

De cuerdas, partículas y el cosmos

Saúl Ramos-Sánchez

Taller Más allá del Modelo Estándar y Astropartículas

October 1, 2025

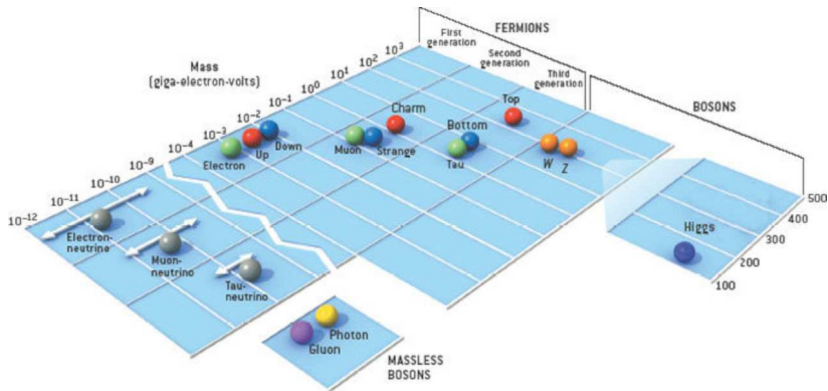
Colaboraciones con

H. Gordillo-Ruiz, M. Hernández-Segura, I. Portillo-Castillo, I. Zavala: 2509.22781

A. Baur, M.-C. Chen, V. Knapp-Pérez: 2409.02178

A. Baur, H.P. Nilles, A. Trautner, P. Vaudrevange: 2112.06940 & 2207.10677

Lo que entendemos: el modelo estándar (SM)



$$\mathcal{G}_{SM} = SU(3)_c \times SU(2)_L \times U(1)_Y \iff \text{QCD} + \text{QED}$$

3 generaciones/sabores de quarks y leptones & Higgs

Necesario fijar 19–28 parámetros libres

Algunas preguntas abiertas

- Queremos explicar {
 - tres sabores/generaciones de partículas elementales
 - patrones y jerarquías de masas de quarks y leptones
 - texturas de mezclas de quarks y leptones
 - naturaleza de neutrinos y generación de masas
 - origen y naturaleza de materia oscura
 - pistas de supersimetría o su inexistencia
 - ...

Textures de mezclas de quarks (CKM) y neutrinos (PMNS)

$$\begin{pmatrix} 0.974 & 0.224 & 0.0039 \\ 0.218 & 0.997 & 0.042 \\ 0.008 & 0.039 & 1.019 \end{pmatrix}_{CKM}, \quad \begin{pmatrix} 0.829 & 0.539 & 0.147 \\ 0.493 & 0.584 & 0.645 \\ 0.262 & 0.607 & 0.75 \end{pmatrix}_{PMNS}$$

$$m_{u,c,t} \sim 2.16, 1270, 172900 \text{ MeV}$$

$$m_{d,s,b} \sim 4.67, 93, 4180 \text{ MeV}$$

$$\Delta m_{21}^2 = 7.4 \cdot 10^{-5}, \Delta m_{31(23)}^2 \approx 2.5 \cdot 10^{-3} \text{ eV}^2$$

$$m_{e,\mu,\tau} \sim 0.511, 105.7, 1776.9 \text{ MeV}$$

normal ordering

Lo que entendemos: el modelo cosmológico



Cosmología = relatividad + princ. cosmológico + inflación 😊

68% energía oscura + 27% materia oscura (DM) + 5% SM

Energía oscura parece dinámica

DES (2401.02929), DESI (2503.14738)

El Taller





Módulos

Cuerdas

Supersimetría

**Simetrías
modulares**

**dimensiones
extra**

**Simetrías
discretas**

Partículas extra

Teoría de cuerdas para pragmatistas y agnósticos

Estructura teórica con **herramientas** consistentes para resolver problemas de física de **partículas elementales y cosmología**



**Problemas en
partículas y cosmología**



Las herramientas de la teoría de cuerdas

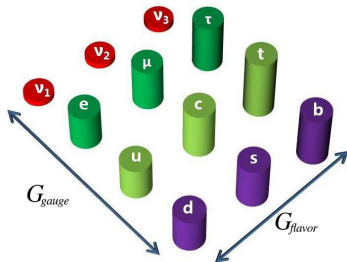
Estructura teórica con herramientas consistentes para resolver problemas de física de partículas elementales y cosmología

Las herramientas:

