

MS wprowadził wiele porządku w świat oddziaływań fundamentalnych:

- cząstki przenoszące oddziaływania (bozony) i symetria cechowania:

$U(1)$ $-e.m. (QED)$ $-foton$

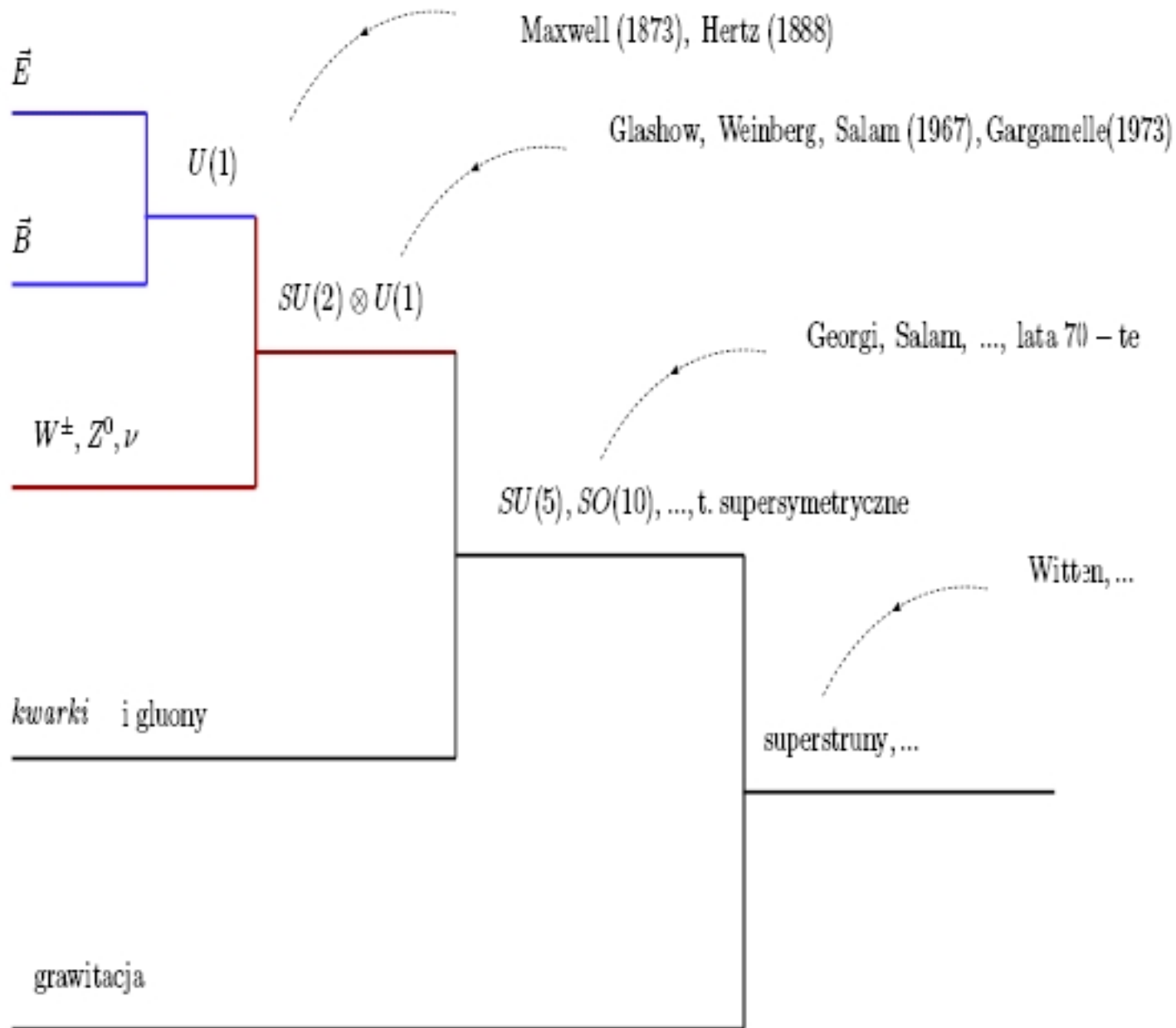
$SU(2)$ $-o. słabe$ $-W^\pm, Z$

$SU(3)$ $-o. silne (QCD)$ $-gluony$

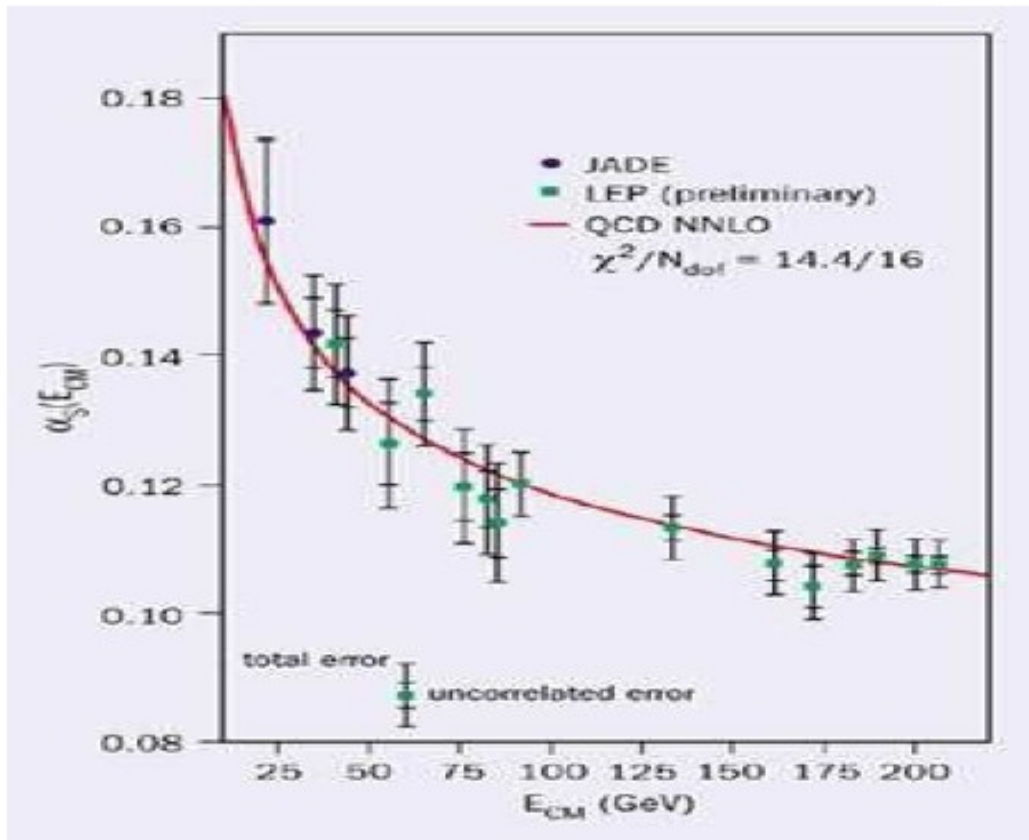
- cząstki materii (fermiony) "włożone" w odpowiednie reprezentacje, np.

$$\begin{pmatrix} \nu_L \\ e_L \end{pmatrix}, \quad \begin{pmatrix} u_L \\ d_L \end{pmatrix}, \quad u_R, d_R, e_R, \nu_R$$

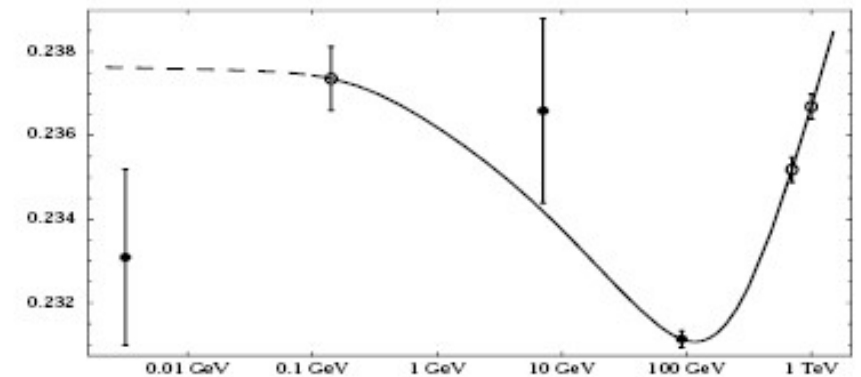
- spontaniczne złamanie symetrii (SSB) w świecie cząstek bezspinowych:
masy cząstek (bozonów i fermionów)



