

Είναι η πιο άσχημη θεωρία της Φυσικής;

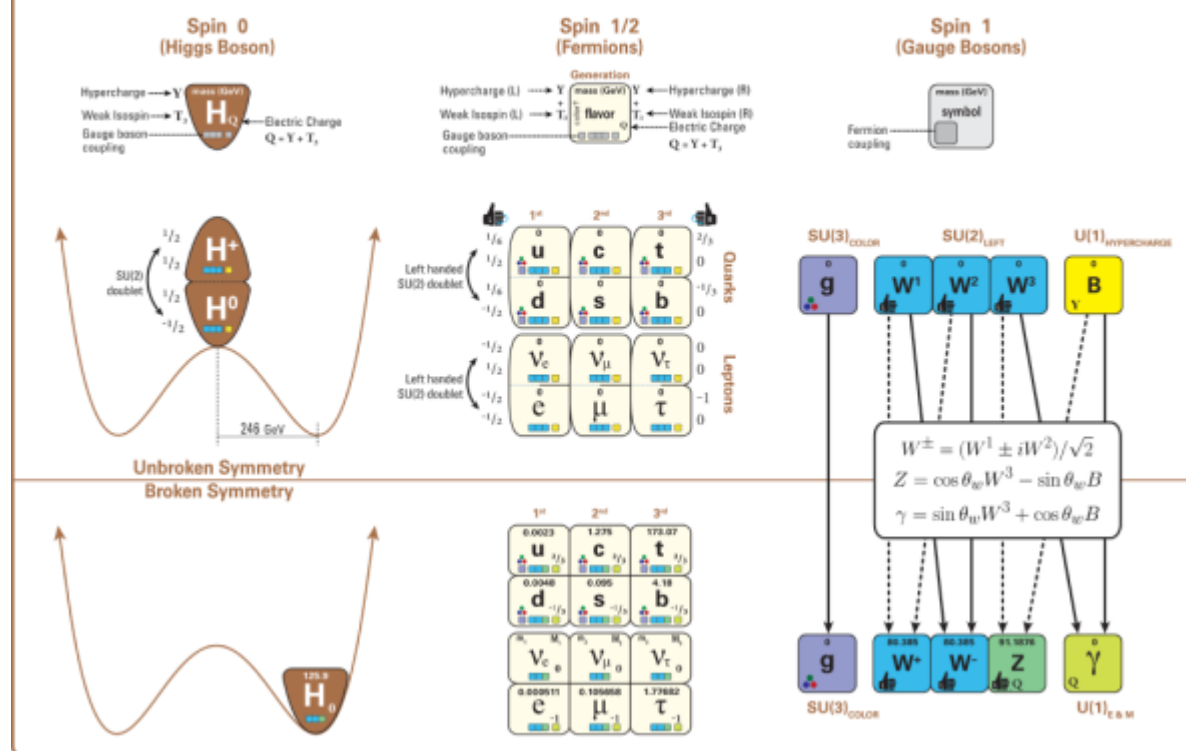
/ Πεμπτουσία· Ορθοδοξία-Πολιτισμός-Επιστήμες

