

Ύλη και αντιύλη στο Σύμπαν

Δρς Μάνος Δανέζης και Στράτος Θεοδοσίου
Επίκουροι Καθηγητές Αστροφυσικής
Πανεπιστημίου Αθηνών

Η ανακάλυψη των αντισωματιδίων

Το 1929 ο Αγγλος θεωρητικός φυσικός *P.A. Dirac* (1902-1984) προσπαθώντας να υπολογίσει την εξίσωση κίνησης ενός ελεύθερου ηλεκτρονίου, κατέληξε στον εντοπισμό δύο συμμετρικών λύσεων. Το γεγονός αυτό ερμηνεύτηκε από τον ίδιο ως η θεωρητική δυνατότητα ύπαρξης ενός αγνώστου μέχρι τότε σωματιδίου, το οποίο θα είχε την ίδια μάζα και τις ίδιες ιδιότητες με το ηλεκτρόνιο, αλλά αντίθετο, —δηλαδή θετικό— φορτίο.

Τα σωματίδια αυτά ονομάστηκαν *ποζιτρόνια* (ή *θετικά ηλεκτρόνια*), αν και θα μπορούσαμε να τα ονομάσουμε και *αντιηλεκτρόνια*.

Η θεωρητική δικαιολόγηση για την ύπαρξη αυτού του υποθετικού σωματιδίου ελάχιστους έπεισε εκείνη την εποχή, εντούτοις λίγο αργότερα το 1932, ο *C. Anderson*, μελετώντας την κοσμική ακτινοβολία μπόρεσε να επιβεβαιώσει και πειραματικά την ύπαρξη ποζιτρονίων. Η πρόβλεψη του Dirac είχε επαληθευτεί πανηγυρικά και ταυτόχρονα επιβεβαιώθηκε η ύπαρξη του πρώτου αντισωματιδίου που θεμελίωσε την έννοια της αντιύλης. Δίκαια, λοιπόν, ο σπουδαίος φυσικός τιμήθηκε με το βραβείο Νόμπελ Φυσικής, το 1933, γι' αυτήν του την πρόβλεψη.

Οι έρευνες όμως συνεχίστηκαν και το 1955 μια ομάδα φυσικών του Εργαστηρίου Ακτινοβολιών του Berkeley στην Καλιφόρνια, αποτελούμενη από τους *O. Gamberlain*, *E. Segré*, *C. Wiegand* και τον Έλληνα *Θ. Υψηλάντη*, μέσω της συσκευής *Μπήβατρον** παρήγαγαν για πρώτη φορά ένα ζεύγος πρωτονίου-αντιπρωτονίου.

Το αντιπρωτόνιο έχει μάζα ίση με τη μάζα του πρωτονίου με φορτίο όμως ίσο και αντίθετό του (αρνητικό).

Είναι ενδιαφέρον να αναφερθεί ότι η τροχιά του ποζιτρονίου μπορεί να ταυτιστεί με την τροχιά ενός ηλεκτρονίου σε *αρνητικό χρόνο*, δηλαδή το οποίο κινείται προς το παρελθόν**.

Το φθινόπωρο του 1956 ο *E. Segré*, ανακάλυψε το αντινετρόνιο. Στην περίπτωση αυτή επειδή το νετρόνιο είναι ηλεκτρικά ουδέτερο, η αντίθεσή του από το νετρόνιο έγκειται στην αντίθετη φορά της μαγνητικής του ροπής.

Εκτοτε, κοινή ήταν η πεποίθηση μεταξύ των θεωρητικών φυσικών ότι κάθε σωματίο της ύλης που υπήρχε στο Σύμπαν ή παραγόταν τεχνητά διέθετε και το αντισωματίό του, συνεπώς στην ύλη αντιστοιχούσε η αντιύλη.

Η συγκρότηση της ιδέας της αντιύλης.

Η ανακάλυψη του ποζιτρονίου, αντιπρωτονίου και αντινετρονίου δημιούργησε άμεσα στην επιστημονική κοινότητα μια σειρά ερωτημάτων.