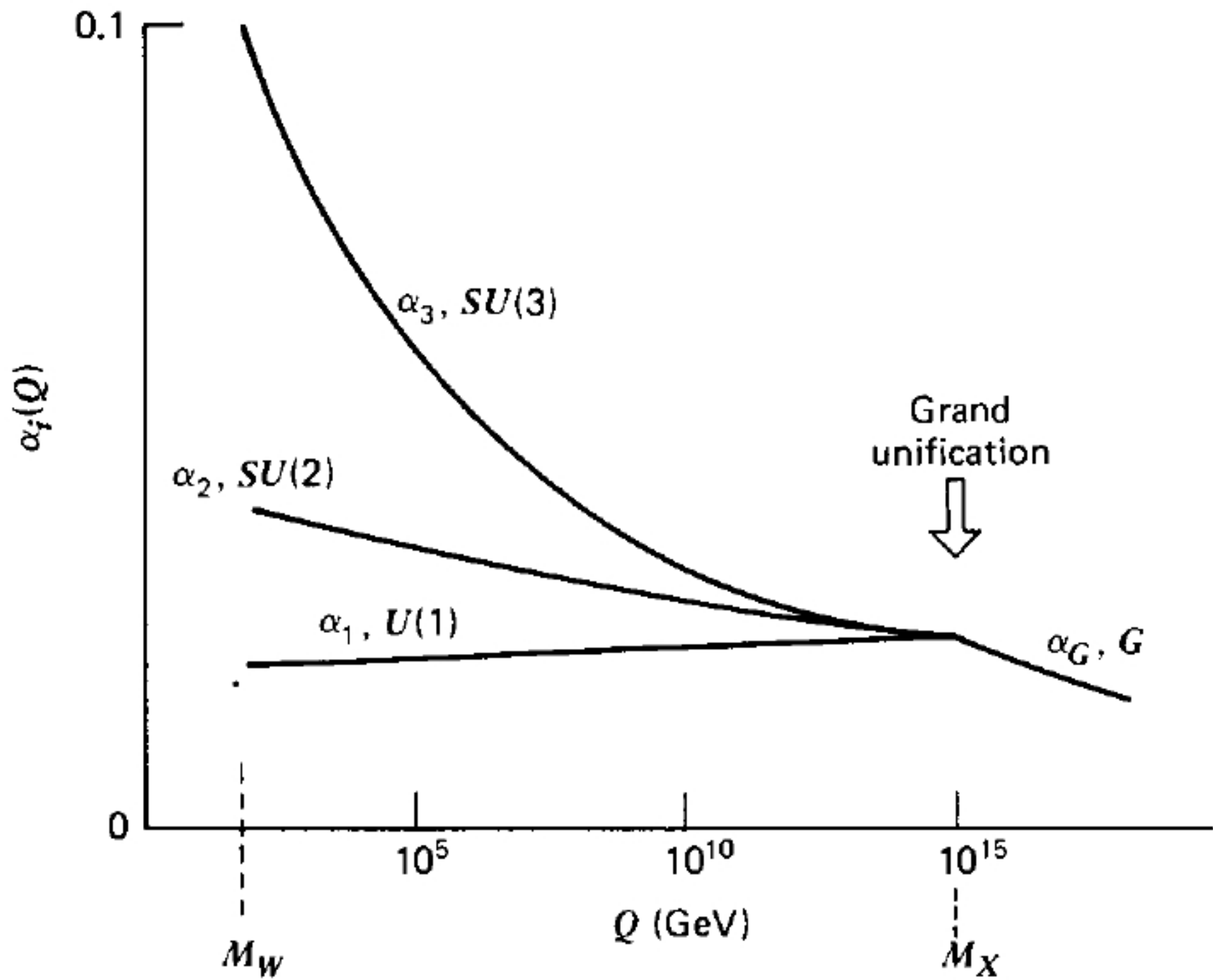
Stałe cechowania (np. ładunek)
nie są w rzeczywistości stałe



Kąt Weinberga $\sin^2 \Theta_W$ w
funkcji energii,
 $0 \rightarrow M_Z \sim 3\%$



↑ NuTeV



Skala X, skala Plancka

- Dla MS biegnące stałe sprzężenia przecinają się w okolicy 10^{15} GeV,
- Grawitacja dołącza się przy około 10^{19} GeV, gdy oddziaływanie grawitacyjne jest porównywalne z masą spoczynkową

$$\frac{GM^2}{r} = 1$$

$$r = \frac{\hbar}{Mc}$$

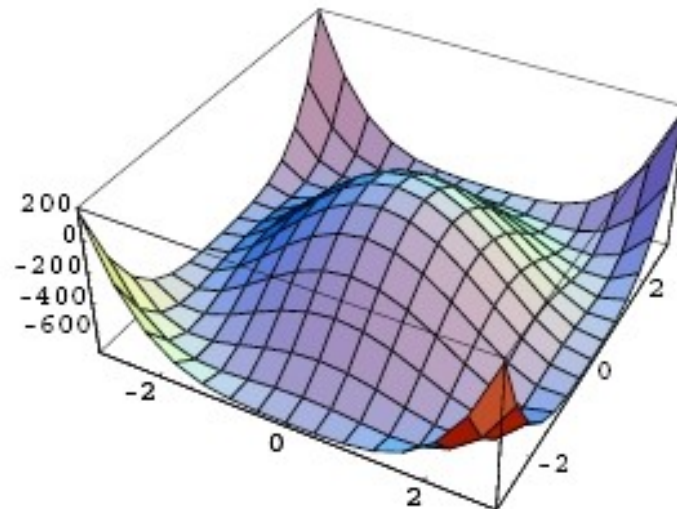
$$Mc^2 = \sqrt{\frac{\hbar c^5}{G}} = 1.2 \cdot 10^{19} \text{ GeV}$$

Sektor Higgsa w MS

$$\Phi \equiv \Phi_{SM} = \begin{pmatrix} \phi^+ \\ \phi^0 \end{pmatrix}$$

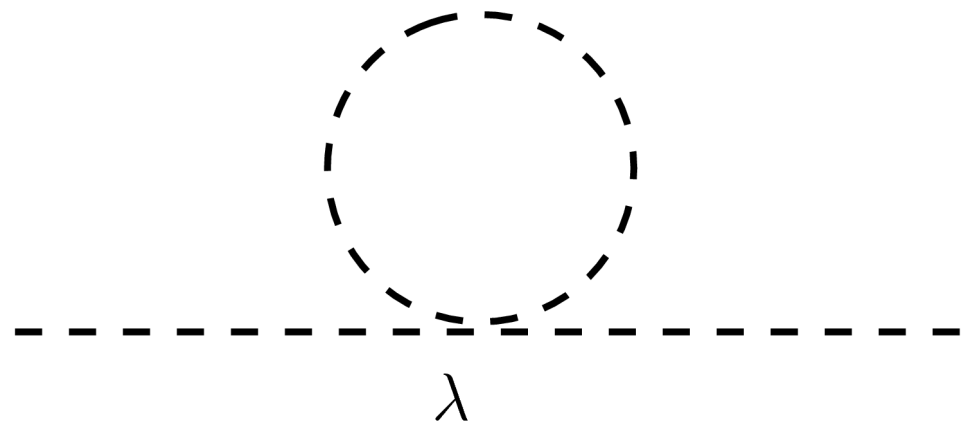
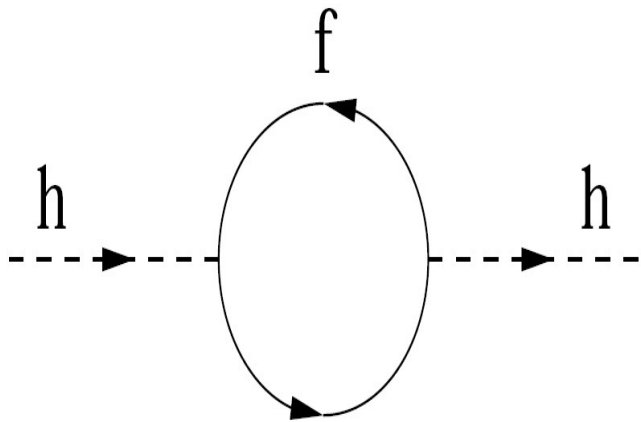
$$V = -\mu^2 \Phi^\dagger \Phi + \lambda (\Phi^\dagger \Phi)^2$$

$$V_{min} = v/\sqrt{2}, v = \sqrt{\mu^2/\lambda} \simeq \mathbf{250 \text{ GeV}}$$



Problem skal (hierarchii)

- Chcemy więc, żeby MS działał w dużych energiach, wtedy poprawka do “drzewowej” masy Higgsa zależy także od parametru λ i inne poprawki radiacyjne, np.



Problem skal (hierarchii)

- Jeśli chcemy, aby teoria obowiązywała aż do 10^{15} GeV, wtedy musimy mieć gigantyczne kasowania między poprawkami do masy wyższych rzędów oraz masą najniższego rzędu w celu uzyskania masy cząstki Higgsa nie większej od 1 TeV (tablica)
- Problem skal dotyczy zdecydowanej większości modeli wielkiej unifikacji (GUT)

Model $SU(5)$

- 24 bozony cechowania, dodatkowe ciężkie X, Y (razem 12 dodatkowych cząstek X, Y)
- Leptony i kwarki wymieszane w multipletach,

$$\begin{pmatrix} d_1 \\ d_2 \\ d_3 \\ e^+ \\ \bar{\nu} \end{pmatrix}_R$$

Kwantyzacja ładunku

- Ponieważ foton jest jednym z bozonów cechowania SU(5), więc ładunek jest generatorem grupy, a one bezładowe, dlatego np.

