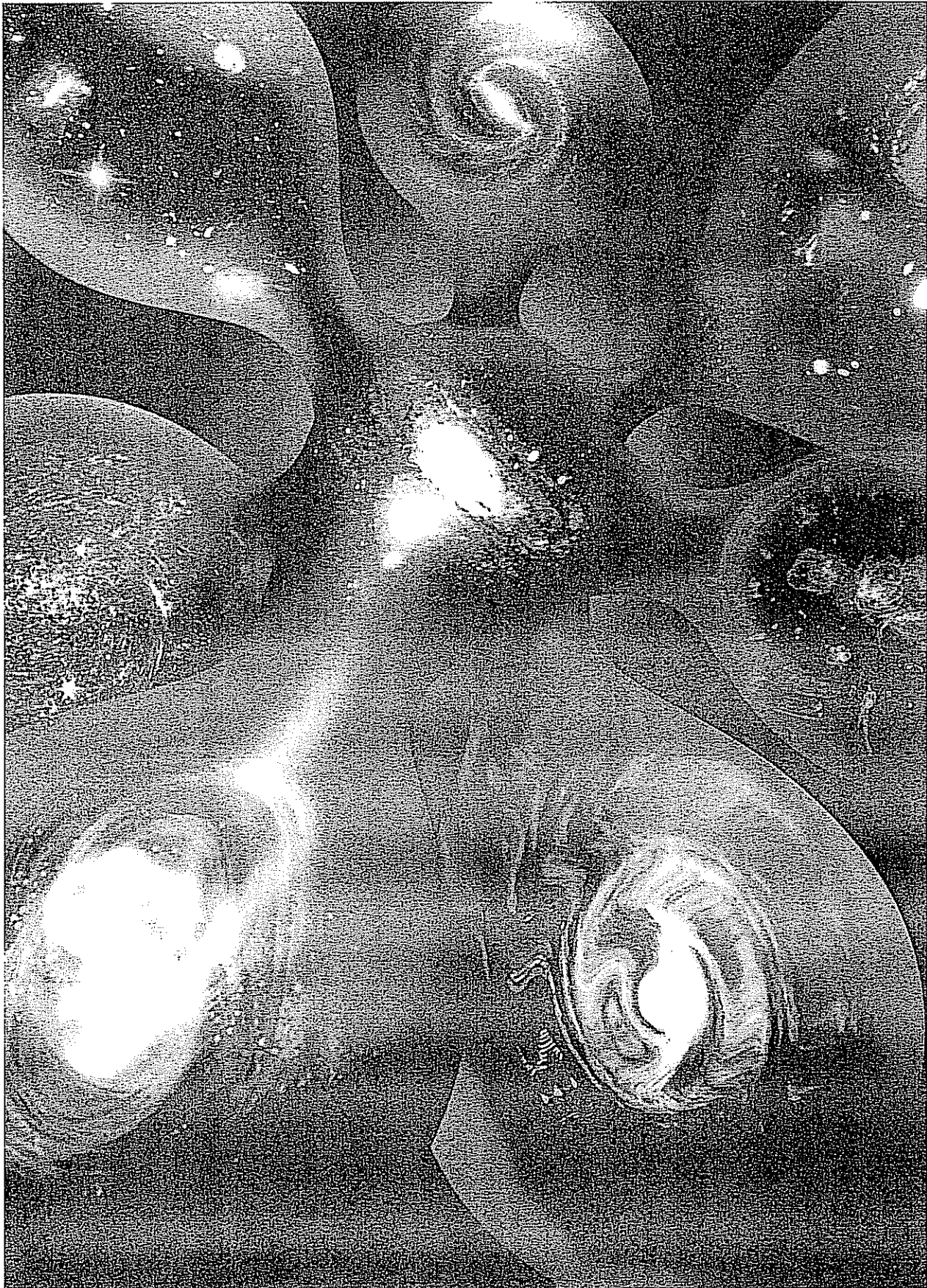
גישה אחרת, שנקטו הכותב השני של המאמר (ג'נקינס) ועמיתיו, מחפשת אחר מערכות חוקים חלופיות באמצעות שינויים אחרים במודל הסטנדרטי, קטנים יותר מביטול הכוח החלש, אך שגם הם כרוכים בשינוי של כמה משתנים בו זמנית. ב-2008 בדק הצוות עד כמה המסות של שלושת הקווארקים הקלים יותר מביין השישה - קווארק מעלה, קווארק מטה וקווארק מוזר - יכולות להשתנות בלי שהכימיה האורגנית תיהפך לבלתי אפשרית. שינוי מסות הקווארקים ישפיע בהכרח על השאלה אילו בריונים ואילו גרעיני אטומים יוכלו להתקיים בלי להתפרק במהירות. המבחר השונה של גרעיני אטומים ישפיע בתורו על הכימיה.