- supersimetría
- 6 dimensiones extra $\rightarrow$ compactificar en orbifolds toroidales
- $\Rightarrow$ simetrías y partículas del SM
- $\Rightarrow$ simetrías modulares $SL(2, \mathbb{Z})$ y sus cocientes
- $\Rightarrow$ módulos: partículas/campos que describen tamaños y formas
- $\Rightarrow$ simetrías discretas de sabor
- $\Rightarrow$ partículas escalares y axiones
- $\Rightarrow$ simetrías R extra

Simetrías tradicionales + modulares = simetría ecléctica

Tradicional: simetrías discretas no Abelianas de sabor $G_{tradicional}$



Campos se transforman como $\phi \rightarrow \underbrace{\rho_\phi(g)}_{\text{rep de } g} \phi, g \in G_{tradicional} = D_8, \Delta(54), \dots$

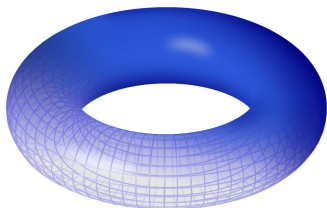
Simetrías tradicionales + modulares = simetría ecléctica

Tradicional: simetrías discretas no Abelianas de sabor $G_{\text{tradicional}}$

Campos se transforman como $\phi \rightarrow \underbrace{\rho_\phi(g)}_{\text{rep de } g} \phi, g \in G_{\text{tradicional}} = D_8, \Delta(54), \dots$

Modular: acopl. de Yukawa son formas modulares $Y = Y(T)$

$Y(T) \rightarrow Y(\gamma T) = (cT+d)^{n_Y} \rho_Y(\gamma) Y(T), \gamma \in \Gamma = \text{SL}(2, \mathbb{Z}), \rho_Y \in \Gamma_N, \Gamma'_N$



Simetrías tradicionales + modulares = simetría ecléctica

Tradicional: simetrías discretas no Abelianas de sabor $G_{tradicional}$

Campos se transforman como $\phi \rightarrow \underbrace{\rho_\phi(g)}_{\text{rep de } g} \phi, g \in G_{tradicional} = D_8, \Delta(54), \dots$

Modular: acopl. de Yukawa son formas modulares $Y = Y(T)$

$$Y(T) \rightarrow Y(\gamma T) = (cT + d)^{n_Y} \rho_Y(\gamma) Y(T), \gamma \in \Gamma = \text{SL}(2, \mathbb{Z}), \rho_Y \in \Gamma_N, \Gamma'_N$$

Campos se transforman parecido: $\phi \rightarrow \underbrace{(cT + d)^{n_\phi}}_{\text{automorfía}} \rho_\phi(\gamma) \phi$

Simetrías tradicionales + modulares = simetría ecléctica

Tradicional: simetrías discretas no Abelianas de sabor $G_{tradicional}$

Campos se transforman como $\phi \rightarrow \underbrace{\rho_\phi(g)}_{\text{rep de } g} \phi, g \in G_{tradicional} = D_8, \Delta(54), \dots$

Modular: acopl. de Yukawa son formas modulares $Y = Y(T)$

$$Y(T) \rightarrow Y(\gamma T) = (cT + d)^{n_Y} \rho_Y(\gamma) Y(T), \gamma \in \Gamma = \text{SL}(2, \mathbb{Z}), \rho_Y \in \Gamma_N, \Gamma'_N$$

Campos se transforman parecido: $\phi \rightarrow (cT + d)^{n_\phi} \rho_\phi(\gamma) \phi$

$\Rightarrow$ grupos modulares finitos = simetría modular de sabor $G_{modular}$

Simetrías tradicionales + modulares = simetría ecléctica

Tradicional: simetrías discretas no Abelianas de sabor $G_{tradicional}$

Campos se transforman como $\phi \rightarrow \underbrace{\rho_\phi(g)}_{\text{rep de } g} \phi, g \in G_{tradicional} = D_8, \Delta(54), \dots$

Modular: acopl. de Yukawa son formas modulares $Y = Y(T)$

$$Y(T) \rightarrow Y(\gamma T) = (cT + d)^{n_Y} \rho_Y(\gamma) Y(T), \gamma \in \Gamma = \text{SL}(2, \mathbb{Z}), \rho_Y \in \Gamma_N, \Gamma'_N$$

Campos se transforman parecido: $\phi \rightarrow (cT + d)^{n_\phi} \rho_\phi(\gamma) \phi$

$\Rightarrow$ grupos modulares finitos = simetría modular de sabor $G_{modular}$

$$\bullet \Gamma_N \cong S_3, A_4, S_4, A_5, \quad \text{o bien,} \quad \Gamma'_N \cong S_3, T', \text{SL}(2, 4), \text{SL}(2, 5)$$