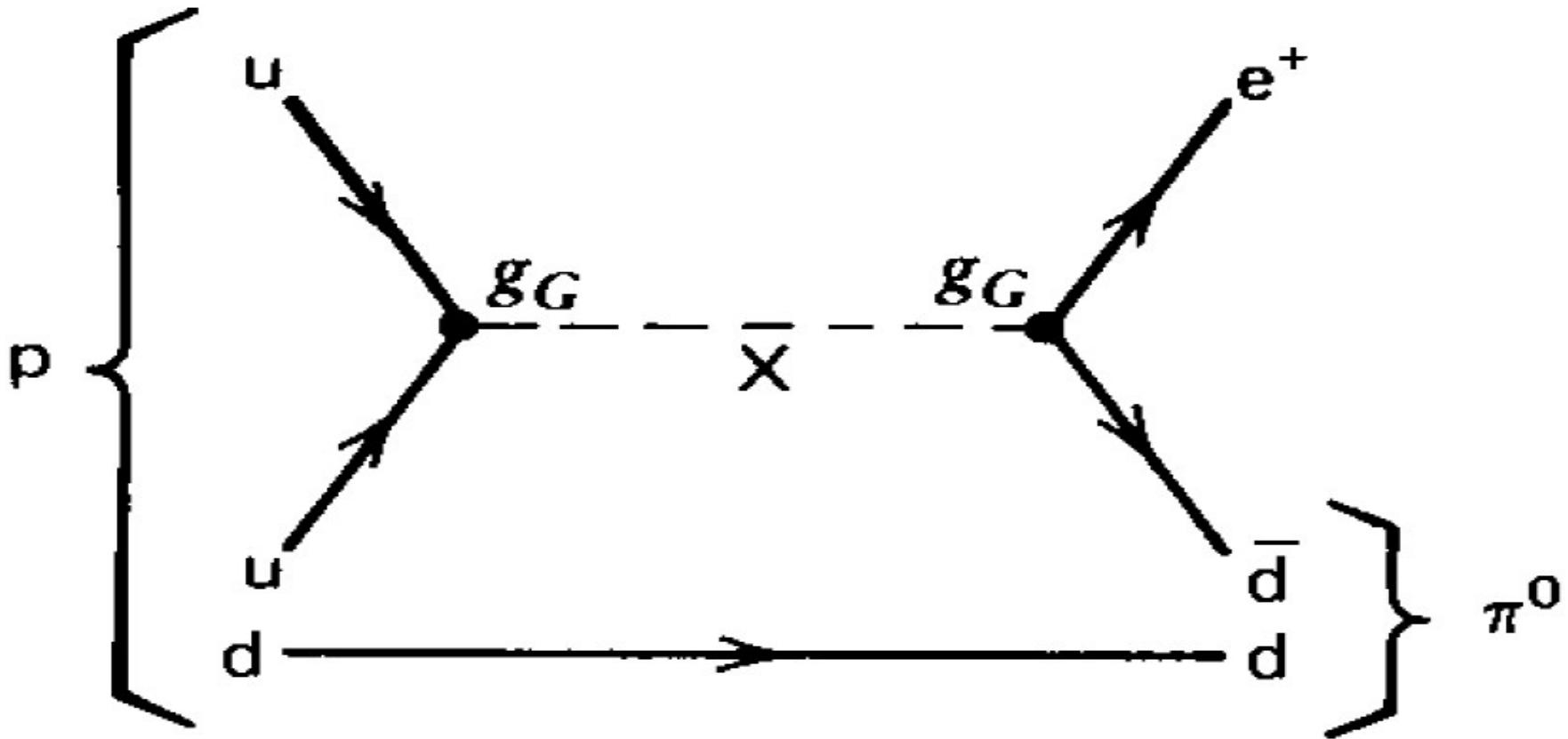
$$\text{Tr}(Q) = 0 = 3Q(d) + Q(e^+) + Q(\bar{\nu})$$

czyli

$$Q(d) = -1/3Q(e^+)$$

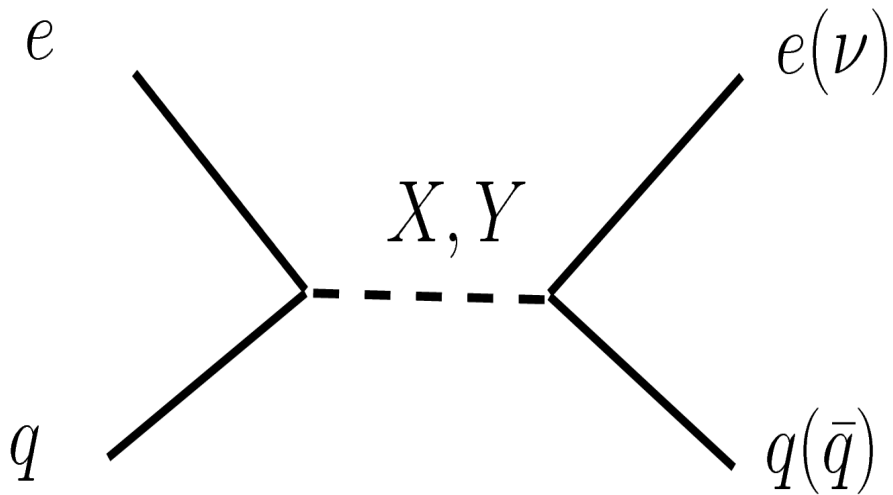
Rozpad protonu

- Nie ma zachowania liczb leptonowej i barionowej
- Obecnie ograniczenie na czas życia $> 10^{33}$ lat

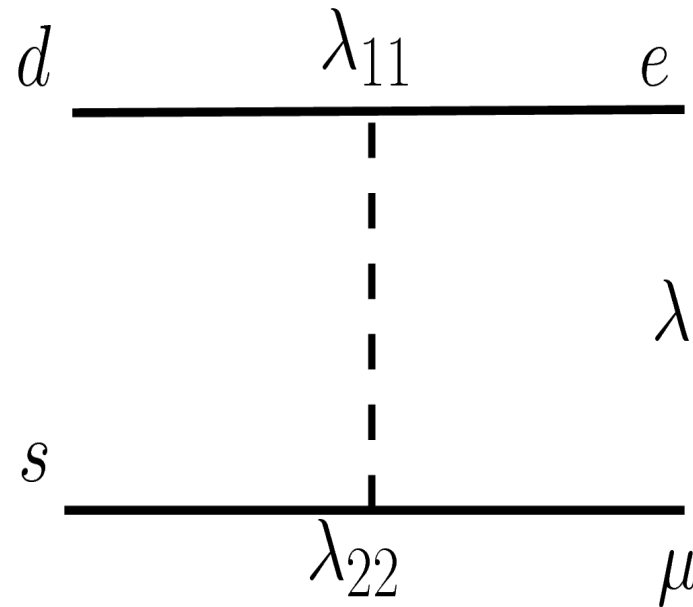


Inne rzadkie reakcje

- leptokwarki



np.HERA



$$\lambda_{11}\lambda_{22} < 10^{-4}$$

$K_L \rightarrow \mu e$

Inne modele typu GUT

- Najprostszy SU(5) model wykluczony, możliwe ratowanie modelu np. przez dołożenie cząstek o masach pośrednich (a najlepiej rzędu TeV)
- Są więc oczywiście inne modele, np. Model(e) o symetrii lewo prawej
- Mają one szereg interesujących cech i są wdzięcznym “laboratorium” dla obliczeń i przewidywań teoretycznych

Model LR: parę istotnych punktów

Początek: 1973-1974,

Pati, Salam, Senjanovic, Mohapatra

grupa cechowania $SU(2)_L \otimes SU(2)_R \otimes U(1)_{B-L}$

(i) przywraca symetrię lewo-prawą do oddziaływań elektroślabych

$$\begin{pmatrix} \nu_L \\ e_L \end{pmatrix}, \quad \begin{pmatrix} \nu_R \\ e_R \end{pmatrix}, \quad \begin{pmatrix} u_L \\ d_L \end{pmatrix}, \quad \begin{pmatrix} u_R \\ d_R \end{pmatrix}$$

(ii) interpretacja hiperładunku jako różnicy liczb barionowej i leptonowej

$$Q = T_{3L} + T_{3R} + \frac{B - L}{2}$$

Pierwsza konsekwencja dodania grupy cechowania: nowe cząstki cechowania

$$\begin{array}{ccc}
 W_L^\pm, W_L^0 & & W_1^\pm, W_2^\pm \\
 W_R^\pm, W_R^0 \rightarrow [SSB] & & Z_1^0, Z_2^0 \\
 B^0 & & \gamma
 \end{array}$$

SM:

$$\begin{array}{ccc}
 & & W^\pm \\
 W_L^\pm, W_L^0 & & \\
 B^0 \rightarrow [SSB] & & Z^0 \\
 & & \gamma
 \end{array}$$

