
Η Φυσική και ο Κόσμος

ο μικρός, ο Μέγας

*Α, μα του ανθρώπου το άπλωμα
το χειροπιαστό να ξεπερνάει πρέπει.
Αλλιώς ο ουρανός γιατί υπάρχει;*

R. Browning

Σύνοψη. Παρουσιάζονται το αντικείμενο και η μεθοδολογία της Φυσικής καθώς και μια περίληψη των κύριων σημείων και των βασικών ιδεών αυτού του βιβλίου.

A.1. Τα καίρια ερωτήματα

Οι λεγόμενες θετικές επιστήμες, αναβίωσαν μετά το Μεσαίωνα, υπό το ενιαίο και περιεκτικό όνομα Φιλοσοφία της Φύσης. Στη συνέχεια, καθώς εξελίσσονταν σε βάθος και γίνονταν πιο ποσοτικού χαρακτήρα, χωρίστηκαν σταδιακά σε επί μέρους επιστήμες, όπως Φυσική, Χημεία, Βιολογία, κλπ. Η σύγχρονη Φυσική, χάρη στα μεγάλα επιτεύγματα του 20^{ου} αιώνα με προεξάρχουσα την Κβαντομηχανική, έχει επεκτείνει πια το βεληνεκές της έτσι ώστε ο Κόσμος ο μικρός, ο Μέγας να αποτελεί το δυνάμει αντικείμενό της. Για να εκτιμήσει κανείς την αξία της σύγχρονης Φυσικής και να την αγαπήσει πραγματικά, δεν πρέπει να ξεχνά αυτό το συγκλονιστικό γεγονός: Το ότι δηλαδή η Φυσική σήμερα είναι σε θέση να παρέχει αξιόπιστες απαντήσεις στα πιο βασικά, πανάρχαια, αλλά πάντα επίκαιρα ερωτήματα, που δεν είναι άλλα από τα ακόλουθα:

- 1 Πώς είναι φτιαγμένος ο Κόσμος;
- 2 Υπάρχει μια υποκείμενη απλότητα στην τεράστια περιπλοκότητα του Κόσμου;

Αυτά τα ερωτήματα, που χαρακτηρίζουν “την πραγματική ποιητική και μυθική διάσταση της ανθρώπινης ύπαρξης”, δεν έχουν συνήθως την ευκαιρία να αναδειχθούν γιατί τα καταπνίγει ο τρόπος που διδάσκεται η Φυσική και στη Μέση Εκπαίδευση αλλά και στα Πανεπιστήμια. Δηλαδή μια διδασκαλία με έμφαση σε έτοιμες απαντήσεις που αφορούν συνήθως τεχνικές λεπτομέρειες. Θυμίζει η διδασκαλία αυτή το απόφθεγμα του Woody Allen:

“Έχω μια απάντηση, μου λέτε την ερώτηση;”

Είναι κρίμα, γιατί έτσι, όχι μόνο το ευρύτερο κοινό, αλλά ακόμη και ειδικοί δεν γίνονται κοινωνοί της συναρπαστικής πορείας της ανθρώπινης διάνοιας προς τις απαντήσεις στα καίρια αυτά ερωτήματα.

Φυσικά, η Φυσική και οι άλλες Επιστήμες, πέρα από τα νοητικά τους επιτεύγματα, έχουν θέσει τα θεμέλια για τη δημιουργία του εντυπωσιακού τεχνολογικού περιβάλλοντος. Έτσι ο κόσμος που καλείται κανείς να κατανοήσει σε αδρές γραμμές, δεν είναι μόνο ο *Φυσικός Κόσμος* αλλά και οι *ανθρωπογενείς προσθήκες* σ' αυτόν.

Τα τελευταία χρόνια την Φυσική έχει αρχίσει να την απασχολεί ένα επίσης αρχέγονο αλλά πάντα επίκαιρο και πολύ πιο δύσκολο ερώτημα¹:

1 Πώς έγινε ο Κόσμος;

Τα παρατηρησιακά δεδομένα (όπως είναι, π.χ. η απομάκρυνση των γαλαξιών, η φασματική και γωνιακή κατανομή της κοσμικής ακτινοβολίας μικροκυμάτων, κοκ.) σε συνδυασμό με τις βασικές θεωρίες της Φυσικής έχουν επιτρέψει να ανασυνθέσουμε σε αδρές γραμμές μερικές κύριες φάσεις της ιστορίας του Σύμπαντος. Φυσικά ολόκληρες περιόδους παραμένουν άγνωστες και πολλά επί μέρους ερωτήματα παραμένουν απάντητα και είναι αντικείμενα έντονης παρατηρησιακής και θεωρητικής ανάλυσης και έρευνας. Μεταξύ αυτών αξίζει να αναφέρουμε το πώς, πού και πότε ξεκίνησε το φαινόμενο της Ζωής και -στο θεωρητικό επίπεδο- τις ανολοκλήρωτες προσπάθειες για το πάντρεμα της Κβαντομηχανικής με τη θεωρία βαρύτητας του Einstein. (Βλέπε, π.χ., τα βιβλία του Chaisson, *Cosmic Dawn*, και του Hawking, *Το χρονικό του χρόνου*).

A.1. Η μεθοδολογία της Φυσικής

Αν και το αντικείμενο της Φυσικής είναι δυνάμει τόσο ευρύ ώστε να υπερκαλύψει όλες τις επιστήμες, στην πράξη περιορίζεται από την απαιτητική μεθοδολογία της Φυσικής που βασίζεται στα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

1. Χρήση παρατηρήσεων και κυρίως πειραμάτων που δίνουν ποσοτικά αποτελέσματα (αριθμούς).
2. Εξάρτηση των αποτελεσμάτων από ένα μικρό αριθμό ποσοτικά ελέγξιμων παραμέτρων.
3. Απαίτηση ποσοτικής πρόβλεψης και ερμηνείας των παρατηρήσεων ή των πειραμάτων με αφετηρία ένα μικρό αριθμό θεμελιακών σχέσεων.
4. Απαραίτητη χρήση της μαθηματικής γλώσσας που επιτρέπει *εννοιολογική* διεύρυνση και επιτυγχάνει οικονομία, σαφήνεια και ακρίβεια.

Είναι ακριβώς αυτή η μεθοδολογία της Φυσικής και ιδιαίτερα το στοιχείο γ., που την έχει αναδείξει ως το θεμέλιο των άλλων Επιστημών και αυτών της Φύσης, αλλά και αυτών του Μηχανικού. Αλλά παράλληλα, όπως αναφέραμε προηγουμένως, θέτει και εμπόδια στη διεύρυνση του πεδίου εφαρμογής της. Έτσι η Φυσική έχει ένα διττό ρόλο: Αφενός μεν παρέχει τα θεμέλια πάνω στα οποία βασίζονται οι άλλες Επιστήμες αλλά και τα τεχνολογικά εργαλεία για τη συγκέντρωση αναγκαίων πληροφοριών που τις αφορούν, αφετέρου δε τείνει - στο πλαίσιο των περιορισμών της μεθοδολογίας της - να απλωθεί σταδιακά 'στα χωράφια των άλλων Επιστημών', όπως δείχνει ο επόμενος πίνακας Α.1, μέχρι του σημείου να απορροφήσει κάποιες από αυτές. Π.χ. η Αστρονομία έχει γίνει πια κλάδος της Φυσικής. Βέβαια το αντικείμενο των άλλων μεγάλων Επιστημών, όπως είναι η Χημεία και ιδίως η

¹ Η μεγάλη πρόοδος που έχει επιτευχθεί όσον αφορά στα ερωτήματα του πώς είναι φτιαγμένος ο Κόσμος οφείλεται αναμφίβολα και στην αναγωγική μέθοδο που «σπάει» το πρόβλημα στα στοιχειώδη τμήματά του και εξετάζει το καθένα μόνο του και χωριστά από τα άλλα και στη συνέχεια ανασυνθέτει το σύνολο «βάζοντας τα κομμάτια στη θέση τους». Όμως σε «ιστορικής φύσεως» ερωτήματα, όπως είναι το πώς έγινε, η αναγωγική μέθοδος δεν είναι εν γένει εφαρμόσιμη, αφού το «όλον» μπορεί να επηρεάζει το «επί μέρους». Επομένως για ερωτήματα του πώς έγινε χρειάζεται μια ολιστική προσέγγιση, πράγμα, φυσικά, πολύ πιο δύσκολο.

