

Το Σύμπαν στην τσέπη μου



Σκοτεινή Ενέργεια



Alain Blanchard
Université Paul Sabatier,
Τουλούζη

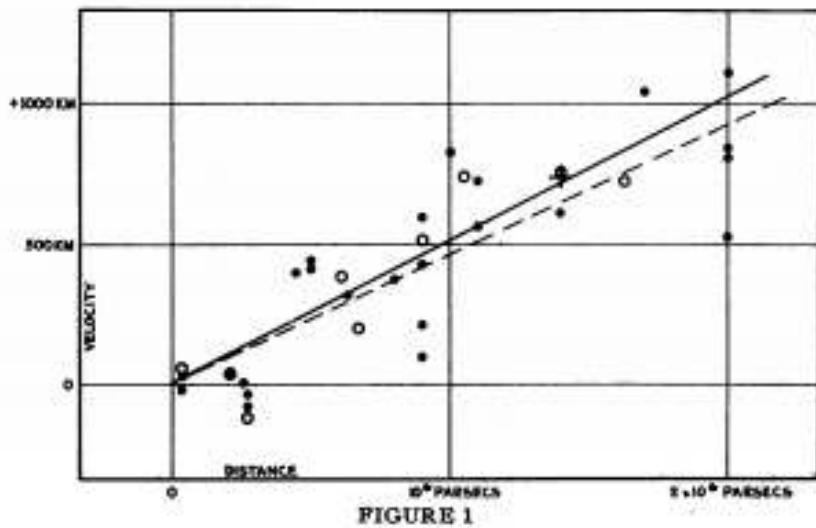


FIGURE 1
Velocity-Distance Relation among Extra-Galactic Nebulae.

Το αρχικό διάγραμμα Hubble (Hubble 1929).

Δείχνει τη μετρούμενη ταχύτητα V των γαλαξιών ως συνάρτηση της απόστασής τους D , η οποία προκύπτει χρησιμοποιώντας τη σχέση περιόδου-φωτεινότητας για άστρα Κηφείδες που καθιερώθηκε λίγα χρόνια νωρίτερα από την Henrietta Leavitt (βλ. TUIMP 15).

Η σχέση $V = H_0 \times D$, που ονομάζεται νόμος Hubble-Lemaître, άλλαξε δραματικά την αντίληψή μας για το Σύμπαν.

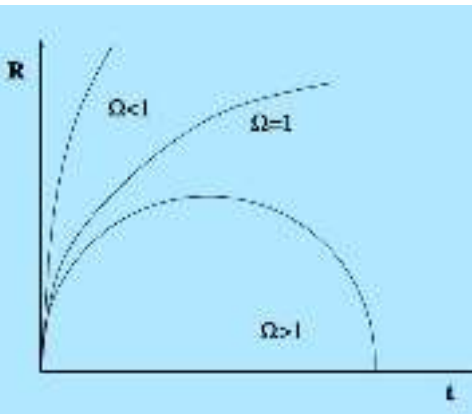
Η τιμή του H_0 , της σταθεράς Hubble, εκτιμήθηκε αρχικά σε περίπου 500 km/s ανά Mpc, στη συνέχεια σε περίπου 100 km/s ανά Mpc στις αρχές της δεκαετίας του 1960. Οι σημερινές εκτιμήσεις είναι περίπου 73 km/s ανά Mpc.

Ο νόμος Hubble-Lemaître

Αμέσως μετά τη Μεγάλη Διαμάχη το 1925, η οποία κατέληξε στο συμπέρασμα ότι υπάρχουν γαλαξίες έξω από το δικό μας, ο Έντγουιν Χαμπλ παρατήρησε ότι οι ταχύτητες απομάκρυνσης αυτών των γαλαξιών ήταν ανάλογες των αποστάσεών τους. Ο Ζορζ Λεμέτρ το ερμήνευσε ως αποτέλεσμα της διαστολής του Σύμπαντος.