Η βασική ερώτηση ήταν η εξής: «*εφ' όσον υπάρχουν τα αντίστοιχα αντισωματίδια γιατί να μην είναι δυνατή η συγκρότηση αντιστοιχείων, όπως αντιυδρογόνου, αντιηλίου κ.ά. και γενικότερα αντιύλης;*» Βεβαίως εξ' αρχής ήταν γνωστό ότι δεν μπορεί να συνυπάρχει ύλη και αντιύλη, εφ' όσον η σύγκρουση σωματίου με το αντισωματίό του, επιφέρει τον εκμηδενισμό της μάζας τους και τη μετατροπή της σε φωτεινή ενέργεια (ακτινοβολία γ)***.

Ο Ολλανδός χημικός *P. Debye* (Βραβείο Nobel 1936) έγραφε:

«Μπορεί κάποιος να φανταστεί δύο είδη κόσμων, έναν, όπως αυτός στον οποίο ζούμε, όπου ο θετικός ηλεκτρισμός είναι συνδεδεμένος με τον ατομικό πυρήνα (το πρωτόνιο) και γύρω από τον οποίο περιστρέφεται το αρνητικό νέφος των ηλεκτρονίων. Και έναν άλλο, στον οποίο οι πυρήνες των ατόμων είναι φορτισμένοι αρνητικά και γύρω τους περιστρέφεται ένα νέφος ποζιτρονίων».

Για το ίδιο θέμα ο αείμνηστος καθηγητής Αστρονομίας του Πανεπιστημίου Αθηνών Δημήτριος Κωτσάκης έγραφε σε άρθρο του το 1963:

«Ο κόσμος της αντιύλης θα πρέπει να έχει τα κύρια χαρακτηριστικά γνωρίσματα του δικού μας κόσμου. Χωρίς αμφιβολία η ύλη του θα είναι σταθερή, όπως ακριβώς και η ύλη του δικού μας κόσμου. Τα άτομα του κόσμου εκείνου ηλεκτρικώς θα είναι ουδέτερα. Τα αντισωματίδια από τα οποία θα αποτελείται, θα έχουν την αυτή μάζα ηρεμίας, αλλά αντίθετη μαγνητική ροπή από τα σωματίδια του γνωστού μας κόσμου. Ελλείψει μαγνητικής ροπής θα διαφέρουν πιθανότατα στο spin. Αν υπάρχουν λογικά όντα, υλικώς θα αποτελούνται από αντιύλη, η μορφή όμως του κόσμου και η έρευνα της από αυτά θα ακολουθεί την πορεία την οποία ακολουθούν οι πειραματικοί και θεωρητικοί επιστήμονες του δικού μας κόσμου, εφ' όσον θα βρίσκονται στο αυτό σημείο προόδου και πολιτισμού».

Τα προβλήματα, όμως, που σχετίζονται με την «υφή» της αντιύλης, παραμένουν. Διατυπώνουμε κάποια από αυτά:

α. Εφ' όσον έχει ήδη ανιχνευθεί μια σειρά αντισωματίων, φορέων της αντιύλης, είναι δυνατόν να υπάρχουν αντιφορείς της δύναμης της βαρύτητας (αντιβαρυτόνια); Μπορούν δηλαδή να εμφανιστούν φαινόμενα αντιβαρύτητας (απωστική βαρύτητα);

β. Είναι δυνατή η ύπαρξη αντιμποζονίων *Higgs* φορέων της ιδιότητας της αντιμάζας; Υπάρχει δηλαδή περίπτωση ύπαρξης αρνητικής μάζας;

γ. Ποια είναι η σχέση μεταξύ αντιύλης και πιθανών φαινομένων αντιβαρύτητας και αρνητικής μάζας;

Για ιστορικούς λόγους αναφέρουμε την άποψη του *M. Goldhaber* του Εθνικού Εργαστηρίου του Brookhaven, γύρω από το πώς δημιουργήθηκαν αρχικά τα Σύμπαντα ύλης και αντιύλης που αναφέραμε προηγουμένως.

