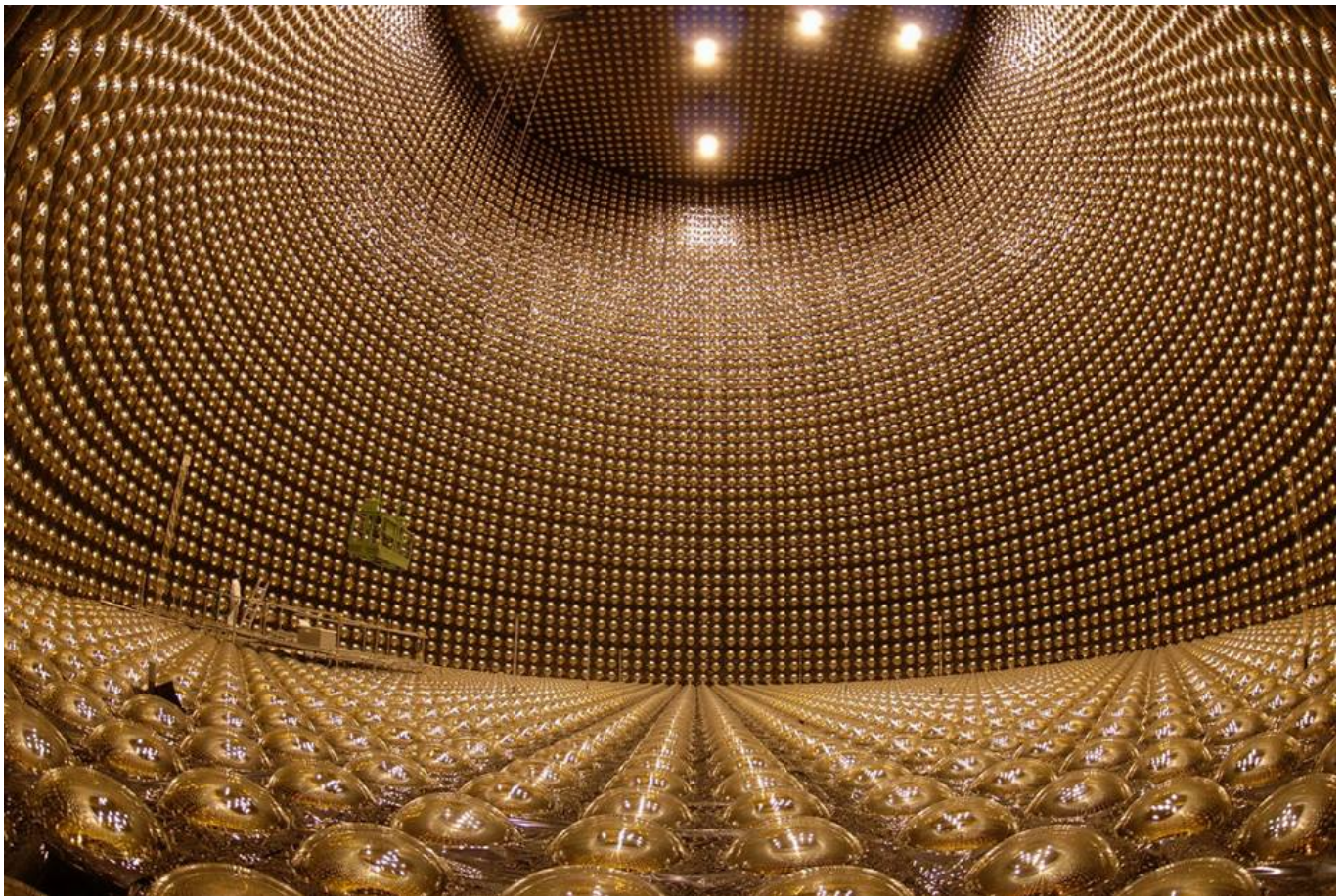


## Το «τίποτα» που είναι «κάτι» (Διονύσης Π. Σιμόπουλος, Επίτιμος Δ/ντής του Πλανηταρίου του Ιδρύματος Ευγενίδου)

/ [Πεμπτούσια](#)




Η ανακοίνωση της Βασιλικής Σουηδικής Ακαδημίας Επιστημών για το Βραβείο Nobel Φυσικής 2015 έφερε στο προσκήνιο, για μια δεύτερη φορά, ένα «τίποτα» που όμως είναι «κάτι». Ένα σωματίδιο του οποίου η απόδειξη ύπαρξής του έδωσε το 2002 ένα πρώτο Βραβείο Nobel Φυσικής! Αυτή τη φορά, όμως, το βραβείο δίδεται στον Takaaki Kajita από την Ιαπωνία και στον Arthur B. McDonald από τον Καναδά για την σημαντική συνεισφορά τους στα πειράματα που απέδειξαν ότι τα νετρίνο αλλάζουν μορφή. Μια μεταμόρφωση που υπονοεί ότι τα σωματίδια αυτά πρέπει να διαθέτουν, έστω και μια απειροελάχιστη, μάζα. Το γεγονός αυτό μας αναγκάζει να παραδεχτούμε ότι το πολύ πετυχημένο μέχρι πρόσφατα «Καθιερωμένο Πρότυπο» της σύγχρονης Φυσικής δεν είναι η πλήρης