Η διαστολή του Σύμπαντος είναι μια λίγο ασυνήθιστη έννοια για να κατανοηθεί: παραμερίζοντας τις μεμονωμένες κινήσεις που συνοδεύουν τη δομή του Κοσμικού Ιστού (βλ. TUIMP 13), οι γαλαξίες απομακρύνονται ο ένας από τον άλλο με ταχύτητα ανάλογη των αντίστοιχων αποστάσεών τους.

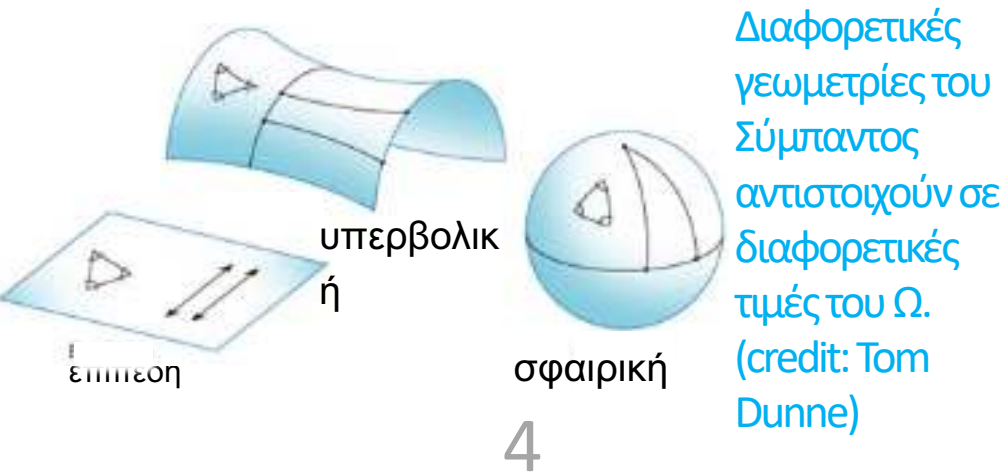
Αυτό που διέπει αυτήν την ταχύτητα είναι η βαρύτητα, όπως το να πετάξεις μια πέτρα προς τα πάνω: αν η αρχική ταχύτητα είναι χαμηλή, η πέτρα ανεβαίνει και μετά πέφτει ξανά. Αν η αρχική ταχύτητα είναι αρκετά υψηλή (ξεχνώντας την ατμόσφαιρα της Γης) η πέτρα ανεβαίνει επ' αόριστον.



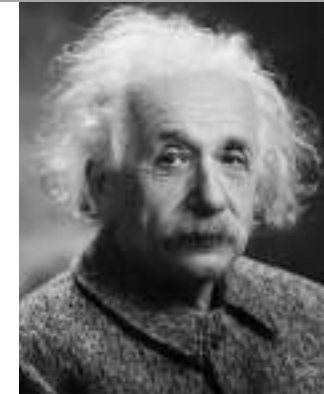
Η εξέλιξη της ακτίνας του Σύμπαντος ως συνάρτηση του χρόνου για διαφορετικές τιμές της πυκνότητας της ύλης Ω

https://media4.obspm.fr/public/ressources_lu

Η ταχύτητα των γαλαξιών λόγω της διαστολής είναι γνωστή από παρατηρήσεις, αλλά δεν γνωρίζουμε την ισχύ της βαρύτητας της ύλης, η οποία ελέγχεται από την πυκνότητά της. Εάν η πυκνότητα είναι αρκετά υψηλή ($\Omega > 1$), η διαστολή θα σταματήσει και το Σύμπαν θα συσταλεί. Εάν η πυκνότητα είναι πολύ χαμηλή ($\Omega < 1$) η βαρυτική δύναμη δεν είναι αρκετά ισχυρή και η διαστολή θα συνεχιστεί για πάντα. Η οριακή περίπτωση μεταξύ αυτών των δύο πιθανοτήτων συμβαίνει όταν η πυκνότητα είναι ίση με την κρίσιμη πυκνότητα ($\Omega = 1$).