Minimalny sektor pól Higgsa zawiera dwa triplety i jeden bidoublet

$$\Delta_{L,R} = \begin{pmatrix} \delta_{L,R}^+/\sqrt{2} & \delta_{L,R}^{++} \\ \delta_{L,R}^0 & -\delta_{L,R}^+/\sqrt{2} \end{pmatrix},$$

$$\Phi = \begin{pmatrix} \phi_1^0 & \phi_1^+ \\ \phi_2^- & \phi_2^0 \end{pmatrix}$$

z następującymi wartościami próżniowymi (**minimum potencjału**)

$$\frac{v_L}{\sqrt{2}} = \langle \delta_L^0 \rangle,$$

nowa HE skala : $\frac{v_R}{\sqrt{2}} = \langle \delta_R^0 \rangle,$

$$\text{SM VEV skala } \sqrt{\kappa_1^2 + \kappa_2^2} : \frac{\kappa_1}{\sqrt{2}} = \langle \phi_1^0 \rangle,$$

$$\frac{\kappa_2}{\sqrt{2}} = \langle \phi_2^0 \rangle.$$

$$SU(2)_L \otimes SU(2)_R \otimes U(1)_{B-L} \longrightarrow SU(2)_L \otimes U(1)_{B-L} \longrightarrow U(1)_{e-m}$$

$$\begin{aligned}
\mathcal{L}_{Higgs} &= \\
&- \mu_1^2 Tr[\Phi^\dagger \Phi] - \mu_2^2 (Tr[\tilde{\Phi} \Phi^\dagger] + Tr[\tilde{\Phi}^\dagger \Phi]) - \mu_3^2 (Tr[\Delta_L \Delta_L^\dagger] + Tr[\Delta_R \Delta_R^\dagger]) \\
&+ \lambda_1 Tr[\Phi \Phi^\dagger]^2 + \lambda_2 (Tr[\tilde{\Phi} \Phi^\dagger]^2 + Tr[\tilde{\Phi}^\dagger \Phi]^2) \\
&+ \lambda_3 (Tr[\tilde{\Phi} \Phi^\dagger] Tr[\tilde{\Phi}^\dagger \Phi]) + \lambda_4 (Tr[\Phi \Phi^\dagger] (Tr[\tilde{\Phi} \Phi^\dagger] + Tr[\tilde{\Phi}^\dagger \Phi])) \\
&+ \rho_1 (Tr[\Delta_L \Delta_L^\dagger]^2 + Tr[\Delta_R \Delta_R^\dagger]^2) \\
&+ \rho_2 (Tr[\Delta_L \Delta_L] Tr[\Delta_L^\dagger \Delta_L^\dagger] + Tr[\Delta_R \Delta_R] Tr[\Delta_R^\dagger \Delta_R^\dagger]) \\
&+ \rho_3 (Tr[\Delta_L \Delta_L^\dagger] Tr[\Delta_R \Delta_R^\dagger]) \\
&+ \rho_4 (Tr[\Delta_L \Delta_L] Tr[\Delta_R^\dagger \Delta_R^\dagger] + Tr[\Delta_R \Delta_R] Tr[\Delta_L^\dagger \Delta_L^\dagger]) \\
&+ \alpha_1 (Tr[\Phi \Phi^\dagger] (Tr[\Delta_L \Delta_L^\dagger] + Tr[\Delta_R \Delta_R^\dagger])) \\
&+ \alpha_2 (Tr[\Phi \tilde{\Phi}^\dagger] Tr[\Delta_R \Delta_R^\dagger] + Tr[\tilde{\Phi} \Phi^\dagger] Tr[\Delta_L \Delta_L^\dagger]) \\
&+ \alpha_2^* (Tr[\Phi^\dagger \tilde{\Phi}] Tr[\Delta_R \Delta_R^\dagger] + Tr[\tilde{\Phi}^\dagger \Phi] Tr[\Delta_L \Delta_L^\dagger]) \\
&+ \alpha_3 (Tr[\Phi \Phi^\dagger \Delta_L \Delta_L^\dagger] + Tr[\Phi^\dagger \Phi \Delta_R \Delta_R^\dagger]) \\
&+ \beta_1 (Tr[\Phi \Delta_R \Phi^\dagger \Delta_L^\dagger] + Tr[\Phi^\dagger \Delta_L \Phi \Delta_R^\dagger]) \\
&+ \beta_2 (Tr[\tilde{\Phi} \Delta_R \Phi^\dagger \Delta_L^\dagger] + Tr[\tilde{\Phi}^\dagger \Delta_L \Phi \Delta_R^\dagger]) \\
&+ \beta_3 (Tr[\Phi \Delta_R \tilde{\Phi}^\dagger \Delta_L^\dagger] + Tr[\Phi^\dagger \Delta_L \tilde{\Phi} \Delta_R^\dagger]),
\end{aligned}$$

- Razem mamy 20 rzeczywistych skalarnych pól, z których 14 to pola fizyczne (reszta to bozony Goldstone'a):
 - 4 neutralne skalary: $H_0^0, H_1^0, H_2^0, H_4^0$ (pierwszy to kandydat do SM Higgsa),
 - 2 neutralne pseudo-skalary: A_1^0, A_2^0 ,
 - 2 naładowane skalary: H_1^\pm, H_2^\pm ,
 - 2 podwójnie naładowane skalary: $H_1^{\pm\pm}, H_2^{\pm\pm}$.
- Dla takiego wyboru działa mechanizm huśtawki dla generacji lekkich neutrin

$$M_\nu = \begin{pmatrix} M_L(v_L) & M_D(\kappa_{1,2}) \\ M_D^T & M_R(v_R) \end{pmatrix}$$

$$M_L \ll M_D \ll M_R.$$

$$m_N \sim M_R \rightarrow 3$$

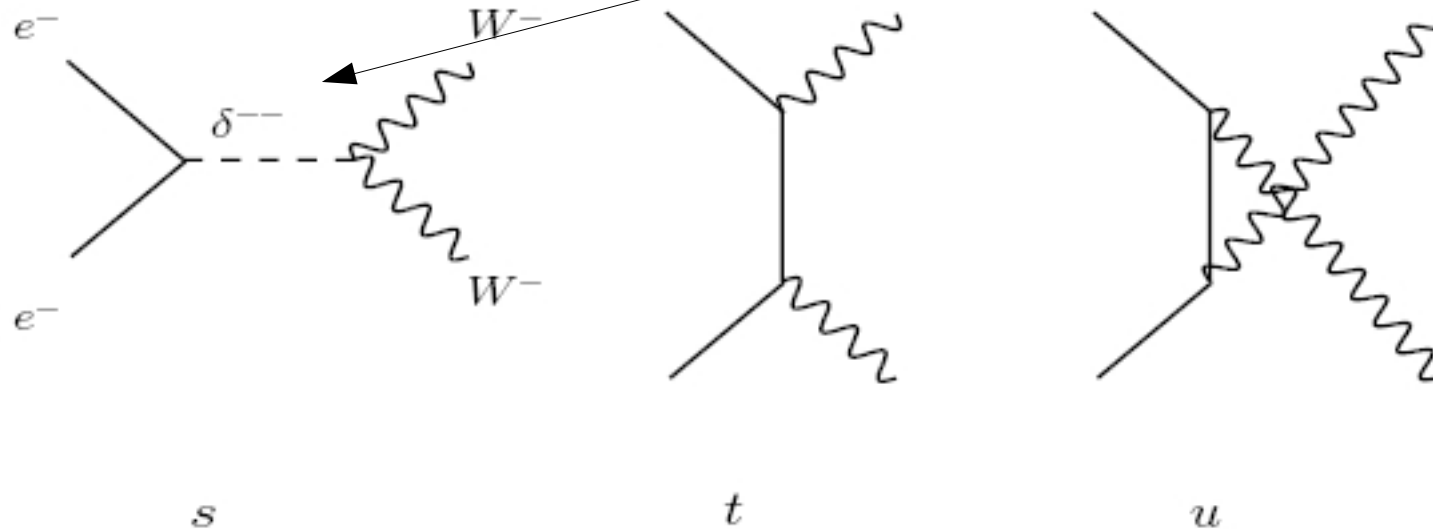
$$m_{\text{lekkie}} \sim M_D^2 / M_R \rightarrow 3$$

$$M_D \sim \mathcal{O}(1) \text{ GeV} \rightarrow M_R \sim 10^{15} \text{ GeV, jeśli lekkie neutrina mają masy rzędu } 0.1 \text{ eV.}$$

Badanie nowego modelu

- Poszukiwanie nowych zjawisk
- Znalezienie ograniczeń na nowe parametry ze znanych procesów

Proces $e^-e^- \rightarrow W^-W^-$



Podwójnie naładowana
cząstka Higgsa

proces łamie liczbę
leptonową

Bardzo "czysty" proces, $\sigma_{det} = 0.1 \text{ fb}$, $e^-e^- \rightarrow W^-W^- \nu_e \nu_e$

$$M = \sum_a \left\{ K_{ie}^2 m_i [f_t(m_i) + f_u(m_i) + f_s^L] + (K_R)_{ie}^2 m_i f_s^R \right\}$$

$K_{\nu e}$ i K_{Ne} opisują mieszanie lekkich i ciężkich neutrin z elektronem,

W_R (Right-Handed W Boson) MASS LIMITS

Assuming a light right-handed neutrino, except for BEALL 82, LANGACKER 89B, and COLANGELO 91. $g_R = g_L$ assumed. [Limits in the section MASS LIMITS for W' below are also valid for W_R if $m_{\nu_R} \ll m_{W_R}$.] Some limits assume manifest left-right symmetry, *i.e.*, the equality of left- and right Cabibbo-Kobayashi-Maskawa matrices. For a comprehensive review, see LANGACKER 89B. Limits on the W_L - W_R mixing angle ζ are found in the next section. Values in brackets are from cosmological and astrophysical considerations and assume a light right-handed neutrino.