Simetrías tradicionales + modulares = simetría ecléctica

Tradicional: simetrías discretas no Abelianas de sabor $G_{tradicional}$

Campos se transforman como $\phi \rightarrow \underbrace{\rho_\phi(g)}_{\text{rep de } g} \phi, g \in G_{tradicional} = D_8, \Delta(54), \dots$

Modular: acopl. de Yukawa son formas modulares $Y = Y(T)$

$Y(T) \rightarrow Y(\gamma T) = (cT + d)^{n_Y} \rho_Y(\gamma) Y(T), \gamma \in \Gamma = \text{SL}(2, \mathbb{Z}), \rho_Y \in \Gamma_N, \Gamma'_N$

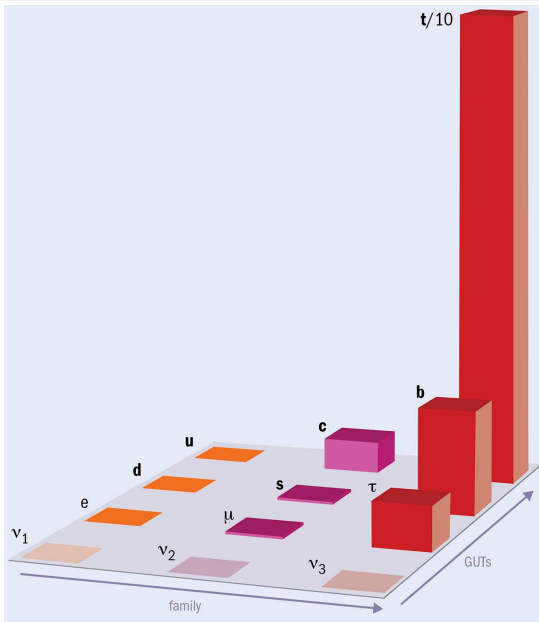
Campos se transforman parecido: $\phi \rightarrow (cT + d)^{n_\phi} \rho_\phi(\gamma) \phi$

$\Rightarrow$ grupos modulares finitos = simetría modular de sabor $G_{modular}$

• $\Gamma_N \cong S_3, A_4, S_4, A_5,$ o bien, $\Gamma'_N \cong S_3, T', \text{SL}(2, 4), \text{SL}(2, 5)$

Esquema Ecléctico: tradicional + modular en teoría de cuerdas 😊

Física *más allá del modelo estándar*



Primer modelo de cuerdas con fenomenología ecléctica

Baur, Nilles, SRS, Trautner, Vaudrevange: 2112.06940, 2207.10677

Modelo de cuerdas explícito

- Hay sector $\mathbb{T}^2/\mathbb{Z}_3$ con $\Delta(54) \cup T'$
y propiedades de quarks y leptones fijadas por la teoría (not *ad hoc*):
Baur, Nilles, SRS, Trautner, Vaudrevange (2112.06940, 2207.10677)

	quarks and leptons						Higgs fields	
label	q	$\bar{u}$	$\bar{d}$	ℓ	$\bar{e}$	$\bar{\nu}$	H_u	H_d
$SU(3)_c$	3	$\bar{3}$	$\bar{3}$	1	1	1	1	1
$SU(2)_L$	2	1	1	2	1	1	2	2
$U(1)_Y$	$1/6$	$-2/3$	$1/3$	$-1/2$	1	0	$1/2$	$-1/2$
$\Delta(54)$	3_2	3_2	3_2	3_2	3_2	3_2	1	1
T'	$2' \oplus 1$	$2' \oplus 1$	$2' \oplus 1$	$2' \oplus 1$	$2' \oplus 1$	$2' \oplus 1$	1	1
n	$-2/3$	$-2/3$	$-2/3$	$-2/3$	$-2/3$	$-2/3$	0	0

Modelo de cuerdas explícito

- Hay sector $\mathbb{T}^2/\mathbb{Z}_3$ con $\Delta(54) \cup T'$
y propiedades de quarks y leptones fijadas por la teoría (not *ad hoc*):
Baur, Nilles, SRS, Trautner, Vaudrevange (2112.06940, 2207.10677)

	quarks and leptons						Higgs fields	
label	q	$\bar{u}$	$\bar{d}$	ℓ	$\bar{e}$	$\bar{\nu}$	H_u	H_d
$SU(3)_c$	3	3	3	1	1	1	1	1
$SU(2)_L$	2	1	1	2	1	1	2	2
$U(1)_Y$	$1/6$	$-2/3$	$1/3$	$-1/2$	1	0	$1/2$	$-1/2$
$\Delta(54)$	3₂	3₂	3₂	3₂	3₂	3₂	1	1
T'	$\mathbf{2}' \oplus \mathbf{1}$	$\mathbf{2}' \oplus \mathbf{1}$	$\mathbf{2}' \oplus \mathbf{1}$	$\mathbf{2}' \oplus \mathbf{1}$	$\mathbf{2}' \oplus \mathbf{1}$	$\mathbf{2}' \oplus \mathbf{1}$	1	1
n	$-2/3$	$-2/3$	$-2/3$	$-2/3$	$-2/3$	$-2/3$	0	0