**Θεωρία των στοιχειωδών συστατικών του Σύμπαντος, που αντιμετωπίζει τα νεutrino χωρίς καθόλου μάζα, ακριβώς όπως και τα φωτόνια.**

Οι έρευνες στις οποίες βασίστηκαν τα σημερινά βραβεία Nobel Φυσικής εκτελέστηκαν τα τελευταία 20 χρόνια, όταν ανακάλυψαν ότι τα νεutrino έχουν την δυνατότητα να αλλάζουν «μορφή» μεταξύ των τριών ειδών τους και σ' αυτό το γεγονός οφείλονταν και η παρατηρηθείσα αρχικά «έλλειψη» των ηλιακών νεutrίνων. Το 2001 μάλιστα πειράματα που έγιναν στο Sudbury Neutrino Observatory απέδειξαν ότι τα ηλιακά νεutrino στον δρόμο τους προς τις πειραματικές συσκευές της Γης μας «μεταμορφώνονται» σε είδη νεutrίνων που οι συσκευές μας δεν μπορούσαν να εντοπίσουν, κι έτσι το «πρόβλημα των ηλιακών νεutrino» λύθηκε όπως ακριβώς προέβλεπε η θεωρία των Ρώσων επιστημόνων Bruno Pontecorvo και Vladimir Gribov που είχαν διατυπώσει από το 1969. Αλλά ας πάρουμε τα πράγματα από εκεί που τα είχαμε αφήσει πριν από 13 χρόνια όταν δύο άλλοι αστροφυσικοί μοιράζονταν το Νόμπελ Φυσικής 2002 με βάση την πρωτογενή εργασία τους.

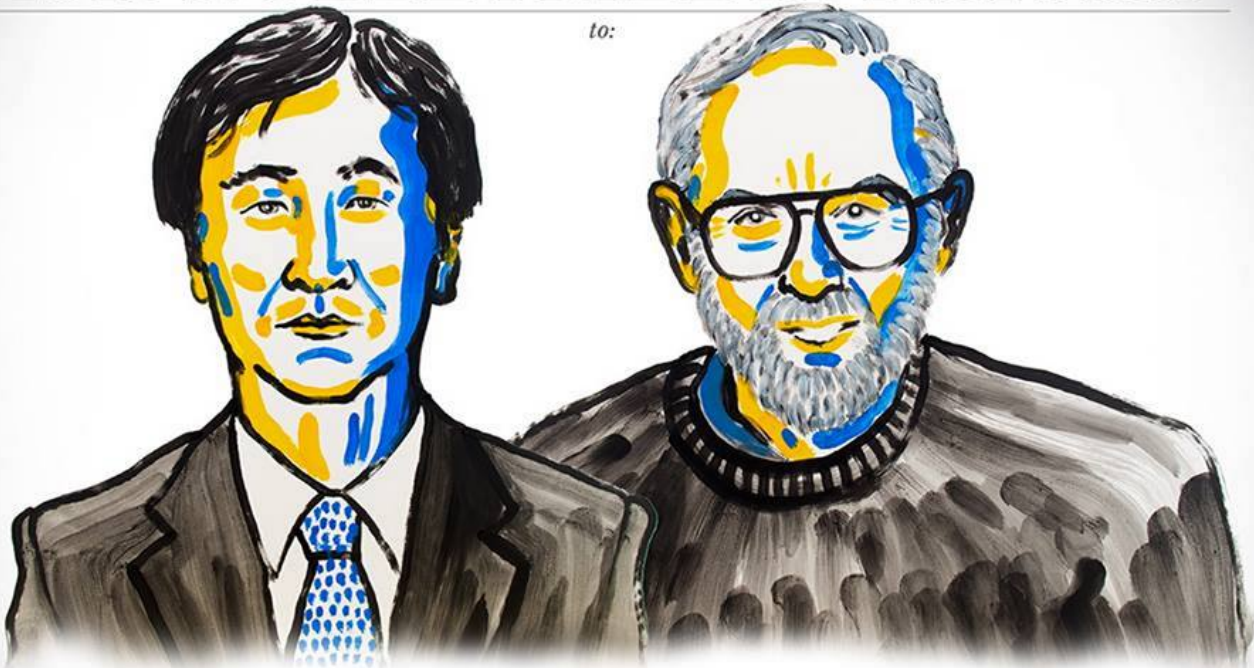
*"For the greatest benefit to mankind"*  
*Alfred Nobel*