VALUE (GeV)	CL%	DOCUMENT ID	TECN	COMMENT
> 715	90	11 CZAKON	99 RVUE	Electroweak
> 310	90	12 THOMAS	01 CNTR	β^+ decay
> 137	95	13 ACKERSTAFF	99D OPAL	τ decay
> 1400	68	14 BARENBOIM	98 RVUE	Electroweak, Z - Z' mixing
> 549	68	15 BARENBOIM	97 RVUE	μ decay
> 220	95	16 STAHL	97 RVUE	τ decay
> 220	90	17 ALLET	96 CNTR	β^+ decay
> 281	90	18 KUZNETSOV	95 CNTR	Polarized neutron decay
> 282	90	19 KUZNETSOV	94B CNTR	Polarized neutron decay
> 439	90	20 BHATTACH...	93 RVUE	Z - Z' mixing
> 250	90	21 SEVERIJNS	93 CNTR	β^+ decay
		22 IMAZATO	92 CNTR	K^+ decay
> 475	90	23 POLAK	92B RVUE	μ decay
> 240	90	24 AQUINO	91 RVUE	Neutron decay
> 496	90	24 AQUINO	91 RVUE	Neutron and muon decay
> 700		25 COLANGELO	91 THEO	$m_{K_L^0} - m_{K_S^0}$
> 477	90	26 POLAK	91 RVUE	μ decay
[none 540-23000]		27 BARBIERI	89B ASTR	SN 1987A; light ν_R
> 300	90	28 LANGACKER	89B RVUE	General
> 160	90	29 BALKE	88 CNTR	$\mu \rightarrow e \nu \bar{\nu}$
> 406	90	30 JODIDIO	86 ELEC	Any ζ
> 482	90	30 JODIDIO	86 ELEC	$\zeta = 0$
> 800		MOHAPATRA	86 RVUE	$SU(2)_L \times SU(2)_R \times U(1)$
> 400	95	31 STOKER	85 ELEC	Any ζ
> 475	95	31 STOKER	85 ELEC	$\zeta < 0.041$
		32 BERGSMAN	83 CHRM	$\nu_\mu e \rightarrow \mu \nu_e$
> 380	90	33 CARR	83 ELEC	μ^+ decay
> 1600		34 BEALL	82 THEO	$m_{K_L^0} - m_{K_S^0}$
[> 4000]		STEIGMAN	79 COSM	Nucleosynthesis; light ν_R

Jak usunąć problem skal?

- Supersymetria
- Dodatkowe wymiary
- Technicolor
- Modele z substrukturą
- ...

superpartnerzy

- Każda cząstka ma superpartnera

fermion $(1/2) \rightarrow$ sfermion (0)

bozon cechowania $(1) \rightarrow$ gaugino $(1/2)$

Higgisy $(0) \rightarrow$ higgsina $(1/2)$

MSSM (minimal supersymmetric standard model)

- Oparty o te same grupy gauge co SM

-

Oczywiście L,R to nie skrętność

	spin 0	spin $\frac{1}{2}$	spin 1
(s)leptony	\tilde{e}_L $\tilde{\nu}_e$ \tilde{e}_R	e_L ν_{eL} e_R	
(s)kwarki	\tilde{u}_L \tilde{d}_L \tilde{u}_R \tilde{d}_R	u_L d_L u_R d_R	
bozony i gaugina		gluina \tilde{g} fotino $\tilde{\gamma}$ zino \tilde{Z} wina \tilde{W}^\pm	gluony g foton γ Z° W^\pm
Higgs(ina)	$h^\circ, H^\circ, A^\circ$ H^\pm	$\tilde{H}_1^\circ, \tilde{H}_2^\circ$ \tilde{H}^\pm	

Fenomenologia MSSM

- W modelu mamy dwa dublety Higgsa (po to aby odtworzyć masy kwarków dolnych i górnych), które razem dają 3 neutralne i 2 naładowane cząstki Higgsa (dlaczego tyle? Można policzyć ilość stanów swobodnych i odjąć te, które “dodają” się do masy bozonów masywnych)
- Odpowiadają im higgsina

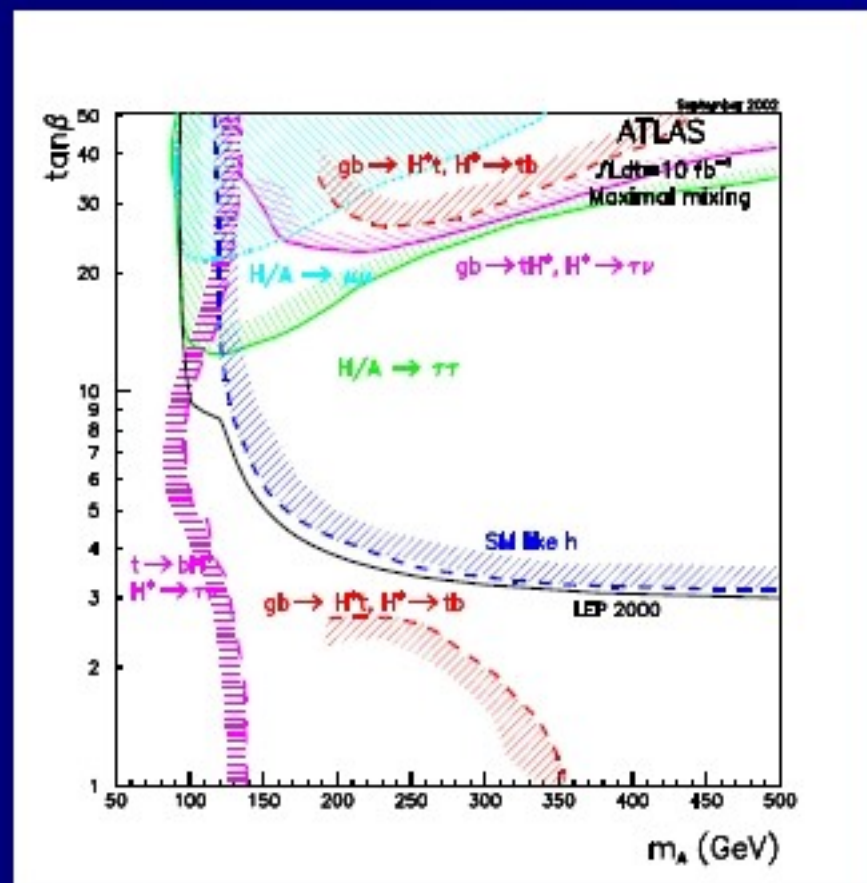
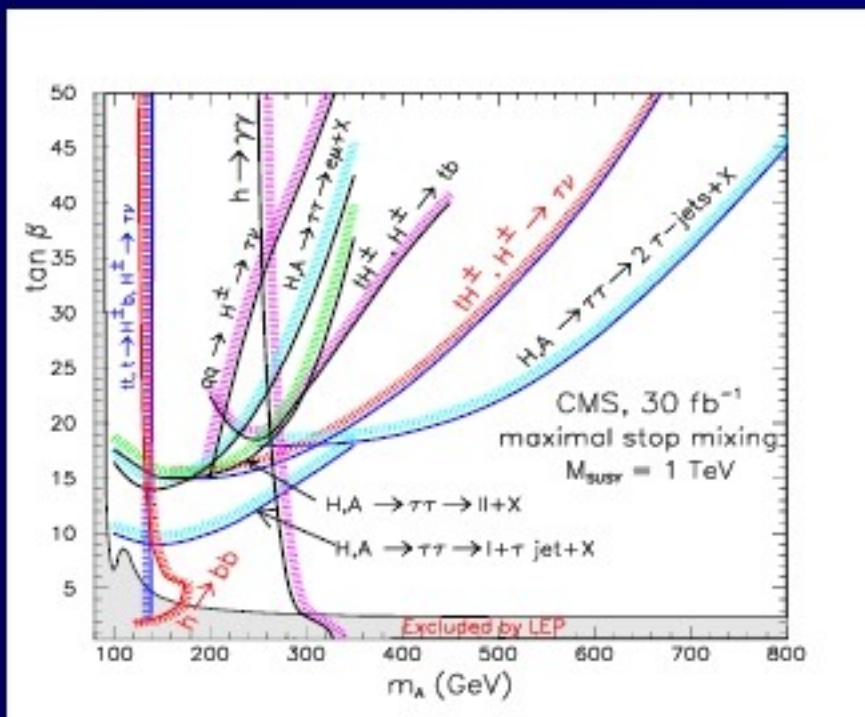
Fenomenologia MSSM

- Mieszania pól, np.

$$\begin{array}{lll} \tilde{\gamma}, \tilde{Z}, \tilde{H}_1^0, \tilde{H}_2^0 & \Rightarrow & \tilde{\chi}_1^0, \tilde{\chi}_2^0, \tilde{\chi}_3^0, \tilde{\chi}_4^0 \quad \text{neutralina} \\ \tilde{W}^\pm, \tilde{H}^\pm & \Rightarrow & \tilde{\chi}_1^\pm, \tilde{\chi}_2^\pm \quad \text{chargina} \end{array}$$

- Kosztem nowej fenomenologii (ile cząstek możemy wyprodukować!) mamy bardzo dużo nowych parametrów (grubo ponad 100)
- MSSM: ograniczamy się do zaledwie paru nowych parametrów, np. Tangens kąta beta, który jest stosunkiem dwóch stałych próżniowych