Η μοίρα του Σύμπαντος



Άλμπερτ Αϊνστάιν

Η διαστολή περιγράφεται καλύτερα από τη θεωρία της γενικής σχετικότητας, που δημοσιεύτηκε από τον Άλμπερτ Αϊνστάιν το 1915. Αυτή η θεωρία μας λέει ότι η γεωμετρία του χώρου συνδέεται με την πυκνότητα του Σύμπαντος.

Ο Αϊνστάιν δεν ήταν ικανοποιημένος από την πρώτη έκδοση της θεωρίας του, επειδή ήταν ασυνεπής με ένα στατικό (δηλαδή μη διαστελλόμενο) Σύμπαν. Επομένως, εισήγαγε το 1917 έναν νέο όρο, την κοσμολογική σταθερά Λ .

Ήταν η αρχή μιας ιστορίας που, περισσότερο από έναν αιώνα αργότερα, βρίσκεται ίσως στο απόγειό της...



Άλμπερτ Αϊνστάιν και Ζορζ Λεμέτρ

Το 1948, ο Ζορζ Λεμέτρ κατασκεύασε το πρώτο κοσμολογικό μοντέλο που ασχολήθηκε με την πρώιμη φάση του Σύμπαντος, που ονομάστηκε «πρωταρχικό άτομο», ο πρόγονος του Big Bang. Παρατήρησε ότι, δεδομένης της ταχύτητας διαστολής που μετρήθηκε από τον Hubble, το Σύμπαν θα ήταν νεότερο από την ηλικία της Γης, εκτός εάν υπάρχει μια κοσμολογική σταθερά (Κ.Σ.), ένα επιχείρημα που δεν έπεισε τον Αϊνστάιν, ο οποίος εγκατέλειψε την Κ.Σ. μετά την ανακάλυψη της διαστολής.

Με την τιμή της σταθεράς Hubble που είναι γνωστή σήμερα, η ασυμφωνία μεταξύ της ηλικίας του Σύμπαντος και αυτής της Γης εξαφανίζεται ούτως ή άλλως.

Η φύση του Λάμδα



Η ανακάλυψη της διαστολής του Σύμπαντος οδήγησε στην κοσμολογική σταθερά να παραπεμφθεί στην ντουλάπα των άχρηστων περιεργειών στη φυσική, με τη συγκατάθεση του Αϊνστάιν...

Όμως το 1931 ο Lemaître έκανε μια κρίσιμη παρατήρηση που πέρασε απαρατήρητη τότε: η κοσμολογική σταθερά που θεωρούνταν προηγουμένως ως ένας επιπλέον όρος στο γεωμετρικό μέρος των εξισώσεων του Einstein μπορεί εξίσου εύκολα να αποδοθεί στην πίεση και την πυκνότητα ενός ρευστού, με το ρευστό να είναι το κενό του διαστήματος!

