

ΦΥΣΙΚΗ

Κατοπτρική ύλη Ουσιαστικό νόημα ή ουτοπία;

Δρ ΑΓΓΕΛΟΣ ΒΟΡΒΟΛΑΚΟΣ
Καθηγητής Πυρηνικής Φυσικής ΣΣΕ

Απόρροια της έρευνας στον χώρο της Φυσικής κατά τον εικοστό αιώνα ήταν η δημιουργία μιας ιδιαίτερα επιτυχημένης προσέγγισης της δομής του κόσμου σε μικροσκοπικό αλλά και κοσμικό επίπεδο, επεκτείνοντας τις έννοιες της κλασικής Φυσικής των προηγούμενων εποχών. Τις τελευταίες δεκαετίες όμως έχουν πια αναγνωριστεί πολλά σημεία τόσο σε θεωρητικό όσο και σε πειραματικό επίπεδο όπου απαιτείται η εισαγωγή νέων φυσικών οντοτήτων. Υποψήφια ως μια νέα φυσική οντότητα είναι και η κατοπτρική ύλη, η οποία έχει προταθεί από τους ερευνητές με απώτερο σκοπό την επίλυση του προβλήματος της ποσότητας ύλης του Σύμπαντος. Η δυναμική του Σύμπαντος σε κοσμική κλίμακα δεν είναι δυνατόν να περιγραφεί βάσει της ποσότητας ύλης που φαίνεται να περιέχει. Για τον λόγο αυτό απαιτήθηκε η εισαγωγή της έννοιας της σκοτεινής ύλης, η φύση της οποίας όμως παραμένει άγνωστη μέχρι σήμερα. Θα μπορούσε η κατοπτρική ύλη να αποτελεί το φυσικό υπόβαθρο της σκοτεινής ύλης προσφέροντας ταυτόχρονα και έναν τρόπο για τη διατήρηση της κατοπτρικής συμμετρίας στη φύση;

Ενας από τους τομείς όπου πρόσφατα άρχισε να εστιάζεται το επιστημονικό ενδιαφέρον αναφέρεται στην ύπαρξη ή όχι μιας εντελώς νέας μορφής ύλης, της κατοπτρικής ύλης. Η κατοπτρική ύλη αποτελείται, σύμφωνα με το θεωρητικό μοντέλο, από συσσωματώματα υποατομικών σωματιδίων όπως συμβαίνει και στην περίπτωση της κανονικής ύλης. Το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό της είναι πως η παρουσία της επιτρέπει στη φύση να διατηρήσει την κατοπτρική συμμετρία (η οποία σύμφωνα με τα πειραματικά δεδομένα είναι γνωστό ότι παραβιάζεται από την ασθενή αλληλεπίδραση). Ταυτόχρονα οι επιμέρους ιδιότητες που προκύπτουν για την κατοπτρική ύλη, την ανάγουν στη φυσική οντότητα που θα μπορούσε να εξηγήσει την ποσότητα μάζας του Σύμπαντος σύμφωνα με τις τρέχουσες κοσμολογικές θεωρίες. Τα υποατομικά σωματίδια που συνθέτουν την κατοπτρική ύλη αποτελούν τα κατοπτρικά ανάλογα των σωματιδίων της ύλης (δηλαδή για το ηλεκτρόνιο υπάρχει το κατοπτρικό ηλεκτρόνιο, για το πρωτόνιο το κατοπτρικό πρωτόνιο κ.ο.κ). Η αλληλεπίδραση των κατοπτρικών σωματιδίων με τα κανονικά λαμβάνει χώρα μόνο μέσω της βαρυτικής αλληλεπίδρασης και μέσω σπάνιων κβαντικών φαινομένων (όπως η πόλωση του κενού) γεγονός που θα μπορούσε να εξηγήσει τη δυσκολία στην παρατήρηση της κατοπτρικής ύλης. Σύμφωνα με ορισμένους ερευνητές, πειραματικά δεδομένα από τον χώρο της αστρονομίας αλλά και από το χώρο της μελέτης των στοιχειωδών σωματιδίων συνηγορούν υπέρ της ύπαρξης της κατοπτρικής ύλης.

Πιο συγκεκριμένα, οι υποστηρικτές της ιδέας εστιάζουν την προσέγγισή τους στις παρακάτω παρατηρήσεις / ανακαλύψεις τις οποίες προβάλλουν ως ενδείξεις αλλά όχι ακόμα ως αποδεικτικά στοιχεία για την ύπαρξη κατοπτρικής ύλης στο Σύμπαν καθώς, σύμφωνα με την προσέγγισή τους, η ύπαρξη αυτής μπορεί εύκολα να τις εξηγήσει:

- Η παρουσία αόρατων (όσον αφορά την εκπομπή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας) άστρων, τα οποία γίνονται αντιληπτά λόγω των βαρυτικών επιδράσεών τους στο φως από πιο μακρινά άστρα ως προς τη Γη.

Το επιχείρημα επικεντρώνεται στη σύσταση των άστρων αυτών από κατοπτρική ύλη, κάτι που σύμφωνα με τους υποστηρικτές της θεωρίας εξηγεί το γεγονός ότι αυτά είναι αόρατα.

- Η παρουσία πλανητών σε τροχιά γύρω από άστρα σε σχετικά κοντινή απόσταση από αυτά με το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό πως η ακτίνα της τροχιάς τους είναι μέχρι και οκτώ φορές μικρότερη από την ακτίνα της τροχιάς του πλανήτη Ερμή. Οι υποστηρικτές της κατοπτρικής ύλης ισχυρίζονται πως η παρουσία των πλανητών αυτών είναι αναμενόμενη εφόσον αποτελούνται από κατοπτρική ύλη.

- Η ύπαρξη «περίεργων» ουράνιων σωμάτων τα οποία παρατηρούνται ως πλανήτες που δεν βρίσκονται σε τροχιά γύρω από κάποιο άστρο και των οποίων η παρουσία θα μπορούσε να υποδηλώνει κανονικούς πλανήτες σε τροχιά γύρω από ένα άστρο κατοπτρικής ύλης.

