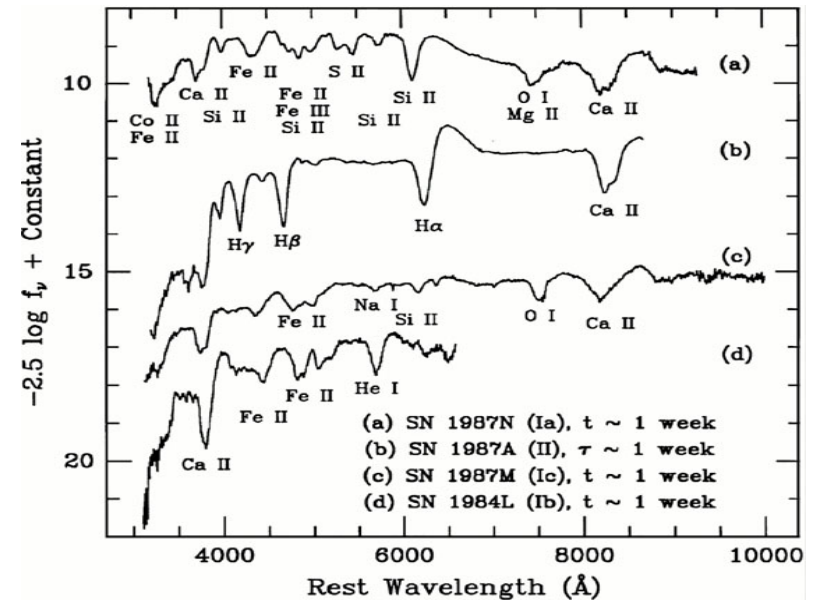


Μέτρηση της παραμέτρου επιβράδυνσης q_0 , με παρατηρήσεις υπερκαινοφανών τύπου Ia.

Υπερκαινοφανείς Τύπου Ia: Δεν εμφανίζουν γραμμές (απορρόφησης) H. Εμφανίζουν ισχυρή γραμμή απορρόφησης πυριτίου στα 6150 Å.

Spectra of SNe, showing early-time distinctions between the four major types and subtypes. The parent galaxies and their redshifts (kilometers per second) are as follows: SN 1987N (NGC 7606; 2171), SN 1987A (LMC; 291), SN 1987M (NGC 2715; 1339), and SN 1984L (NGC 991; 1532). The variables t and τ represent time after observed B-band maximum and time after core collapse, respectively. (The ordinate units are essentially "AB magnitudes" as defined by Oke & Gunn (1983).

<https://ned.ipac.caltech.edu/level5/March03/Filippenko/Filippenko2.html>



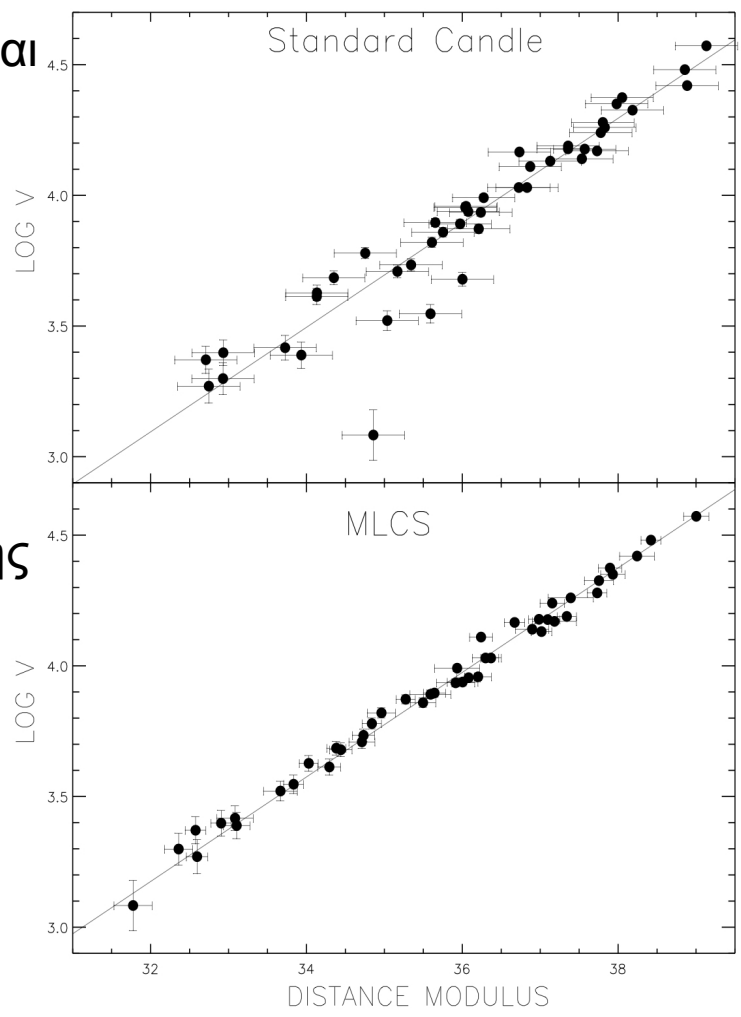
Η έλλειψη γραμμών απορρόφησης στο φάσμα τους δείχνει ότι τα αστέρια που σχετίζονται με την έκρηξη έχουν χάσει όλα τα άνωτερα στρώματά τους (πλούσια σε υδρογόνο).