Το κβαντικό κενό



Wolfgang Pauli



Yakov Zeldovich

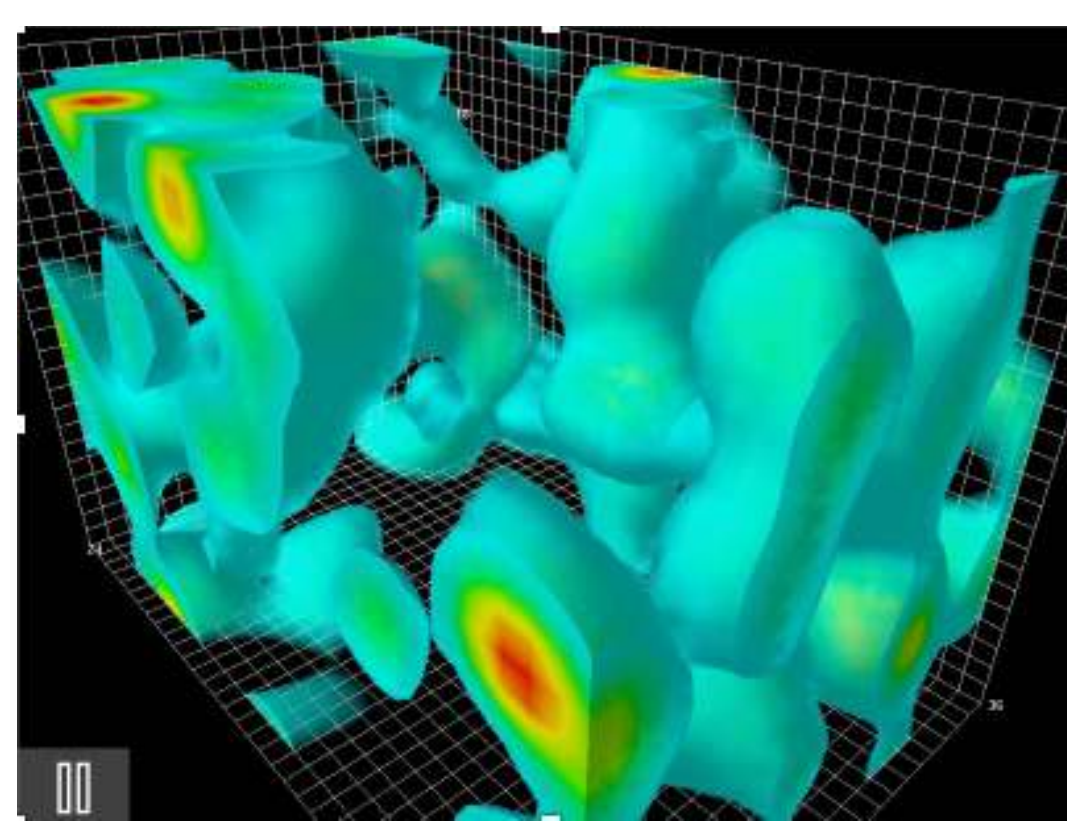


Steven Weinberg

Τρεις από τους μεγαλύτερους φυσικούς του 20ου αιώνα εξέτασαν το ζήτημα του κβαντικού κενού, σημειώνοντας την απίστευτα μεγάλη τιμή που προβλέπεται για την πυκνότητα του κβαντικού κενού σε σύγκριση με αυτή που προκύπτει από τις παρατηρήσεις. Η κβαντική τιμή είναι περίπου 10^{120} φορές * μεγαλύτερη. Αυτό συχνά περιγράφεται ως ο πιο εσφαλμένος υπολογισμός τάξης μεγέθους σε όλη τη φυσική.

Και πάλι, ένα ερώτημα που θα μπορούσε να είχε παραμείνει στην ντουλάπα των άχρηστων περιεργειών στη φυσική.