- Ιδιότητες στοιχειωδών σωματιδίων οι οποίες δεν μπορούν να ερμηνευτούν εύκολα με το σήμερα αποδεκτό πρότυπο μοντέλο της σωματιδιακής Φυσικής. Για παράδειγμα, ο αριθμός των νετρίνων που εκπέμπονται από τον Ήλιο και άλλα κοσμικά σώματα αναμενόταν αρχικά να είναι διπλάσιος από αυτόν που υποστηρίζουν τα σημερινά πειραματικά δεδομένα. Οι υποστηρικτές της κατοπτρικής ύλης πιστεύουν πως τα μισά περίπου από τα νετρίνα του σύμπαντος μετατρέπονται σε κατοπτρικά νετρίνα και για τον λόγο αυτό δεν ανιχνεύονται.

- Η πρόσκρουση μετεωριτών που αποτελούνται από κατοπτρική ύλη πάνω στη Γη, όπως αυτή που έλαβε χώρα στη Σιβηρία το 1908 και οδήγησε σε μια τεράστια έκρηξη, πιστεύεται πως μπορεί να προσφέρει στην επιστημονική κοινότητα την ευκαιρία για τη μελέτη ποσοτήτων κατοπτρικής ύλης «από κοντά». Σύμφωνα με τους υποστηρικτές της ιδέας, υπάρχουν στοιχεία που οδηγούν στο συμπέρασμα πως ένας σημαντικός αριθμός συγκρούσεων με μετεωρίτες οφείλεται στην αλληλεπίδραση της Γης με ουράνια σώματα κατοπτρικής ύλης και πως η προσεκτική μελέτη των κρατήρων πρόσκρουσης μπορεί να διαλευκάνει αποφασιστικά το θέμα.

Για την καλύτερη κατανόηση της φύσης της κατοπτρικής ύλης, καθώς και των πιθανών τρόπων για την πειραματική επιβεβαίωση της ύπαρξής της, απαιτούνται ορισμένα βασικά στοιχεία σχετικά με την έννοια της συμμετρίας όπως αυτή χρησιμοποιείται στην επιστημονική αναλυτική μεθοδολογία, αλλά και μια γενική εισαγωγή στις θεμελιώδεις αλληλεπιδράσεις και πως μία από αυτές παραβιάζει την κατοπτρική συμμετρία. Καθώς η ύπαρξη ή όχι κατοπτρικής ύλης είναι απόλυτα συνυφασμένη με την παραβίαση της κατοπτρικής συμμετρίας, αξίζει να αναφερθεί από πού προέκυψε η αναγκαιότητα για την ύπαρξή της.

ΣΥΜΜΕΤΡΙΕΣ ΚΑΙ ΚΑΤΟΠΤΡΙΚΗ ΣΥΜΜΕΤΡΙΑ

Στον επιστημονικό χώρο, η συμμετρία αναφέρεται στην ιδιότητα ενός φυσικού συστήματος να παραμένει αμετάβλητο μετά από έναν χωροχρονικό (και όχι μόνο) μετασχηματισμό του. Η συμμετρία και η μελέτη αυτής διαδραματίζει θεμελιακό ρόλο στην κατανόηση της φύσης και των δυνάμεων που ασκούνται ανάμεσα στα υποατομικά σωματίδια.

Στη φύση διακρίνονται αρκετά και διαφορετικά μεταξύ τους είδη συμμετρίας. Για παράδειγμα η συμμετρία μιας μπάλας ποδοσφαίρου είναι πολύ διαφορετική από τη συμμετρία που παρουσιάζει το σχήμα ενός μανιταριού ή μιας πεταλούδας. Η πεταλούδα αποτελεί παράδειγμα της πλέον γνωστής και συνηθισμένης μορφής συμμετρίας, της συμμετρίας δεξιού – αριστερού ή σωστότερα της κατοπτρικής συμμετρίας. Η κατοπτρική συμμετρία υφίσταται όταν δύο ισομεγέθη μέρη ενός συνόλου αποτελούν το ένα κατοπτρική «εικόνα» του άλλου, όπως, για παράδειγμα, τα φτερά μιας πεταλούδας αποτελούν το ένα την κατοπτρική εικόνα του άλλου.

Η ύλη με την οποία αλληλεπιδρά στην πλειοψηφία των περιπτώσεων ένας παρατηρητής, αποτελείται από άτομα. Τα άτομα, υπό τη χημική έννοια, δεν είναι στοιχειώδεις οντότητες αλλά αποτελούνται από ακόμα μικρότερα μέρη. Στην πλέον απλουστευμένη προσέγγιση σήμερα, τα μέρη αυτά είναι τα πρωτόνια και τα νετρόνια, από τα οποία αποτελείται ο πυρήνας του ατόμου, και τα ηλεκτρόνια τα οποία βρίσκονται σε τροχιά γύρω από αυτόν. Η Φυσική μελετά τις πλέον βασικές δομές της ύλης και προσπαθεί να διατυπώσει τις βασικές αρχές τις συμπεριφοράς τους. Μέρος της μεθοδολογίας της Φυσικής για τον σκοπό αυτό είναι ο προσδιορισμός των ιδιοτήτων και των αλληλεπιδράσεων των θεμελιωδών σωματιδίων.

Κατά τη διάρκεια της μελέτης αυτής, αποκαλύφθηκε ο σημαντικός ρόλος που διαδραματίζουν οι συμμετρίες στις αλληλεπιδράσεις των θεμελιωδών σωματιδίων καθώς και ένας πλουραλισμός δομών και

φυσικών οντοτήτων οι οποίες με τη σειρά τους παρουσιάζουν νέες συμμετρίες αλληλεπίδρασης. Στον χώρο της σωματιδιακής φυσικής έχουν πλέον ταυτοποιηθεί και πιο αφηρημένες μορφές συμμετρίας, όπως η συμμετρία σε μετασχηματισμούς Lorentz καθώς και η συμμετρία σε μετασχηματισμούς βαθμίδας με ιδιαίτερα βαθύ νόημα και σαφή μαθηματική έκφραση.