Βιολογία, είναι τόσο ευρύ και εντυπωσιακά περίπλοκο ώστε ο κύριος όγκος του να μη μπορεί να αναχθεί στη Φυσική, η οποία περιορίζεται σε επιλεκτικές διεισδύσεις. Αξίζει να αναφέρουμε επίσης τη σχέση της Φυσικής με την νεοπαγή Επιστήμη της Πληροφορικής, η οποία είχε ως αφετηρία τα μαθηματικά και την κάλυψη υπολογιστικών αναγκών αλλά εξελίχθηκε δημιουργώντας το δικό της αντικείμενο, τη δική της μεθοδολογία, αλλά και την εξυπηρέτηση πολλαπλών αναγκών και όχι μόνο επιστημονικών. Η Φυσική αντιμετωπίζει την Πληροφορική αφενός μεν ως ένα πολύτιμο εργαλείο, αφετέρου δε της παρέχει το υλικό υπόβαθρο για την παρούσα και τη μελλοντική, ενδεχομένως επαναστατική, ανάπτυξή της.

Πιν.Α.1: Κλάδοι της Φυσικής και η σχέση τους με άλλους επιστημονικούς και τεχνολογικούς τομείς

Μαθηματικά ²	Φυσική στοιχειωδών σωματίων Πυρηνική Φυσική Ατομική και μοριακή Φυσική, Φυσική στερεάς κατάστασης (ή Φυσική της συμπυκνωμένης ύλης)	Χημεία Επιστήμη Υλικών
	Βιοφυσική	Βιολογία
	Γεωφυσική	Γεωλογία
	Ατμοσφαιρική φυσική	Μετεωρολογία
	Διαστημική φυσική Αστροφυσική Κοσμολογία	Αστρονομία
Τεχνολογικοί τομείς	ΗΜ κύματα Λέιζερ	Τεχνολογία
	Τρανζίστορ Ολοκληρωμένα κυκλώματα Μαγνητικές μνήμες	Ηλεκτρονικοί υπολογιστές
	Ακτίνες Χ Υπέρηχοι Μαγνητική Τομογραφία κ.λπ.	Ιατρική τεχνολογία

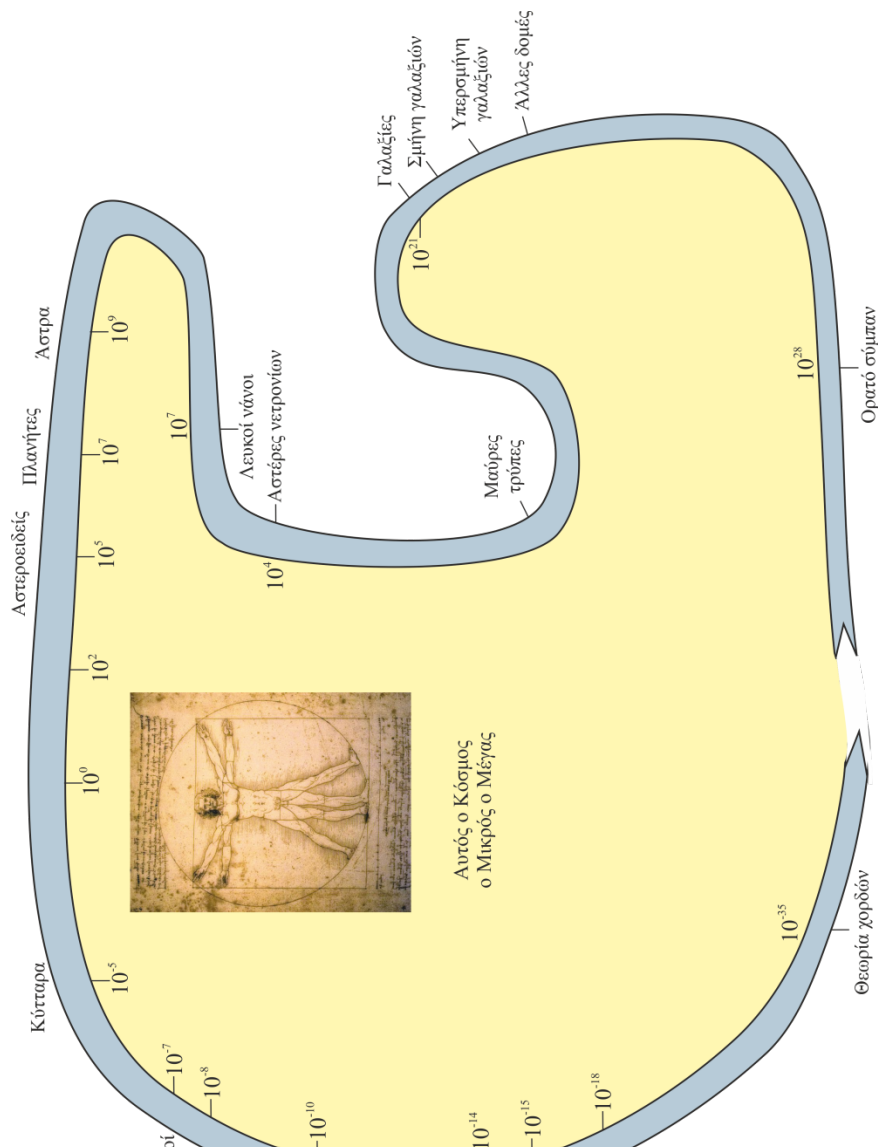
A.2. Το αντικείμενο της Φυσικής

Στον επόμενο πίνακα, παρουσιάζονται οι κύριες δομές του Φυσικού Κόσμου, αρχίζοντας από τις απειροελάχιστες και φθάνοντας μέχρι το Σύμπαν. Η μελέτη και η κατανόηση αυτών των δομών, αποτελεί ένα βασικό μέρος του αντικειμένου της Φυσικής αλλά και άλλων Επιστημών. Π.χ. τα μόρια αποτελούν αντικείμενο κυρίως της Χημείας αλλά σε κάποιο βαθμό και της Βιολογίας. Τα κύτταρα και οι βιολογικοί οργανισμοί, όπου εμφανίζεται η αποθέωση της περιπλοκότητας, είναι προφανώς το κατ' εξοχήν αντικείμενο της Βιολογίας και σε πιο εξειδικευμένο βαθμό της Ιατρικής.

² Βλέπε το βιβλίο του Γ. Α. Ευαγγελόπουλου, *Μαθηματικά και Φυσική, μια Ιδιαίτερη Σχέση*, Εκδόσεις Ευρασία, Αθήνα, 2010.