$$\begin{aligned}
 & \text{1} \quad -\frac{1}{2}\partial_\nu g_\mu^a \partial_\nu g_\mu^a - g_s f^{abc} \partial_\mu g_\nu^a g_\mu^b g_\nu^c \\
 & \quad + \frac{1}{2} i g_s^2 (\bar{q}_i^\sigma \gamma^\mu q_j^\sigma) g_\mu^a + \bar{G}^a \partial^2 G^a + g \\
 & \text{2} \quad M^2 W_\mu^+ W_\mu^- - \frac{1}{2} \partial_\nu Z_\mu^0 \partial_\nu Z_\mu^0 - \frac{1}{2c_w^2} M \\
 & \quad \frac{1}{2} m_h^2 H^2 - \partial_\mu \phi^+ \partial_\mu \phi^- - M^2 \phi^+ \phi^- - \\
 & \quad \frac{2M}{g} H + \frac{1}{2} (H^2 + \phi^0 \phi^0 + 2\phi^+ \phi^-) \\
 & \quad W_\nu^+ W_\nu^- - Z_\nu^0 (W_\mu^+ \partial_\nu W_\mu^- - \\
 & \quad W_\nu^- \partial_\mu W_\mu^+) - i g s_w [\partial_\nu A_\mu (W_\mu^+ W_\mu^- \\
 & \quad W_\mu^- \partial_\nu W_\mu^+) + A_\mu (W_\nu^+ \partial_\nu W_\mu^- - W_\nu^- \\
 & \quad \frac{1}{2} g^2 W_\mu^+ W_\nu^- W_\mu^+ W_\nu^- + g^2 c_w^2 (Z_\mu^0 \\
 & \quad - \frac{1}{2} \partial_\mu^2 Z_\mu^0) + \frac{1}{2} g^2 c_w^2 (Z_\mu^0 \partial_\mu^2 Z_\mu^0 - \frac{1}{2} \partial_\mu^2 Z_\mu^0 \partial_\mu^2 Z_\mu^0)
 \end{aligned}$$

Μιλάμε για τη θεωρία που περιγράφει την δομή της ύλης και ονομάζεται «**Καθιερωμένο Πρότυπο των Στοιχειωδών Σωματιδίων**».

Το Καθιερωμένο Πρότυπο συνήθως απεικονίζεται ως ένας πίνακας, παρόμοιο με τον περιοδικό πίνακα των στοιχείων, ο οποίος χρησιμοποιείται για να περιγραφούν οι ιδιότητες των σωματιδίων, όπως η μάζα, το ηλεκτρικό φορτίο και το σπιν.

The Standard Model of Particle Physics



Ο πίνακας εξηγεί επίσης πως αυτά τα ελάχιστα κομμάτια της ύλης αλληλεπιδρούν μεταξύ τους διαμέσου των θεμελιωδών δυνάμεων της φύσης. Όμως πίσω από τον πίνακα του Καθιερωμένου Προτύπου κρύβονται πολύπλοκες μαθηματικές εξισώσεις..

Αυτή η μεγάλη θεωρία (σχεδόν) των πάντων στην πραγματικότητα αντιπροσωπεύει μια συλλογή από διάφορα μαθηματικά μοντέλα τα οποία αποδείχθηκαν ότι περιγράφουν τους νόμους της φυσικής.

Η γιγαντιαία εξίσωση που ξετυλίγεται παρακάτω είναι η εξίσωση του Καθιερωμένου Προτύπου στην λεγόμενη Λαγκρανζιανή μορφή. Τεχνικά το Καθιερωμένο Πρότυπο θα μπορούσε να γραφεί με διάφορες μορφές, όμως η Λαγκρανζιανή μορφή είναι ένας από τους «ευκολότερους» και πιο συμπαγείς τρόπους παρουσίασης της θεωρίας.