Οι αλληλεπιδράσεις ανάμεσα στα υποατομικά σωματίδια που είναι γνωστές σήμερα είναι τέσσερις: η βαρύτητα, ο ηλεκτρομαγνητισμός και οι δύο πυρηνικές αλληλεπιδράσεις, η ισχυρή και η ασθενής. Όλες οι μορφές αλληλεπίδρασης που παρατηρούνται στο Σύμπαν και σε όλες τις κλίμακες μεγέθους ανάγονται σε μία από τις τέσσερις αυτές βασικές αλληλεπιδράσεις, σύμφωνα με τη σημερινή επιστημονική γνώση. Η βαρύτητα, υπό την κλασική της έννοια, είναι η περισσότερο γνώριμη αλληλεπίδραση σε καθημερινή κλίμακα. Βαρυτική αλληλεπίδραση ασκείται ανάμεσα σε σώματα ή σωματίδια τα οποία χαρακτηρίζονται από την ιδιότητα που ονομάζεται μάζα. Η έλευση της γενικής θεωρίας της σχετικότητας του Αϊνστάιν αποκάλυψε μια βαθύτερη σχέση ανάμεσα στη βαρύτητα και τη γεωμετρία του χωροχρόνου. Λόγω της σχέσης αυτής, η βαρύτητα μέσω της επίδρασής της στον χωροχρόνο, μπορεί να επηρεάσει έστω και έμμεσα και σωματίδια τα οποία δεν διαθέτουν μάζα. Ο ηλεκτρομαγνητισμός είναι μια επίσης γνώριμη μορφή αλληλεπίδρασης η οποία εκδηλώνεται ως μια δύναμη (ελκτική ή απωστική σε αντίθεση με τη βαρύτητα που είναι πάντα ελκτική) ανάμεσα σε στατικά ή κινούμενα ηλεκτρικά φορτία. Η ισχυρή και η ασθενής πυρηνική αλληλεπίδραση είναι λιγότερο γνώριμες αλλά η σημασία τους είναι εξίσου μεγάλη με αυτή των άλλων δύο θεμελιωδών αλληλεπιδράσεων. Τρεις από τις βασικές αλληλεπιδράσεις (ηλεκτρομαγνητισμός, ισχυρή και ασθενής πυρηνική) παρουσιάζουν μεγάλες ομοιότητες όσον αφορά τον μαθηματικό τρόπο περιγραφής τους σήμερα. Οι τρεις αυτές αλληλεπιδράσεις περιγράφονται βάσει των ιδιοτήτων συμμετρίας που παρουσιάζουν σε μετασχηματισμούς οι οποίοι λαμβάνουν χώρα σε έναν «εσωτερικό» μαθηματικό χώρο ο οποίος δεν σχετίζεται άμεσα με τον χωροχρόνο. Σε αντίθεση, η βαρύτητα, δεν μπορεί (τουλάχιστον όχι ακόμα) να περιγραφεί βάσει μιας ανάλογης διαδικασίας και γιαυτό τον λόγο ο συσχετισμός της με τις άλλες τρεις αλληλεπιδράσεις είναι πολύ πιο ασαφής.

Όπως διαφαίνεται από τα προαναφερθέντα, η μελέτη της συμμετρίας ενός φυσικού συστήματος αποτελεί το βασικότερο εργαλείο που χρησιμοποιείται από την επιστημονική μεθοδολογία για την περιγραφή της δομής της ύλης αλλά και των αλληλεπιδράσεών της. Για τη μελέτη της πιθανότητας ύπαρξης άλλων «εξωτικών» μορφών ύλης, όπως η κατοπτρική ύλη, είναι σημαντική η κατανόηση της δομής της «κανονικής» ύλης, του τρόπου με τον οποίο τα θεμελιώδη σωματίδια της κατοπτρικής ύλης θα μπορούσαν να αλληλεπιδράσουν με τα θεμελιώδη σωματίδια της κανονικής ύλης καθώς και της σημασίας που διαδραματίζει η μελέτη των σχετικών συμμετριών για την επίτευξη αυτών των στόχων. Στην ιδανική περίπτωση οι υποστηρικτές της ύπαρξης της κατοπτρικής ύλης θα πρέπει να προσφέρουν έναν καλύτερο τρόπο για την ερμηνεία πειραματικών δεδομένων που έχουν ήδη συλλεγεί και τα οποία δεν ερμηνεύονται με τις επιστημονικές θεωρίες σήμερα αλλά και να επινοήσουν πειράματα μέσω των οποίων να μπορούν να αποδειχθούν οι ισχυρισμοί τους.

Πριν το 1956, οι φυσικοί υπέθεταν ότι η φύση παρουσίαζε συμμετρία όσον αφορά την επιλογή αριστερόστροφων ή δεξιόστροφων διαδικασιών. Αυτό σημαίνει πως για κάθε θεμελιώδη διαδικασία που λαμβάνει χώρα στον μικρόκοσμο, η διαδικασία που θα ήταν αποτέλεσμα της «ανάκλασής» της σε κάτοπτρο θα έπρεπε επίσης να είναι δυνατό να λάβει χώρα. Σε ένα τέτοιο Σύμπαν η ύπαρξη της κατοπτρικής ύλης θα ήταν εξ ορισμού αδύνατη.

Στα πλαίσια της καθημερινής εμπειρίας, η κατοπτρική συμμετρία είναι κάτι τόσο συνηθισμένο που οι φυσικοί θεωρούσαν αυτονόητο πως ισχύει. Αλλωστε ο φορμαλισμός της κλασικής Φυσικής είναι απόλυτα συμμετρικός όσον αφορά την επιλογή δεξιόστροφων ή αριστερόστροφων διαδικασιών. Στις αρχές όμως της δεκαετίας 1950 – 1960, είχε αρχίσει να συσσωρεύεται σημαντική ποσότητα πειραματικών δεδομένων τα οποία δεν μπορούσαν να ερμηνευθούν βάσει των θεωριών της εποχής. Για τον λόγο αυτό πρότειναν ένα πείραμα που θα μπορούσε να ελέγξει την ορθότητα του ισχυρισμού της κατοπτρικής συμμετρίας για την ασθενή αλληλεπίδραση σε υποατομική κλίμακα.