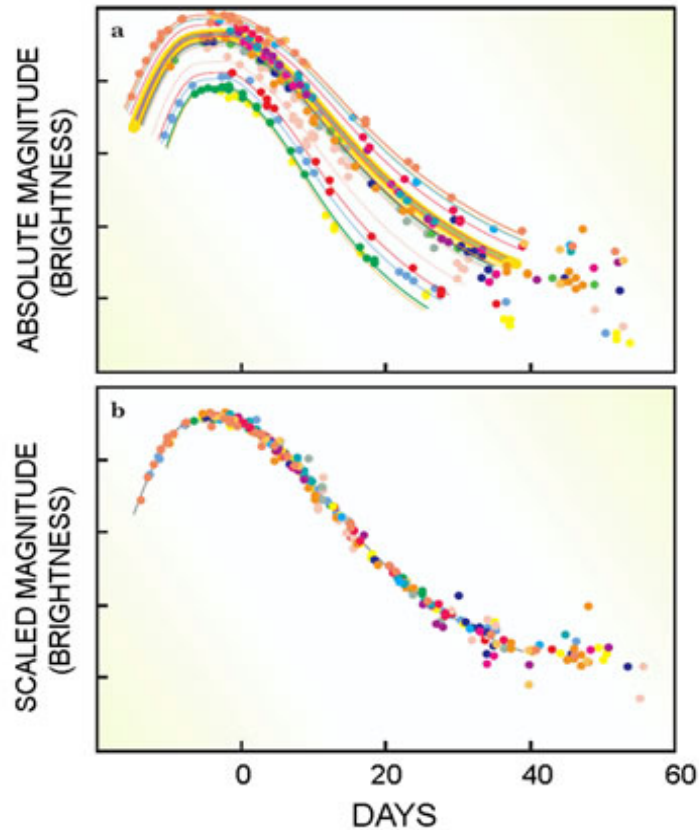
Οι υπερκαινοφανείς Τύπου Ia (SN Type Ia) παρατηρούνται σε όλους τους τύπους γαλαξιών, ακόμα και σε ελλειπτικούς γαλαξίες. Οι τύπου II, Ib, Ic μόνο σε σπειροειδείς γαλαξίες, με έντονο ρυθμό αστρογέννησης.