$$\begin{aligned}
& 1 \quad -\frac{1}{2}\partial_\nu g_\mu^a \partial_\nu g_\mu^a - g_s f^{abc} \partial_\mu g_\nu^a g_\mu^b g_\nu^c - \frac{1}{4}g_s^2 f^{abc} f^{ade} g_\mu^b g_\nu^c g_\mu^d g_\nu^e + \\
& \quad \frac{1}{2}ig_s^2(\bar{q}_i^\sigma \gamma^\mu q_j^\sigma)g_\mu^a + \bar{G}^a \partial^2 G^a + g_s f^{abc} \partial_\mu \bar{G}^a G^b g_\mu^c - \partial_\nu W_\mu^+ \partial_\nu W_\mu^- - \\
& 2 \quad M^2 W_\mu^+ W_\mu^- - \frac{1}{2}\partial_\nu Z_\mu^0 \partial_\nu Z_\mu^0 - \frac{1}{2c_w^2}M^2 Z_\mu^0 Z_\mu^0 - \frac{1}{2}\partial_\mu A_\nu \partial_\mu A_\nu - \frac{1}{2}\partial_\mu H \partial_\mu H - \\
& \quad \frac{1}{2}m_h^2 H^2 - \partial_\mu \phi^+ \partial_\mu \phi^- - M^2 \phi^+ \phi^- - \frac{1}{2}\partial_\mu \phi^0 \partial_\mu \phi^0 - \frac{1}{2c_w^2}M\phi^0 \phi^0 - \beta_h \left[\frac{2M^2}{g^2} + \right. \\
& \quad \left. \frac{2M}{g}H + \frac{1}{2}(H^2 + \phi^0 \phi^0 + 2\phi^+ \phi^-) \right] + \frac{2M^4}{g^2}\alpha_h - igc_w [\partial_\nu Z_\mu^0 (W_\mu^+ W_\nu^- - \\
& \quad W_\nu^+ W_\mu^-) - Z_\nu^0 (W_\mu^+ \partial_\nu W_\mu^- - W_\mu^- \partial_\nu W_\mu^+) + Z_\mu^0 (W_\nu^+ \partial_\nu W_\mu^- - \\
& \quad W_\nu^- \partial_\nu W_\mu^+)] - ig s_w [\partial_\nu A_\mu (W_\mu^+ W_\nu^- - W_\nu^+ W_\mu^-) - A_\nu (W_\mu^+ \partial_\nu W_\mu^- - \\
& \quad W_\mu^- \partial_\nu W_\mu^+) + A_\mu (W_\nu^+ \partial_\nu W_\mu^- - W_\nu^- \partial_\nu W_\mu^+)] - \frac{1}{2}g^2 W_\mu^+ W_\mu^- W_\nu^+ W_\nu^- + \\
& \quad \frac{1}{2}g^2 W_\mu^+ W_\nu^- W_\mu^+ W_\nu^- + g^2 c_w^2 (Z_\mu^0 W_\mu^+ Z_\nu^0 W_\nu^- - Z_\mu^0 Z_\mu^0 W_\nu^+ W_\nu^-) + \\
& \quad g^2 s_w^2 (A_\mu W_\mu^+ A_\nu W_\nu^- - A_\mu A_\mu W_\nu^+ W_\nu^-) + g^2 s_w c_w [A_\mu Z_\nu^0 (W_\mu^+ W_\nu^- - \\
& \quad W_\nu^+ W_\mu^-) - 2A_\mu Z_\mu^0 W_\nu^+ W_\nu^-] - g\alpha [H^3 + H\phi^0 \phi^0 + 2H\phi^+ \phi^-] - \\
& \quad \frac{1}{8}g^2 \alpha_h [H^4 + (\phi^0)^4 + 4(\phi^+ \phi^-)^2 + 4(\phi^0)^2 \phi^+ \phi^- + 4H^2 \phi^+ \phi^- + 2(\phi^0)^2 H^2] - \\
& \quad gMW_\mu^+ W_\mu^- H - \frac{1}{2}g\frac{M}{c_w^2}Z_\mu^0 Z_\mu^0 H - \frac{1}{2}ig[W_\mu^+ (\phi^0 \partial_\mu \phi^- - \phi^- \partial_\mu \phi^0) - \\