* $10^{120} = (10 \times 10 \times 10 \dots 10)_{120}$ φορές

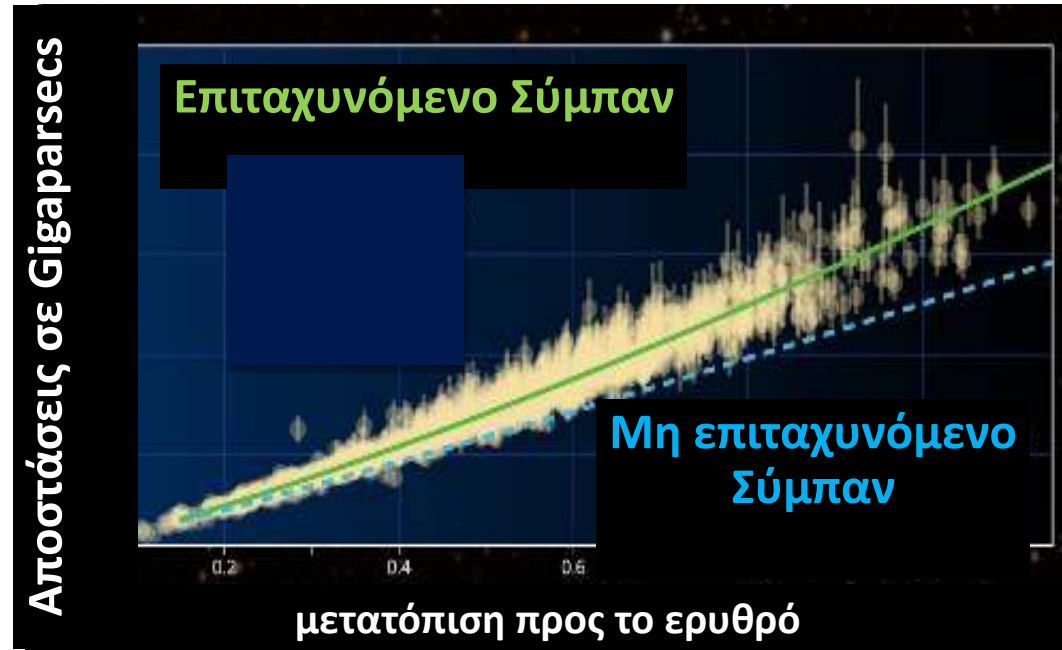


<https://physicscommunication.ie/nothing-matters-how-the-study-of-vacuum-energy-is-proving-catastrophic>

Μεταβείτε σε αυτόν τον ιστότοπο για να δείτε το βίντεο.

Σύμφωνα με την κβαντική μηχανική, το κενό δεν είναι η απουσία των πάντων, αλλά μάλλον ένα μόνιμο σμήνος σωματιδίων και αντισωματιδίων, που εμφανίζονται και εξαφανίζονται συνεχώς.

Επομένως, το κενό πρέπει να έχει μη μηδενική πυκνότητα.



Βασισμένο σε δεδομένα της NOIRlab DES

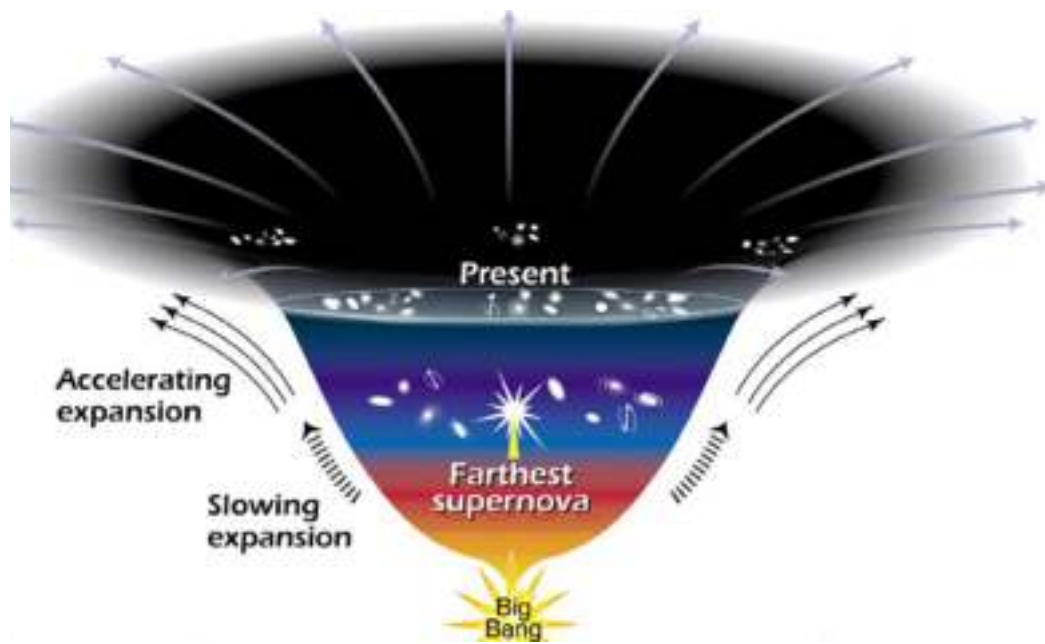
Οι υπερκαινοφανείς που επιλέχθηκαν για αυτή τη μελέτη ήταν τύπου Ia. Οι υπερκαινοφανείς αυτού του τύπου έχουν μια πολύ κανονική φωτεινότητα, πράγμα που σημαίνει ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν αξιόπιστα για τον προσδιορισμό των αποστάσεων.