*The Royal Swedish Academy of Sciences has decided to award the*


# 2015 NOBEL PRIZE IN PHYSICS

to:



**Takaaki Kajita and  
Arthur B. McDonald**

*"for the discovery of neutrino oscillations, which shows that neutrinos have mass"*

 **Nobelprize.org**  
The Official Web Site of the Nobel Prize

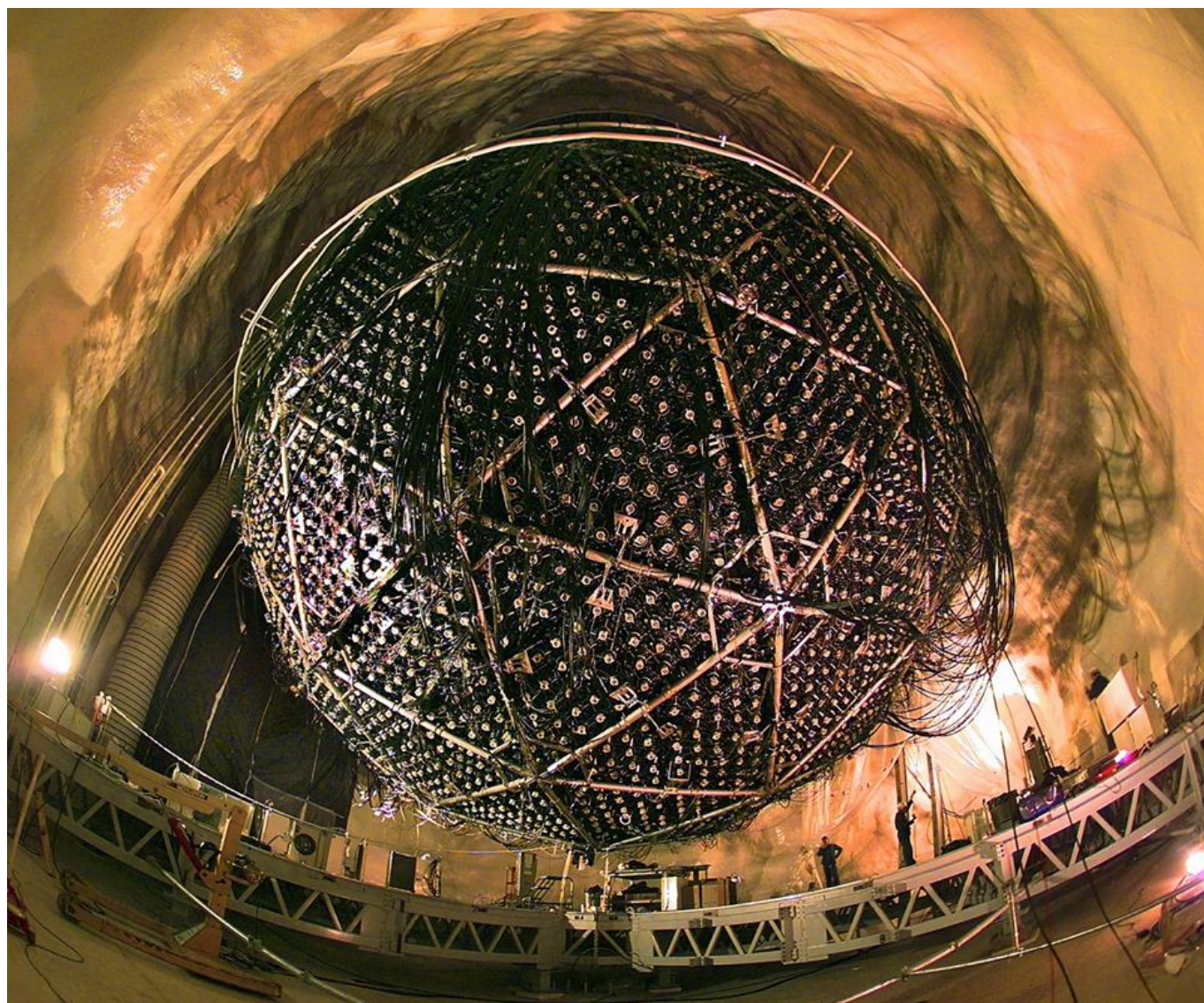
Illustrations: Niklas Elmehed, Nobel Prize Medal: © The Nobel Foundation, Photo: Lovisa Engblom.