& \quad W_\mu^- (\phi^0 \partial_\mu \phi^+ - \phi^+ \partial_\mu \phi^0)] + \frac{1}{2}g[W_\mu^+ (H\partial_\mu \phi^- - \phi^- \partial_\mu H) - W_\mu^- (H\partial_\mu \phi^+ - \\
& \quad \phi^+ \partial_\mu H)] + \frac{1}{2}g\frac{1}{c_w} (Z_\mu^0 (H\partial_\mu \phi^0 - \phi^0 \partial_\mu H) - ig\frac{s_w^2}{c_w}MZ_\mu^0 (W_\mu^+ \phi^- - W_\mu^- \phi^+) + \\
& \quad ig s_w MA_\mu (W_\mu^+ \phi^- - W_\mu^- \phi^+) - ig\frac{1-2c_w^2}{2c_w}Z_\mu^0 (\phi^+ \partial_\mu \phi^- - \phi^- \partial_\mu \phi^+) + \\
& \quad ig s_w A_\mu (\phi^+ \partial_\mu \phi^- - \phi^- \partial_\mu \phi^+) - \frac{1}{4}g^2 W_\mu^+ W_\mu^- [H^2 + (\phi^0)^2 + 2\phi^+ \phi^-] - \\
& \quad \frac{1}{4}g^2 \frac{1}{c_w^2}Z_\mu^0 Z_\mu^0 [H^2 + (\phi^0)^2 + 2(2s_w^2 - 1)^2 \phi^+ \phi^-] - \frac{1}{2}g^2 \frac{s_w^2}{c_w}Z_\mu^0 \phi^0 (W_\mu^+ \phi^- + \\
& \quad W_\mu^- \phi^+) - \frac{1}{2}ig^2 \frac{s_w^2}{c_w}Z_\mu^0 H (W_\mu^+ \phi^- - W_\mu^- \phi^+) + \frac{1}{2}g^2 s_w A_\mu \phi^0 (W_\mu^+ \phi^- + \\
& \quad W_\mu^- \phi^+) + \frac{1}{2}ig^2 s_w A_\mu H (W_\mu^+ \phi^- - W_\mu^- \phi^+) - g^2 \frac{s_w}{c_w} (2c_w^2 - 1)Z_\mu^0 A_\mu \phi^+ \phi^- - \\
& \quad g^1 s_w^2 A_\mu A_\mu \phi^+ \phi^- - \bar{e}^\lambda (\gamma \partial + m_e^\lambda) e^\lambda - \bar{\nu}^\lambda \gamma \partial \nu^\lambda - \bar{u}_j^\lambda (\gamma \partial + m_u^\lambda) u_j^\lambda - \\
& 3 \quad d_j^\lambda (\gamma \partial + m_d^\lambda) d_j^\lambda + ig s_w A_\mu [-(\bar{e}^\lambda \gamma^\mu e^\lambda) + \frac{2}{3}(\bar{u}_j^\lambda \gamma^\mu u_j^\lambda) - \frac{1}{3}(\bar{d}_j^\lambda \gamma^\mu d_j^\lambda)] + \\
& \quad \frac{ig}{4c_w} Z_\mu^0 [(\bar{\nu}^\lambda \gamma^\mu (1 + \gamma^5) \nu^\lambda) + (\bar{e}^\lambda \gamma^\mu (4s_w^2 - 1 - \gamma^5) e^\lambda) + (\bar{u}_j^\lambda \gamma^\mu (\frac{4}{3}s_w^2 - \\
& \quad 1 - \gamma^5) u_j^\lambda) + (\bar{d}_j^\lambda \gamma^\mu (1 - \frac{8}{3}s_w^2 - \gamma^5) d_j^\lambda)] + \frac{ig}{2\sqrt{2}} W_\mu^+ [(\bar{\nu}^\lambda \gamma^\mu (1 + \gamma^5) e^\lambda) + \\
& \quad (\bar{u}_j^\lambda \gamma^\mu (1 + \gamma^5) C_{\lambda\kappa} d_j^\kappa)] + \frac{ig}{2\sqrt{2}} W_\mu^- [(\bar{e}^\lambda \gamma^\mu (1 + \gamma^5) \nu^\lambda) + (\bar{d}_j^\kappa C_{\lambda\kappa}^\dagger \gamma^\mu (1 + \\
