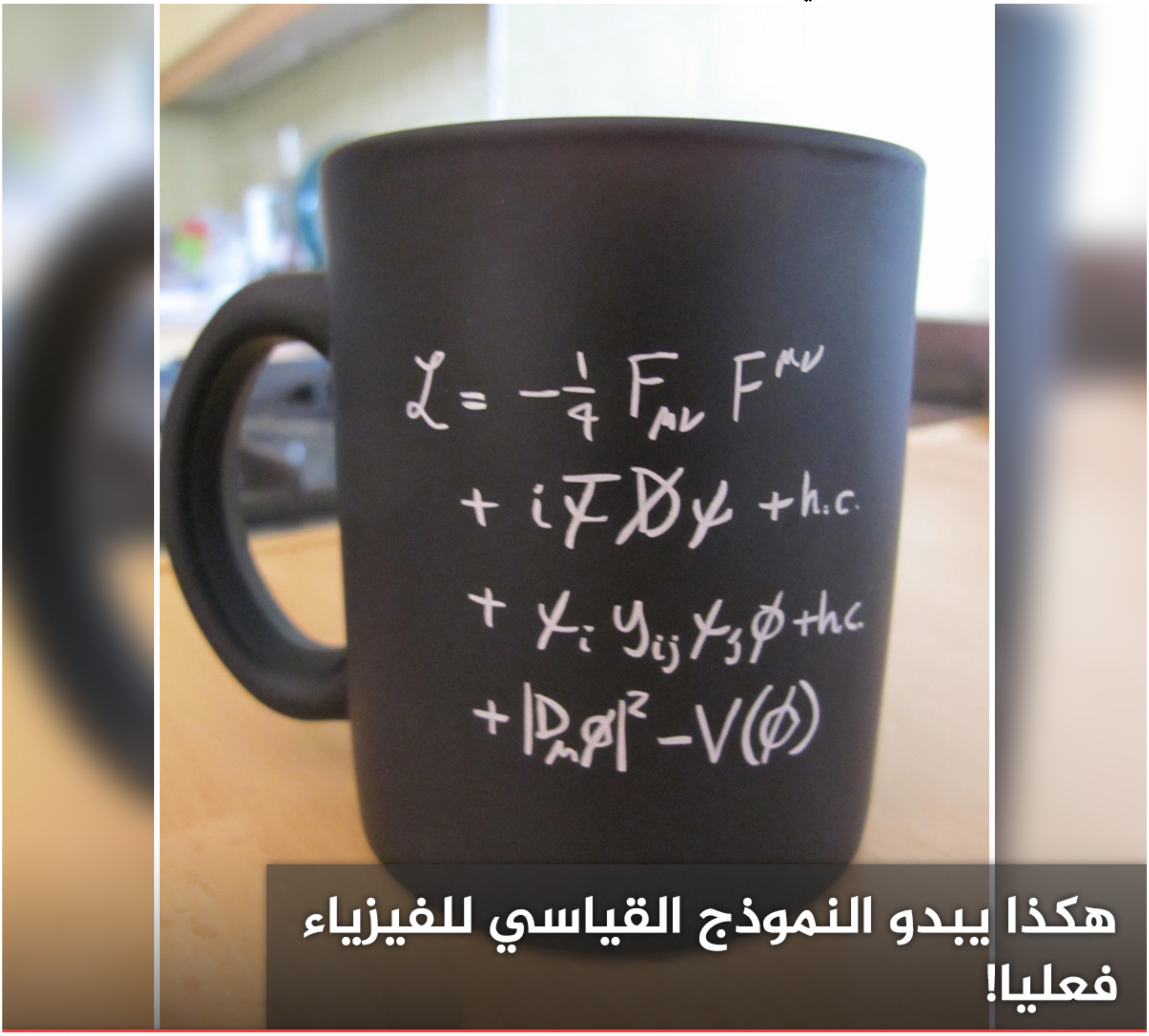
هكذا يبدو النموذج القياسي للفيزياء فعليا!