Το πείραμα που πραγματοποιήθηκε το 1956 από την φυσικό C.S.Wu, χρησιμοποίησε πυρήνες του ραδιενεργού ισοτόπου 60 του χημικού στοιχείου Κοβαλτίου. Οι πυρήνες του Κοβαλτίου 60 προσανατολίστηκαν προσεκτικά με τη χρήση ενός μαγνητικού πεδίου έτσι ώστε το διάνυσμα της

εσωτερικής τους στροφορμής να «δείχνει» προς μια κατεύθυνση (όπως απεικονίζεται στο σχετικό σχήμα). Οι πυρήνες του Κοβαλτίου 60 είναι ασταθείς και διασπώνται μέσω της εκπομπής ενός ηλεκτρονίου (διάσπαση β), μιας διαδικασίας που οφείλεται στην ασθενή αλληλεπίδραση. Η Wu εφόσον είχε διασφαλίσει τον προσανατολισμό των πυρήνων στο μαγνητικό πεδίο, ανίχνευσε τα ηλεκτρόνια που εκπέμπονταν από τη διάσπαση των πυρήνων. Τα πειραματικά δεδομένα αποκάλυψαν πως η μέγιστη πλειοψηφία των ηλεκτρονίων εκπέμπονταν προς τη φορά προσανατολισμού των πυρήνων. Δεν χρειάστηκε κάτι άλλο για να αποδειχθεί πως η φύση, σε ορισμένες τουλάχιστον από τις διαδικασίες της, δεν είναι κατοπτρικά συμμετρική.

Η παραβίαση της κατοπτρικής συμμετρίας, αποδείχθηκε πως αποτελεί γενικότερα χαρακτηριστικό των ασθενών αλληλεπιδράσεων στα χρόνια που ακολούθησαν το πείραμα της Wu. Η σαφέστερη έκφραση της παραβίασης αυτής είναι η ύπαρξη του υποατομικού σωματιδίου νετρίνο, το οποίο αλληλεπιδρά με τα άλλα σωματίδια μόνο μέσω της ασθενούς αλληλεπίδρασης (καθώς είτε δεν έχει μάζα είτε η μάζα του είναι ιδιαίτερα μικρή). Όπως εικάστηκε θεωρητικά και αργότερα επιβεβαιώθηκε πειραματικά, τα νετρίνα εμφανίζονται στη φύση μόνο ως αριστερόστροφα σωματίδια (αυτό αναφέρεται στον προσανατολισμό της ιδιο-στροφορμής τους σε σχέση με την φορά κίνησής τους). Για τον λόγο αυτό θεωρούνται ως το πλέον απόλυτο παράδειγμα της παραβίασης της κατοπτρικής συμμετρίας από τη φύση η οποία, χωρίς να γίνεται κατανοητό το γιατί, επιλέγει ως φυσική κατάσταση μόνο τα αριστερόστροφα νετρίνα. Οι υποστηρικτές της κατοπτρικής ύλης θεωρούν ότι η ύπαρξη του κατοπτρικού νετρίνου (το οποίο θα είναι δεξιόστροφο) επαναφέρει τις φυσικές διαδικασίες σε μια διαισθητικά «κομψότερη» πραγματικότητα.

ΚΑΤΟΠΤΡΙΚΗ ΥΛΗ

Η κατοπτρική ύλη προβλέπεται θεωρητικά πως υπάρχει αν δεχθούμε ότι η φύση στην πραγματικότητα δεν παραβιάζει την κατοπτρική συμμετρία. Η προσέγγιση που επιτρέπει στην παραπάνω εικασία να μη βρεθεί σε αντίθεση με τα πειραματικά δεδομένα των αλληλεπιδράσεων των υποατομικών σωματιδίων μέσω της ασθενούς αλληλεπίδρασης, υποστηρίζει πως δεν έχουν ληφθεί υπόψη όλα τα υποατομικά σωματίδια αλλά μόνο αυτά της «κανονικής» ύλης. Σύμφωνα με την υπόθεση των ερευνητών, για κάθε είδος υποατομικού σωματιδίου υπάρχει και ο κατοπτρικός σύντροφός του. Εφόσον μια αλληλεπίδραση ληφθεί ως σύνολο (δηλαδή ληφθεί υπόψη η επίδρασή της σε κανονική αλλά και σε κατοπτρική ύλη) τότε η κατοπτρική συμμετρία δεν παραβιάζεται στη φύση ούτε ακόμα και στην περίπτωση των ασθενών αλληλεπιδράσεων. Ο λόγος που συμβαίνει αυτό είναι πως η κατοπτρική ύλη, ως νοητικό αρχικά δημιούργημα, δεν το επιτρέπει. Ουσιαστικά δηλαδή, οι αρχικοί εμπνευστές της ιδέας αναρωτήθηκαν αν θα μπορούσε να υπάρχει κάποια μορφή ύλης που να διασφαλίζει την κατοπτρική συμμετρία εφόσον ληφθεί υπόψη και αυτή στις αλληλεπιδράσεις που παρατηρούνται στη φύση. Το δεύτερο στάδιο για μια θεωρητική κατασκευή τέτοιας εμβέλειας είναι η πρόβλεψη των ιδιοτήτων και των χαρακτηριστικών της. Αν με τον θεωρητικό προσδιορισμό τους δεν παρουσιαστεί αντίθεση με τα πειραματικά δεδομένα που υπάρχουν μέχρι σήμερα, και ακόμα περισσότερο αν η νέα αυτή θεωρία μπορεί να συμπεριλάβει υπάρχοντα δεδομένα τα οποία δεν μπορούν να εξηγηθούν με τις υπάρχουσες θεωρίες, αρχίζει να αποκτά κύρος. Το τελευταίο στάδιο πριν την αποδοχή μιας νέας θεωρίας είναι η δυνατότητά της να προβλέψει το αποτέλεσμα πειραμάτων ή παρατηρήσεων που θα σηματοδοτήσουν, εφόσον επαληθευτούν, και την αποδοχή της από την επιστημονική κοινότητα.