& \quad \gamma^5) u_j^\lambda)] + \frac{ig}{2\sqrt{2}} \frac{m_e^\lambda}{M} [-\phi^+ (\bar{\nu}^\lambda (1 - \gamma^5) e^\lambda) + \phi^- (\bar{e}^\lambda (1 + \gamma^5) \nu^\lambda)] - \\
& 4 \quad \frac{g}{2} \frac{m_e^\lambda}{M} [H(\bar{e}^\lambda e^\lambda) + i\phi^0 (\bar{e}^\lambda \gamma^5 e^\lambda)] + \frac{ig}{2M\sqrt{2}} \phi^+ [-m_d^\kappa (\bar{u}_j^\lambda C_{\lambda\kappa} (1 - \gamma^5) d_j^\kappa) + \\
& \quad m_u^\lambda (\bar{u}_j^\lambda C_{\lambda\kappa} (1 + \gamma^5) d_j^\kappa) + \frac{ig}{2M\sqrt{2}} \phi^- [m_d^\lambda (\bar{d}_j^\lambda C_{\lambda\kappa}^\dagger (1 + \gamma^5) u_j^\kappa) - m_u^\kappa (\bar{d}_j^\lambda C_{\lambda\kappa}^\dagger (1 - \\
& \quad \gamma^5) u_j^\kappa) - \frac{g}{2} \frac{m_u^\lambda}{M} H(\bar{u}_j^\lambda u_j^\lambda) - \frac{g}{2} \frac{m_d^\lambda}{M} H(\bar{d}_j^\lambda d_j^\lambda) + \frac{ig}{2} \frac{m_u^\lambda}{M} \phi^0 (\bar{u}_j^\lambda \gamma^5 u_j^\lambda) - \\
& \quad \frac{ig}{2} \frac{m_d^\lambda}{M} \phi^0 (\bar{d}_j^\lambda \gamma^5 d_j^\lambda) + \bar{X}^+ (\partial^2 - M^2) X^+ + \bar{X}^- (\partial^2 - M^2) X^- + \bar{X}^0 (\partial^2 - \\
& 5 \quad \frac{M^2}{c_w^2}) X^0 + \bar{Y} \partial^2 Y + igc_w W_\mu^+ (\partial_\mu \bar{X}^0 X^- - \partial_\mu \bar{X}^+ X^0) + ig s_w W_\mu^+ (\partial_\mu \bar{Y} X^- - \\
& \quad \partial_\mu \bar{X}^+ Y) + igc_w W_\mu^- (\partial_\mu \bar{X}^- X^0 - \partial_\mu \bar{X}^0 X^+) + ig s_w W_\mu^- (\partial_\mu \bar{X}^- Y - \\
& \quad \partial_\mu \bar{Y} X^+) + igc_w Z_\mu^0 (\partial_\mu \bar{X}^+ X^+ - \partial_\mu \bar{X}^- X^-) + ig s_w A_\mu (\partial_\mu \bar{X}^+ X^+ - \\
& \quad \partial_\mu \bar{X}^- X^-) - \frac{1}{2}gM[\bar{X}^+ X^+ H + \bar{X}^- X^- H + \frac{1}{c_w^2} \bar{X}^0 X^0 H] + \\
& \quad \frac{1-2c_w^2}{2c_w} igM[\bar{X}^+ X^0 \phi^+ - \bar{X}^- X^0 \phi^-] + \frac{1}{2c_w} igM[\bar{X}^0 X^- \phi^+ - \bar{X}^0 X^+ \phi^-] + \\
& \quad igMs_w[\bar{X}^0 X^- \phi^+ - \bar{X}^0 X^+ \phi^-] + \frac{1}{2}igM[\bar{X}^+ X^+ \phi^0 - \bar{X}^- X^- \phi^0]
\end{aligned}$$