Ο Αμερικάνος καθηγητής Raymond Davis του Πανεπιστημίου της Πενσυλβανίας και ο καθηγητής Masatoshi Koshiwa του Πανεπιστημίου του Τόκιο βραβεύτηκαν για την ανάπτυξη της έρευνας που άπτεται στην βασική έρευνα των νετρίνο, των παράξενων αυτών σωματιδίων που είναι 109 φορές περισσότερα από όλα τα άλλα νουκλεόνια μαζί. Τα νετρίνο δεν αντιδρούν σχεδόν με τίποτα έτσι ώστε θα μπορούσαν να διαπεράσουν άνετα και χωρίς κανένα πρόβλημα έναν τοίχο σιδήρου με πάχος 100 ετών φωτός. Κι όμως τα απειροελάχιστα αυτά σωματίδια μας επιτρέπουν να «δούμε» τι πραγματικά συμβαίνει στο εσωτερικό των άστρων και με ποιόν ακριβώς τρόπο. Τα νετρίνο δηλαδή μας πληροφόρησαν μεταξύ των άλλων και για την ακριβή θερμοκρασία που επικρατεί στο εσωτερικό των άστρων σαν τον Ήλιο που φτάνει τα 16 εκατομμύρια βαθμούς Κελσίου.

Όπως είναι γνωστό τις πρώτες δεκαετίες του 20ου αιώνα θεωρούσαμε ότι ο πυρήνας του ατόμου κάθε χημικού στοιχείου αποτελείται από ένα ή περισσότερα νουκλεόνια: τα πρωτόνια (σωματίδια με θετικό ηλεκτρικό φορτίο), και τα νετρόνια (σωματίδια χωρίς κανένα ηλεκτρικό φορτίο), ενώ γύρω από τον πυρήνα βρίσκονται τα μικροσκοπικά ηλεκτρόνια (με αρνητικό ηλεκτρικό φορτίο). Αυτό συμβαίνει με τα άτομα όλων των χημικών στοιχείων εκτός από το υδρογόνο. Γιατί ένα άτομο υδρογόνου αποτελείται μόνο από ένα πρωτόνιο και ένα ηλεκτρόνιο. Ο πυρήνας δηλαδή του υδρογόνου δεν έχει κανένα νετρόνιο. Τα τελευταία όμως χρόνια η απλή αυτή εικόνα έχει αλλάξει δραματικά.

Η σύγχρονη διερεύνηση στο εσωτερικό του ατόμου γίνεται στα τεράστια ειδικά εργαστήρια, με την μορφή κυκλικών ή γραμμικών τούνελ μήκους αρκετών χιλιομέτρων. Σ' αυτούς τους υπόγειους ατομικούς επιταχυντές, δέσμες ατομικών σωματιδίων δημιουργούνται και εκτοξεύονται με επιταχυνόμενη ταχύτητα που φτάνει σχεδόν την ταχύτητα του φωτός. Μ' αυτή την ταχύτητα τα σωματίδια συγκρούονται πάνω σε ειδικές επιφάνειες δημιουργώντας μια βροχή υποατομικών σωματιδίων. Μ' αυτό τον τρόπο έχουμε κατορθώσει να διασπάσουμε την ύλη στα πιο απλά συστατικά της, και να κοιτάξουμε στο εσωτερικό του ατόμου. Γιατί τα άτομα δεν είναι τα μικρότερα συστατικά του Σύμπαντος.





Φυσικά η κατανόηση του Σύμπαντος θα ήταν ευκολότερη αν τα άτομα αποτελούνταν μόνο από τα πρωτόνια, τα νετρόνια και τα ηλεκτρόνια. Μέχρι τώρα όμως οι επιταχυντές μας έχουν αποκαλύψει εκατοντάδες διαφορετικά είδη σωματιδίων: πιόνια, μεσόνια, λάμδα, ωμέγα, σίγμα, κλπ. Όλα αυτά τα σωματίδια, που ανακαλύφθηκαν πειραματικά από το 1940 μέχρι σήμερα, φαίνεται ότι αποτελούν μια τεράστια οικογένεια σωματιδίων. Επειδή τα σωματίδια αυτά έχουν μια ισχυρή αλληλεπίδραση μεταξύ τους ονομάστηκαν αδρόνια (hadrons). Μπορεί, άραγε, όλα αυτά τα σωματίδια να είναι τα πιο μικρά κομμάτια της ύλης; Φυσικά όχι. Γιατί μια από τις νέες ιδέες που έχουμε για το Σύμπαν είναι και η διαπίστωση ότι τα αδρόνια αποτελούνται κι αυτά από πιο μικρά σωματίδια.