Πιν. Α.2: Τα βασικά επίπεδα οργάνωσης της ύλης

Επίπεδο οργάνωσης της ύλης	Κλίμακα μήκους (σε m)	Συστατικά	Είδος αλληλεπιδράσεων που καθορίζουν τη δομή του (κατά σειρά σπουδαιότητας)
Κουάρκ	$<10^{-18}$	φαίνεται ότι είναι στοιχειώδη	-
Ηλεκτρόνιο	$<10^{-18}$	φαίνεται ότι είναι στοιχειώδες	-
Πρωτόνιο	10^{-15}	u,u,d κουάρκ	ισχυρές, ασθενείς, H/M
Νετρόνιο	10^{-15}	u,d,d κουάρκ	ισχυρές, ασθενείς, H/M
Πυρήνες	10^{-15} - 10^{-14}	πρωτόνια, νετρόνια	ισχυρές, ασθενείς, HM
Άτομα	10^{-10}	πυρήνας, ηλεκτρόνια	H/M
Μόρια	$>10^{-10}$	άτομα, ή/και ιόντα και ηλεκτρόνια	H/M
Στερεά (θεμελιώδης κυψελίδα) (π.χ. μέταλλα)	$>10^{-10}$	άτομα, ή /και ιόντα και ηλεκτρόνια	H/M
Κύτταρα	$\hat{a} 10^{-6}$	μόρια	H/M
Βιολογικοί οργανισμοί (π.χ. άνθρωπος)	10^{-8} - 10^2 (1 m)	μόρια, κύτταρα, ιστοί, όργανα, κλπ	H/M
Πλανήτες	10^6 - 10^8	στερεά, υγρά, αέρια	H/M, Βαρυτικές
Αστρα	$\hat{a} 10^9$	ιόντα, ηλεκτρόνια, πυρήνες	βαρυτικές, ισχυρές, ασθενείς, H/M
Λευκοί Νάνοι	10^7	πυρήνες, ηλεκτρόνια	βαρυτικές
Αστέρες Νετρονίων	10^4	νετρόνια, πρωτόνια, ηλεκτρόνια	βαρυτικές
Αστρικές Μαύρες Τρύπες	10^4	?	βαρυτικές
Γαλαξίες	10^{21}	άστρα +...	βαρυτικές, άλλες ;
Σύμπαν	10^{26}	γαλαξίες +...	βαρυτικές, άλλες;



Σχ. Α.1: Απεικόνιση του Πιν. Α.2. Σύνδεση του ελάχιστου και του μέγιστου στο απώτατο παρελθόν (το φίδι-Σύμπαν δαγκώνει την ουρά του)

Α.3. Οι τρεις βασικές Ιδέες της Φυσικής

1^η Ιδέα, η ατομική δομή της ύλης: Η ύλη αποτελείται από μικροσκοπικές αδιαίρετες οντότητες, τα στοιχειώδη σωματίδια. Ως αποτέλεσμα, οι ιδιότητες της όποιας ύλης σε ισορροπία ανάγονται στις ιδιότητες και στις κινήσεις των στοιχειωδών σωματίων. Οι κινήσεις τους καθορίζονται και από τις μεταξύ τους δυνάμεις (πιο γενικά τις μεταξύ τους αλληλεπιδράσεις) και από τους νόμους κίνησης.

Αναζητώντας τα στοιχειώδη σωματίδια ας θεωρήσουμε ένα ιδεατό ταξίδι προς τα άδυτα του μικρόκοσμου με αφετηρία την κλίμακα του ανθρώπου (το 1m). Ο πρώτος σταθμός, έπειτα από μια σμίκρυνσή μας 100.000 φορές (που αντιστοιχεί σε κλίμακα 10^{-5} m), μας φέρνει στο

επίπεδο ενός λευκού αιμοσφαιρίου. Ο επόμενος σταθμός με μια νέα σμίκρυνση πάλι 100.000 φορές (που αντιστοιχεί σε κλίμακα πια 10^{-10} m) μας φέρνει στα άτομα, έστω στο άτομο του υδρογόνου, που αποτελείται από ένα σωματίο, που ονομάζεται πρωτόνιο, και ένα άλλο στοιχειώδες σωματίο, που ονομάζεται **ηλεκτρόνιο**. Το ηλεκτρόνιο, που είναι περίπου 1836 φορές ελαφρύτερο του πρωτονίου, περιφέρεται γύρω από το πρωτόνιο ορίζοντας με την περιοχή της κίνησής του το μέγεθος του ατόμου (διευκρινίζουμε ότι οι διαστάσεις του ίδιου του ηλεκτρονίου, αν υπάρχουν, είναι τουλάχιστον 100 εκατομμύρια φορές μικρότερες από αυτές του ατόμου). Το πρωτόνιο δεν είναι στοιχειώδες. Αποτελείται από τρία στοιχειώδη σωματίδια, δύο ίδια, που το καθένα τους λέγεται **πάνω κουάρκ** (και συμβολίζεται με το γράμμα **u**) και ένα τρίτο που λέγεται **κάτω κουάρκ** (και συμβολίζεται με το γράμμα **d**). Για το μέγεθος των κουάρκ ισχύει ό,τι είπαμε για τις πρακτικά μηδενικές διαστάσεις του ηλεκτρονίου. Η μάζα τους, που δεν έχει προσδιορισθεί πλήρως, είναι γύρω στις δέκα φορές μεγαλύτερη από αυτήν του ηλεκτρονίου. Το μέγεθος του πρωτονίου, που καθορίζεται από την περιοχή κίνησης των τριών κουάρκ γύρω από το κέντρο μάζας τους, έχει μετρηθεί και είναι περίπου 100.000 φορές μικρότερο από αυτό του ατόμου, δηλαδή κάτι λιγότερο από $1,7 \times 10^{-15}$ m.

Από τα τρία αυτά είδη στοιχειωδών σωματίων, τα πάνω κουάρκ, τα κάτω κουάρκ και τα ηλεκτρόνια αποτελείται όλη η ύλη μέσα μας, γύρω μας, στον πλανήτη μας, στον Ήλιο μας, στα δισεκατομμύρια δισεκατομμυρίων άλλα πλανητικά συστήματα, κλπ, κλπ. Είναι φυσικό, λοιπόν, στο βιβλίο αυτό να επανερχόμαστε ξανά και ξανά στις ιδιότητες και τις κινήσεις των τριών αυτών στοιχειωδών σωματίων.

Προς το παρόν όμως ο αναγνώστης πιθανόν να αναρωτιέται: Γιατί παγιδεύεται το ηλεκτρόνιο γύρω από το πρωτόνιο και έτσι δημιουργεί το άτομο του υδρογόνου; Γιατί τα τρία κουάρκ αλληλοπαγιδεύονται σχηματίζοντας έτσι το πρωτόνιο; Υποθέτω ότι όποιος ή όποια έχει το ενδιαφέρον να θέσει αυτά τα ερωτήματα, δεν θα δυσκολευτεί να βρει την απάντηση που είναι ότι κάποιες ελκτικές δυνάμεις δρουν μεταξύ των σωματίων-στοιχειωδών ή σύνθετων- και τα αλληλοπαγιδεύουν με παρόμοιο τρόπο που η Γη έχει παγιδευτεί γύρω από τον Ήλιο. Αν όμως είναι έτσι, γιατί το ηλεκτρόνιο δεν πέφτει πάνω στο πρωτόνιο; Γιατί, καίτοι περιφέρεται γύρω από το πρωτόνιο, μένει τόσο πολύ μακριά του και σχεδόν πάντοτε με τον ίδιο ακριβώς τρόπο; Γιατί, ενώ το άτομο του υδρογόνου συνεχώς υφίσταται συγκρούσεις, μένει αμετάβλητο έτσι ώστε τα βιβλία της Χημείας να μπορούν να του αποδίδουν σταθερές ιδιότητες; Γιατί το μόριο του DNA αναπαράγει με τέτοια θαυμαστή πιστότητα από γενιά σε γενιά το ίδιο βιολογικό είδος; Μάλιστα, η ίδια Κλασική Φυσική που εξηγεί το πώς έρχεται το σήμα στην τηλεόραση μας ή στο κινητό μας και χίλια-δυο άλλα φαινόμενα της καθημερινής μας ζωής οδηγεί στο συμπέρασμα ότι το ηλεκτρόνιο όφειλε να πέσει πάνω στο πρωτόνιο σε ένα εκατοστό του δισεκατομμυριοστού του δευτερολέπτου (βλ. λυμένη άσκηση 4 κεφ. 4). Αν αυτό το συμπέρασμα ήταν σωστό δεν θα υπήρχαν τα άτομα, δεν θα υπήρχαν τα μόρια, δεν θα υπήρχαμε εμείς, δεν θα υπήρχε ο Κόσμος όπως τον ξέρουμε. Κάτι λοιπόν πρέπει να αλλάξει στην Κλασική Φυσική και να αλλάξει δραστικά, επαναστατικά. Και πράγματι άλλαξε, ξεκινώντας από την αυγή του 20^{ου} αιώνα και κατάληγοντας σε αυτό που ονομάζεται Κβαντική Φυσική, η οποία πηγάζει από την ακόλουθη 2^η βασική Ιδέα.