Higgs w LHC



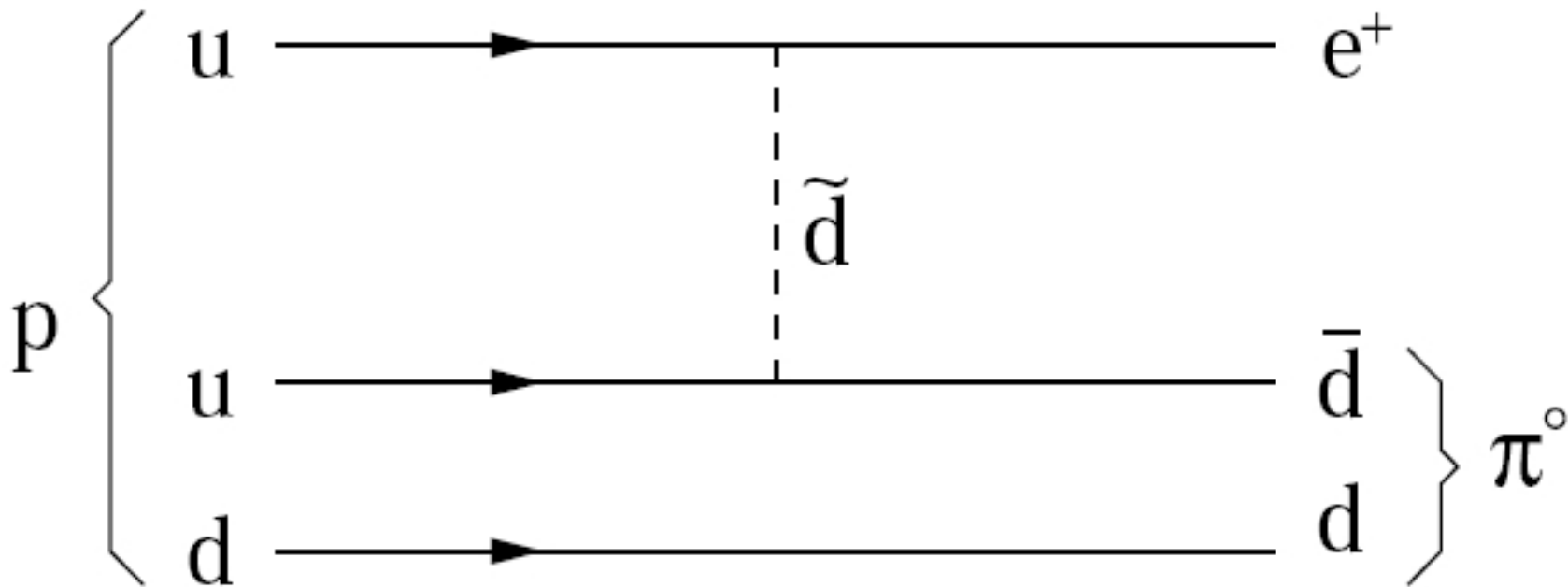
Otwarte szerokie okno dla procesów w MSSM (przestrzeni parametrów) w porównaniu z LEP-em

Otwarte szerokie okno na badanie parametrów MSSM w porównaniu z MS

Parzystość R

- $R = (-1)^{(3B-3L+2S)}$
- $R = 1$ dla cząstek standardowych
- $R = -1$ dla cząstek supersymetrycznych
- Zachowanie parzystości: proton stabilny, cząstki SUSY produkowane parami, najbliższa LSP jest stabilna

Rozpad protonu

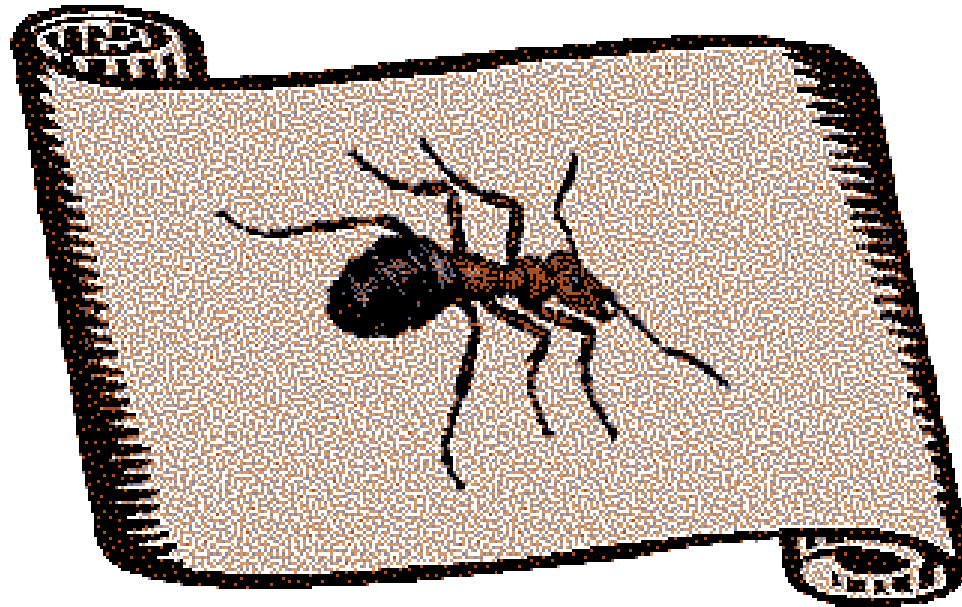


Dodatkowe wymiary

- Wróćmy do stałej Plancka, która mówi o tym kiedy siły grawitacyjne stają się znaczące
- Jest tak dla ogromnych energii 10^{19} GeV
- Czy jest możliwe aby grawitacja była istotna ciut ponad dostępne w tej chwili energii, 1 TeV
- Okazuje się, że tak, jest tak w przypadku, gdy grawitony mogą propagować w dodatkowych wymiarach

Dodatkowe wymiary

- Czy jeśli jeszcze głębiej wejdziemy w mikroświat nie okaże się, że „wypączkują“ wokół nas nowe wymiary?



Cząstka bezmasowa w 5 wymiarach

$$p^2 = 0 = g_{AB}p^A p^B = E^2 - \mathbf{p}^2 \pm p_5^2$$

$$g_{AB} = \text{diag}(1, -1, -1, -1, \pm 1)$$

$$E^2 - \mathbf{p}^2 = p_\mu p^\mu = \mp p_5^2 \quad \leftarrow$$

Stąd wybiera się zazwyczaj metrykę z piątym wymiarem przestrzennym

$$\partial_A \partial^A \Psi = (\partial_\mu \partial^\mu - \partial_y \partial^y) \Psi(x, y) = 0$$

$$\Psi = \sum_n \chi_n(y) \phi_n(x) \quad \leftarrow$$

Separacja funkcji

$$\partial_y^2 \chi_n = -m_n^2 \chi_n$$

jeśli

to:

$$\sum_n \chi_n (\partial_\mu \partial^\mu + m_n^2) \psi_n = 0$$

Tzw. Kaluza-Klein mass tower spectrum

Jakie wartości mają m_n ?

- Wszystko zależy od warunków brzegowych
- Ogólnie rozwiązania typu $Ae^{(ipy)} + Be^{(-ipy)}$
- Zazwyczaj przyjmuje się fizyczny obszar typu compact (zwarty), np. $0 < y < \pi L$, wtedy pęd skwantowany, $p = n/L$, $n = 1, 2, \dots$

- Dla takich warunków m_n

Dodatkowe wymiary mogą się także związać i być w postaci np. n-torusa

Masy duże, gdy L małe, pewnie ED tak małe, że masy tak duże, iż jeszcze ich nie obserwujemy

Grawitacja w wielu wymiarach

- Masa Plancka rzędu 10^{19} GeV odpowiada wymiarowi ok. 10^{-35} m
- Przypuśćmy jednak, że grawitacja “czuje” ED, jak zmienia się wtedy wzór Newtona?
- Powiedzmy, że r to skala w “naszych” wymiarach, R odpowiada ED, oczywiście jeśli $r \gg R$, to mamy klasyczną fizykę, gdzie F jest odwrotnie proporcjonalne do kwadratu odległości