Η νέα αυτή άποψη για την ύλη μας δόθηκε το 1963 από τους Αμερικανούς φυσικούς Murray Gell-Mann και George Zweig οι οποίοι υποστήριξαν ότι στην πραγματικότητα τα πρωτόνια και τα νετρόνια και όλα τ' άλλα αδρόνια δεν είναι στοιχειώδη σωματίδια γιατί αποτελούνται από άλλα ακόμη πιο μικρά σωματίδια

που ονόμασαν κουάρκ (quark). Υπάρχουν έξι διαφορετικά είδη κουάρκ, ή έξι αρώματα, και κάθε άρωμα έχει τρία διαφορετικά χρώματα. Όλα τα αδρόνια αποτελούνται από τον συνδυασμό δύο ή τριών κουάρκ. Έτσι τα κουάρκ φαίνεται, προς το παρόν τουλάχιστον, ότι είναι το κατώτερο όριο του Σύμπαντος γιατί δεν υπάρχει τίποτε άλλο στο εσωτερικό τους.

Η όλη όμως εικόνα που έχουμε σχηματίσει μέχρι σήμερα είναι ακόμα πιο πολύπλοκη, γιατί υπάρχουν και ορισμένα υποατομικά σωματίδια, όπως για παράδειγμα τα ηλεκτρόνια, που δεν αποτελούνται από κουάρκ. Υπάρχουν έξι τέτοια σωματίδια που ονομάζονται λεπτόνια (leptons), και είναι τα ηλεκτρόνια, τα μυόνια, και τα νετρίνο. Στην περίπτωση των νετρίνο η θεωρητική τους ύπαρξη προτάθηκε για πρώτη φορά το 1930 από τον Αυστριακό φυσικό Wolfgang Pauli (1900-1958) όταν σε όλες τις παρατηρήσεις που είχαν γίνει σε ισότοπα, που απέβαλαν ένα ή περισσότερα ηλεκτρόνια, καταμετρήθηκε μια ποσότητα «χαμένης ενέργειας».

Σύμφωνα όμως με τον νόμο της διατήρησης της ενέργειας κάτι τέτοιο είναι απαράδεκτο. Γι' αυτό ο Pauli πρότεινε ότι η «χαμένη» αυτή ενέργεια μεταφέρονταν από κάποιο «αόρατο» σωματίδιο που δεν διέθετε καμιά παρατηρήσιμη ιδιότητα. Ένα τέτοιο σωματίδιο θα έπρεπε να αντιδρά με την ύλη τόσο αδύναμα ώστε αν μια ροή αυτών των σωματιδίων περνούσε μέσα από έναν ωκεανό νερού πάχους 160 ετών φωτός (1.500 τρισεκατομμύρια χιλιόμετρα) θα σταματούσαν τα μισά μόνον απ' αυτά. Χωρίς ηλεκτρικό φορτίο, και χωρίς οποιαδήποτε υπολογίσιμη μάζα το θεωρητικό σωματίδιο του Pauli ήταν «ένα τίποτα που όμως ήταν κάτι». Ένα κάτι που έτρεχε με σχεδόν την ταχύτητα του φωτός και μετέφερε την ως τότε «χαμένη ενέργεια» των πυρηνικών αντιδράσεων.

Όταν το 1932 ανακαλύφθηκε το νετρόνιο που δεν είχε κανένα ηλεκτρικό φορτίο, ο Ιταλός φυσικός Enrico Fermi ( 1901-1954 ) πρότεινε το ουδέτερο σωματίδιο του Pauli να ονομαστεί neutrino (νετρίνο) που στα Ιταλικά σημαίνει «μικρό νετρόνιο». Μ' αυτόν τον τρόπο το σωματίδιο-φάντασμα απέκτησε ένα όνομα, αλλά χρειάστηκε να περάσουν περισσότερο από δύο δεκαετίες για να αποκτήσει και παρατηρήσιμη υπόσταση.

Η παρατήρηση έγινε τελικά το 1956 από τους Αμερικανούς φυσικούς Clyde L. Cowan Jr. και Frederick Reines οι οποίοι τοποθέτησαν τις πειραματικές τους συσκευές δίπλα σ' έναν πυρηνικό αντιδραστήρα ο οποίος εκπέμπει μια πυκνότερη ροή αντινετρίνων. Το σκεπτικό του πειράματος ήταν ότι καθώς τα αντινετρίνο θα περνούσαν μέσα από το νερό της συσκευής κάποιο απ' αυτά θα αντιδρούσε μ' ένα πρωτόνιο μετατρέποντάς το σε νετρόνιο και ποζιτρόνιο. Έτσι η απορρόφηση του νετρονίου από κάποιον πυρήνα, και η εξαύλωση του ποζιτρονίου από κάποιο

ηλεκτρόνιο θα είχε σαν αποτέλεσμα την εκπομπή ακτίνων γάμα. Η παρουσία της ακτινοβολίας αυτής θα απεκάλυπτε συγχρόνως και την παρουσία των αντινετρίνων. Το πείραμα πέτυχε, και η ύπαρξη του «αόρατου» σωματιδίου είχε αποδειχτεί πλήρως.