2^η Ιδέα, ο κυματοσωματιδιακός δυισμός: Όλα είναι κυματοσώματα, δηλαδή οντότητες διττής φύσης: Σωματίδια ως προς τη δομή τους (δηλαδή αποτελούμενα από ακέραιο αριθμό αδιαίρετων ποσοτήτων) χωρίς όμως να ακολουθούν τροχιά όπως θα όφειλαν κλασικά, αλλά να κινούνται ως να ήσαν κύματα (δηλαδή ως να ήσαν συνεχώς κατανομημένα στο χώρο). Η Ιδέα αυτή εξειδικεύεται στις τρεις θεμελιώδεις αρχές της Κβαντικής Φυσικής:

α) *Αρχή απροσδιοριστίας του Heisenberg*, που εξασφαλίζει την αέναη, χωρίς σταματημό, κίνηση οποιουδήποτε μικροσκοπικού σωματίου εγκλωβισμένου εντός του πεπερασμένου όγκου μιας σύνθετης δομής. Αποτρέπεται έτσι, λόγω της κίνησης και της συνακόλουθης διασταλτικής πίεσης, η αυτόσύνθλιψη σύνθετων δομών την οποία τείνουν να επιβάλλουν οι αλληλεπιδράσεις (λόγω του ελκτικού συνολικά χαρακτήρα τους). Επί πλέον η παρουσία αέναης κίνησης ταυτόχρονα με ελκτικές δυνάμεις εξασφαλίζει την ύπαρξη του συστήματος

σε μια κατάσταση ελάχιστης εσωτερικής ενέργειας στην οποία αναγκαστικά και νομοτελειακά πάντοτε επανέρχεται.

β) *Απαγορευτική αρχή του Pauli*, που ισχύει για τα σωματίδια ύλης, όπως είναι τα ηλεκτρόνια, τα κουάρκ και τα πρωτόνια, και η οποία ενισχύει δραστικά, όπως θα δούμε, την ελάχιστη ολική κινητική τους ενέργεια E_K . Η τελευταία δίνεται τελικά από τον ακόλουθο τύπο για N όμοια σωματίδια ύλης που το καθένα τους έχει μάζα m και κινείται (με ταχύτητα πολύ μικρότερη από αυτή του φωτός c) εντός όγκου V (για το σύμβολο h βλέπε παρακάτω):

$$E_K = a_K \frac{h^2 N^{5/3}}{m V^{2/3}}, \quad a_K = 2,87. \quad (\text{A.1}\alpha)$$

Αν η ταχύτητα των σωματιδίων είναι παρόμοια με την ταχύτητα του φωτός c , όπως είναι για τα ηλεκτρόνια που βρίσκονται π.χ. στο εσωτερικό ενός αστέρα νετρονίων (ακτίνας R και όγκου $V = (4\pi/3)R^3$), τότε

$$E_K = a'_K \frac{hc N^{4/3}}{R}, \quad a'_K = 1,44. \quad (\text{A.1}\beta)$$

Η σημασία των αρχών α) και β) και των συνακόλουθων τύπων (Α.1) είναι καίριας σημασίας προκειμένου να ισορροπήσουν (άρα και να υπάρξουν) οι διάφορες σταθερές δομές της ύλης. Με άλλα λόγια, οι δύο αυτές αρχές παρέχουν τον απαραίτητο μηχανισμό κατάλληλου μεγέθους που εξισορροπεί τη σύνθλιψη των δυνάμεων.

γ) *Αρχή φασματικής διακριτότητας του Schrödinger* που εξασφαλίζει ότι σύνθετα μικροσκοπικά σωματίδια, όπως π.χ. το άτομο του υδρογόνου, συμπεριφέρονται *μέχρις ενός ορίου* ως να ήσαν αναλλοίωτα και αδιαίρετα. Μια σοφή ρύθμιση εξισορρόπησης μεταξύ αφενός μεν σταθερότητας, αφετέρου δε δυνατότητας αλλαγής.

Παρόλη την καίρια σημασία της, η βασική Ιδέα του κυματοσωματιδιακού δυισμού παραμένει εν πολλοίς άγνωστη. Όπως παραμένει άγνωστο στους πολλούς το γεγονός ότι η Ιδέα αυτή δεν έχει μόνο ποιοτικό χαρακτήρα αλλά και ποσοτικό γιατί συνοδεύεται από μια νέα παγκόσμια σταθερά, τη σταθερά του Planck h , που έχει παντού και πάντα την ίδια τιμή (η ταχύτητα του φωτός στο κενό είναι μια άλλη παγκόσμια σταθερά που έχει και αυτή παντού και πάντα την ίδια τιμή). Η σταθερά του Planck είναι παρούσα στους τύπους (Α.1) και, όπως θα δούμε στο παρόν βιβλίο, εμφανίζεται σε όλες τις κλίμακες της ύλης από το πρωτόνιο μέχρι τα άστρα και μας επιτρέπει να υπολογίσουμε ή να εκτιμήσουμε το μέγεθός τους και τις άλλες ιδιότητές τους. Ότι και να πω δεν είναι δυνατόν να υπερτονίσω τη σημασία της 2^{ης} Ιδέας (αυτής του κυματοσωματιδιακού δυισμού) και των τύπων (Α.1). Θα τολμήσω να πω ότι, *αν είναι να μείνει ένα μόνο πράγμα από τη μελέτη αυτού του βιβλίου ή ακόμη και από το σύνολο των πανεπιστημιακών σπουδών για το Φυσικό Κόσμο, αυτό θα πρέπει να είναι η ιδέα του κυματοσωματιδιακού δυισμού και των συνακόλουθων τύπων (Α.1).*

Και κάτι τελευταίο: Συχνά λέγεται και γράφεται ότι η Κβαντική Φυσική ισχύει μόνο στο μικρόκοσμο, ενώ η Κλασική Φυσική ισχύει στις συνήθεις κλίμακες προσितिές στις αισθήσεις μας. Μη το πιστεύετε: Η Κβαντική Φυσική, σε αντίθεση με την Κλασική, ισχύει σε όλες τις κλίμακες από το πρωτόνιο μέχρι και τα άστρα και καθορίζει μόνη αυτή τις *ιδιότητες* όλων αυτών των δομών της ύλης. Όμως, για *μακροσκοπικές κινήσεις*, όπως π.χ. η κίνηση των πλανητών περί τον Ήλιο, η Κβαντική Φυσική προσεγγίζεται απολύτως ικανοποιητικά από την Κλασική Φυσική.