Η ύπαρξη της κατοπτρικής ύλης πιθανώς σε πρώτη προσέγγιση να ακούγεται ως μια υπόθεση και τίποτε περισσότερο, αλλά το ίδιο απίθανο είχε θεωρηθεί αρχικά και η παραβίαση της κατοπτρικής συμμετρίας από την ασθενή αλληλεπίδραση. Καθώς όμως τα πειραματικά δεδομένα συσσωρεύονταν, η επιστημονική κοινότητα αναγκάστηκε να δεχθεί την παραβίαση μιας συμμετρίας η οποία μέχρι το 1956 θεωρείτο «δόγμα» της επιστήμης. Πέρα από το θέμα της παραβίασης ή όχι της κατοπτρικής συμμετρίας, η ύπαρξη της κατοπτρικής ύλης θα μπορούσε να απαντήσει με ικανοποιητικό τρόπο και σε πληθώρα άλλων προβλημάτων που έχουν αναγνωριστεί στην προσπάθεια της σύγχρονης επιστήμης να εξηγήσει τα τελευταία πειραματικά δεδομένα και παρατηρήσεις.

Η αναγκαιότητα ύπαρξης μιας μεγάλης ποσότητας «σκοτεινής» ύλης στο Σύμπαν έχει τεκμηριωθεί από πληθώρα θεωρητικών προσεγγίσεων αλλά και από κοσμολογικές παρατηρήσεις της μικροκυματικής ακτινοβολίας υποβάθρου. Η σκοτεινή αυτή ύλη (που έχει ονομαστεί έτσι καθώς δεν είναι γνωστές

λεπτομέρειες για τη φύση της και δεν ακτινοβολεί) προσθέτει μάζα στη συνολική ύλη του Σύμπαντος και αναμένεται να αλληλεπιδρά με ιδιαίτερα ασθενή τρόπο με την κανονική ύλη. Υποψήφια μορφή ύλης για την σκοτεινή ύλη είναι και η κατοπτρική ύλη. Πληροί τις προϋποθέσεις για την πρόσθετη μάζα η οποία προβλέπεται από τις κοσμολογικές παρατηρήσεις ότι υπάρχει στο σύμπαν, αλληλεπιδρά με την κανονική ύλη με ιδιαίτερα ασθενή τρόπο και δεν υπάρχουν μέχρι σήμερα τουλάχιστον πειραματικά δεδομένα που να αποκλείουν την ύπαρξή της.

Η θεωρία της κατοπτρικής ύλης προβλέπει πως η κανονική και η κατοπτρική ύλη μπορούν να αλληλεπιδράσουν μακροσκοπικά μόνο μέσω μιας από τις τέσσερις θεμελιώδεις αλληλεπιδράσεις: της βαρύτητας. Σε κβαντικό όμως επίπεδο, προβλέπονται και άλλες μορφές ασθενών σε ισχύ αλληλεπιδράσεων που επιτρέπουν έναν περιορισμένο αριθμό ανάμιξης ανάμεσα σε φωτόνια και κατοπτρικά φωτόνια καθώς και νετρίνα και κατοπτρικά νετρίνα. Η σημασία αυτών των αλληλεπιδράσεων σε μικροσκοπικό επίπεδο είναι μεγάλη καθώς επιτρέπει τον σχεδιασμό πειραμάτων που θα επιτρέψουν την επαλήθευση ή όχι των ισχυρισμών σχετικά με την ύπαρξη της κατοπτρικής ύλης. Ιδιαίτερα η αλληλεπίδραση φωτονίου – κατοπτρικού φωτονίου οδηγεί στο συμπέρασμα πως ένα άτομο κανονικής ύλης μπορεί να αλληλεπιδράσει με ένα άτομο κατοπτρικής ύλης. Ουσιαστικά πρόκειται για μια μορφή αλληλεπίδρασης του κατοπτρικού πρωτονίου και του κατοπτρικού ηλεκτρονίου που βρίσκονται σε ένα άτομο κατοπτρικής ύλης με τα ηλεκτρικώς φορτισμένα σωματίδια της κανονικής ύλης μέσω του ηλεκτρομαγνητισμού. Τα κατοπτρικά σωματίδια σε αυτή την περίπτωση συμπεριφέρονται σαν να έχουν ηλεκτρικό φορτίο η τιμή του οποίου όμως πολλαπλασιάζεται με ένα συντελεστή. Η αριθμητική τιμή του συντελεστή αυτού (που είναι γνωστός και ως παράμετρος έψιλον) καθορίζει την ισχύ της «έμμεσης» ηλεκτρομαγνητικής αλληλεπίδρασης ανάμεσα σε κατοπτρική και κανονική ύλη. Η μελέτη του υποατομικού συστήματος ενός ηλεκτρονίου και ενός ποζιτρονίου σε σύγκριση με τις θεωρητικές προβλέψεις για το σύστημα κατοπτρικού ηλεκτρονίου και κατοπτρικού ποζιτρονίου, επιτρέπει τον προσεγγιστικό προσδιορισμό της αριθμητικής τάξης του έψιλον ως μεγαλύτερο του 10^{-10} . Λόγω της αλληλεπίδρασης ύλης και κατοπτρικής ύλης θα μπορούσε να εξηγηθεί και η περίεργη συμπεριφορά του διαστημοπλοίου Pioneer όσον αφορά τη μείωση της ταχύτητάς του με τον χρόνο. Εάν στον χώρο του ηλιακού συστήματος υπάρχει κατανεμημένη κατοπτρική ύλη, η δράση του ηλιακού ανέμου δεν θα την επηρέαζε με τον ίδιο τρόπο που θα επηρέαζε και τελικά θα απομάκρυνε μια αντίστοιχη κατανομή κανονικής ύλης. Η αλληλεπίδραση όμως της κατοπτρικής ύλης στο ηλιακό σύστημα με ένα διαστημόπλοιο που κινείται στον χώρο του, θα μείωνε σταδιακά την ταχύτητά του, κάτι που πράγματι έχει παρατηρηθεί στην κίνηση του διαστημοπλοίου Pioneer και δεν μπορεί μέχρι σήμερα να εξηγηθεί μέσω κάποιας άλλης προσέγγισης.