Ο Goldhaber, αντί του αρχικού υπερατόμου του *Lemaitre*, δέχεται ότι πρωταρχικά υπήρχε ένα μοναδικό υπερσωμάτιο, το *universon*. Το υπερσωμάτιο αυτό διαιρέθηκε αμέσως σε δύο σωματίδια το *cosmon* και το *anticosmon*. Μέσα από τα δύο αυτά σωματίδια ξεπήδησε τόσο ο γνωστός μας αισθητός κόσμος όσο και ο αντικόσμος, που είναι μη αισθητός και παρατηρήσιμος.

Πάντως, στο CERN μόλις το 1995, ο καθηγητής *Walter Oelert* και οι συνεργάτες του κατόρθωσαν να παρασκευάσουν για πρώτη φορά αντιυδρογόνο (αντιύλη). Ήταν η πειραματική επιβεβαίωση της αντίστοιχης θεωρίας. Στο Ευρωπαϊκό Κέντρο Πυρηνικών Ερευνών (CERN), παρήχθησαν 9 άτομα αντιυδρογόνου στον Δακτύλιο Αντιπρωτονίων Χαμηλής Ενέργειας (LEAR). Είναι, λοιπόν, γεγονός αυτό που πρότειναν οι ειδικοί επιστήμονες, για κάθε σωματίδιο υπάρχει το αντισωματίδιό του. Αυτά έχουν ίσες μάζες, αλλά, όπως φαίνεται, κάποιες αντίθετες ιδιότητες, όπως το φορτίο, τη διπολική μαγνητική ροπή τους κ.ά.

Πλάσμα, μια τέταρτη κατάσταση της ύλης

Σήμερα γνωρίζουμε ότι οι βασικές καταστάσεις της ύλης που υποπίπτουν στις αισθήσεις μας είναι η στερεά, η υγρή και η αέρια.

Για πρώτη φορά στα τέλη του 19ου αιώνα ο μεγάλος Άγγλος φυσικός Γουίλιαμ Κρουξ προκειμένου να ερμηνεύσει μια σειρά μεταφυσικών φαινομένων που μελετούσε, όπως την μετεώριση και την τηλεπάθεια, υπέθεσε ότι η ύλη μπορούσε να παρουσιαστεί με μια τέταρτη κατάσταση, η οποία πιθανόν να είναι περισσότερο αεριώδης από το συνηθισμένο αέριο.

Η επαλήθευση της άποψης του Κρουξ ήρθε βέβαια πολύ αργότερα και η τέταρτη αυτή κατάσταση της ύλης ονομάστηκε πλάσμα.

Στα συνηθισμένα αέρια η ύλη βρίσκεται υπό τη μορφή σταθερών μορίων ή ατόμων. Αντίθετα, στην κατάσταση του πλάσματος ένας μεγάλος αριθμός ατόμων παρουσιάζεται ιονισμένος. Συνεπώς πλάσμα ονομάζουμε την υπεριορισμένη κατάσταση της ύλης. Στην κατάσταση αυτή η ύλη αποτελείται από άτομα, πάρα πολλά ιόντα (περισσότερα από 1.020 ανά cm^3) και ελεύθερα ηλεκτρόνια.

Βασικό χαρακτηριστικό του πλάσματος είναι η ηλεκτρική ουδετερότητά του. Αυτό σημαίνει ότι η αριθμητική πυκνότητα των θετικών και αρνητικών ιόντων είναι ίδια.

Το πλάσμα δημιουργείται και μπορούμε να το ανιχνεύσουμε σε περιοχές που ξεσπούν ισχυρές ηλεκτρικές εκκενώσεις ή τα άτομα βρίσκονται εκτεθειμένα σε ισχυρή ακτινοβολία ή υψηλή θερμοκρασία.