- flavons/sabrosones rompen la simetría de sabor ecléctica

flavons							
φ_e	φ_u	φ_ν	ϕ^0	ϕ_M^0	ϕ_e^0	ϕ_u^0	ϕ_d^0
1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1
0	0	0	0	0	0	0	0
3₂	3₂	3₂	1	1	1	1	1
$\mathbf{2}' \oplus \mathbf{1}$	$\mathbf{2}' \oplus \mathbf{1}$	$\mathbf{2}' \oplus \mathbf{1}$	1	1	1	1	1
$-2/3$	$-2/3$	$-2/3$	0	0	0	0	0

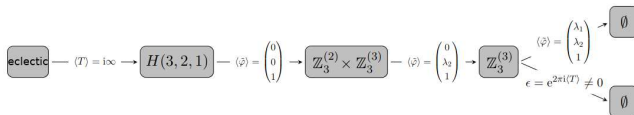
Modelo de cuerdas explícito

- Hay sector $\mathbb{T}^2/\mathbb{Z}_3$ con $\Delta(54) \cup T'$
y propiedades de quarks y leptones fijadas por la teoría (not *ad hoc*):
Baur, Nilles, SRS, Trautner, Vaudrevange (2112.06940, 2207.10677)

	quarks and leptons						Higgs fields	
label	q	$\bar{u}$	$\bar{d}$	ℓ	$\bar{e}$	$\bar{\nu}$	H_u	H_d
$SU(3)_c$	3	3	3	1	1	1	1	1
$SU(2)_L$	2	1	1	2	1	1	2	2
$U(1)_Y$	$1/6$	$-2/3$	$1/3$	$-1/2$	1	0	$1/2$	$-1/2$
$\Delta(54)$	3₂	3₂	3₂	3₂	3₂	3₂	1	1
T'	$2' \oplus 1$	$2' \oplus 1$	$2' \oplus 1$	$2' \oplus 1$	$2' \oplus 1$	$2' \oplus 1$	1	1
n	$-2/3$	$-2/3$	$-2/3$	$-2/3$	$-2/3$	$-2/3$	0	0

- flavons/sabrososones rompen la simetría de sabor ecléctica

flavons							
φ_e	φ_u	φ_ν	ϕ^0	ϕ_M^0	ϕ_e^0	ϕ_u^0	ϕ_d^0
1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1
0	0	0	0	0	0	0	0
3₂	3₂	3₂	1	1	1	1	1
$2' \oplus 1$	$2' \oplus 1$	$2' \oplus 1$	1	1	1	1	1
$-2/3$	$-2/3$	$-2/3$	0	0	0	0	0



Modelo de cuerdas explícito

Después de

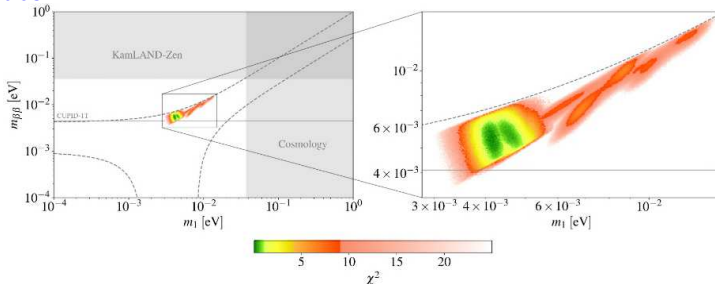
- escribir la acción correspondiente: $\mathcal{W}, K$
- fijar **a mano** el valor del campo modular ($\langle T \rangle \sim 3i$ “cerca” de $i\infty$), y
- calcular las interacciones efectivas entre partículas (con 20 params)

Modelo de cuerdas explícito

Después de

- escribir la acción correspondiente: $\mathcal{W}, K$
- fijar **a mano** el valor del campo modular ($\langle T \rangle \sim 3i$ “cerca” de $i\infty$), y
- calcular las interacciones efectivas entre partículas (con 20 params)

Resultados:



Modelo de cuerdas explícito

Resultados:

parameter	best-fit value	
superpotential	$\text{Im} \langle T \rangle$	3.195
	$\text{Re} \langle T \rangle$	0.02279
	$\langle \tilde{\varphi}_{u,1} \rangle$	$2.0332 \cdot 10^{-4}$
	$\langle \tilde{\varphi}_{u,1} \rangle$	1.6481
	$\langle \tilde{\varphi}_{u,2} \rangle$	$6.3011 \cdot 10^{-2}$
	$\langle \tilde{\varphi}_{u,2} \rangle$	-1.5983
	$\langle \tilde{\varphi}_{e,1} \rangle$	$-4.069 \cdot 10^{-5}$
	$\langle \tilde{\varphi}_{e,2} \rangle$	$5.833 \cdot 10^{-2}$
	$\langle \tilde{\varphi}_{\nu,1} \rangle$	$1.224 \cdot 10^{-3}$
	$\langle \tilde{\varphi}_{\nu,2} \rangle$	-0.9857
Λ_ν [eV]	0.05629	
Kähler potential	α_1^u	-0.94917
	α_2^u	0.0016906
	α_3^u	0.31472
	α_1^d	0.95067
	α_2^d	0.0077533
	α_3^d	0.30283
	α_1^q	-0.96952
	α_2^q	-0.20501
	α_3^q	0.041643

(a)

	observable	model best fit	exp. best fit	exp. 1σ interval
quark sector	m_u/m_e	0.00193	0.00193	$0.00133 \rightarrow 0.00253$
	m_c/m_t	0.00280	0.00282	$0.00270 \rightarrow 0.00294$
	m_d/m_s	0.0505	0.0505	$0.0443 \rightarrow 0.0567$
	m_s/m_b	0.0182	0.0182	$0.0172 \rightarrow 0.0192$
	ϑ_{12} [deg]	13.03	13.03	$12.98 \rightarrow 13.07$
	ϑ_{13} [deg]	0.200	0.200	$0.193 \rightarrow 0.207$
	ϑ_{23} [deg]	2.30	2.30	$2.26 \rightarrow 2.34$
	δ_{CP}^q [deg]	69.2	69.2	$66.1 \rightarrow 72.3$
lepton sector	m_e/m_μ	0.00473	0.00474	$0.00470 \rightarrow 0.00478$
	m_μ/m_τ	0.0586	0.0586	$0.0581 \rightarrow 0.0590$
	$\sin^2 \theta_{12}$	0.303	0.304	$0.292 \rightarrow 0.316$
	$\sin^2 \theta_{13}$	0.0225	0.0225	$0.0218 \rightarrow 0.0231$
	$\sin^2 \theta_{23}$	0.449	0.450	$0.434 \rightarrow 0.469$
	δ_{CP}^l/π	1.28	1.28	$1.14 \rightarrow 1.48$
	η_1/π	0.029	-	-
	η_2/π	0.994	-	-
	J_{CP}	-0.026	-0.026	$-0.033 \rightarrow -0.016$
	J_{CP}^{max}	0.0335	0.0336	$0.0329 \rightarrow 0.0341$
	$\Delta m_{21}^2/10^{-5}$ [eV ²]	7.39	7.42	$7.22 \rightarrow 7.63$
	$\Delta m_{31}^2/10^{-3}$ [eV ²]	2.521	2.510	$2.483 \rightarrow 2.537$
	m_1 [eV]	0.0042	<0.037	-
	m_2 [eV]	0.0095	-	-
	m_3 [eV]	0.0504	-	-
	$\sum_i m_i$ [eV]	0.0641	<0.120	-
	$m_{\beta\beta}$ [eV]	0.0055	<0.036	-
	m_β [eV]	0.0099	<0.8	-
χ^2		0.11		



Quintaesencia con sabor y cuerdas

Gordillo-Ruiz, Hernández-Segura, Portillo-Castillo, SRS, Zavala: 2509.22781

1) Modelo de Quintaesencia

- Dos módulos complejos: T y dilatón S
- Superpotencial efectivo:

$$W(S, T) \sim \lambda_1 Y_1(T) + \lambda_2 Y_2(T) + \alpha_1(T) e^{-\beta_1 S} + \alpha_2(T) e^{-\beta_2 S}$$

$Y_1(T), Y_2(T), \alpha_1(T), \alpha_2(T)$: formas modulares calculables

- Potencial de Kähler:

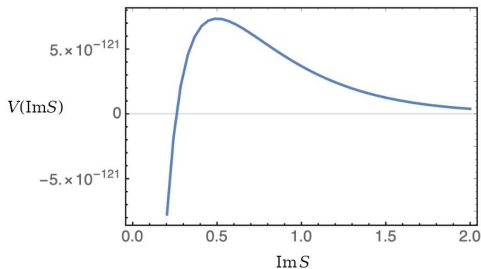
$$K(S, T) = -\log [S + \bar{S} - \chi \log(i\bar{T} - iT)] - \log(i\bar{T} - iT)$$