Οι SN τύπου Ia εμφανίζονται σε διπλά συστήματα αστέρων όπου το ένα μέλος είναι λευκός νάνος C και O. Αν η μάζα του πλησιάσει το όριο των $1.4 M_{\odot}$ (μέσω πρόσπτωσης μάζας από το συνοδό αστέρα) τότε ξεκινάνε οι θερμοπυρηνικές αντιδράσεις σύντηξης άνθρακα και οξυγόνου υπό συνθήκες εκφυλισμού των ηλεκτρονίων. Σχεδόν η μισή μάζα του αστέρα μετατρέπεται σε στοιχεία της ομάδας του σιδήρου (σίδηρος, κοβάλτιο, νικέλιο). Όταν η μάζα του αστέρα τείνει να ξεπεράσει το όριο του Chandrasekhar, ο αστέρας “καταρρέει”. Απελευθερώνεται ενέργεια $\sim 10^{44}$ J, που είναι ικανή να οδηγήσει σε ολική διάλυση του λευκού νάνου.

Τις τελευταίες δεκαετίες έχουν παρατηρηθεί Υπερκαινοφανείς τύπου Ia σε γειτονικούς Γαλαξίες με γνωστή απόσταση (μέσω παρατηρήσεων Κηφείδων). Η μέγιστη λαμπρότητα τους είναι περίπου ίση με $\sim 5.5 \cdot 10^9 L_{\odot}$.

Οι παρατηρήσεις έχουν δείξει ότι υπάρχουν διαφορές της τάξης του $\sim 35\%$ στη μέγιστη λαμπρότητά τους. Αυτές οι διαφορές συχετίζονται (και) με το ρυθμό ελάττωσης της λαμπρότητας τους με το χρόνο και άρα μπορούν να διορθωθούν.





Η πάνω εικόνα δείχνει καμπύλες φωτός αρκετών SN τύπου Ia. Αρχικά, το μέγιστο της ακτινοβολίας καθώς και το εύρος της καμπύλης και ο ρυθμός ελάττωσης μετά το μέγιστο είναι διαφορετικά για το κάθε αντικείμενο.

Ωστόσο, η κάθε καμπύλη μπορεί να περιγραφεί ικανοποιητικά με την ίδια συνάρτηση, η οποία όμως θα έχει διαφορετικό εύρος για το κάθε αντικείμενο.

Σε αυτή την περίπτωση, μπορούμε να διορθώσουμε τις καμπύλες έτσι ώστε να είναι ίδιες (δηλ. να έχουν το ίδιο μέγιστο και τον ίδιο ρυθμό ελάττωσης της ακτινοβολίας).

Τη δεκατία του 1990 δύο ερευνητικές ομάδες αποφάσισαν να προσδιορίσουν το q_0 μέσω της παρατήρησης SN Ia (ξανά: επειδή είναι λαμπρά αντικείμενα, και άρα μπορούν να παρατηρηθούν σε μακρινές αποστάσεις, και, με τις κατάλληλες διορθώσεις, μπορεί να θεωρηθούν ότι όλα έχουν την ίδια λαμπρότητα).

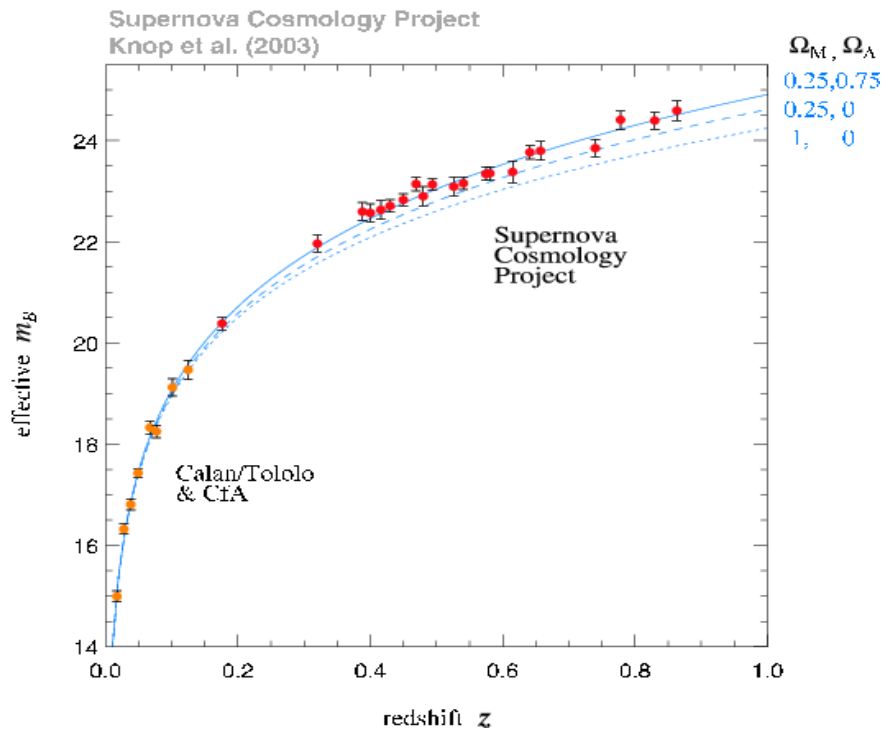
Σκοπός και των δύο πειραμάτων (“High-z Supernova Search Team” & “Supernova Cosmology Project”) ήταν: α) να ανιχνεύσουν μεγάλο αριθμό SN Ia με z έως και 1, β) να καθορίσουν το z για το κάθε αντικείμενο, γ) να καθορίσουν το ρυθμό ελάτωσης της λαμπρότητάς τους και δ) να κατασκευάσουν διάγραμμα m vs z για να υπολογίσουν το q_0 .