نتحدث كثيراً حول النموذج القياسي في فيزياء الجسيمات هنا في ScienceAler. أنت تعرف، "نظرية كل شيء تقريباً". إنها أفضل مجموعة من المعادلات لدينا لوصف سلوك الكون وكل شيء داخله.

لكن هل فكرت يوماً كيف تبدو عليه في الواقع؟

إذا كان كذلك، فأنت محظوظ فهذه لاغرانجيان النموذج القياسي (**Standard Model Lagrangian**) في أوج مجده، وقد كتبها عالم الرياضيات والفيزيائي الإيطالي ماتيلد ماركولي **Matilde Marcolli**:

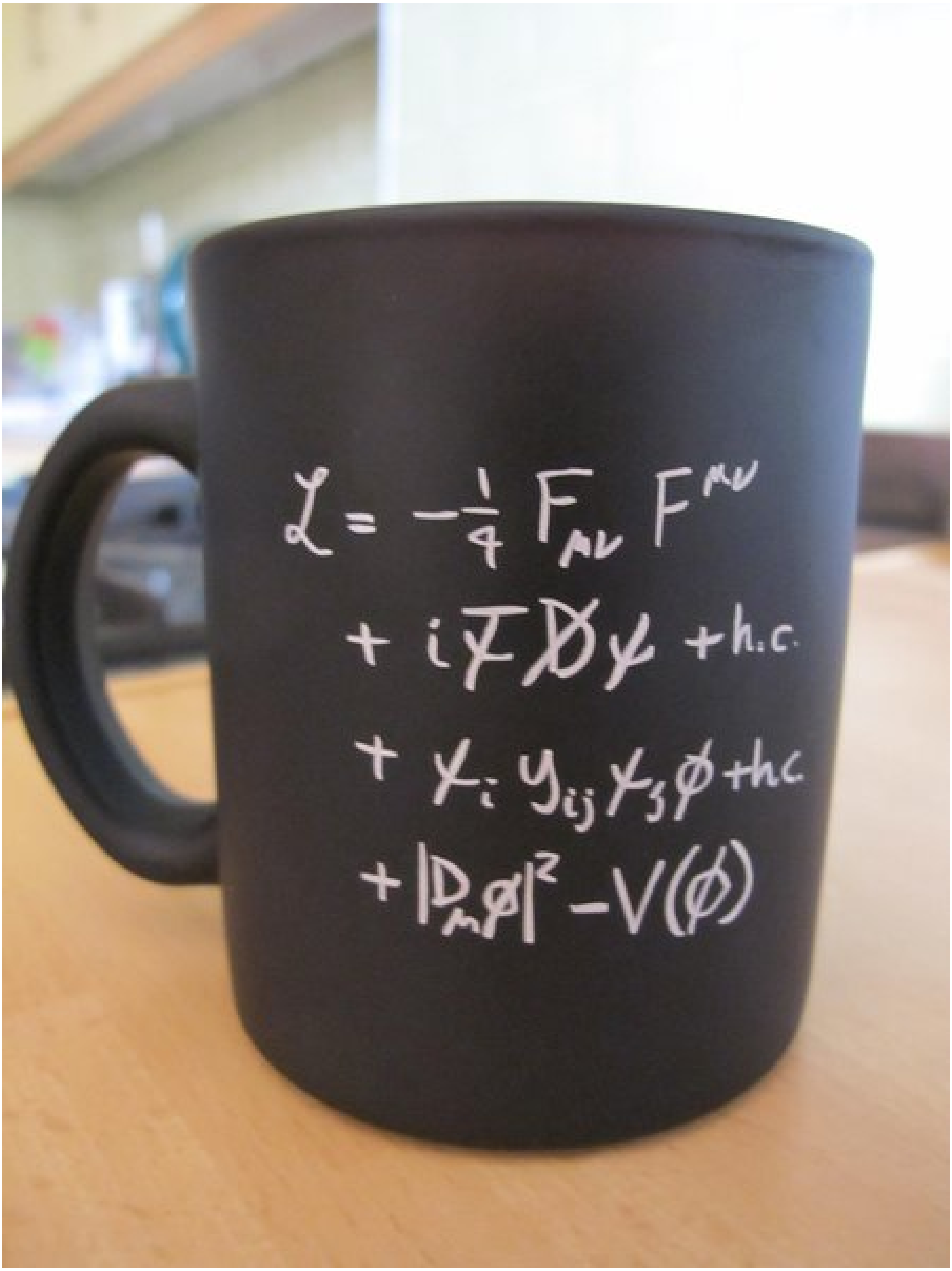
$$
\begin{gathered}
\mathcal{L}_{SM} = -\frac{1}{2}\partial_\nu g^a_\mu \partial_\nu g^a_\mu - g_s f^{abc}\partial_\mu g^a_\nu g^b_\mu g^c_\nu - \frac{1}{4}g_s^2 f^{abc}f^{ade} g^b_\mu g^c_\nu g^d_\mu g^e_\nu - \partial_\nu W^+_\mu \partial_\nu W^-_\mu - \\
M^2 W^+_\mu W^-_\mu - \frac12 \partial_\nu Z^0_\mu \partial_\nu Z^0_\mu - \frac{1}{2c_w^2} M^2 Z^0_\mu Z^0_\mu - \frac12 \partial_\mu A_\nu \partial_\mu A_\nu - igc_w(\partial_\nu Z^0_\mu (W^+_\mu W^-_\nu - \\
W^+_\nu W^-_\mu) - Z^0_\nu (W^+_\mu \partial_\nu W^-_\mu - W^-_\mu \partial_\nu W^+_\mu) + Z^0_\mu (W^+_\nu \partial_\nu W^-_\mu - W^-_\nu \partial_\nu W^+_\mu)) - \\
igs_w(\partial_\nu A_\mu (W^+_\mu W^-_\nu - W^+_\nu W^-_\mu) - A_\nu (W^+_\mu \partial_\nu W^-_\mu - W^-_\mu \partial_\nu W^+_\mu) + A_\mu (W^+_\nu \partial_\nu W^-_\mu - \\
W^-_\nu \partial_\nu W^+_\mu)) - \frac12 g^2 W^+_\mu W^-_\mu W^+_\nu W^-_\nu + \frac12 g^2 W^+_\mu W^-_\nu W^+_\mu W^-_\nu + g^2 c_w^2 (Z^0_\mu W^+_\mu Z^0_\nu W^-_\nu - \\
Z^0_\mu Z^0_\mu W^+_\nu W^-_\nu) + 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^0_\nu (W^+_\mu W^-_\nu - \\
W^+_\nu W^-_\mu) - 2A_\mu Z^0_\mu W^+_\nu W^-_\nu) - \frac12 \partial_\mu H \partial_\mu H - 2M^2\alpha_h H^2 - \partial_\mu\phi^+\partial_\mu\phi^- - \frac12 \partial_\mu\phi^0\partial_\mu\phi^0 - \\