Η σύγχρονη έκδοση του διαγράμματος Hubble από υπερκαινοφανείς τύπου Ia έδειξε ότι η διαστολή επιταχύνεται. Αυτή η ανακάλυψη χάρισε το βραβείο Νόμπελ Φυσικής 2011 στους Saul Perlmutter, Brian P. Schmidt και Adam G. Riess. Αυτό το αποτέλεσμα είναι αρκετά εκπληκτικό: σημαίνει ότι, στην κλίμακα του Σύμπαντος, η βαρύτητα δρα ως απωθητική δύναμη.

Το 1998, δύο ομάδες που μελετούσαν το διάγραμμα Hubble των μακρινών υπερκαινοφανών έκαναν μια ανακάλυψη που έφερε επανάσταση στην κοσμολογία και τη θεμελιώδη φυσική.

Αυτοί οι υπερκαινοφανείς είναι τόσο μακρινοί που το φως που ανιχνεύεται από αυτούς παρήχθη όταν το Σύμπαν ήταν πολύ νεότερο. Αυτό καθιστά δυνατή τη σύγκριση της ταχύτητας διαστολής του Σύμπαντος εκείνη την εποχή με την τρέχουσα ταχύτητά του.

Σε ένα Σύμπαν που κυριαρχείται από την ύλη, η ταχύτητα διαστολής θα μειωνόταν. Το διάγραμμα Hubble των υπερκαινοφανών αποκάλυψε ότι η ταχύτητα διαστολής του Σύμπαντος αυξάνεται.



Διάγραμμα που απεικονίζει την επιταχυνόμενη διαστολή του Σύμπαντος.

Πίστωση: Σχεδιασμός Alex Mittelman, Coldcreation

Η εξήγηση της επιταχυνόμενης διαστολής του Σύμπαντος έχει οδηγήσει σε μια μεγάλη ποικιλία θεωριών. Περισσότερο να πούμε ότι η περιγραφή αυτών των θεωριών με κάποια λεπτομέρεια είναι μαθηματικά δύσκολη.

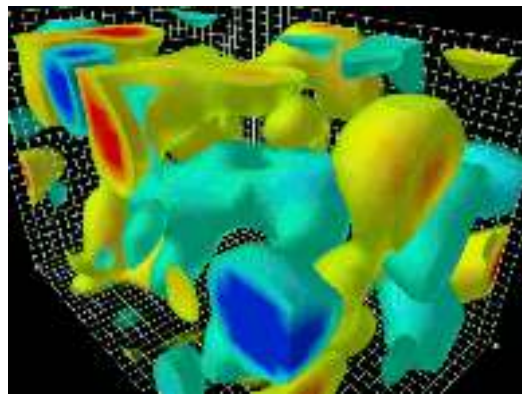
Μια άλλη πιθανή λύση συνίσταται στην τροποποίηση της θεωρίας της βαρύτητας του Einstein. Υπάρχουν πολλοί τρόποι για να επιτευχθεί αυτό, αλλά είναι δύσκολο να γίνει χωρίς να παραβιαστεί μία ή περισσότερες από τις πολλές επιτυχημένες προβλέψεις της γενικής σχετικότητας. Τέλος, και οι δύο προσεγγίσεις μπορούν να συνδυαστούν με διαφορετικούς τρόπους...12

Η κοσμολογική σταθερά που εισήγαγε ο Einstein είναι πολύ τεχνητή από θεωρητική άποψη. Η τιμή του κβαντικού κενού που προβλέπεται από την κβαντική θεωρία πεδίου υπερβαίνει την τιμή που προκύπτει από τις παρατηρήσεις κατά 120 τάξεις μεγέθους τουλάχιστον.

Επομένως, έχουν προταθεί πολλές εναλλακτικές εξηγήσεις για την προέλευση της επιταχυνόμενης διαστολής, μια προέλευση που ονομάζεται «σκοτεινή ενέργεια».