Αντίστοιχα, η αλληλεπίδραση νετρίνου – κατοπτρικού νετρίνου, που επιτρέπει τη μετατροπή του πρώτου στο δεύτερο, φαίνεται επίσης να ταιριάζει με τα πειραματικά δεδομένα της μελέτης των ηλιακών και ατμοσφαιρικών νετρίνων. Στα σχετικά πειράματα τα δεδομένα που έχουν αναλυθεί μέχρι σήμερα υποστηρίζουν την ύπαρξη και άλλων τύπων νετρίνου (θα μπορούσαν να είναι τα κατοπτρικά νετρίνα) στα οποία μετασχηματίζονται οι γνωστοί τύποι και βρίσκονται σε συμφωνία με τα πορίσματα της θεωρίας της κατοπτρικής ύλης.

Οι ισχυρότερες όμως ενδείξεις για την ύπαρξη κατοπτρικής ύλης προέρχονται, σύμφωνα με τους ερευνητές, από τις συνέπειές της που εκδηλώνονται μέσω βαρυτικών αλληλεπιδράσεων. Ως πιθανή υποψήφια για τη σκοτεινή ύλη, η κατοπτρική ύλη υποστηρίζεται από όλα τα επιχειρήματα των κοσμολογικών παρατηρήσεων αλλά και θεωριών που προβλέπουν την ύπαρξη σκοτεινής ύλης. Η ιδιότητες που απαιτείται να έχει η σκοτεινή ύλη και αυτές που προβλέπει η θεωρία της κατοπτρικής ύλης ταυτίζονται σε μεγάλο βαθμό, προσδίδοντας στην πιθανότητα αυτή μεγάλη βαρύτητα. Μια από τις σημαντικότερες ενδείξεις για την ύπαρξη σκοτεινής ύλης αναφέρεται στην ακτινική κατανομή ταχυτήτων περιφοράς των άστρων γύρω από το κέντρο γαλαξιών, όπως ο γαλαξίας στον οποίον ανήκει το Ηλιακό Σύστημα (στη σχετική εικόνα παρουσιάζεται η κατανομή για τον γαλαξία M33). Η κατανομές ταχυτήτων που έχουν παρατηρηθεί, μπορούν να εξηγηθούν μόνο με την ύπαρξη μεγάλης ποσότητας «αόρατης» μάζας πέραν της μάζας των γαλαξιών που μπορεί να παρατηρηθεί. Περαιτέρω ανάλυση των παρατηρήσεων από τους υποστηρικτές της κατοπτρικής ύλης, τους έχει οδηγήσει στο συμπέρασμα ότι αυτές οι κατανομές ταχυτήτων θα μπορούσαν εύκολα να ερμηνευθούν βάσει της προσέγγισής τους.

Η ύπαρξη μεγάλων ποσοτήτων κατοπτρικής ύλης σε ένα πλανητικό σύστημα θα μπορούσε επίσης να εξηγήσει και την πληθώρα νέων πλανητών που έχουν ανακαλυφθεί εκτός του ηλιακού συστήματος με ασυνήθιστα χαρακτηριστικά. Συγκεκριμένα οι περισσότεροι από τους πλανήτες αυτούς πιστεύεται πως έχουν μέγεθος παραπλήσιο με αυτό του Δία και βρίσκονται σε πολύ κοντινή τροχιά (με ακτίνα της τάξης μεγέθους αυτής του Ερμή) γύρω από το άστρο του πλανητικού τους συστήματος. Καθώς η ανίχνευση των πλανητών αυτών είναι έμμεση και βασίζεται στη βαρυτική τους επίδραση στην κίνηση του κοντινού σε αυτούς άστρου, θα μπορούσαν να αποτελούνται ή να περιέχουν κατοπτρική ύλη. Κάτι τέτοιο θα βοηθούσε στην εξήγηση της δημιουργίας των εν λόγω πλανητών από μεγάλες ποσότητες κατοπτρικής μεσοπλανητικής ύλης η οποία δεν επηρεάζεται από την ακτινοβολία του άστρου. Σε αντίθεση, η κανονική μεσοπλανητική ύλη θα είχε μετακινηθεί σημαντικά μακρύτερα από το άστρο λόγω της πίεσης της ακτινοβολίας του, για να δημιουργήσει τελικά γιγάντιους αεριώδεις πλανήτες σε πολύ μεγαλύτερες αποστάσεις.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει και η πιθανότητα ύπαρξης μικρών ποσοτήτων κατοπτρικής ύλης στην επιφάνεια της Γης σήμερα. Σύμφωνα με τους ερευνητές, στο Ηλιακό Σύστημα δεν υπάρχει ιδιαίτερος «χώρος» για τη συσσώρευση μεγάλης ποσότητας κατοπτρικής ύλης. Το συμπέρασμα αυτό προκύπτει από τη μελέτη των βαρυτικών αλληλεπιδράσεων μεταξύ των γνωστών σωμάτων του Ηλιακού Συστήματος οι οποίες θα παρουσίαζαν παρατηρήσιμες αποκλίσεις εφόσον υπήρχε κάποιο μεγάλο σώμα κατοπτρικής ύλης στον ίδιο χώρο. Η γνώση των επιστημόνων όμως για τη δημιουργία του Ηλιακού Συστήματος δεν μπορεί να αποκλείσει την ύπαρξη μεγάλου αριθμού μικρότερων σωμάτων κατοπτρικής ύλης. Εφόσον τα σώματα αυτά ανήκουν στην τάξη μεγέθους των κομητών και των αστεροειδών, η βαρυτική τους αλληλεπίδραση με το Ηλιακό Σύστημα θα ήταν τόσο μικρή που δεν θα μπορούσε να ανιχνευθεί, όπως συμβαίνει άλλωστε και με τους κομήτες ή τους αστεροειδείς. Χαρακτηριστικά υπολογίζεται ότι το σύνολο μάζας που περιέχεται στη ζώνη αστεροειδών του Ηλιακού Συστήματος (μεταξύ των πλανητών Αρη και Δία) είναι μόλις της τάξης του 0,05% της μάζας της Γης. Αλλη πιθανή «πηγή» κατοπτρικής ύλης στο Ηλιακό Σύστημα είναι το νέφος του Οort, η περιοχή δηλαδή με σχήμα δακτυλίου που βρίσκεται πέρα από την τροχιά του Πλούτωνα και σηματοδοτεί τα όρια του συστήματος. Η περιοχή αυτή περιέχει τεράστιο αριθμό διαστημικών σωμάτων και πιστεύεται ότι από εκεί προέρχονται και οι κομήτες που εμφανίζονται περιοδικά στο εσωτερικό του Ηλιακού Συστήματος. Καθώς η ύπαρξη σωμάτων που αποτελούνται ή περιέχουν κατοπτρική ύλη είτε στη ζώνη των αστεροειδών, είτε στο νέφος του Οort δεν μπορεί να αποκλειστεί, οι ερευνητές εξετάζουν την πιθανότητα κάποιο τέτοιο σώμα να έχει ήδη συγκρουστεί με τη Γη και γι αυτό αναπτύσσουν τεχνικές μελέτης του εδάφους σε περιοχές όπου έχουν προσκρούσει μετεωρίτες. Η αλληλεπίδραση ενός κομήτη ή αστεροειδούς κατοπτρικής ύλης με την ατμόσφαιρα και την επιφάνεια της Γης θα παρουσίαζε διαφορές σε σχέση με την αλληλεπίδρασή τους με ένα ουράνιο σώμα που αποτελείται από κανονική ύλη. Τα μόρια της ατμόσφαιρας θα διαπερνούσαν πλήρως το κατοπτρικό σώμα θερμαίνοντάς το ολόκληρο με αποτέλεσμα την τήξη του σε χαμηλό υψόμετρο και τη δημιουργία κρουστικού κύματος. Ως αποτέλεσμα, ένα τέτοιο σώμα θα εμφανιζόταν ως πύρινη βολίδα σε μικρά ύψη και η αλληλεπίδρασή του με το έδαφος δεν θα άφηνε ως υπόλειμμα κάποιο σώμα μεγάλου μεγέθους στο επίκεντρο. Παρόμοια χαρακτηριστικά φαίνεται να παρουσιάζει η περιοχή της έκρηξης στην Tunguska της Σιβηρίας αλλά και ορισμένες περιοχές αλληλεπιδράσεων μικρότερης κλίμακας που έλαβαν χώρα πολύ πιο πρόσφατα στην Ιορδανία. Οι ερευνητές βρίσκονται ήδη στη φάση μελέτης δειγμάτων εδάφους από τις περιοχές αυτές και ευελπιστούν ότι θα μπορέσουν να ανιχνεύσουν κάποια ποσότητα κατοπτρικής ύλης.