כיסיה בטעם אחר נראה מתקבל על הדעת שחיים תבונים (אלא אם כן הם שונים מאוד מן החיים שלנו), דווישים סוג מסוים של כימיה אורגנית, שבהגדרה היא הכימיה הכוללת פחמן. התכונות הכימיות של פחמן נובעות מן העובדה שהמעטן החשמלי של הגרעין שלו הוא 6, כך שמסביב לאטום פחמן ניטרלי הגים שישה

לנוכח הקור היהסי של הכוכבים נטולי הכוח החלש, ייאלץ גוף דמוי-ארץ נטול כוח חלש להיות קרוב פי שישה אל השמש שלו כדי שיישאר חם כמו כדור הארץ שלנו. השמש תיראה הרבה יותר גדולה בעיני תושביו של כוכב לכת כזה. כדורי ארץ נטולי כוח חלש יהיו שונים במידה ניכרת מכדור הארץ שלנו בהיבטים נוספים. בעולם שלנו, הלוהות הטקטוניים והפעילות הגעשית מונעים על ידי התפרקות רדיואקטיבית של אורניום ותוריום עמוק בקרבי הפלנטה. ללא היסודות הכבדים האלה, תהיה לכדור ארץ טיפוסי נטול כוח חלש גאולוגיה משעממת וחסרת אופי בהשוואה לשלנו - אלא אם כן תהליכים כבידתיים יספקו מקור חום חלופי, כפי שמתרחש על כמה מן הירחים של שבתאי וזדק. לעומת זאת, הכימיה תהיה דומה מאוד לכימיה של עולמנו. אחד ההבדלים יהיה שהטבלה המחזורית תיעצר בברזל, מלבד עקבות זעירים מאוד של יסודות אחרים. אבל המגבלה הזו לא תמנע התפתחות של צורות חיים דומות למה שאנו מכירים. לפיכך, אפילו יקום בעל שלושה כוחות יסוד בלבד יוכל לההאים לחיים.

**ייתכן שנצטרך ללמוד יותר על יקומים אחרים אם ברצוננו להבין מה מקומנו האמיתי ברב-יקום**





# חיפוש אחר חיים ברב-יקום

## ייתכן שגם יקומים בעלי חוקי פיזיקה שונים יכולים לאפשר קיום חיים סאת אלחנדרו ג'נקינס וגלעד פרו

הכדור האדום היה מתפרק כמעט מיד לנוטרונים ולא היו נוצרים משום אטומים וכך הלאה. חוקי הפיזיקה - ופרטי קבועי הטבע המשובצים בחוקים האלה - נמלמשים בעצמתה הפוחזת הסודיים, עשויים להוראות ואילו כווננו אותם במחקר כדי לאפשר את קיומנו. כמה פיזיקאים וקוסמוLOGים שלא רצו לחזקק להסבר על טבעי שפהמרה יהיה מחזן לתחומי המדע, התחילה בשנות ה-70 לנסות לפתור את החידה באמצעות השערה שהיקום שלנו הוא בסך הכול יקום אחד מתוך יקומים רבים, שכולם קיימים ולכל אחד מהם יש חוקים משלו. על פי צורת החשיבה ה"אנחה פיתח" הזאת, ייתכן שאנחנו פשוט מאכלסים את היקום הנדיר שבו במקרה הצטרפו התנאים הנכונים שמאפשרים יחידו יצירת חיים.