- $\Rightarrow$ Potencial escalar:

$$V(\text{Re } S, \text{Im } S, \text{Re } T, \text{Im } T) = e^K \left[K^{A\bar{B}} D_A W D_{\bar{B}} \bar{W} - 3|W|^2 \right]$$

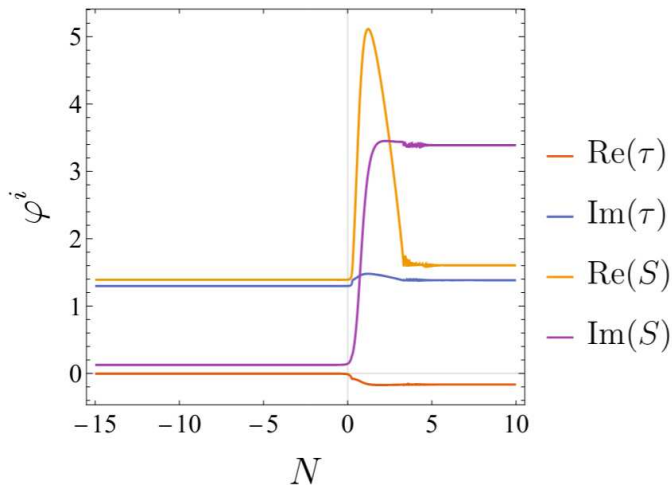
1) Modelo de Quintaesencia con axiones

- Potencial de quintaesencia con el axión $\text{Im } S$



1) Modelo de Quintaesencia con axiones

- Potencial de **quintaesencia** con el axión $\text{Im } S$
- $\Rightarrow$ Dinámica cosmológica controlada por FLRW

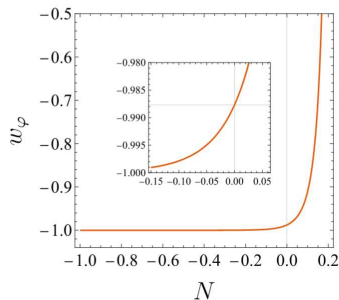
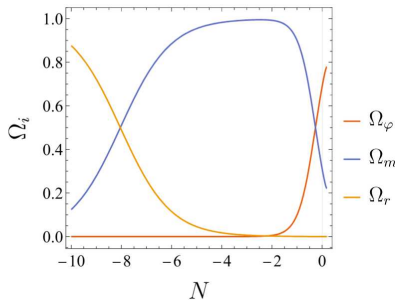


1) Modelo de Quintaesencia con axiones

- Potencial de quintaesencia con el axión $\text{Im } S$
- $\Rightarrow$ Dinámica cosmológica controlada por FLRW
- $\Rightarrow \langle T \rangle$ estable y $g^2 \sim \text{Re } S^{-1}$ estable y perturbativo 😊

1) Modelo de Quintaesencia con axiones

- Potencial de **quintaesencia** con el axión $\text{Im } S$
- $\Rightarrow$ Dinámica cosmológica controlada por FLRW
- $\Rightarrow \langle T \rangle$ **estable** y $g^2 \sim \text{Re } S^{-1}$ estable y perturbativo 😊
- $\Rightarrow$ Abundancias Ω_i y ec. de estado w_φ correctas! 😊



$$\Omega_{\varphi,0} \sim 0.68, \Omega_{m,0} \sim 0.28, \Omega_{r,0} \sim 0, \quad w_{\varphi,0} \sim -0.99$$

1) Modelo de Quintaesencia con axiones

- Potencial de quintaesencia con el axión $\text{Im } S$
- $\Rightarrow$ Dinámica cosmológica controlada por FLRW
- $\Rightarrow \langle T \rangle$ estable y $g^2 \sim \text{Re } S^{-1}$ estable y perturbativo 😊
- $\Rightarrow$ Abundancias Ω_i y ec. de estado w_φ correctas! 😊

$$\Omega_{\varphi,0} \sim 0.68, \Omega_{m,0} \sim 0.28, \Omega_{r,0} \sim 0, \quad w_{\varphi,0} \sim -0.99$$

- PERO
 - ajuste hiper-mega-ultra fino de $\Lambda := \langle V \rangle$ no resuelto 😞
 - masas de módulos muy ligeras 😞
 - w_φ sólo crece vs. “otros datos” de DESI 😞

Materia oscura con sabor y cuerdas

Baur, Chen, Knapp-Pérez, SRS: 2409.02178

2) Materia oscura modularmente sabrosa con SUSY

Inspirados por el modelo con $\Gamma'_3 \cong T'$, proponemos:

	L	(E_1^c, E_2^c, E_3^c)	H_d	H_u	ϕ_3	$\phi_{1'}$	ζ_3	$\zeta_{1''}$	$Y(T)$
$SU(2)_L$	2	1	2	2	1	1	1	1	1
$U(1)_Y$	$-\frac{1}{2}$	1	$-\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	0	0	0	0	0
$\Gamma_3 \cong A_4$	3	$(1, 1'', 1')$	1	1	3	1'	3	1''	3
k_i	1	0	-1	0	0	0	0	0	2
$U(1)_R$	1	1	0	0	0	0	2	2	0
$\mathbb{Z}_2$	0	0	0	0	0	-1	0	-1	0

Clave: simetría modular & sabrosos $\phi_3, \phi_{1'}$ + driving fields $\zeta_3, \zeta_{1''}$

Baur, Chen, Knapp-Pérez, SRS: 2409.02178

2) Materia oscura modularmente sabrosa con SUSY

Inspirados por el modelo con $\Gamma'_3 \cong T'$, proponemos:

	L	(E_1^c, E_2^c, E_3^c)	H_d	H_u	ϕ_3	$\phi_{1'}$	ζ_3	$\zeta_{1''}$	$Y(T)$
$SU(2)_L$	2	1	2	2	1	1	1	1	1
$U(1)_Y$	$-\frac{1}{2}$	1	$-\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	0	0	0	0	0
$\Gamma_3 \cong A_4$	3	$(\mathbf{1}, \mathbf{1}'', \mathbf{1}')$	1	1	3	1'	3	1''	3
k_i	1	0	-1	0	0	0	0	0	2
$U(1)_R$	1	1	0	0	0	0	2	2	0
$\mathbb{Z}_2$	0	0	0	0	0	-1	0	-1	0

Clave: simetría modular & sabrosones $\phi_3, \phi_{1'}$ + driving fields $\zeta_3, \zeta_{1''}$

Baur, Chen, Knapp-Pérez, SRS: 2409.02178

Buscamos un modelo de

- masas de leptones
- materia oscura

2) Materia oscura modularmente sabrosa con SUSY

- Acción efectiva para leptones está dada en este modelo por

$$W_L = \frac{1}{\Lambda} H_u L H_u L Y(T) + \frac{\alpha_1}{\Lambda_\phi} E_1^c H_d (L\phi_3)_1 + \frac{\alpha_2}{\Lambda_\phi} E_2^c H_d (L\phi_3)_{1'} + \frac{\alpha_3}{\Lambda_\phi} E_3^c H_d (L\phi_3)_{1''}$$

2) Materia oscura modularmente sabrosa con SUSY

- Acción efectiva para leptones está dada en este modelo por

$$W_L = \frac{1}{\Lambda} H_u L H_u L Y(T) + \frac{\alpha_1}{\Lambda_\phi} E_1^c H_d (L\phi_3)_1 + \frac{\alpha_2}{\Lambda_\phi} E_2^c H_d (L\phi_3)_{1'} + \frac{\alpha_3}{\Lambda_\phi} E_3^c H_d (L\phi_3)_{1''}$$

Parámetros ajustados: $\alpha_i, \Lambda, \Lambda_\phi, \langle\phi_3\rangle, \tan\beta$

observables	best-fit values
m_e/m_μ	0.00473 ± 0.00004
m_μ/m_τ	0.0450 ± 0.0007
y_τ	0.795 ± 0.012
$\Delta m_{21}^2/10^{-5} [\text{eV}^2]$	$7.41_{-0.20}^{+0.21}$
$\Delta m_{32}^2/10^{-3} [\text{eV}^2]$	$-2.487_{-0.024}^{+0.027}$
$\sin^2 \theta_{12}$	$0.307_{-0.011}^{+0.012}$
$\sin^2 \theta_{13}$	$0.02222_{-0.00057}^{+0.00069}$
$\sin^2 \theta_{23}$	$0.568_{-0.021}^{+0.016}$
δ_{CP}^ℓ/π	$1.52_{-0.15}^{+0.13}$

2) Materia oscura modularmente sabrosa con SUSY

- Acción efectiva para leptones está dada en este modelo por

$$W_L = \frac{1}{\Lambda} H_u L H_u L Y(T) + \frac{\alpha_1}{\Lambda_\phi} E_1^c H_d (L\phi_3)_1 + \frac{\alpha_2}{\Lambda_\phi} E_2^c H_d (L\phi_3)_{1'} + \frac{\alpha_3}{\Lambda_\phi} E_3^c H_d (L\phi_3)_{1''}$$