Η πιο πολλά υποσχόμενη τεχνική για την ανίχνευση κατοπτρικής ύλης από δείγματα εδάφους είναι η φυγοκέντρωση. Χρησιμοποιώντας τις πλέον εξελιγμένες συσκευές φυγοκέντρωσης, γίνεται δυνατή η ανάπτυξη φυγοκέντρης δύναμης ένα εκατομμύριο φορές ισχυρότερης από τη βαρυτική έλξη της Γης. Υπό αυτές τις συνθήκες, εάν στο δείγμα που τοποθετείται στη συσκευή περιέχεται κατοπτρική ύλη, αυτή θα διαφύγει περνώντας μέσα από τον εργαστηριακό εξοπλισμό και θα προκαλέσει μείωση του βάρους του δείγματος. Με προσεκτικό προσδιορισμό του βάρους του δείγματος πριν και μετά τη διαδικασία της φυγοκέντρωσης θα μπορούσε να επιβεβαιωθεί ότι μια ποσότητα του δείγματος χαρακτηρίζεται από τις ιδιότητες που αναμένεται να έχει η κατοπτρική ύλη. Φυσικά, μια τέτοια παρατήρηση δεν αποτελεί πλήρη απόδειξη (χρειάζεται πλήθος διαφορετικών πειραμάτων για κάτι τέτοιο) αλλά ισχυρή ένδειξη για την ύπαρξη κάποιας μορφής «εξωτικής» ύλης.

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΚΑΤΟΠΤΡΙΚΗΣ ΥΛΗΣ;

Όσο παράξενο και να ακούγεται, η δημιουργική φαντασία των επιστημόνων έχει ήδη δραστηριοποιηθεί και στον τομέα των πιθανών εφαρμογών της κατοπτρικής ύλης, εφόσον αυτή υπάρχει πραγματικά και οι ιδιότητές της συμβαδίζουν με αυτές που προβλέπουν τα σημερινά θεωρητικά μοντέλα. Εάν η τιμή της παραμέτρου ϵ δεν είναι πάρα πολύ μικρή (μεγαλύτερη από 10^{-10} τουλάχιστον) θα είναι δυνατή η επικοινωνία χρησιμοποιώντας κατοπτρικά ραδιοκύματα που χαρακτηρίζονται από ιδιαίτερα επιθυμητές ιδιότητες. Για παράδειγμα, η χρήση μιας κεραίας που αποτελείται από κανονική και κατοπτρική ύλη θα επέτρεπε την εκπομπή και λήψη κατοπτρικών ραδιοκυμάτων. Απλά και μόνο με τη σύνδεση ενός κανονικού πομποδέκτη θα ήταν δυνατή η αποστολή και λήψη τους. Τα κατοπτρικά ραδιοκύματα όμως δεν αναμένεται να αλληλεπιδρούν έντονα με την κανονική ύλη, οπότε η εκπομπή τους θα μπορεί να διαπερνά τη Γη χωρίς πρόβλημα. Όλος ο τεχνολογικός κλάδος σχετικά με τις ασύρματες επικοινωνίες θα αλλάξει ριζικά εφόσον υλοποιηθούν τέτοια συστήματα επικοινωνίας. Για παράδειγμα δεν θα χρειάζεται πια το δίκτυο των τηλεπικοινωνιακών δορυφόρων για την επίτευξη παγκόσμιας κάλυψης.