3^η Ιδέα: *Οι σταθερές δομές της ύλης, δηλαδή αυτές που βρίσκονται σε θερμοδυναμική ισορροπία, αντιστοιχούν στο ελάχιστο της εσωτερικής ενέργειας (που οφείλεται και στις δυνάμεις και στην αέναη κίνηση των σωματιδίων που αποτελούν την κάθε δομή). Ισχύει και το αντίστροφο.*

Αργότερα, στο 3^ο κεφάλαιο, θα επαναδιατυπώσουμε την Ιδέα αυτή διευκρινίζοντας τις συνθήκες υπό τις οποίες ισχύει και λαμβάνοντας υπόψη και τον 2^ο Νόμο της Θερμοδυναμικής. Αυτή η 3^η Ιδέα μας επιτρέπει να προσδιορίσουμε θεωρητικά τις σταθερές

δομές της ύλης μέσω του υπολογισμού της εσωτερικής τους ενέργειας και της ελαχιστοποίησής της.

A.4. Οι βασικές Ιδέες εν δράσει

1. **Πρωτόνια και νετρόνια:** Είδαμε ότι δύο πάνω/κουάρκ και ένα κάτω σχηματίζουν το πρωτόνιο. Σχηματίζεται επίσης και ένα άλλο σωματίο, που ονομάζεται **νετρόνιο** και έχει ίδιο μέγεθος με το πρωτόνιο. Έχει λίγο πιο μεγάλη εσωτερική ενέργεια από το πρωτόνιο και αποτελείται από δύο κάτω/κουάρκ και ένα πάνω. Ως αποτέλεσμα της διαφορετικής αυτής σύνθεσης, το μεν νετρόνιο, όπως θα δούμε, είναι ηλεκτρικά ουδέτερο, ενώ το πρωτόνιο είναι ηλεκτρικά φορτισμένο. Το νετρόνιο, όταν είναι απομονωμένο και σε αντίθεση με το πρωτόνιο, είναι μετασταθές, δηλαδή μετατρέπεται σε πρωτόνιο, αλλάζοντας ένα κάτω/κουάρκ σε πάνω/κουάρκ: Αν έχουμε N απομονωμένα νετρόνια μετά από ένα χρονικό διάστημα $t_{1/2}$, θα έχουν μείνει τα μισά. Το $t_{1/2}$ χαρακτηρίζει κάθε μετασταθή δομή και ονομάζεται *χρόνος υποδιπλασιασμού*.

Για το απομονωμένο νετρόνιο το $t_{1/2}$ είναι περίπου 10 λεπτά της ώρας.

Τριών ειδών δυνάμεις καθορίζουν τις ιδιότητες των πρωτονίων και των νετρονίων. Η πιο σημαντική, που ονομάζεται **ισχυρή**, είναι αυτή που συμβάλλει κυρίως στην αμοιβαία έλξη των κουάρκ. Η δύναμη αυτή είναι ιδιαίτερα περίπλοκη, έχει εντυπωσιακές ιδιομορφίες και παρουσιάζει μεγάλες δυσκολίες στη μελέτη της. Εκτός από την ισχυρή δύναμη, υπάρχουν επίσης ελκτικές και απωστικές **ηλεκτρικές** δυνάμεις (αν και πολύ ασθενέστερες των ισχυρών), οι οποίες οφείλονται στο ότι και τα δύο είδη των κουάρκ φέρουν ηλεκτρικό φορτίο. Μη ξεχνάτε ότι την έλξη των δυνάμεων εξισορροπεί η αδιάκοπη κίνηση των κουάρκ εντός του πρωτονίου ή του νετρονίου και η συνακόλουθη κινητική τους ενέργεια που αποτελεί και την κύρια συμβολή στη συνολική εσωτερική ενέργεια και του πρωτονίου και του νετρονίου. Ο ρόλος της τρίτου είδους δύναμης, της λεγόμενης **ασθενούς** είναι να δίνει τη *δυνατότητα* μετατροπής ενός κάτω κουάρκ σε πάνω (και επομένως ενός νετρονίου σε πρωτόνιο) αλλά και αντιστρόφως.

2. **Πυρήνες:** Το επόμενο στάδιο οργάνωσης της ύλης αξιοποιεί την ύπαρξη πρωτονίων και νετρονίων, για να σχηματίσει τους διάφορους ατομικούς πυρήνες ή απλώς **πυρήνες**, που αποτελούνται από Z πρωτόνια (το Z , ανάλογα με το είδος του πυρήνα, κυμαίνεται από 1 έως 92) και N νετρόνια (το N κυμαίνεται από 0 έως 146). Για απλότητα τα πρωτόνια και τα νετρόνια ως συστατικά του πυρήνα αναφέρονται συλλήβδην ως **νουκλεόνια**. Έτσι, ένας πυρήνας με Z πρωτόνια και N νετρόνια λέμε ότι περιέχει $A = Z + N$ νουκλεόνια. Τα νουκλεόνια στους διάφορους πυρήνες σχεδόν ακουμπάνε μεταξύ τους. (Η μέση απόσταση μεταξύ των κέντρων γειτονικών νουκλεονίων είναι περίπου 10% μεγαλύτερη της διαμέτρου τους). Ένας πυρήνας με A νουκλεόνια προσαρμόζει το ποσοστό των πρωτονίων του, Z/A (άρα και το ποσοστό των νετρονίων του N/A), ώστε να ελαχιστοποιήσει την εσωτερική του ενέργεια και να επιτύχει έτσι τη σταθερότητά του. Η δυνατότητα αυτή υπάρχει λόγω της ασθενούς δύναμης που, όπως είπαμε, μπορεί να μετατρέψει νετρόνια σε πρωτόνια και αντίστροφα. Ένας πυρήνας έχει και άλλους τρόπους να ελαχιστοποιήσει την εσωτερική του ενέργεια, π.χ. με το να διασπασθεί σε δύο θυγατρικούς πυρήνες. Αυτό συμβαίνει σε πολύ μεγάλους πυρήνες όπου είναι ενισχυμένες, έναντι των υπολοίπων συμβολών, οι ηλεκτρικές απώσεις μεταξύ των πρωτονίων. Αυτός είναι ο λόγος που δεν υπάρχουν πυρήνες, έστω και μετασταθείς με A μεγαλύτερο του 300 περίπου (ή σταθεροί πυρήνες με $A > 206$). Για να προσδιορίσουμε λοιπόν τη σύνθεση και τις άλλες ιδιότητες των διαφόρων πυρήνων είναι αναγκαίο να υπολογίσουμε την εσωτερική τους ενέργεια E που αποτελείται από τέσσερις συνιστώσες: την ελκτική ενέργεια E_l των ισχυρών δυνάμεων μεταξύ *γειτονικών* νουκλεονίων, την απωστική ενέργεια E_a μεταξύ όλων των ζευγών πρωτονίων και ασφαλώς -για να μη ξεχνιόμαστε- τη συνολική κινητική ενέργεια χωριστά των πρωτονίων (που είναι του

τύπου (Α.1α) και τη συνολική κινητική ενέργεια χωριστά των νετρονίων που είναι επίσης του τύπου (Α.1α).