למרבד ההשתאות, התאוריה השלטת בקוסמולוגיה המהרנית שבאה לעולם בשנות ה-80 גורסת שיקומים מקבילים - כאלה עשויים באמת להתקיים ושלמעשה מספר רב של יקומים יכולים להיחל ללא הפסק מן הוואקום הבראשיתי באותו אופן שהיקום שלנו היחיד במפץ הגדול היקום שלנו יהיה בסך הכול יקום אחד מתוך הדפה יקומי - כפי המשתנימים למרחב גדול יותר

גבור הפעולה החוליוודי הטופוכי מרוויח את לחמו מהתחמקות מן המורה כביצע האחרון. ועשרות פחורים רעים יוריס עליו שוב ושוב אש צולפת - ומפספסים במילמטרים - מכוניות מחסו צורה שבריר שניה מאוחר מר. זהו המספיק לחפוס מחסה מפני הלהבות המתפרצות. חכרו של היצבור חמור מגיעים להציל את המעבד ממש הגע לפני שהנבל משספ את הגונו. לופל אחד מן הרביים האלה היה מתרחש רק קצת אחרת, היה אפשר לומר לו: האסטד לה ויסטה, ביכני. ועם זאת, אפילו אם לא האנו את הסרט לפני פן, משהו אומר לנו שבסופו העבור עדיין יישאה שלם.

הסיפור של היקום שלנו רומה במובנים מסוימים יסרט פעולה חוליוודי. כמה פיזיקאים טענו ששינוי קל באחד מחוקי הפיזיקה יגרונו בעקבותיו אסון שיהרוס את ההתפתחות הרגילה של היקום ויהפוך את קיומו לבלתי אפשרי. להוגמה, אם הכוח הגרעיני החזק, שבוכותו גרעיני האטומים אינם מתפרקים, היה קצת יותר חזק או קצת יותר חלש, הכוכבים היו יוצרים מעט מאוד מזמן ויסודות אחרים שנהאים הכחזים ליצירת כוכבי לכת, ואין עודד לומר חיים, אם הפרוטון היה כבד ב-0.2% יותר ממה שהיא כעת, כל המימן

**מושגי מפתח**

- ייתכן שכמה וכמה יקומים אחרים, שלכל אחד מהם חוקי פיזיקה משלו, הגיחו מאותו ואקום בראשיתי שממנו צמח היקום שלנו.
- בהנחה שהיקומים האלה קיימים, ייתכן שרבים מהם מכילים מבנים סורכבים זואלי אפילו צורות חסוימות של חיים.
- הסמצאים האלה מורים שייתכן שהיקום שלנו אינו כה "מכוון במדויק" להופעת חיים, כפי שהיה מקובל לחשוב בעבר.

סופר מילר

מאגזין המכשירים והתוכנות

# שניהם בחלקיקים

השלב הבא היה מחבקש מאליו: להביא את האלומות למצב יציב ולמקד אותן עד כדי התנשנות. ואכן, אחמול בבוקר - כשעונו אלמי פיקוקאים נשואות לעבר מעבדת האטומים, חלקם בחזרי הבקרה השונים וחלקם עוקבים באמצעות האינטרנט - ראיון את זה קורה. הניסיון הראשון כשל, אמנם, ובשלב הזה הלחץ עלה והלב פעם בקצב. אבל בשעה 13:06 אחמול לני ששון עווייץ התרחשה ההתנגשות הראשונה בהיסטוריה של אלומות באנריה כוללת של 7.000 מעם מסת הפרוטון. אי וניה נבונה מי שלושה חוזי מנה שהעולם ידע עד כה. לקבוצת המדענים הישראלית הייתה התרשנות כבר לה, מהולה במצוה. לאחר שעה החל גם הנלאי היסדאלי, שמהווה חלק מהנלאי "אטלס", לפעול במצוה. המאיץ ימשיך לפעול באנריה הזו בין 18 ל-24 חודשים ויספק עדות מחקר שונים ומסווגים לאלפי חוקרים וסטודנטים. אם יתמזל מזלו - נכלל לנלות את החלקיקים החסדים לע במאחז האנושי. דוקא במסה יצא המאיץ לחייה. עב שיו מחכות לו ששתיים של מחקר בחוף, שבו ובין יותר טוב מי אהש, מאין באנו וממה אהנו בוויים.