Την ίδια περίοδο ο βραβευθείς με το Νόμπελ Φυσικής 2002, καθηγητής Raymond Davis Jr. είχε τοποθετήσει μια δική του συσκευή συλλογής νετρίνων σε ένα εγκαταλελειμμένο ορυχείο χρυσού στη Νότια Ντακότα των ΗΠΑ, 1.500 μέτρα κάτω από το έδαφος. Η τεράστια αυτή δεξαμενή ήταν γεμάτη με 100.000 γαλόνια ενός υγρού που χρησιμοποιείται στον καθαρισμό των ρούχων και περιλαμβάνει το χημικό στοιχείο χλώριο. Σύμφωνα με τους υπολογισμούς του Davis το χλώριο και ένα από τα νετρίνο που προέρχονται από τον Ήλιο θα μπορούσαν να σχηματίσουν ένα ραδιενεργό άτομο του χημικού στοιχείου αργόν μια φορά στο τόσο αφού τα νετρίνο δεν αντιδρούν εύκολα με τίποτα. Μ' αυτή λοιπόν τη συσκευή ο Davis κατόρθωσε στα επόμενα 15 χρόνια να συγκεντρώσει συνολικά 2.000 άτομα αργόν.

Έκτοτε η μελέτη των νετρίνων μας αποκάλυψε ότι υπάρχουν τρία είδη νετρίνων (σε ζεύγη ύλης και αντιύλης). Το πρώτο από τα τρία ζεύγη νετρίνων είναι συνδεδεμένο με τα ηλεκτρόνια, το δεύτερο με τα μόνια, και το τρίτο με τα σωματίδια ταυ. Το νετρίνο ηλεκτρονίου εμφανίζεται στη γένεση του ποζιτρονίου, ενώ το αντινετρίνο του στη γένεση του ηλεκτρονίου. Το αντινετρίνο μιονίου συνδέεται με την διάσπαση του θετικού μιονίου, και το νετρίνο μιονίου με την διάσπαση του αρνητικού μιονίου. Τέλος το τρίτο είδος νετρίνων-αντινετρίνων συνδέεται με την διάσπαση των σωματιδίων ταυ. Το σύγχρονο δηλαδή θεωρητικό μας μοντέλο προβλέπει για κάθε ζευγάρι λεπτονίων, ένα αντίστοιχο ζευγάρι νετρίνων, και σ' αυτά τα ζευγάρια ένα αντίστοιχο ζευγάρι κουάρκ.

Τα πειράματα του Davis στη δεκαετία του 1960 επιβεβαίωσαν ότι ο Ήλιος παράγει νετρίνο, με την διαφορά ότι η καταμετρηθείσα ποσότητα ήταν το ένα τρίτο της ποσότητας που προέβλεπε η θεωρία. Το αίνιγμα αυτό των ηλιακών νετρίνων έδωσε την ευκαιρία σε άλλους επιστήμονες να μελετήσουν το πρόβλημα σε διάφορα πειράματα μεταξύ των οποίων και του επίσης βραβευθέντα με το Νόμπελ Φυσικής 2002 Ιάπωνα καθηγητή Masatoshi Koshiba αρχικά στα πειράματα που έκανε με τεράστιες δεξαμενές με την ονομασία «Καμιοκάντε» και αργότερα στα πειράματα του «Σούπερ Καμιοκάντε».

Οι δεξαμενές αυτές είναι εκτεταμένες πειραματικές συσκευές περιστοιχισμένες από φωτοευαίσθητους ανιχνευτές που μεταξύ των άλλων έχουν σκοπό τον εντοπισμό των μικροσκοπικών αυτών σωματιδίων της ύλης. Η τοποθέτησή τους σε υπόγεια σπήλαια έγινε για να προστατεύονται από τον συνεχή καταιγισμό των κοσμικών ακτίνων. Μερικές εκατοντάδες μέτρα συμπαγών πετρωμάτων δεν

αποτελούν, όπως είπαμε, κανένα εμπόδιο για τα νετρίνο. Μια δεξαμενή στο Οχάιο, για παράδειγμα, βρίσκεται σε βάθος 600 μέτρων, περιέχει 7.000 τόνους καθαρού νερού και 2.048 φωτο-πολλαπλασιαστές. Το ίδιο συμβαίνει και με την συσκευή της Ιαπωνίας (Σούπερ Καμιοκάντε) που άρχισε να λειτουργεί το 1986 (και ολοκληρώθηκε το 1996 με κόστος 100 εκατομμυρίων ευρώ) σε βάθος 900 μέτρων. Η συσκευή αυτή περιέχει σήμερα 12,5 εκατομμύρια γαλιόνια νερού και 11.242 φωτο-πολλαπλασιαστές που καλύπτουν την επιφάνεια του «δοχείου».