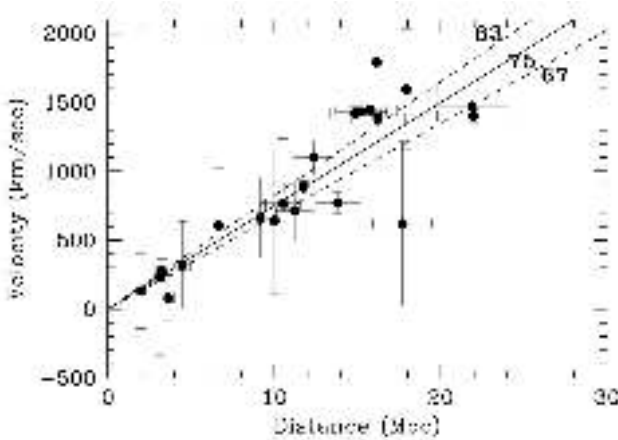
Η πεμπτουσία είναι η απλούστερη μορφή σκοτεινής ενέργειας: είναι ένα υποθετικό συστατικό που αλληλεπιδρά με το υπόλοιπο Σύμπαν μόνο μέσω της βαρύτητας. Η πυκνότητά της μπορεί να ποικίλλει με την πάροδο του χρόνου, αλλά μπορεί επίσης να συμπεριφερθεί πολύ σαν μια κοσμολογική σταθερά, ανάλογα με το δυναμικό που διέπει την εξέλιξή της. Το 2024, η συνεργασία DESI ισχυρίζεται ότι βρήκε κάποιες ενδείξεις για μια τέτοια εξελισσόμενη σκοτεινή ενέργεια.

Κουίζ



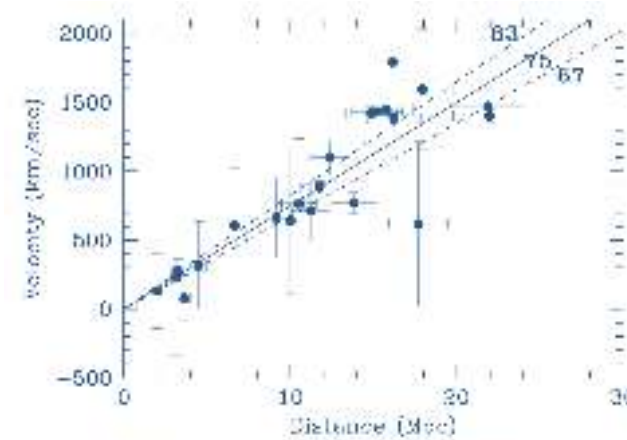
Απαντήσεις

Μια αναπαράσταση του κβαντικού κενού



Ποια από αυτές τις εικόνες δείχνει:

- Διαφορετικές γεωμετρίες του χώρου
- Μια αναπαράσταση του κβαντικού κενού
- Το διάγραμμα Hubble



(Freedman et al 2001)

Το διάγραμμα Hubble από παρατηρήσεις Κηφείδων σε μακρινούς γαλαξίες από το διαστημικό τηλεσκόπιο Hubble.

Διαφορετικές γεωμετρίες του χώρου

Πηγή: MARK GARLICK/SCIENCE PHOTO



Το Σύμπαν στην τσέπη μου Αρ. 41

Αυτό το βιβλιαράκι γράφτηκε το 2024 από τον Alain Blanchard από το Université Paul Sabatier και αναθεωρήθηκε από τον Stan Kurtz από το IRyA (Μεξικό).

Εικόνα εξωφύλλου:

Ο Darth Vader της σειράς Star Wars είναι ο χαρακτήρας που έχει "περάσει στην σκοτεινή πλευρά της Δύναμης". Το ίδιο το Σύμπαν υπόκειται σε μια άγνωστη δύναμη της οποίας η μυστηριώδης προέλευση έχει ονομαστεί 'Σκοτεινή Ενέργεια'.



Για να μάθεις περισσότερα για αυτή τη σειρά και για τα θέματα που παρουσιάζονται σε αυτό το βιβλιαράκι, επισκέψου τη διεύθυνση <http://www.tuimp.org>

Μετάφραση: Τζίνα Πανοπούλου
TUIMP Creative Commons