הכותב הוא פרופסור למיזיקת החלקיקים במכון ויצמן ומשתתף בניסוי

כ-9 במספטמבר 2009 אירעה תאונה מצער במאיץ החלקיקים. במסך חודשים מועי עכמים השבת המחוק הענק ביוות, אבל אחמול הוא חזר - בצורה הכי מרשימה שאפשר לרמיין.

המאיץ, צריך להבין הוא לא עוד מכונה. מדובר בכל המדא, במסוה המסוככת והמאתמרת ביותר שבמה האדם. וכדי להביא מכונה מהדימה כזו למצב של עבודה צריך להשקיע שנים.

לקראת סוף 2009 החל המאיץ לפעול. ולגרום להדת ושוה של אלומות פרוטונים באנריה כוללת של 900 מע מיס מהמסה של הפרוטון. אלברט איינשטיין הראה כבר ב-1905 את השכלות בין מסה לאנריה, המתבטאת כבר סהה המפרטטת ביותר בהיסטוריה: E=mc². המסמעות: כדי לייצר חלקיקים צריך להשקיע אנריה השווה למתות למטה שלהם. ובכן, המכונה הצליחה ועבדה ללא רבב. אחרי כן הועלתה האנריה לשיא עולמי חדש והמי עולה אנריה התנגשות גדולה עוד יותר. אבל זו הייתה רק המכה לדבר האמיתי: אחרי שנת חוף קצרה החלו הניסיונות להעלות את אנריית האלומות, ולמי פחות מ-3,500 מעמים מסת הפרוטון.

## כן פועל מאיץ החלקיקים

**1** **מאגזין SPS**

מגביר את תמעת הפרוטונים למהירות עצומה

**2** **תחנת הכנסות**

התחנת המיוחדת יורה אלומות של פרוטונים לתוך התחנה

**3** **תחנת ההארה**

התחנה מייצרת אלומות של פרוטונים המיועדות לניסויים

**4** **מאגזין הכנסות**

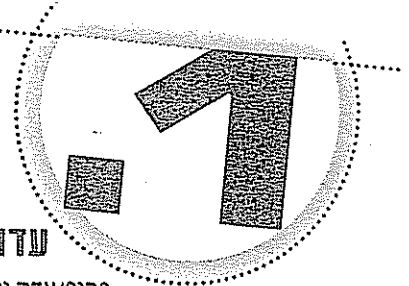
התחנה מייצרת אלומות של פרוטונים המיועדות לניסויים

**5** **מאגזין הכנסות**

התחנה מייצרת אלומות של פרוטונים המיועדות לניסויים

**6** **מאגזין הכנסות**

התחנה מייצרת אלומות של פרוטונים המיועדות לניסויים



## עדה יונת

פרופ' עדה יונת, המדענית פורצת הדרך עטורת הפרסים (פרס ישראל, פרס וולף, פרס א.מ.ת. ועוד), עשתה השנה היסטוריה כשזכתה בפרס נובל לכימיה. יונת העלתה את חקר המבנה המרחבי של הריבוזום על המפה, את מכון ויצמן לתודעה ואת הרייטינג של עולם המדע הישראלי לפריים טיים. משך שלושה עשורים עסקה בחקר המושא באופן סיזיפי. שנים רבות נחשבו מאמציה לחסרי תקווה, עד למענה המדויק ולפריצה הגדולה, שבעקבותיה הזכייה הדרמטית בפרס נובל מכלולה. בזכות יונת, כל ילד רוצה היום להיות מדען.