\beta_h\left(\frac{2M^2}{g^2} + \frac{2M}{g}H + \frac12(H^2+\phi^0\phi^0+2\phi^+\phi^-)\right) + \frac{2M^4}{g^2}\alpha_h - \\
g\alpha_h M\left(H^3 + H\phi^0\phi^0 + 2H\phi^+\phi^-\right) - \\
\frac18 g^2\alpha_h \left(H^4 + (\phi^0)^4 + 4(\phi^+\phi^-)^2 + 4(\phi^0)^2\phi^+\phi^- + 4H^2\phi^+\phi^- + 2(\phi^0)^2H^2\right) - \\
gMW^+_\mu W^-_\mu H - \frac12 g\frac{M}{c_w^2} Z^0_\mu Z^0_\mu H - \\
\frac12 ig \left(W^+_\mu(\phi^0\partial_\mu\phi^- - \phi^-\partial_\mu\phi^0) - W^-_\mu(\phi^0\partial_\mu\phi^+ - \phi^+\partial_\mu\phi^0)\right) + \\
\frac12 g \left(W^+_\mu(H\partial_\mu\phi^- - \phi^-\partial_\mu H) + W^-_\mu(H\partial_\mu\phi^+ - \phi^+\partial_\mu H)\right) + \frac12 g\frac{1}{c_w}(Z^0_\mu(H\partial_\mu\phi^0 - \phi^0\partial_\mu H) + \\
M\left(\frac{1}{c_w}Z^0_\mu\partial_\mu\phi^0 + W^+_\mu\partial_\mu\phi^- + W^-_\mu\partial_\mu\phi^+\right) - ig\frac{s_w^2}{c_w} M Z^0_\mu (W^+_\mu\phi^- - W^-_\mu\phi^+) + igs_w M A_\mu (W^+_\mu\phi^- - \\
W^-_\mu\phi^+) - ig\frac{1-2c_w^2}{2c_w} Z^0_\mu(\phi^+\partial_\mu\phi^- - \phi^-\partial_\mu\phi^+) + igs_w A_\mu(\phi^+\partial_\mu\phi^- - \phi^-\partial_\mu\phi^+) - \\
\frac14 g^2 W^+_\mu W^-_\mu \left(H^2 + (\phi^0)^2 + 2\phi^+\phi^-\right) - \frac18 g^2 \frac{1}{c_w^2} Z^0_\mu Z^0_\mu \left(H^2 + (\phi^0)^2 + 2(2s_w^2-1)^2\phi^+\phi^-\right) - \\
\frac12 g^2\frac{s_w^2}{c_w} Z^0_\mu\phi^0(W^+_\mu\phi^- + W^-_\mu\phi^+) - \frac12 ig^2\frac{s_w^2}{c_w}Z^0_\mu H(W^+_\mu\phi^- - W^-_\mu\phi^+) + \frac12 g^2 s_w A_\mu\phi^0(W^+_\mu\phi^- + \\
W^-_\mu\phi^+) + \frac12 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^0_\mu A_\mu\phi^+\phi^- - \\