Μία ακόμα εφαρμογή προβάλλει ως ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα. Ένα κομμάτι κατοπτρικής ύλης στην επιφάνεια της Γης αναμένεται να έχει ιδιαίτερα χαμηλή θερμοκρασία. Ο λόγος γι αυτό είναι πως το σώμα κατοπτρικής ύλης ακτινοβολεί ενέργεια σε μορφή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, όπως κάθε σώμα είτε κανονικής είτε κατοπτρικής ύλης, απλά σε αυτή την περίπτωση εκπέμπονται κατοπτρικά φωτόνια. Ταυτόχρονα το σώμα κατοπτρικής ύλης θα απορροφά πολύ μικρό ποσό ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας καθώς στην περιοχή της Γης η ποσότητα κατοπτρικών φωτονίων υποτίθεται ότι είναι ιδιαίτερα μικρή (το πλησιέστερο άστρο κατοπτρικής ύλης πιστεύεται ότι απέχει πολλές δεκάδες έτη φωτός σύμφωνα με αστρονομικές παρατηρήσεις). Εφόσον η παράμετρος ϵ έχει σχετικά μεγάλη αριθμητική τιμή, η μεταφορά θερμότητας ανάμεσα στην κανονική και την κατοπτρική ύλη ενός σώματος που θα αποτελείται από μίγμα κανονικής και κατοπτρικής ύλης θα μειώνει τη θερμοκρασία του μη κατοπτρικού μέρους σε επίπεδα πολύ κοντά στη θερμοκρασία του κατοπτρικού μέρους. Αυτό σημαίνει πως μια μικρή ποσότητα κανονικής ύλης που θα έλθει σε επαφή με μια μεγαλύτερη ποσότητα κατοπτρικής ύλης θα ψυχθεί σε θερμοκρασία κοντά στο απόλυτο μηδέν. Αυτό καθιστά δυνατή την κατασκευή μιας θερμικής μηχανής η οποία θα μπορεί να μετατρέψει την ενέργεια του περιβάλλοντος κατά ένα ποσοστό σε έργο και σε κατοπτρική ηλεκτρομαγνητική ενέργεια. Θα πρόκειται δηλαδή για έναν πιθανό τρόπο παραγωγής «δωρεάν» ενέργειας.

ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Κατά την εξελικτική πορεία της επιστήμης έχει απαιτηθεί συχνά η εισαγωγή νέων εννοιών αλλά και η ριζική αλλαγή προσέγγισης στην περιγραφή του φυσικού κόσμου. Η εισαγωγή μια νέας μορφής ύλης δεν είναι κάτι το ιδεολογικά καινούργιο στον χώρο της σωματιδιακής Φυσικής. Έχει συμβεί στο παρελθόν τόσο σε θεωρητικό όσο και σε πρακτικό επίπεδο. Η θεωρία της κατοπτρικής ύλης, όσο εξωπραγματική και αν ακούγεται σε πρώτη προσέγγιση, απαντά σε ορισμένα από τα σημαντικότερα επίκαιρα ερωτήματα της επιστήμης, όπως άλλωστε και ένας αριθμός άλλων θεωριών. Σήμερα βρίσκεται στο στάδιο ανάπτυξης του φορμαλισμού της και αναζητά την πειραματική της επαλήθευση. Αυτή άλλωστε είναι και η ουσία της επιστημονικής έρευνας γενικότερα. Στο ερώτημα της προέλευσης της κατοπτρικής ύλης, η πλέον πιστευτή απάντηση είναι πως δημιουργήθηκε κατά τα εντελώς πρώιμα στάδια του σύμπαντος όταν η βαρυτική αλληλεπίδραση διαχωρίστηκε από τις υπόλοιπες. Η προσέγγιση αυτή δεν απαιτεί τη δημιουργία ύλης και κατοπτρικής ύλης σε ίσες ποσότητες, κάτι που δεν πρέπει να ισχύει εφόσον η κατοπτρική ύλη αποτελεί υποψήφιο για τη σκοτεινή ύλη που προβλέπεται από όλες τις κοσμολογικές προσεγγίσεις. Τελικά δηλαδή, ίσως να αποδειχθεί όχι μόνο ότι υπάρχει κατοπτρική ύλη αλλά και ότι υπάρχει σε σημαντικά μεγαλύτερες ποσότητες από ότι η κανονική.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- (1) **Robert Foot: SHADOWLANDS (QUEST FOR MIRROR MATTER IN THE UNIVERSE), 2001.**
- (2) **David Griffiths: INTRODUCTION TO ELEMENTARY PARTICLES, Wiley 1987.**
- (3) **Robert Foot: DOES MIRROR MATTER EXIST?, arXiv:hep-ph/0207175, 14 Ιουλίου 2002.**

- (4) J.E. Dodd: *THE IDEAS OF PARTICLE PHYSICS*, Cambridge 1986.
- (5) Robert Foot: *MIRROR MATTER-TYPE DARK MATTER*, arXiv:astro-ph/0407623, 30 Ιουλίου 2004.
- (6) T.L. Yoon, R. Foot: *EXOTIC METEORITIC PHENOMENA: THE TONGUSKA EVENT AND ANOMALOUS LOW ALTITUDE FIREBALLS – MANIFESTATIONS OF THE MIRROR WORLD?*, arXiv:astro-ph/0203152, 10 Μαΐου 2002.
- (7) Z.K. Silagadze: *TEV SCALE GRAVITY, MIRROR UNIVERSE, AND ... DINOSAURS*, arXiv:hep-ph/0002255, 6 Δεκεμβρίου 2000.
- (8) Robert Foot: *SEVEN (AND A HALF) REASONS TO BELIEVE IN MIRROR MATTER: FROM NEUTRINO PUZZLES TO THE INFERRED DARK MATTER IN THE UNIVERSE*, arXiv:astro-ph/0102294, 2 Μαρτίου 2001.
- (9) Κεντρικό σημείο αναφοράς αποτελεί ο δικτυακός χώρος του Robert Foot:
<http://www.ph.unimelb.edu.au/~foot>