Η Λαγκρανζιανή του Καθιερωμένου Προτύπου χωρισμένη σε 5 τμήματα:

Το **πρώτο** τμήμα της εξίσωσης αναφέρεται στο γλοιόνιο, τον φορέα της ισχυρής πυρηνικής δύναμης.

Το **δεύτερο** τμήμα αναφέρεται στην αλληλεπίδραση μεταξύ των μποζονίων (κυρίως των W και Z), καθώς επίσης και στις αλληλεπιδράσεις τους με το μποζόνιο Higgs.

Το **τρίτο** τμήμα της εξίσωσης περιγράφει πως τα στοιχειώδη σωματίδια αλληλεπιδρούν με την ασθενή δύναμη και τις βασικές αλληλεπιδράσεις του πεδίου Higgs, από τις οποίες κάποια στοιχειώδη σωματίδια αποκτούν την μάζα τους.

Το **τέταρτο** τμήμα περιγράφει πως τα σωματίδια της ύλης αλληλεπιδρούν με τα εν δυνάμει (φαντάσματα) σωματίδια Higgs.

Στο **πέμπτο** τμήμα της εξίσωσης περιέχονται τα λεγόμενα φαντάσματα Faddeev-Popov που ακυρώνουν τους πλεονασμούς που προκύπτουν στις αλληλεπιδράσεις διαμέσου της ασθενούς δύναμης.

Περισσότερες λεπτομέρειες θα βρείτε [εδώ: The deconstructed Standard Model equation](#)

Δεν χωρεί αμφιβολία πως η παραπάνω εξίσωση φαντάζει αποκρουστικά πολύπλοκη. Μήπως όμως, παρά την «ασχήμια» της εν λόγω εξίσωσης, το Καθιερωμένο Πρότυπο τελικά είναι μια κομψή θεωρία; Μάλλον όχι θα απαντούσε ο Carlo Rovelli, ο Ιταλός φυσικός που διευθύνει το Κέντρο Θεωρητικής Φυσικής στο Πανεπιστήμιο Aix-Marseille.

Ας δούμε τι λέει ακριβώς ο **Carlo Rovelli**, στο βιβλίο του με τίτλο «[Seven Brief Lessons on Physics](#)» (κυκλοφορεί και στα ελληνικά «[Επτά σύντομα μαθήματα φυσικής](#)» από τις εκδόσεις Πατάκη), για την πολύπλοκη θεωρία του «Καθιερωμένου Προτύπου» :

«(...) Το «Καθιερωμένο Πρότυπο» ολοκληρώθηκε την δεκαετία του 1970 και μια μεγάλη σειρά πειραμάτων επιβεβαίωσαν όλες τις προβλέψεις του (εκτός του ότι τα νετρίνα δεν έχουν μάζα). Η οριστική επιβεβαίωση ήρθε το 2013 με την ανακάλυψη του μποζονίου Higgs.

Όμως παρά τις επανειλημμένες πειραματικές επαληθεύσεις, **οι φυσικοί ποτέ δεν πήραν εντελώς στα σοβαρά το Καθιερωμένο Πρότυπο**. Πρόκειται για μια θεωρία που φαίνεται τουλάχιστον εκ πρώτης όψεως αποσπασματική και με μπαλώματα. Είναι φτιαγμένη από διάφορα κομμάτια και εξισώσεις που συναρμολογούνται χωρίς ξεκάθαρη τάξη. Κάποιος αριθμός πεδίων (αλλά γιατί ακριβώς αυτά τα πεδία;) που αλληλεπιδρούν μεταξύ τους με συγκεκριμένες δυνάμεις (άραγε γιατί αυτές οι δυνάμεις;) που η καθεμία προσδιορίζεται από τις τιμές ορισμένων σταθερών (γιατί άραγε οι σταθερές έχουν τις συγκεκριμένες τιμές;), και έχουν συγκεκριμένες συμμετρίες (αλλά και πάλι, γιατί αυτές τις συμμετρίες;). Είμαστε πολύ μακριά από την απλότητα των εξισώσεων της γενικής σχετικότητας και της κβαντικής μηχανικής.