Έτσι όταν ένα από τα επερχόμενα νετρίνο συγκρουστεί μ' ένα από τα ηλεκτρόνια των ατόμων που αποτελούν τα μόρια του νερού, το επιταχύνει και το αναγκάζει να εκπέμπει μία γαλαζωπή ανταύγεια που ονομάζεται ακτινοβολία Τσερένκοβ. Συγχρόνως όταν ένα αντινετρίνο ηλεκτονίου αντιδράσει μ' ένα πρωτόνιο του νερού σχηματίζει ένα νετρόνιο και ένα ενεργοποιημένο ποζιτρόνιο που εκπέμπει το ίδιο είδος ακτινοβολίας. Μ' αυτόν τον τρόπο οι φωτο-πολλαπλασιαστές των δεξαμενών συλλαμβάνουν την εμφάνιση της ακτινοβολίας και με χιλιάδες καλωδιώσεις μεταφέρουν την παρατήρηση στους κεντρικούς ηλεκτρονικούς υπολογιστές όπου καταγράφεται σε ειδικές μαγνητοταινίες. Τέτοιου είδους «συσκευές» είναι αυτά που αποκαλούμε σήμερα «τηλεσκόπια» νετρίνων.

Ο αριθμός των νετρίνων που παράγεται σ' ένα κανονικό άστρο σαν τον Ήλιο είναι πραγματικά τεράστιος. Ο αριθμός όμως αυτός ωχριά μπροστά στον αριθμό που παράγεται στη διάρκεια της μετατροπής ενός υπεργιγάντιου άστρου σε σουπερνόβα. Στη διάρκεια μιας τέτοιας έκρηξης παράγονται δέκα δισεκατομμύρια τρισεκατομμύρια τρισεκατομμύρια, τρισεκατομμύρια τρισεκατομμυρίων νετρίνο ( $10^{58}$  = ο αριθμός 1 ακολουθούμενος από 58 μηδενικά). Λόγω του μεγάλου αυτού αριθμού τα νετρίνο παίζουν ένα σημαντικότατο ρόλο στην καταστροφική εξέλιξη ενός άστρου, γιατί με την αναχώρησή τους μεταφέρουν μαζί τους τεράστια ποσά ενέργειας απ' αυτό.

Επειδή λοιπόν την στιγμή της έκρηξης η θερμοκρασία στον πυρήνα μπορεί να φτάσει τα 100 δισεκατομμύρια βαθμούς Κελσίου, καθένα από τα νετρίνο αυτά μεταφέρει ενέργεια 10 MeV (εκατομμύρια ηλεκτρονιοβόλτ), αποσπώντας έτσι το 99% της ενέργειας που εκλύεται από την κατάρρευση του άστρου. Ενώ αντιθέτως το ορατό φως που βλέπουμε από την έκρηξη αυτή δεν αποτελεί παρά το 0,01%. Πράγμα που σημαίνει ότι στις 10.000 μονάδες ενέργειας που εκλύεται από μια έκρηξη σουπερνόβα, οι 9.999 μονάδες μεταφέρονται από τα νετρίνο και μία μόνο μονάδα από το ορατό φως που βλέπουμε. Παρ' όλη δηλαδή την φωτεινότητα που έχει μια σουπερνόβα, η οπτική της πλευρά δεν είναι παρά μια παρωνυχίδα στο πραγματικά «εκρηκτικό» γεγονός της εκπομπής των νετρίνων.

Γι' αυτό αν τα νετρίνο είχαν αρκετή μάζα θα μπορούσαν να αποτελέσουν την λύση



ενός μεγάλου τμήματος του κοσμολογικού προβλήματος της λεγόμενης «σκοτεινής ύλης», της μάζας δηλαδή εκείνης που ενώ δεν είναι «ορατή» αποτελεί το 85% των υλικών από τα οποία αποτελείται το Σύμπαν όταν η κανονική ύλη που βλέπουμε να αποτελούν τους γαλαξίες, τα άστρα και τους ανθρώπους φτάνει το 15% μόνο. Η ροή των νετρίνων από την σουπερνόβα έκρηξη SN1987-A (που εμφανίστηκε το 1987 στον γειτονικό μας γαλαξία «Μεγάλο Νέφος» του Μαγγελάνου) διήρκεσε από 6 έως 13 δευτερόλεπτα, πράγμα που σημαίνει ότι τα νετρίνο πρέπει να έχουν κάποια ελάχιστη έστω μάζα και δεν είναι σαν τα φωτόνια που δεν έχουν καθόλου μάζα. Γιατί αν τα νετρίνο δεν είχαν μάζα όλα τους θα έφταναν στη Γη ταυτόχρονα. Η χρονική όμως διαφορά που καταγράφηκε αποδίδει στο κάθε νετρίνο μάζα μέχρι δέκα περίπου ηλεκτρονιοβόλτ (eV).