g^2 s_w^2 A_\mu A_\mu \phi^+\phi^- + \frac12 ig_s \lambda^a_{ij}(\bar q^\sigma_i\gamma^\mu q^\sigma_j) g^a_\mu - \bar e^\lambda(\gamma\partial + m^\lambda_e)e^\lambda - \bar\nu^\lambda(\gamma\partial + m^\lambda_\nu)\nu^\lambda - \bar u^\lambda_j(\gamma\partial + \\
m^\lambda_u)u^\lambda_j - \bar d^\lambda_j(\gamma\partial + m^\lambda_d)d^\lambda_j + igs_w A_\mu\left(-(\bar e^\lambda\gamma^\mu e^\lambda) + \frac23(\bar u^\lambda_j\gamma^\mu u^\lambda_j) - \frac13(\bar d^\lambda_j\gamma^\mu d^\lambda_j)\right) + \\
\frac{ig}{4c_w}Z^0_\mu\{(\bar\nu^\lambda\gamma^\mu(1+\gamma^5)\nu^\lambda) + (\bar e^\lambda\gamma^\mu(4s_w^2-1-\gamma^5)e^\lambda) + (\bar d^\lambda_j\gamma^\mu(\tfrac43 s_w^2 - 1 - \gamma^5)d^\lambda_j) + \\
(\bar u^\lambda_j\gamma^\mu(1-\tfrac83 s_w^2+\gamma^5)u^\lambda_j)\} + \frac{ig}{2\sqrt2}W^+_\mu\left((\bar\nu^\lambda\gamma^\mu(1+\gamma^5)U^{lep}{}_{\lambda\kappa}e^\kappa) + (\bar u^\lambda_j\gamma^\mu(1+\gamma^5)C_{\lambda\kappa}d^\kappa_j)\right) + \\
\frac{ig}{2\sqrt2}W^-_\mu\left((\bar e^\kappa U^{lep\dagger}{}_{\kappa\lambda}\gamma^\mu(1+\gamma^5)\nu^\lambda) + (\bar d^\kappa_j C^\dagger_{\kappa\lambda}\gamma^\mu(1+\gamma^5)u^\lambda_j)\right) + \\
\frac{ig}{2M\sqrt2}\phi^+\left(-m^\kappa_e(\bar\nu^\lambda U^{lep}{}_{\lambda\kappa}(1-\gamma^5)e^\kappa) + m^\lambda_\nu(\bar\nu^\lambda U^{lep}{}_{\lambda\kappa}(1+\gamma^5)e^\kappa\right) + \\
\frac{ig}{2M\sqrt2}\phi^-\left(m^\lambda_e(\bar e^\lambda U^{lep\dagger}{}_{\lambda\kappa}(1+\gamma^5)\nu^\kappa) - m^\kappa_\nu(\bar e^\lambda U^{lep\dagger}{}_{\lambda\kappa}(1-\gamma^5)\nu^\kappa\right) - \frac g2\frac{m^\lambda_\nu}{M}H(\bar\nu^\lambda\nu^\lambda) - \\
\frac g2\frac{m^\lambda_e}{M}H(\bar e^\lambda e^\lambda) + \frac{ig}{2}\frac{m^\lambda_\nu}{M}\phi^0(\bar\nu^\lambda\gamma^5\nu^\lambda) - \frac{ig}{2}\frac{m^\lambda_e}{M}\phi^0(\bar e^\lambda\gamma^5 e^\lambda) - \frac14\,\bar\nu_\lambda\, M^R_{\lambda\kappa}\,(1-\gamma_5)\hat\nu_\kappa - \\