Ο Β. Μπόστικ, εισάγοντας το πλάσμα σ' ένα θάλαμο κενού μπόρεσε να ανακαλύψει ότι, όταν αυτό βρεθεί εντός μαγνητικού πεδίου, έχει τη δυνατότητα να συσταλεί σχηματίζοντας ατμούς πλάσματος, που έχουν τη μορφή σπειροειδούς ομίχλης μήκους έως 50 cm .

Τα νέφη αυτά που ονομάζονται πλασμοειδή απωθούνται μεταξύ τους, ακτινοβολούν και μπορούν να φωτογραφηθούν.

Σύμφωνα με κάποιες επιστημονικές απόψεις το πλανητικό μας σύστημα προέρχεται από πλασμοειδή νέφη, τα οποία συμπυκνώθηκαν δημιουργώντας τον Ήλιο και τους πλανήτες. Με τον ίδιο περίπου τρόπο οι ίδιοι επιστημονικοί κύκλοι πιστεύουν ότι δημιουργήθηκαν και οι γαλαξίες.

Όπως πιστεύουμε σήμερα, από πλάσμα αποτελείται το 90% της ύλης του Σύμπαντος. Ο Ήλιος, το πολικό σέλας, το διαπλανητικό αέριο, η διαστρική ύλη, οι ζώνες ακτινοβολίας που περιβάλλουν τη Γη και οι ουρές των κομητών αποτελούνται στο μεγαλύτερο μέρος τους από πλάσμα.

Όσον αφορά τον Ήλιο μας, έχει αποδειχθεί, με τη χρήση ραδιοτηλεσκοπίων, ότι ολόκληρη η σφαίρα του αλλά και ο χώρος που τον περιβάλλει, αποτελούνται από πλάσμα. Το ηλιακό αυτό πλάσμα, μέσω εκρήξεων, τροφοδοτεί το ηλιακό σύστημα με κοσμική ακτινοβολία, ηλεκτρόνια και ηλεκτρικά φορτισμένα σωματίδια.

Σήμερα γνωρίζουμε ότι κατά το πρότυπο των ηλιακών ανέμων μπορούμε να ανιχνεύσουμε την ύπαρξη γαλαξιακών ανέμων πλάσματος που εξωθούνται από το κέντρο του Γαλαξία με ταχύτητα 35 μιλίων την ώρα. Όπως έδειξε ο Αυστραλός ραδιοαστρονόμος Φρανς Κερ, τα γαλαξιακά αυτά ρεύματα στην περιοχή του Ήλιου παρουσιάζουν ταχύτητα 5 μιλίων το δευτερόλεπτο.

Ο Αμερικανός αστρονόμος Χ.Κ. Αρπ απέδειξε ότι το πλάσμα που ρέει από το κέντρο του Γαλαξία μας συγκρατείται από ένα μαγνητικό πεδίο με μορφή σωληνοειδούς και κατευθύνεται προς τους σπειροειδείς βραχίονές του.

Μια πέμπτη κατάσταση της ύλης-Συμπύκνωμα Μπόζε-Αϊνστάιν

Ο Αλμπερτ Αϊνστάιν και ο Ινδός φυσικός Σαντοέντρα Ναθ Μπόζε, στις αρχές της δεκαετίας του 1920, προέβλεψαν ότι τα αέρια κάποιων μορφών, αν βρεθούν σε συνθήκες θερμοκρασίας απολύτου μηδενός, παύουν να συμπεριφέρονται σαν μια συλλογή ανεξάρτητων σωματιδίων και αντιδρούν σαν μια ενιαία οντότητα, ένα «υπεράτομο» ύλης, που ονομάζεται «συμπύκνωμα Μπόζε-Αϊνστάιν», και από τη φύση του θα έπρεπε να είναι αόρατο.

Από κβαντική άποψη αυτό σημαίνει ότι η κυματική συμπεριφορά των υποατομικών σωματιδίων θα υποστεί μια επέκταση μέχρι του σημείου να συμπέσουν χρονικά.