Grawitacja w wielu wymiarach

- Niech R będzie porównywalne (lub większe) od r , wtedy wszystkie wymiary są równouprawnione i z prawa Gaussa (przypomnijmy sobie jak możemy ze statycznego prawa Maxwella: całka po objętości z natężenia pola E równa gęstości, wyprowadzić zależność E od r) będzie odwrotnie proporcjonalne do $r^{(2+n)}$, gdzie n to ilość dodatkowych wymiarów!
- Jest tak ponieważ np. powierzchnia walca w $3+n$ wymiarach jest proporcjonalna do $R^n r^2$
- W tej chwili prawo grawitacji zbadane do skal mikrometrów

$$V(r) = -G_N \frac{m_1 m_2}{r} (1 + \alpha e^{-r/\lambda})$$

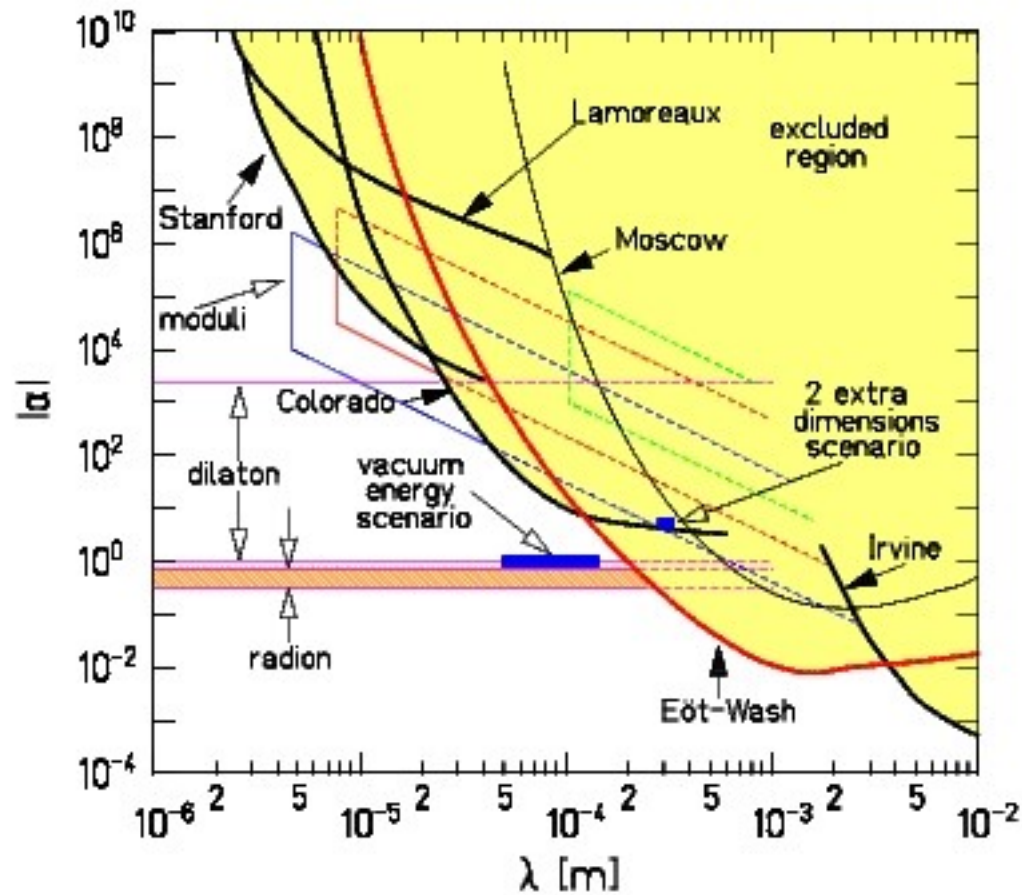


FIG. 1: Regions in the $\alpha - \lambda$ plane excluded by table top searches for deviations from Newtonian gravity from Adelberger *et al* [12]. The ADD prediction with $n = 2$ and $M_* = 1$ TeV is also shown.

Efektywna masa Plancka

- Chociażby analiza wymiarowa daje

3 wymiary przestrzenne

3+n

$$M_P^2 = V_n M_*^{n+2}$$

n-torus: $S^1 \times S^1 \times \dots$

$$V_n = (2\pi R)^n$$

Objętość dodatkowych wymiarów

M_* rzędu TeV

- $n=1$, wtedy $R=10^8$ m (odległość planetarna). Na takich odległościach prawo Newtona jest doskonale sprawdzone (**model wykluczony**)
- $N=2$, wtedy $R=100 \mu\text{m}$: to się testuje
- Jak wykryć ED w akceleratorach? Kolizja dwóch cząstek standardowych e^+e^- , kwark-antykwar; oddziaływania grawitonów bardzo słabe, część energii “wycieka” w dodatkowe wymiary

LHC: missing energy

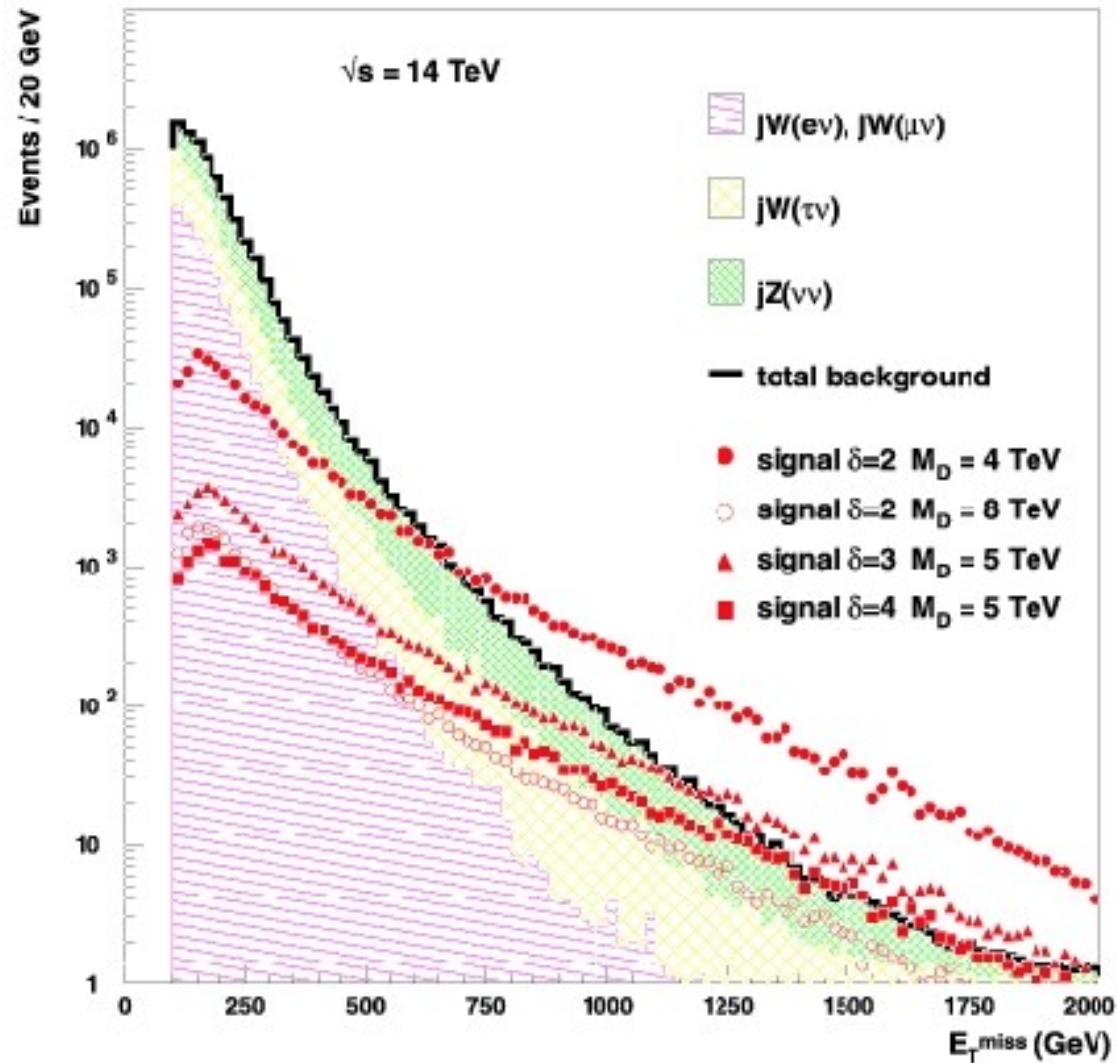


FIG. 2: Missing transverse energy spectrum for the monojet plus missing E_T signature at the LHC assuming an integrated luminosity of 100 fb^{-1} from Ref[19]. Both the SM backgrounds and the signal excesses from graviton emission in the ADD model are shown. Here $M_D = M_*$ and $\delta = n$.