Για να καταλάβετε πόσο μικρή είναι η ποσότητα αυτή αρκεί να σα υπενθυμίσουμε ότι η μάζα του ηλεκτρονίου είναι 511.000 eV, η μάζα του πρωτονίου είναι 938.260.000 eV και η μάζα του νετρονίου είναι 939.550.000 eV. Η υπολογισθείσα δηλαδή μάζα ενός νετρίνου είναι 51.100 φορές μικρότερη από την μάζα ενός ηλεκτρονίου, και 94 εκατομμύρια φορές περίπου μικρότερη από τη μάζα του πρωτονίου ή του νετρονίου. Και αν θέλετε να το πούμε και σε γραμμάρια, ένα νετρίνο έχει μάζα 20 εκατομμυριοστά του τρισεκατομμυριοστού ενός τρισεκατομμυριοστού του γραμμαρίου.

Όπως είπαμε, λοιπόν, τα νετρίνο δεν παρεμποδίζονται σχεδόν από τίποτα. Διασχίζουν άστρα, πλανήτες και τρισεκατομμύρια τρισεκατομμυρίων χιλιόμετρα διαστρικών νεφελωμάτων χωρίς να συγκρουστούν με τίποτα. Έτσι τα τρισεκατομμύρια τρισεκατομμυρίων νετρίνο που έφτασαν μέχρι τον πλανήτη μας από την σουπερνόβα έκρηξη του SN1987-A διέσχισαν όλο το πάχος της Γης μας συνεχίζοντας ακάθεκτα το δρόμο τους στο Διάστημα. Από τα 300 τρισεκατομμύρια νετρίνο που πέρασαν μέσα από την δεξαμενή στο Οχάιο κατεγράφησαν 8, ενώ άλλα 11 κατέγραψε η δεξαμενή της Ιαπωνίας. Ένα σύνολο 19 μόνο νετρίνων από τα εκατοντάδες τρισεκατομμύρια που πέρασαν από τις δύο δεξαμενές.

Στη συσκευή της Ιαπωνίας η εμφάνιση των 11 νετρίνων και αντινετρίνων καταγράφηκε σε μία περίοδο 13 δευτερολέπτων, ενώ στη συσκευή του Οχάιο τα 8 νετρίνο κατεγράφησαν σε διάστημα 6 δευτερολέπτων. Έτσι όταν οι μαγνητοταινίες εξετάστηκαν αργότερα, οι 19 συγκρούσεις των νετρίνων εντόπισαν επακριβώς την στιγμή της έκρηξης και επιβεβαίωσαν τα θεωρητικά μας μοντέλα που προέβλεπαν ότι η κατάρρευση των σουπερνόβα δημιουργεί άστρα νετρονίων, καθώς επίσης και την ακριβή θερμοκρασία που επικρατεί στο κέντρο της έκρηξης. Στην περίπτωση της SN1987-A η θερμοκρασία υπερέβαινε τα 50



δισεκατομμύρια βαθμούς, ενώ η συνολική ενέργεια που απέσπασαν τα νετρίνο από την σουπερνόβα ήταν  $10^{53}$  έργια, την ενέργεια δηλαδή που εκλύουν όλα τα άστρα του Γαλαξία μας για αρκετά χρόνια. Το γεγονός αυτό έκανε έναν από τους ερευνητές να τα ονομάσει «νετρίνο από την κόλαση».

Παρ' όλη την τεράστια απόσταση που χωρίζει την Γη από την σουπερνόβα, 10 περίπου δισεκατομμύρια νετρίνο από την SN1987-A βομβάρδισαν κάθε ένα τετραγωνικό εκατοστό του πλανήτη μας, μέσα στα λίγα εκείνα δευτερόλεπτα της 23ης Φεβρουαρίου 1987. Αρκετά λοιπόν εκατομμύρια ανθρώπων πρέπει να είχαν την εμπειρία μίας «στενής επαφής» μ' ένα από τα νετρίνο εκείνα, χωρίς φυσικά να μπόρεσαν να το αισθανθούν ή να τους επηρέασε καθ' οιονδήποτε τρόπο.

Τα 19 νετρίνα της σουπερνόβα 1987-A που «συνελήφθησαν» από τις δύο «δεξαμενές-τηλεσκόπια» νετρίνων του Οχάιο και της Ιαπωνίας, επιβεβαίωσαν με θεαματικό τρόπο πολλά βασικά στοιχεία των θεωρητικών μας μοντέλων για τα τεκταινόμενα στο κέντρο των κατακλυσμιαίων εκρήξεων γέρικων άστρων. Εκρήξεων μάλιστα που μπορούν να γίνουν αιτία για την δημιουργία μιας νέας γενιάς άστρων, καθώς η πίεση που εξασκούν σε κοντινές συγκεντρώσεις μεσοαστρικών αέριων νεφελωμάτων, τα συμπυκνώνουν αρχίζοντας την διαδικασία της αστρογένεσης.