\frac14\,\bar\nu_\lambda\, M^R_{\lambda\kappa}\,(1-\gamma_5)\hat\nu_\kappa + \frac{ig}{2M\sqrt2}\phi^+\left(-m^\kappa_d(\bar u^\lambda_j C_{\lambda\kappa}(1-\gamma^5)d^\kappa_j) + m^\lambda_u(\bar u^\lambda_j C_{\lambda\kappa}(1+\gamma^5)d^\kappa_j\right) + \\
\frac{ig}{2M\sqrt2}\phi^-\left(m^\lambda_d(\bar d^\lambda_j C^\dagger_{\lambda\kappa}(1+\gamma^5)u^\kappa_j) - m^\kappa_u(\bar d^\lambda_j C^\dagger_{\lambda\kappa}(1-\gamma^5)u^\kappa_j\right) - \frac g2\frac{m^\lambda_u}{M}H(\bar u^\lambda_j u^\lambda_j) - \\
\frac g2\frac{m^\lambda_d}{M}H(\bar d^\lambda_j d^\lambda_j) + \frac{ig}{2}\frac{m^\lambda_u}{M}\phi^0(\bar u^\lambda_j\gamma^5 u^\lambda_j) - \frac{ig}{2}\frac{m^\lambda_d}{M}\phi^0(\bar d^\lambda_j\gamma^5 d^\lambda_j) + \bar G^a\partial^2 G^a + g_s f^{abc}\partial_\mu\bar G^a G^b g^c_\mu + \\
\bar X^+(\partial^2 - M^2)X^+ + \bar X^-(\partial^2-M^2)X^- + \bar X^0(\partial^2 - \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) + igs_w W^+_\mu(\partial_\mu\bar Y X^- - \partial_\mu\bar X^+ Y) + igc_w W^-_\mu(\partial_\mu\bar X^- X^0 - \\
\partial_\mu\bar X^0 X^+) + igs_w W^-_\mu(\partial_\mu\bar X^- Y - \partial_\mu\bar Y X^+) + igc_w Z^0_\mu(\partial_\mu\bar X^+X^+ - \\
\partial_\mu\bar X^- X^-) + igs_w A_\mu(\partial_\mu\bar X^+ X^+ - \\
\partial_\mu\bar X^- X^-) - \frac12 gM\left(\bar X^+X^+H + \bar X^-X^-H + \frac{1}{c_w^2}\bar X^0X^0H\right) + \frac{1-2c_w^2}{2c_w}igM\left(\bar X^+X^0\phi^+ - \bar X^-X^0\phi^-\right) + \\
\frac{1}{2c_w}igM\left(\bar X^0X^-\phi^+ - \bar X^0X^+\phi^-\right) + igMs_w\left(\bar X^0X^-\phi^+ - \bar X^0X^+\phi^-\right) + \\
\frac12 igM\left(\bar X^+X^+\phi^0 - \bar X^-X^-\phi^0\right) .
\end{gathered}
$$