Και τα δύο πειράματα πραγματοποιήθηκαν επιτυχώς μετά από κοπιαστική δουλειά. Για παράδειγμα:

Στο “High-z Supernova Search Team” συμμετείχαν 21 αστρονόμοι από 14 Ινστιτούτα σε 4 ηπείρους. Χρησιμοποίησαν το τηλεσκόπιο 4 μέτρων στο Cerro-Tololo Intra-American Observatory (CTIO), στη Χιλή, και έπερναν εικόνες πεδίων μεγάλου εύρους (με άνοιγμα ~ 3 μοίρες). Κάθε περιοχή παρατηρούνταν ξανά μετά από 21 μέρες (το χρονικό διάστημα που χρειάζεται για να φτάσει η λαμπρότητα του υπερκαινοφανούς στο μέγιστο).

Οι παρατηρήσεις τους μπορούσαν να καταγράψουν αντικείμενα μεγέθους 23. Μέσω της σύγκρισης των δύο εικόνων ανιχνεύανε αντικείμενα που η φωτεινότητά τους είχε αυξηθεί (με αυτοματοποιημένο τρόπο μέσω υπολογιστών, λαμβάνοντας υπ’ όψη γνωστές μεταβλητές Γαλαξιακές πηγές). Σε κάθε πεδίο ανιχνεύανε 5-20 μεταβλητές πηγές, οι περισσότερες από τις οποίες τελικά ήταν SN Type Ia.