**המלצתנו לשנת 2010: המשכי לשמש דוגמה לדורות המדענים שעוד יבואו.**

## 27. דניאל זייפמן

פרופ' דניאל זייפמן הוא נשיאו העשירי של מכון ויצמן למדע, אחד מהחזקים והטובים שבמכוני המחקר בעולם

והצעיר ביותר בתולדותיו של המכון. תקופת נשיאותו כבר אומרת בפרס נובל, ובאמתחתו



התחייבות לפעול כדי להתחדש, לקדם רעיונות ולתמוך במדעניו, לטובת המדע ולטובת עתיד המדינה. פרופ' זייפמן משקיע לא מעט מזמנו בחינוך קשר עם הציבור הרחב, כמו גם עם בני נוער, במטרה להרחיב את העניין והידע של כל אדם במתרחש בחזית המדע.



2009  
**המקנענים**

# הדיעות האהודות

דמייה חנוני: 3778 • שיחת הטייפ: 3773

הרשמי, סניף מנהל חשבונות  
1.1.2010 לתיקן בלב 21800



## להשוב על המחור

שהייצור היחודי לנו, היתרון שיכול לשים אותנו על מפת העולם, טמון במקוריות מהשבתנו, בנחישותנו וביעילות תפקודנו במדע ובחינוך. צריך, כמו שאמר אריק איינשטיין, לתת לראש לרוץ לכל הכיוונים. למחוק מהלקסיקון את השא"ל הראשונה ששואלים פוליטיקאים: "מה יוצא לי מזה?" לא ללחוץ על לוחות זמנים, כי מדע אי אפשר לעשות בלחץ זמן. לא להתנות תקציבים בחישובים שאפשר לדווח עליהם בתקשורת, כי למדע אין דד-ליין. לא לפעול ולא לקבל החלטות לפי "תחושות בטן", כי המדע מבוסס - ונשפט - על עובדות ועל ביקורת קרת רוח. להניח שהטובים שבמדענים העולמיים ייקלטו במסודותינו המדעיים והחינוכיים ללא קליטה מאולצת, כי המדע והשאיפה למצוינות הוא התחום הפתוח מתאים ליישום עקרונות הש"וויין והסוציאליזם.

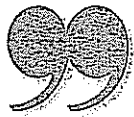
כאן צריך לרוץ בכל הכוח, לאמץ כל תא בגוף, כדי להישאר בקו אחד או אפילו להגיע לפני הטובים במדעני העולם. וכדי לעבור אותם בחצי ענד צריך להתמקד בדור הבא של מדענים ומחנכים מוליכים. אנו צריכים לפעול כאילו שהשלום כבר הושג ולהתמקד בלחימה על השלום. לשם כך עלינו להתמקד באיכויות של כל שלבי החינוך - מכיתות בית הספר העממי ועד לסיום התואר באוניברסיטאות ובמכללות. כך יעלה בידנו להפנות את חרטומנו לעבר אופקים רחוקים, רחבים יותר, ולנוע במלוא הקיסור שהרי ברור שכל הפעולות החינוכיות והמדעיות שיבוצעו בטווח הקצר יעצבו את חיי בנינו וכדינו אפילו במאה הבאה.

בוקר טוב שנת 2010. נקווה שהשנה יתחולל סוף סוף המהפך שבמסגרתו המדע והחינוך הישראלי יתמכרו למובילי הדגל של ישראל, ואנו נקבע אם נחיה כמהוננים מפני ההתמחות העולמית, או שנציע לכל העולם את החידושים שלנו. אם נגיב או ניזום. אם נוביל או שייבילו אותנו.

כדי להוביל, עלינו להילחם על מקומנו בחזיתות המחקר העולמיות. ואלה מחזות צפופים, שהפעור לה בהם קשה ויקרה, ומחייבת מאמץ רב והתמקקות דות בריעונות חדשניים ופורצי דרך. לרוע המזל, רק לעתים רחוקות אפשר "למכור" מחקר בסיסי שמטרתו, עד כמה שזה נשמע מזה, להריח את גבולות הידע האנושי.