لاغرانجيان النموذج القياسي

حسناً، نحن نعرف، نحن نعرف، إنها تبدو مجموعة من الهراء، ولكن يمكننا كسر هذه القاعدة.

ما هو اللاغرانجيان في المقام الأول؟ يشرح راشمي شيفيني **Rashmi Shivni** لمجلة سيمتري **Symmetry magazine** الأمر قائلاً: "اللاغرانجيان طريقة خيالية في كتابة معادلة لتحديد حالة نظام متغير، وشرح أقصى طاقة ممكنة يستطيع النظام الحفاظ عليها... على الرغم من مظهرها، فاللاغرانجيان تعد الأسهل والأكثر انضغاطاً لعرض النظرية".

إنها تُجزء كل شيء إلى خمسة أقسام زيادة عن التناظر، لكن للذين يريدون نسخة **CliffsNotes**، فليُلقوا نظرة على هذا الاختصار الذي وضعه فريق في سيرن بمحبة على كوب قهوة:


$\mathcal{L} = -\frac{1}{4} F_{\mu\nu} F^{\mu\nu}$
$+ i \bar{\psi} \not{D} \psi + h.c.$
$+ \psi_i y_{ij} \psi_j \phi + h.c.$
$+ |D_\mu \phi|^2 - V(\phi)$

هذا أقصر قليلاً، لكن لا يزال مبهماً إلى حد ما بالنسبة للغالبية منا، ولذلك دعونا نشرحه مع بعض المساعدة من أشخاص لطيفين في سيرن.

- يصف السطر الأول القوى الموجودة في الكون: الكهرباء والمغناطيسية والقوى النووية الضعيفة والشديدة (**strong and weak nuclear forces**).

- يصف السطر الثاني كيف تؤثر هذه القوى على الجسيمات الأساسية في المادة، وهي الكواركات (**quarks**) واللیبتونات (**leptons**).

- ويصف السطر التالي كيف تحصل تلك الجسيمات على كتلتها من بوزون هيغز (**Higgs boson**). ويوضح الفريق الإعلامي لسيرن: "يمكّن السطر الرابع بوزون هيغز من القيام بالعمل".

إنها مبسطة، لكنها تفي بالعمل. صدقوا أو لا تصدقوا، لكن يمكن لهذه السطور الأربعة القصيرة أن تفسر إلى حد كبير كيفية تصرف كل شيء في الكون. كم هي جميلة!

والأكثر إثارة من ذلك، يعتقد الفيزيائيون أننا قد نكون على وشك اكتشاف فيزياء جديدة خارج النموذج القياسي ـبما في ذلك الجسيمات التي قد تساعد الباحثين في شرح قوى الجاذبية، وهو أمر لا يزال النموذج القياسي عاجز عن أخذه في الحسبان.

لذلك راجع لاغرانجيان النموذج القياسي المختصر أو الكامل، وضعه في الذاكرة لأنه قد لا يكون أفضل "**نظرية كل شيء تقريباً**" إلى الأبد.

- التاريخ: 2016-09-24
- التصنيف: اسأل فلكي أو عالم فيزياء

#بوزون هيغز #النموذج القياسي #الكواركات #اللبتونات #نظرية كل شيء

المصادر

- sciencealert

المساهمون

- ترجمة
  - فارس دعبول
- مُراجعة
  - همام بيطار
- تحرير
  - رضوى نادر
  - أنس الهود
- تصميم
  - نادر النوري
- نشر
  - مي الشاهد