Η μεγάλη όμως τεχνική δυσκολία σχηματισμού αυτού του συμπυκνώματος, μέχρι πρότινος, συνίστατο στο ότι δεν ήταν δυνατή η δημιουργία θερμοκρασίας παραπλήσιας του απόλυτου μηδενός (-273 C).

Το πρόβλημα όμως αυτό λύθηκε το 1955 από μια επιστημονική ομάδα του Πανεπιστημίου του Κολοράντο, υπό την καθοδήγηση των Ερικ Κορνέλ και Καρλ Γουάιμαν.

Η επιστημονική ομάδα χρησιμοποιώντας μια συνδυαστική διάταξη λέιζερ και μαγνητικών πεδίων, κατόρθωσε να κατεβάσει τη θερμοκρασία ενός δείγματος ρουβιδίου μέχρι του επιπέδου θερμοκρασίας ενός συμπυκνώματος Μπόζε-Αϊνστάιν.

Με βάση τη μέθοδο αυτή ο Βόλφγκανγκ Κέτερλε και η ομάδα του, στα εργαστήρια του Μ.Ι.Τ., μπόρεσαν στις 18 Μαΐου του 1966, να δημιουργήσουν ένα συμπύκνωμα Μπόζε-Αϊνστάιν, το οποίο αποτελείται από πέντε περίπου εκατομμύρια άτομα νατρίου και είχε διάρκεια ζωής 20 περίπου δευτερόλεπτα.

Το συμπύκνωμα αυτό, αν και αόρατο, εντοπίστηκε όταν μια δέσμη λέιζερ το διαπέρασε, κι αυτό, δρώντας σαν φακός, διάθλασε το φως που πέρασε από μέσα του.

Το συμπύκνωμα Μπόζε-Αϊνστάιν από τότε αποτέλεσε μια υπαρκτή πέμπτη κατάσταση της ύλης.

* Το Μπήβατρον είναι μια συσκευή που παράγει πρωτόνια με κινητική ενέργεια 6,2 δισεκατομμυρίων ηλεκτρονιοβόλτς (eV), με $1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-12} \text{ erg}$.

** Πρώτος ο Ρίτσαρντ Φέινμαν (Richard Feynmann) διατύπωσε την άποψη ότι ένα ποζιτρόνιο που κινείται προς τα εμπρός στον χρόνο (μέλλον), είναι στην πραγματικότητα ένα ηλεκτρόνιο που κινείται προς τα πίσω στον χρόνο (παρελθόν).

*** Μια σύγκρουση ενός πρωτονίου με ένα αντιπρωτόνιο ελευθερώνει ενέργεια ίση με 1.800.000.000.000.000 eV. Παρ' όλα αυτά Ελβετοί επιστήμονες στο CERN, τον Σεπτέμβριο του 1995, κατάφεραν να δημιουργήσουν το αντιυδρογόνο. Μέχρι τότε τα στοιχεία της αντιύλης δεν ήταν δυνατόν να εντοπιστούν στη Γη, όπου πιθανότατα δεν υπάρχουν. Το πείραμα όμως στο CERN, με επικεφαλής τον καθηγητή Βάλτερ Ελερτ, φαίνεται ότι τα δημιούργησε, ασχέτως αν τα παραγόμενα αντιυδρογόνα ζουν πολύ λίγο, μόλις κάποια εκατομμυριοστά του δευτερολέπτου!

Βιβλιογραφία

Μάνος Δανέζης και Στράτος Θεοδοσίου: «Το Σύμπαν που αγάπησα». Εκδόσεις Δίαυλος, Αθήνα 1998.

Επανάρθωση

Λόγω παραδρομής στο προηγούμενο τεύχος της Β.τ.Κ, δεν αναφέρθηκε σαν συνσυγγραφέας του άρθρου «Το περίεργο καινούργιο Σύμπαν», ο επίκουρος καθηγητής Αστροφυσικής του Πανεπιστημίου Αθηνών Δρ Στράτος Θεοδοσίου