לא להתרווח בסף, לא לאון תקציב ולא לרשום פטנט. כן לקרוא דרוו ליצר הסקרנות המדעית כדי להעצים את הידע האנושי ולהבין טוב יותר את דרכי הטבע. לפעמים ההבנה הזאת מובילה, לא חד מחקר מאומץ לאורך שנים, להתחלת מיתוח שייחמן ויהיה יישומי לאחד זמן. ולפעמים לא. זה אופי המדע.

פטיטים, תרופות חדשות וכל מיני מכשירים חדשים גם הם חשובים, ללא ספק. אבל כדי להגיע אליהם, צריך לכוון הרבה יותר גבוה. מי שמכוון מראש רק לפטיטים יישומיים, סופו שישתמש במדע שנעשה במקומות אחרים, על ידי אחרים, ולא ישתמש באוצר הבלום שלנו, כלומר בראשנו. אכן, הכלכלנים מדברים על "הפנים לייצור", ועל "עם ככל העמים". אבל אנו, המדענים והמורים, יודעים



אנחנו צריכים לפעול כאילו שהשלום כבר הושג ולהתכוון לעתיד. עלינו להתמקד באיכויות של כל שלבי החינוך - מכיתות בית הספר העממי ועד לסיום התואר באוניברסיטאות ובמכללות

יום שישי, ט"ו בטבת ה'ש"ע - 1.1.2010

בוקר טוב 2010- העולם מואתחילת שנה אורחית חדשה

# הנתיחה של פתח / פרופ' דניאל זייפמן

## מדע, מלחמה ושלוש

העולם השנייה, כששנאה ואי-אמון שררו בין העדרים, נוצר הקשר הראשון בין גרמנים לישראלים באמצעות מפגשים בין מדעני מכון ויצמן לאנשי מכוני מקס פלנק בגרמניה. שיתופי הפעולה המדעיים ביניהם בשנות ה-50 פתחו פתח לכינון יחסים דיפלומטיים בין שתי מדינות ב-1965.

מה לומדים מהרוגמה הישראלית-גרמנית? ישנם מספר גורמים שתרמו להצלחה, ובהם האנשים שהיו מעורבים בפרויקט, ואישיותם המיוחדת. עם זאת, נראה שהבסיס המדעי לשיתוף הפעולה - שעסק בשאלות בפיסיקה, כימיה, ביולוגיה ומתמטיקה - יצר אווירה פתוחה שבה ביטאו המדענים תכונה אוניברסלית נוספת, יצר הסקרנות, שהניעה את השותפות.

**שפתו האוניברסלית של המדע גורמת להיותו אמצעי אידיאלי לפתיחת ערוצי תקשורת בין אנשים ואומות. המדע אינו שייך לאיש מהצדדים, וכשתדענים נפגשים, הם נפגשים כשווים**

כאשר שיתוף פעולה מדעיים כאלה מתבססים, הם יכולים להוליד פרויקטים משותפים נוספים עם מדענים בארצות אחרות, שהחסיים איתן מתחיים. כך, הניחו הגשרים המדעיים בין ישראל לגרמניה את התשתית לפרויקט SESAME: מייץ חלקיקים גרמני ישן שיצא משימוש, שופץ, שודרג ונותקן בירדן לשימוש מדענים מהאזור. מדענים ישראלים מעורבים כיום בפרויקט זה, יחד עם חוקרים מתונים, מצרים, פקיסטן, כורדיה ואיראן. עוד לפני שהופקה בו אלומה אחת, סיפק SESAME הדמנות למפגש ולריון מדעי חיפשי בין מדענים ממדינות שונות. פרופ' עדה יונת, זוכת פרס נובל בכימיה לשנת 2009, שהשתתפה בפורום כזה בפטרה, ירדן, הופתעה לגלות שהמדענים שהתלהבו לשוחח ולהצטלם איתה היו קבוצת צעירים מאיראן. אף מילה בנושאים פוליטיים לא הוזכרה ביניהם, אולם אם פעם ישרוד שלום בין שתי המדינות, ייתכן שיהיה זה נוכח מעשה פשוט, כמו ריון בין מספר מדענים המסוגלים למצוא שפה משותפת ועניין משותף.