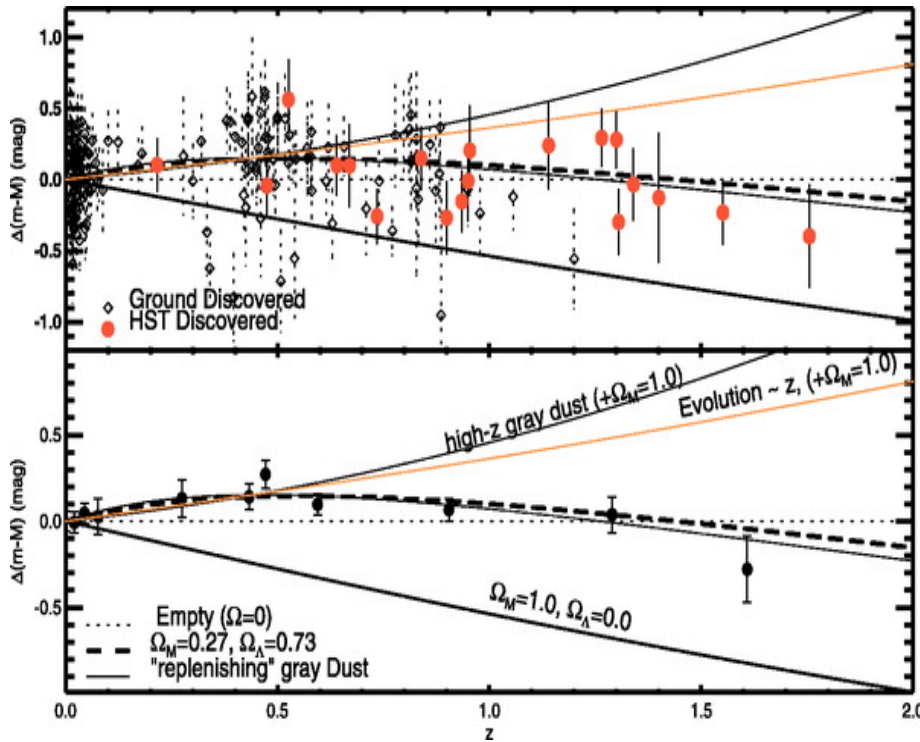
Όλες οι μεταβλητές πηγές παρατηρήθηκαν φασματοσκοπικά από μεγάλα τηλεσκόπια (Keck) για να πιστοποιηθεί ότι ήταν SN Ia και να υπολογισθεί το z . Για όσες πηγές ήταν υπερκαινοφανείς ξεκινούσαν συστηματικές φωτομετρικές παρατηρήσεις (από πολλά τηλεσκόπια ανά τον κόσμο και στα δύο ημισφαίρια) για να καθορισθεί με ακρίβεια η καμπύλη φωτός τους και ο ρυθμός ελάττωσης της φωτεινότητάς τους, με σκοπό την ακριβή διόρθωση για τον υπολογισμού του φωτομετρικού μεγέθους τους.



Στο διπλανό διάγραμμα φαίνονται τα αποτελέσματα από τα δύο πειράματα (το διάγραμμα είναι από μία από τις δημοσιεύσεις που προέκυψαν με τα αποτελέσματα των δύο ομάδων, Knop et al, ApJ, 598, 102).

Οι καμπύλες αντιστοιχούν στις m vs z προβλέψεις για 3 κοσμολογικά μοντέλα με διαφορετικές τιμές του Ω_M και Ω_Λ .

Τα αποτελέσματα ήταν αναπάντεχα, δεδομένου ότι ήταν σύμφωνα με μοντέλα του Σύμπαντος για τα οποία ο ρυθμός διαστολής αυξάνεται (και όχι μειώνεται) με το χρόνο. Δηλαδή, με μοντέλα για τα οποία $\Omega_\Lambda > 0$.



Ένας άλλος τρόπος να δείξουμε τα αποτελέσματα εμφανίζεται στο διπλανό διάγραμμα (Riess et al, 2004, ApJ, 607, 665).

Ο άξονας των y δείχνει τη διαφορά μεταξύ της μέγιστης φωτεινότητας των SN Type Ia και του μεγέθους που θα περιμέναμε στην περίπτωση ενός “άδειου” Σύμπαντος. Οι ρόμβοι (στο άνω διάγραμμα) αντιστοιχούν σε αντικείμενα που παρατηρήθηκαν από επίγεια τηλεσκόπια ενώ οι κύκλοι

αντιστοιχούν σε αντικείμενα που παρατηρήθηκαν από το διάστημα (HST). Αν το Σύμπαν ήταν όντως άδειο ($\Omega=0$) θα έπρεπε τα δεδομένα να είναι σύμφωνα με την τιμή $\Delta(m-M)=0$. Τα δεδομένα όμως για $z<1$ μας δείχνουν ότι οι υπερκαινοφανείς είναι περισσότερο αμυδροί απ’ότι θα περιμέναμε ακόμα και αν το Σύμπαν ήταν άδειο (οπότε το R αυξάνεται με σταθερό ρυθμό, ενώ για $\Omega_M>0$ ο ρυθμός διαστολής ελαττώνεται). Άρα, ο ρυθμός διαστολής έχει αυξηθεί στο παρελθόν και άρα $\Omega_\Lambda>0$.

Μοντέλα τα οποία υποθέτουν grey dust (σκόνη για την οποία η απορρόφηση είναι ανεξάρτητη του μήκους κύματος) μπορούν επίσης να αποκλειστούν.