3. **Άτομα:** Το κάθε άτομο αποτελείται από έναν από τους υπάρχοντες πυρήνες (με $A = Z + N$ νουκλεόνια) και Z ηλεκτρόνια που παγιδεύονται γύρω του ώστε να σχηματίσουν μια ηλεκτρικά ουδέτερη δομή. Αν ο αριθμός των ηλεκτρονίων γύρω από τον πυρήνα είναι μικρότερος του Z έχουμε μια μετασταθή, θετικά φορτισμένη δομή, που ονομάζεται **κατιόν**· αν είναι μεγαλύτερος του Z , έχουμε μια αρνητικά φορτισμένη μετασταθή δομή, που ονομάζεται **ανιόν**. Οι βασικές ιδιότητες των διαφόρων ατόμων καθορίζονται από την εσωτερική τους ενέργεια E και την ελαχιστοποίηση της. Η ενέργεια E αποτελείται από τρεις συνιστώσες: Την ελκτική ηλεκτρική ενέργεια E_e μεταξύ του πυρήνα και όλων των ηλεκτρονίων, την απωστική ηλεκτρική ενέργεια E_a μεταξύ όλων των ζευγών ηλεκτρονίων και, φυσικά, την κινητική ενέργεια E_K όλων των ηλεκτρονίων, που είναι εν γένει του τύπου (Α.1α). Επειδή τα άτομα θα αποτελέσουν τα συστατικά για το επόμενο επίπεδο οργάνωσης της ύλης, παίζει σημαντικό ρόλο η χωρική κατανομή του κάθε ηλεκτρονίου, κυρίως αυτών που βρίσκονται στις παρυφές του κάθε ατόμου. Αυτή η κατανομή, που είναι το αντίστοιχο της τροχιάς στην Κλασική Φυσική, ονομάζεται ατομικό **τροχιακό**. Ενδιαφέρει επομένως ο προσδιορισμός της γωνιακής κυρίως κατανομής των ατομικών τροχιακών, ο οποίος, ευτυχώς, μπορεί να γίνει με στοιχειώδεις μεθόδους.
4. **Μόρια:** Τα μόρια αποτελούνται από άτομα (ή και κατιόντα/ανιόντα) που συνδυάζονται μεταξύ τους δημιουργώντας σταθερές και πολυποικίλες δομές. Το νέο στοιχείο στα μόρια, έναντι των προηγούμενων δομών, είναι ότι τα άτομα σ' ένα μόριο, ακουμπώντας με τα διπλανά τους, καταλαμβάνουν λίγο-πολύ σταθερές θέσεις στο χώρο σχετικά με τα άλλα άτομα του μορίου και εκτελούν μικρού πλάτους ταλαντώσεις γύρω από αυτές. Το άλλο νέο στοιχείο είναι ότι δεν υπάρχει άνω όριο στο πόσα πολλά άτομα μπορούν να συμμετέχουν σ' ένα μόριο. Έτσι έχουμε μικρά μόρια, όπως αυτά του νερού, που τα δύο άτομα υδρογόνου φτιάχνουν γωνία 105 μοιρών με το άτομο του οξυγόνου στην κορυφή. Αλλά υπάρχουν και τα μεγάλα βιομόρια με εκατομμύρια άτομα. Αυτός ο απίστευτος πλούτος μοριακών δομών, που αποτελεί το αντικείμενο μιας χωριστής Επιστήμης (της Χημείας), οφείλεται σε τρεις κυρίως λόγους: α) Ο πρώτος είναι ότι στα μόρια συνδυάζονται ενενήντα διαφορετικά άτομα έναντι δύο μόνο διαφορετικών νουκλεονίων στους πυρήνες. β) Ο δεύτερος λόγος είναι ότι τα άτομα είναι ηλεκτρικά ουδέτερα και ως συνέπεια δεν υπάρχουν μακράς εμβέλειας ηλεκτρικές απώσεις που θα έθεταν ένα άνω όριο στο μέγεθός τους, όπως συμβαίνει στους πυρήνες λόγω των θετικά φορτισμένων πρωτονίων. γ) Ο τρίτος λόγος έχει να κάνει με την κατευθυντικότητα των ατομικών τροχιακών που παράγουν μια μεγάλη ποικιλία μορίων με διαφορετικές στερεοχημικές δομές. Μία βασική μέθοδος μελέτης των μορίων είναι ο προσδιορισμός των *μοριακών τροχιακών* που ελαχιστοποιούν την εσωτερική ενέργεια του μορίου. Μια απλή διαδικασία προσδιορισμού των μοριακών τροχιακών έγκειται στο να γραφούν αυτές ως γραμμικός συνδυασμός ατομικών τροχιακών.
5. **Συμπυκνωμένη ύλη:** Στη συμπυκνωμένη ύλη περιλαμβάνονται τα στερεά, τα υγρά και ενδιάμεσες δομές, όπως είναι π.χ. τα πολυμερή. Ο αριθμός των ατόμων, που σχηματίζουν τη συμπυκνωμένη ύλη όντας σε επαφή μεταξύ τους, είναι τεράστιος με τυπική τιμή τον λεγόμενο αριθμό του Avogadro, 6×10^{23} . Στα στερεά τα άτομα καταλαμβάνουν συγκεκριμένες θέσεις στο χώρο και εκτελούν μικρού πλάτους ταλαντώσεις γύρω από τις θέσεις αυτές. Στα υγρά τα άτομα κινούνται κυλιόμενα πάνω στα διπλανά τους και τείνουν το καθένα τους να καταλάβει όλο το διαθέσιμο χώρο. Όπως στα άτομα και στα μόρια, η ισορροπία στη συμπυκνωμένη ύλη αποκαθίσταται από τον ανταγωνισμό της ηλεκτρικής ελκτικής (συνολικά) ενέργειας και της κινητικής ενέργειας των ηλεκτρονίων. Πιο συγκεκριμένα, στα μέταλλα η κινητική ενέργεια οφείλεται κυρίως στα αποσπασμένα από τα άτομα ηλεκτρόνια (τα

λεγόμενα ελεύθερα) και έχει τη μορφή του τύπου (Α.1α). Η ηλεκτρική ελκτική ενέργεια δίνεται από τον ακόλουθο τύπο: $E_e = -\kappa N^{4/3} e^2 / V^{1/3}$, όπου e είναι το ηλεκτρικό φορτίο του πρωτονίου και κ είναι μια αριθμητική σταθερά. Στους ημιαγωγούς, στους μονωτές, στα μοριακά στερεά κλπ για την εύρεση των τροχιακών του στερεού, που ελαχιστοποιούν την εσωτερική ενέργεια, ακολουθείται συνήθως η μέθοδος του γραμμικού συνδυασμού ατομικών τροχιακών, όπως στα μόρια.