Ακόμα κι ο τρόπος με τον οποίο το Καθιερωμένο Πρότυπο κάνει προβλέψεις σχετικά με τα σωματίδια είναι επίσης παράλογα περίπλοκος. Χρησιμοποιώντας άμεσα αυτές τις εξισώσεις οδηγούμαστε σε παράλογες προβλέψεις όπου κάθε ποσότητα που υπολογίζεται καταλήγει να είναι απείρως μεγάλη. Για να πάρουμε λογικά αποτελέσματα από τους υπολογισμούς είναι απαραίτητο να φανταστούμε ότι οι παράμετροι που υπεισέρχονται σ' αυτούς είναι και οι ίδιες απείρως μεγάλες,

έτσι ώστε να εξουδετερωθούν τα παράλογα αποτελέσματα και να γίνουν λογικά. Αυτή περίπλοκη και μπαρόκ προσέγγιση ονομάζεται με τον τεχνικό όρο 'επανακανονικοποίηση'. Ναι μεν λειτουργεί στην πράξη, όμως αφήνει μια πικρή γεύση σ' αυτόν που επιθυμεί την απλότητα στη φύση.

Στα τελευταία χρόνια της ζωής του ο Paul Dirac, ο μεγαλύτερος επιστήμονας του εικοστού αιώνα μετά τον Einstein, ο μέγας αρχιτέκτονας της κβαντικής μηχανικής και συγγραφέας των πρώτων και θεμελιωδών εξισώσεων του Καθιερωμένου Προτύπου, εξέφρασε επανειλημμένα την δυσαρέσκειά του για αυτή την κατάσταση των πραγμάτων, συμπεραίνοντας ότι 'δεν λύσαμε ακόμα το πρόβλημα' (...)

Στη συνέχεια ο Carlo Rovelli, αφού επισημάνει την χαρακτηριστική αδυναμία του Καθιερωμένου Προτύπου να περιγράψει (προβλέψει) την σκοτεινή ύλη, θεωρεί ότι:

«(...) το Καθιερωμένο Πρότυπο παραμένει η καλύτερη θεωρία που διαθέτουμε για την περιγραφή του κόσμου των πραγμάτων• όλες οι προβλέψεις του έχουν επιβεβαιωθεί, και εξαιρουμένης της σκοτεινής ύλης – και της βαρύτητας όπως περιγράφεται από την γενική σχετικότητα ως καμπύλωση του χωροχρόνου – περιγράφει καλά κάθε πτυχή του κόσμου που αντιλαμβανόμαστε. (...)

(...) Έτσι, προς το παρόν, αρκούμαστε με το Καθιερωμένο Πρότυπο. Μπορεί να μην είναι κομψό, αλλά λειτουργεί εξαιρετικά καλά για να περιγράψει τον κόσμο γύρω μας. Και ποιος ξέρει; Ίσως με μια πιο προσεκτική εξέταση να μην είναι η θεωρία που της λείπει η κομψότητα. Ίσως εμείς να μην έχουμε μάθει ακόμα τον τρόπο να το βλέπουμε από την σωστή οπτική γωνία, αυτή που αποκαλύπτει την κρυμμένη απλότητά του. Μέχρι σήμερα, είναι ότι γνωρίζουμε για την ύλη: μια χούφτα από κατηγορίες στοιχειωδών σωματιδίων, τα οποία δονούνται και κυμαίνονται σταθερά μεταξύ της ύπαρξης και της μη-ύπαρξης, που πλημμυρίζουν τον χώρο ακόμα κι όταν φαίνεται πως δεν υπάρχει τίποτα εκεί, συνδυάζονται μεταξύ τους επ' άπειρον όπως τα γράμματα ενός κοσμικού αλφαβήτου, για να μας πουν την τεράστια ιστορία των γαλαξιών, των αναρίθμητων άστρων, του ηλιακού φωτός, των βουνών, των δασών, των λιβαδιών, των χαμογελαστών νεανικών προσώπων στα πάρτι, και του γεμάτου άστρα νυχτερινού ουρανού.»

Πηγή: <https://physicsgg.me/>