- Acción para sabrosos está dada en este modelo por

$$W_\phi = \Lambda_\phi \beta_1 \zeta_3 \phi_3 + \beta_2 \zeta_3 \phi_3 \phi_3 + \frac{\beta_3}{\Lambda_\phi} \zeta_3 \phi_3 \phi_3 \phi_3 + \Lambda_\phi \beta_4 \zeta_{1''} \phi_{1'} + \frac{\beta_5}{\Lambda_\phi} \zeta_{1''} \phi_{1'} \phi_3 \phi_3 \\ + \frac{\beta_6}{\Lambda_\phi} \zeta_3 \phi_3 \phi_{1'} \phi_{1'} ,$$

2) Materia oscura modularmente sabrosa con SUSY

- Acción efectiva para leptones está dada en este modelo por

$$W_L = \frac{1}{\Lambda} H_u L H_u L Y(T) + \frac{\alpha_1}{\Lambda_\phi} E_1^c H_d (L\phi_3)_1 + \frac{\alpha_2}{\Lambda_\phi} E_2^c H_d (L\phi_3)_{1'} + \frac{\alpha_3}{\Lambda_\phi} E_3^c H_d (L\phi_3)_{1''}$$

- Acción para sabrosos está dada en este modelo por

$$W_\phi = \Lambda_\phi \beta_1 \zeta_3 \phi_3 + \beta_2 \zeta_3 \phi_3 \phi_3 + \frac{\beta_3}{\Lambda_\phi} \zeta_3 \phi_3 \phi_3 \phi_3 + \Lambda_\phi \beta_4 \zeta_{1''} \phi_{1'} + \frac{\beta_5}{\Lambda_\phi} \zeta_{1''} \phi_{1'} \phi_3 \phi_3 \\ + \frac{\beta_6}{\Lambda_\phi} \zeta_3 \phi_3 \phi_{1'} \phi_{1'} ,$$

DM = combinación ligera de fermiones de sabrosos y driving fields

→ materia oscura “con sabor modular” (modular-flavored DM)

Abundancia Ω_{DM} correcta sólo mediante mecanismo de producción *freeze-in*

Funciona! 😊

Para llevarse a casa...

En resumen

Para llevarse a casa...

- Teoría de **cuerdas provee simetrías** que restringen acción efectiva
Física de partículas y cosmología calculable y distinta

Para llevarse a casa...

- Teoría de **cuerdas provee simetrías** que restringen acción efectiva
Física de partículas y cosmología calculable y distinta
- Simetrías de sabor: **eclécticas** = tradicionales $\cup$ modulares

Para llevarse a casa...

- Teoría de **cuerdas provee simetrías** que restringen acción efectiva
Física de partículas y cosmología calculable y distinta
- Simetrías de sabor: **eclécticas** = tradicionales $\cup$ modulares
- **Escenario muy restrictivo**: representaciones, cargas, interacciones, acoplamientos **determinados totalmente por la geometría**

Para llevarse a casa...

- Teoría de **cuerdas provee simetrías** que restringen acción efectiva
Física de partículas y cosmología calculable y distinta
- Simetrías de sabor: **eclécticas** = tradicionales $\cup$ modulares
- **Escenario muy restrictivo**: representaciones, cargas, interacciones, acoplamientos **determinados totalmente por la geometría**
- **Primer modelo de cuerdas** para cálculo preciso de masas y mezclas de quarks y leptones

Para llevarse a casa...

- Teoría de **cuerdas provee simetrías** que restringen acción efectiva
Física de partículas y cosmología calculable y distinta
- Simetrías de sabor: **eclécticas** = tradicionales $\cup$ modulares
- **Escenario muy restrictivo**: representaciones, cargas, interacciones, acoplamientos **determinados totalmente por la geometría**
- **Primer modelo de cuerdas** para cálculo preciso de masas y mezclas de quarks y leptones
- **Quintaesencia**: energía oscura dinámica controlada por simetrías de cuerdas

Para llevarse a casa...

- Teoría de **cuerdas provee simetrías** que restringen acción efectiva
Física de partículas y cosmología calculable y distinta
- Simetrías de sabor: **eclécticas** = tradicionales $\cup$ modulares
- **Escenario muy restrictivo**: representaciones, cargas, interacciones, acoplamientos **determinados totalmente por la geometría**
- **Primer modelo de cuerdas** para cálculo preciso de masas y mezclas de quarks y leptones
- **Quintaesencia**: energía oscura dinámica controlada por simetrías de cuerdas
- **Modelos de materia oscura** ahora calculables y restringidos por simetrías de cuerdas

Para concluir...

¡Gracias!