6. **Πλανήτες:** Οι πλανήτες είναι σφαιρικά σώματα ακτίνας R που κυμαίνεται από περίπου 1.000 km έως περίπου 100.000 km. Ανάλογα με τα είδη των ατόμων που τους αποτελούν μπορεί να είναι βραχώδεις, όπως η Γη, ή αέριοι, όπως ο Δίας. Τα άτομα που τους αποτελούν είναι εν μέρει ιονισμένα. Είναι πιο βολικό να μετράμε τη μάζα τους με το συνολικό αριθμό νουκλεονίων N_v που περιλαμβάνεται σε όλους τους πυρήνες τους και ο οποίος κυμαίνεται στους πλανήτες περίπου μεταξύ 10^{49} έως 10^{55} . Στην ελκτική ενέργεια συμβάλλουν με συγκρίσιμο ποσοστό και οι βαρυτικές δυνάμεις μεταξύ όλων των πυρήνων του πλανήτη και οι ηλεκτρικές δυνάμεις E_e . Την τάση για σύνθλιψη εξισορροπεί η κινητική ενέργεια των ηλεκτρονίων που δίνεται και πάλι από ένα τύπο όπως ο (Α.1α). Η βαρυτική ελκτική ενέργεια δίνεται από τον τύπο $E_B = -aGM^2 / R$, όπου G είναι η σταθερά της παγκόσμιας έλξης, $M = N_v m_u$ είναι η μάζα του πλανήτη, m_u είναι το 1/12 της μάζας του ατόμου του άνθρακα-12 και το a είναι λίγο μεγαλύτερο από 0,6. Ο τύπος για το E_B είναι άμεση συνέπεια του νόμου της παγκόσμιας έλξης. Ας σημειωθεί ότι η βαρυτική ελκτική ενέργεια δεν είχε εμφανισθεί μέχρι τώρα. Ο λόγος ήταν η αφάνταστα μικρή έντασή της. Εντούτοις, ο πάντα ελκτικός χαρακτήρας της βαρύτητας και η άπειρη εμβέλειά της την καθιστούν σημαντική όταν η μάζα του συστήματος γίνει τόσο μεγάλη ώστε να φτάσει τα όρια αυτής ενός πλανήτη· γίνεται δε κυρίαρχη σε ακόμη μαζικότερα αντικείμενα, όπως είναι τα άστρα. Επίσης, μπορεί εύκολα να δείξει κανείς ότι το σφαιρικό σχήμα των ουρανίων σωμάτων (μεγάλης μάζας) οφείλεται στον πάντα ελκτικό χαρακτήρα της βαρύτητας και στην άπειρη εμβέλειά της, γιατί αυτό είναι το σχήμα που ελαχιστοποιεί την βαρυτική ενέργεια.
7. **Άστρα:** Ενεργά άστρα, όπως ο Ήλιος, είναι εκείνα που στην κεντρική τους περιοχή συντελείται σύντηξη τεσσάρων πρωτονίων τελικά προς τον πυρήνα του ηλίου-4 (με δύο πρωτόνια και δύο νετρόνια). Οι συντηξεις αυτές ελευθερώνουν μεγάλα ποσά ενέργειας που μετατρέπονται σε θερμική κινητική ενέργεια των σωματιδίων που αποτελούν το άστρο η οποία εξισορροπεί την βαρυτική σύνθλιψη. Για την έναρξη όμως της σύντηξης χρειάζεται πολύ υψηλή αρχική θερμοκρασία για να υπερνικηθεί η ηλεκτρική άπωση μεταξύ των πρωτονίων ώστε να λάβει χώρα η σύντηξή τους. Αυτή όμως η θερμοκρασία απαιτεί μια μίνιμουμ τιμή της μάζας του άστρου. Όπως θα δούμε στο Κεφ. 13, η μίνιμουμ αυτή τιμή δίνεται από τον τύπο $M_\mu / m_u \approx \approx \frac{1}{4}(e^2 / Gm_u^2)^{3/2}$ που εξαρτάται μόνο από παγκόσμιες σταθερές, δεδομένου ότι το m ορίζεται από τη σχέση $m^4 = m_e m_u^3$. Η τιμή που προκύπτει για το λόγο $M_\mu / m_u = N_v$ είναι $N_v \approx 10^{56}$ νουκλεόνια. Εάν πάλι η μάζα του υπό σχηματισμό άστρου είναι πάρα πολύ μεγάλη, η πίεση της προκύπτουσας εσωτερικής ΗΜ ακτινοβολίας υπερβαίνει τη βαρυτική συμπίεση και το άστρο δεν θα σχηματισθεί. Κατά συνέπεια υπάρχει ένα άνω όριο M_M στη μάζα ενός ενεργού άστρου που δίνεται από τον εξής τύπο $M_M / m_u \approx \approx 100(hc / Gm_u^2)^{3/2}$ και αντιστοιχεί σε περίπου 3×10^{59} νουκλεόνια. Σημειώστε ότι το M_M εξαρτάται και αυτό από παγκόσμιες σταθερές μεταξύ των οποίων και η σταθερά του Planck. Ένα ενεργό άστρο διατηρείται σε δυναμική ισορροπία όσο υπάρχουν τα πυρηνικά «καύσιμα», κυρίως το υδρογόνο, που αναπληρώνουν την απώλεια ενέργειας την οφειλόμενη κυρίως στην ακτινοβολία. Όταν αυτά

εξαντληθούν το άστρο εισέρχεται σε μια σύντομη φάση αστάθειας που χάνει ένα μεγάλο μέρος της αρχικής του μάζας. Τελικά μη έχοντας τη θερμική κινητική ενέργεια για να αντισταχθεί στη βαρύτητα, το άστρο συμπιέζεται από την τελευταία για να καταλήξει, ανάλογα με τη μάζα που του έχει απομείνει, σε τρία είδη αστρικών «πτωμάτων»: Αν αυτή η τελική μάζα είναι μικρότερη από 1,4 φορές τη σημερινή μάζα του Ήλιου, προκύπτει ο λεγόμενος **λευκός νάνος**, που αποτελείται από γυμνούς πυρήνες και ελεύθερα ηλεκτρόνια. Η ισορροπία του λευκού νάνου όπως και η ακτίνα του καθορίζεται από την ελαχιστοποίηση της εσωτερικής του ενέργειας $E = E_B + E_K$, όπου το E_B είναι η βαρυτική ενέργεια και το E_K είναι η κινητική ενέργεια των ηλεκτρονίων που δίνεται από τον τύπο (Α.1α). Η προκύπτουσα τιμή για την ακτίνα του λευκού νάνου είναι περίπου 10.000 km, δηλαδή περίπου ίση με την ακτίνα της Γης. Όταν η τελική μάζα του νεκρού άστρου υπερβεί τη κρίσιμη τιμή του 1,4 φορές τη μάζα του Ήλιου, τα ηλεκτρόνια του Λευκού Νάνου έχουν αποκτήσει πια σχετικιστικές ταχύτητες και η κινητική τους ενέργεια δίνεται από τον τύπο (Α.1β)· αυτή η κινητική ενέργεια δεν είναι πια σε θέση να αντιμετωπίσει τη σύνθλιψη της βαρύτητας και κατά συνέπεια το νεκρό άστρο υφίσταται μια περαιτέρω δραστηκή κατάρρευση κατά ένα παράγοντα της τάξεως του $(2m_e / m_n) \approx (1/1000)$ και η ακτίνα του καταλήγει γύρω στα 10 km. Οι πυρήνες του αποσυντίθενται σε νετρόνια και πρωτόνια· τα τελευταία αντιδρούν σε μεγάλο βαθμό με τα ηλεκτρόνια και δίνουν νετρόνια, ενώ απομένει ένα μικρό ποσοστό από πρωτόνια και ηλεκτρόνια. Το προκύπτον νεκρό άστρο ονομάζεται για προφανείς λόγους **αστέρας νετρονίων** επειδή αποτελείται κυρίως από νετρόνια αλλά και κάποια πρωτόνια και ηλεκτρόνια, όλα τους συμπιεσμένα από τη βαρύτητα σε πυκνότητα περίπου ίση με αυτήν ενός ατομικού πυρήνα. Ο αστέρας νετρονίων ισορροπεί λόγω της εξίσωσης των πιέσεων που οφείλονται αφενός μεν στη βαρυτική ελκτική ενέργεια και αφετέρου στην κινητική ενέργεια κυρίως των *νετρονίων* η οποία εξακολουθεί να δίνεται από τον τύπο (Α.1α) αλλά με τη μάζα m_n του *νετρονίου* στον παρονομαστή αντί για τη μάζα του ηλεκτρονίου m_e που εμφανίζεται στην περίπτωση των λευκών νάνων. Η ισορροπία αυτή διατηρείται όσο η μάζα του αστέρα νετρονίων δεν υπερβαίνει περίπου τις 2,5 φορές τη σημερινή μάζα του Ήλιου. Αν την υπερβεί παύει να ισχύει ο τύπος (Α.1α) ακόμη και για τα νετρόνια και ισχύει ο τύπος (Α.1β) για όλα τα σωματίδια, και για τα νετρόνια και για τα λίγα πρωτόνια και ηλεκτρόνια. Όμως τότε, η διασταλτική πίεση της συνολικής κινητικής ενέργειας υπολείπεται της συνθλιπτικής πίεσης της βαρύτητας και ο αστέρας νετρονίων καταρρέει χωρίς να υπάρχει κάποιος εμφανής φυσικός μηχανισμός φρεναρίσματος. Επομένως η κατάρρευση συνεχίζεται ασταμάτητα και οδηγεί στην κατάσταση που ονομάζεται αστρική **μαύρη τρύπα**.