ברגע שמתקיים שיתוף פעולה מדעי, זוגות מידה של אמון, אפשר להעביר מסרים נוספים דרך ערוצי התקשורת האלה, ונרשאי הריון יכולים לעלות לרמת נוספות, ובדרך לתרום גם להתפתחויות כלכליות שיחזקו את ההולך. ©

פיתוח אמצעי לחימה מהווה מטיבציה חזקה למחקר מדעי. ארכימדיס, לדוגמה, היה הראשון שהניח את העקרונות הפיסיקליים של המנוף, ומיד אחר כך יישם עקרונות אלה כדי לעצב מכונות מלחמה לצבא היווני. המצאות כמו הגלגלת והקפיץ אפשרו לחיילים ליידת משקלים גדולים, ולירות קליעים למרחקים גדולים. לעיתים קרובות, טכנולוגיות שלא נוצרו לצורכי לחימה, באומצות ומשופרות על ידי אנשי צבא. לדוגמה, שיטה חדשה לחיטול ברזל הובילה להמצאת הזנות. מטוסים, צוללות וטכנולוגיות מכ"ם נבנו לשימוש לראשונה במלחמות העולמיות במאה ה-20, ועדיין, היכן היינו נמצאים היום ללא מנופים וגלגלות, יציקות מתכת או מטוסים?

המדע איפשר ליישב את הפרטנציאל הטמין בו גם לצורך הרים ולהשגת מטרת שפלות. מלחמת הולכות ומתבססות על טכנולוגיה, ובלי הנשק געשים הרסניים יותר. כתוצאה מכך, מתפתח גם מחקר מדעי שמטרתו לשפר את מערכות ההגנה. אך האם ניתן להשתמש במחקר המדעי כמאיץ הסכמי שלום?

חשבו על כך: תוצאות המחקר המדעי הן אוניברסליות. הנוסחה לחישוב מהירות של עצם נופל תהיה שימושית תמיד. הוכחת משפט מתמטי יכולה להיות תקפה, או לא, ללא תלות בהיבטים תרבותיים, דתיים ולאומיים. מערכות תקשורת אלחוטיות מבוססות על מחקרים בתחום האלקטרומגנטיות שנעשו במספר מדינות, והן פעילות באותו אופן בכל מקום שבו הן מופעלות. חיסון אחר יכול להגן על כל אוכלוסיית העולם מאבעבועות שחורות, כולל המכוסכות זו עם זו.

באופן מעשי, כדי להשיג שלום בין שתי מדינות בסכסוך, נדרש משא ומתן ממושך, שכא לסיכוי נתתימה של מנהיגיהן על הסכמות. אך שלום אמיתי, בדיקומא, יושג רק אם אורזו שתי הדיבות ילמדו להכיר זה את זה, ויפתחו דרשיה שיוביל לסובלנות - ובהמשך להבנה ולכיבוד ההבדלים האתניים-לאומיים ביניהם.

בתחום הזה, שפתו האוניברסלית של המדע גורמת להיותו אמצעי אידיאלי לפתיחת ערוצי תקשורת בין אנשים ואומות. המדע אינו שייך לאיש מהצדדים, וכשתדענים נפגשים, הם נפגשים כשווים. הם עשויים לא להסכים זה עם זה, אולם דעותיהם השונות לא ייקבעו מהשקפה פוליטית, אלא מהגישות השונות שהם נוקטים כדי לפתור בעיה מדעית. אוניברסליות המדע הופכת אותו לבסיס לדיון חפשי, וכך הוא מניחה פלטפורמה לתקשורת בין אנשים.

הנה דוגמה לכוח של שיתוף פעולה מדעי שאינה מוכרת ריח: לאחר מלחמת