8. **Σύμπαν:** Τόσο οι αστρονομικές παρατηρήσεις όσο και η Γενική Θεωρία της Σχετικότητας οδηγούν στο συμπέρασμα ότι το Σύμπαν διαστέλλεται, ο ίδιος ο χώρος διαστέλλεται. Αυτό σημαίνει ότι δύο σημεία στο χώρο, που απέχουν σε μια χρονική στιγμή R , απομακρύνονται μεταξύ τους με ρυθμό που είναι ανάλογος της μεταξύ τους απόστασης: $\dot{R} = HR$, όπου $\dot{R} \equiv dR / dt$ η σταθερά αναλογίας H είναι ανεξάρτητη του R (όσο το R είναι της τάξεως των 500 εκατομμυρίων ετών φωτός ή μεγαλύτερο) και ονομάζεται *σταθερά του Hubble*. Σημαίνει επίσης ότι όσο πηγαίνουμε πίσω στο χρόνο το Σύμπαν θα ήταν πυκνότερο, θερμότερο και πιθανόν διαφορετικής σύνθεσης. Οδηγούμαστε έτσι στην εικόνα ότι κάποτε στο απώτατο παρελθόν θα υπήρχε μια στιγμή όπου όλος ο χώρος και το Σύμπαν μαζί του θα είχε συρρικνωθεί σε ένα σημείο άπειρης πυκνότητας και θερμοκρασίας. Μετά τη στιγμή αυτή, που σηματοδοτεί τη χρονική αφετηρία του Σύμπαντος, ακολουθεί μια ταχύτατη διαστολή εκρηκτικών διαστάσεων, το Big Bang. Το σενάριο αυτό είναι συνεπές με την παρακάτω εξίσωση (Α.2) της χρονικής εξέλιξης που ικανοποιεί η σταθερά του Hubble $H \equiv \dot{R} / R$. Η εξίσωση αυτή, που αποτελεί τη βάση της Κοσμολογίας και ισχύει μετά μια πολύ αρχική φάση, έχει την ακόλουθη μορφή:

$$\left(\frac{\mathcal{R}}{R}\right)^2 = \frac{8\pi G}{3c^2} \varepsilon, \quad (\text{A.2})$$

όπου ε είναι η πυκνότητα ενέργειας στο Σύμπαν (χωρίς τη βαρυτική ενέργεια). Όπως θα δείξουμε στο Κεφ. 14 η εξίσωση αυτή μπορεί να εξαχθεί σχετικά εύκολα με χρήση της οικείας νευτώνειας μηχανικής. Με τον ίδιο τρόπο αποδεικνύεται ότι η ολική ενέργεια του Σύμπαντος, που είναι το άθροισμα βαρυτικής και όλης της άλλης ισούται με μηδέν. Η πυκνότητα ενέργειας του τύπου (A.2) γράφεται ως εξής: $\varepsilon = \varepsilon_{ph} + \varepsilon_v + \varepsilon_b + \varepsilon_{dm} + \varepsilon_{de}$, όπου ο πρώτος όρος του δεξιού μέλους οφείλεται στα φωτόνια (και σε ενδεχόμενα ζεύγη σωματίων/αντισωματίων που δημιουργούνται από τα φωτόνια), ο δεύτερος οφείλεται στα λεγόμενα νετρίνα, ο τρίτος στα πρωτόνια και τα νετρόνια, ο τέταρτος στη λεγόμενη σκοτεινή ύλη και ο τελευταίος στη λεγόμενη σκοτεινή ενέργεια. Στο Κεφ. 14 θα παρουσιάσουμε τις γνώσεις μας για κάθε ένα από τους πέντε αυτούς όρους καθώς και για την εξάρτησή τους από το R . Με βάση αυτή την εξάρτηση προκύπτουν οι χρονικές περίοδοι κυριαρχίας του κάθε όρου (π.χ. φωτοκρατία, υλοκρατία και μελλοντική κυριαρχία του τελευταίου όρου που φαίνεται ότι έχει την ιδιομορφία να είναι ανεξάρτητος του R , δηλαδή μια ακόμη παγκόσμια σταθερά). Στη σημερινή κοσμική εποχή, 13,8 δισεκατομμύρια έτη μετά τη στιγμή 0 του Big Bang, το ε_{de} αποτελεί το 70% περίπου του ολικού ε . Το πώς προκύπτει και πώς δικαιολογείται φυσικά η εικόνα που περιγράψαμε θα το παρουσιάσουμε στο Κεφ. 14.

A.5. Πόσο τελεσίδικο είναι το παρόν νοητικό πλαίσιο της Φυσικής;

Θα διακινδυνεύσουμε μια απάντηση σ' αυτό το εύλογο ερώτημα, που απασχολεί φιλοσόφους, ιστορικούς της Επιστήμης και αρκετούς επιστήμονες.

Το κοσμοείδωλο της Φυσικής, για τη βαθύτερη δομή του Κόσμου, ίσως αλλάξει. Τα στοιχειώδη, σημειακά (στην ουσία) κυματοσωμάτια (ύλης και δυνάμεων), που θεωρούνται σήμερα οι έσχατοι δομικοί λίθοι του Σύμπαντος, ίσως αντικατασταθούν, όπως αντικαταστάθηκαν τα κλασικά νευτώνεια σωματίδια και κύματα, από τα κβαντικά κυματοσωμάτια. Δε θα αλλάξουν όμως τα αποτελέσματα που έχουμε ήδη πετύχει³ από την κλίμακα του ατομικού πυρήνα (10^{-15} m), μέχρι και ενδεχομένως την κλίμακα των άστρων και των γαλαξιών (10^{21} m). Φυσικά, στις ακραίες κλίμακες (αυτές των στοιχειωδών σωματίων και της κοσμολογίας), όπου το βασικό νοητικό πλαίσιο είναι ακόμη υπό διαμόρφωση και όπου ο παρατηρησιακός ή ο πειραματικός έλεγχος, είναι ιδιαίτερα δυσχερής έως αδύνατος, ουσιώδεις συμπληρώσεις ή ακόμη και ανατροπές δεν θα πρέπει να αποκλεισθούν.

³ Τα μυριάδες, αν όχι εκατομμύρια, αυτά ποσοτικά αποτελέσματα είναι σε εντυπωσιακή συμφωνία με τα αντίστοιχα παρατηρησιακά και πειραματικά δεδομένα. Το αληθές τους επιβεβαιώνεται κάθε μέρα από την ύπαρξη και τη λειτουργία όλων των ανθρωπογενών δημιουργημάτων (τηλεοράσεις, κινητά τηλέφωνα, μαγνητική τομογραφία, υπολογιστές, διαδίκτυο, κλπ, κλπ, κλπ). Τίποτε από αυτά, δεν θα υπήρχε αν οι νόμοι της Φυσικής δεν απεικόνιζαν την πραγματικότητα.