ILC

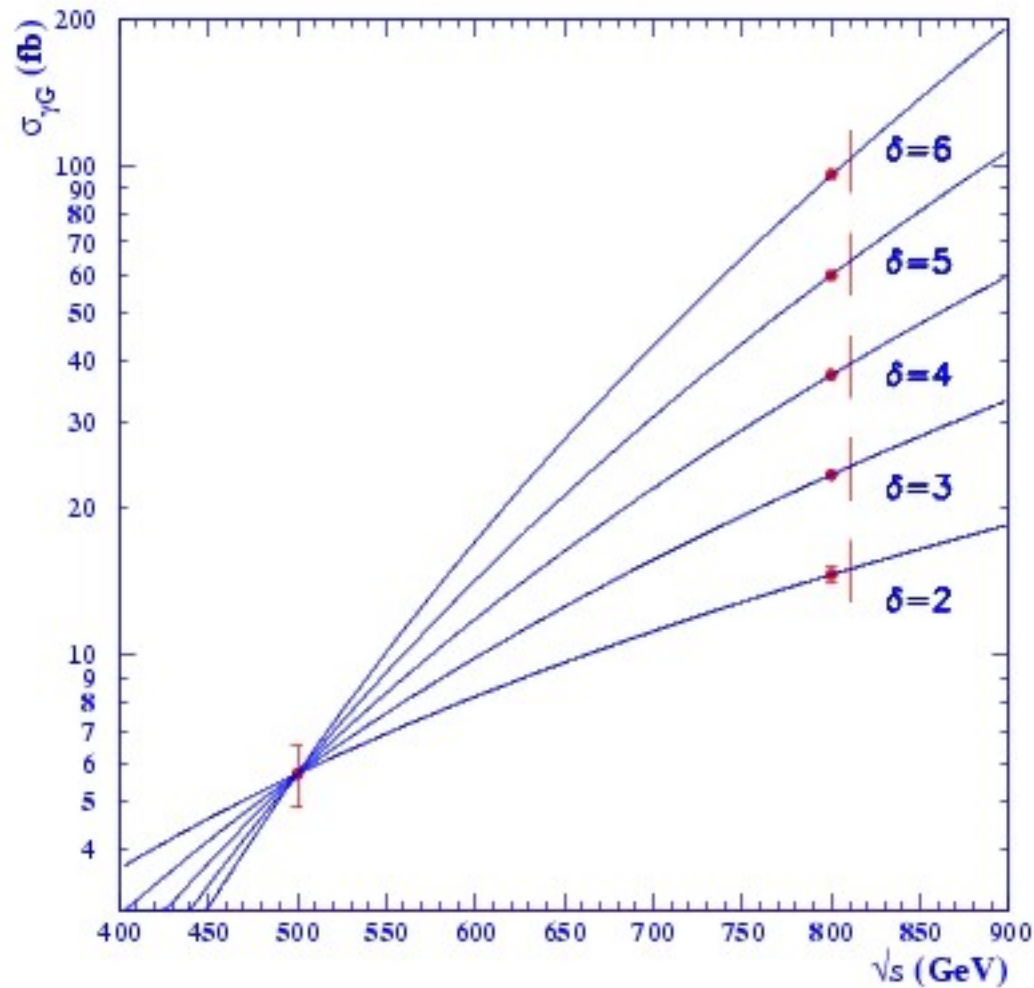
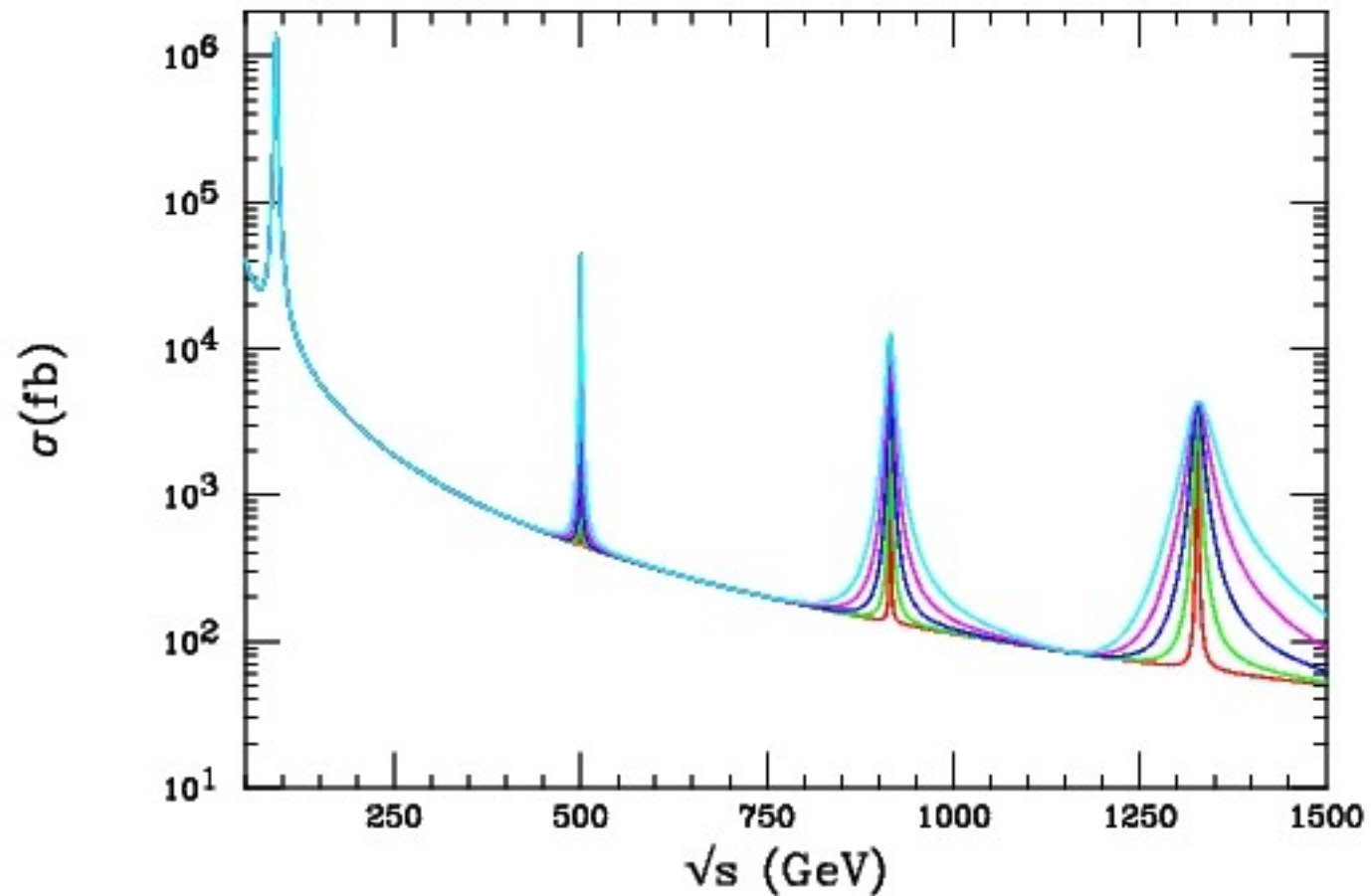


FIG. 3: Signal cross section for the γ plus missing energy final state at the ILC in the ADD model as a function of \sqrt{s} for various $\delta = n$ from Ref.[20] normalized to a common value at $\sqrt{s} = 500$ GeV. Combining measurements at two distinct values of \sqrt{s} one can extract both the values of n and M_* for the ADD model.

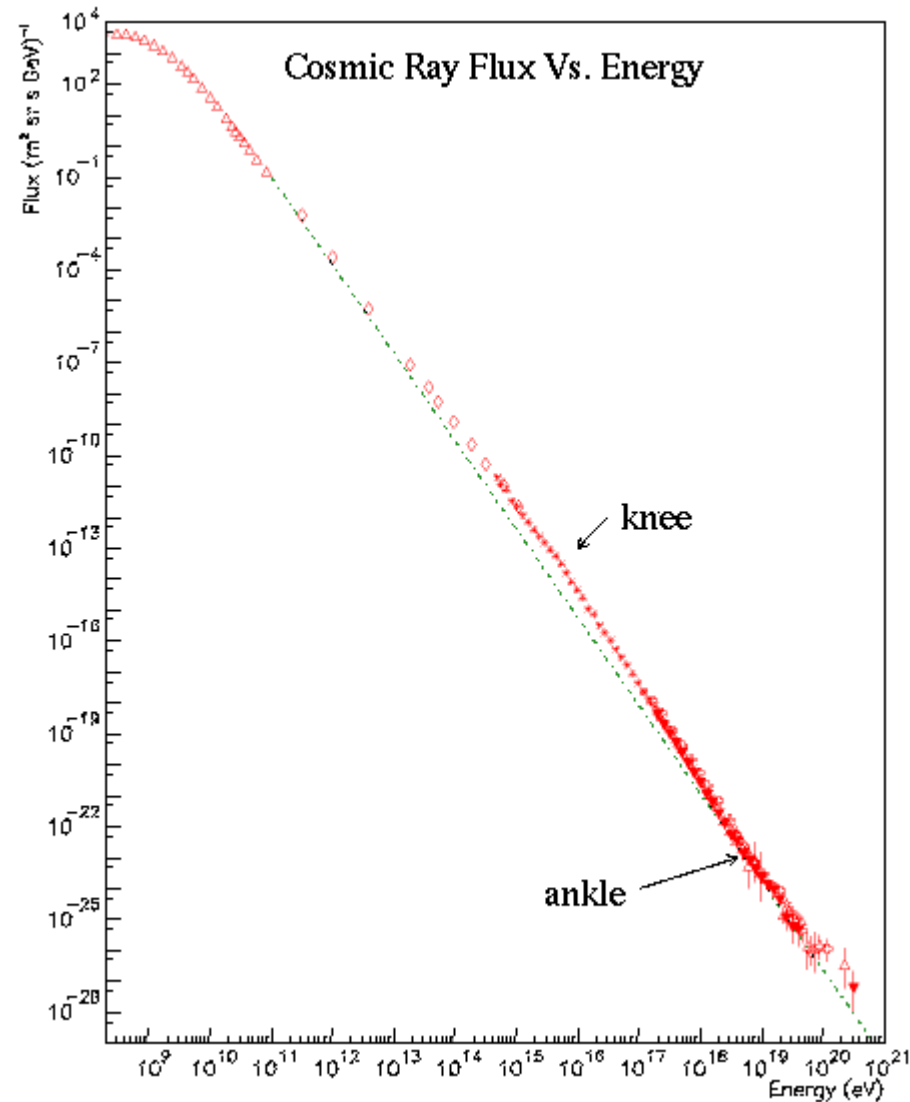
KK wieża mas w akceleratorze mionowym



Produkcja czarnych dziur

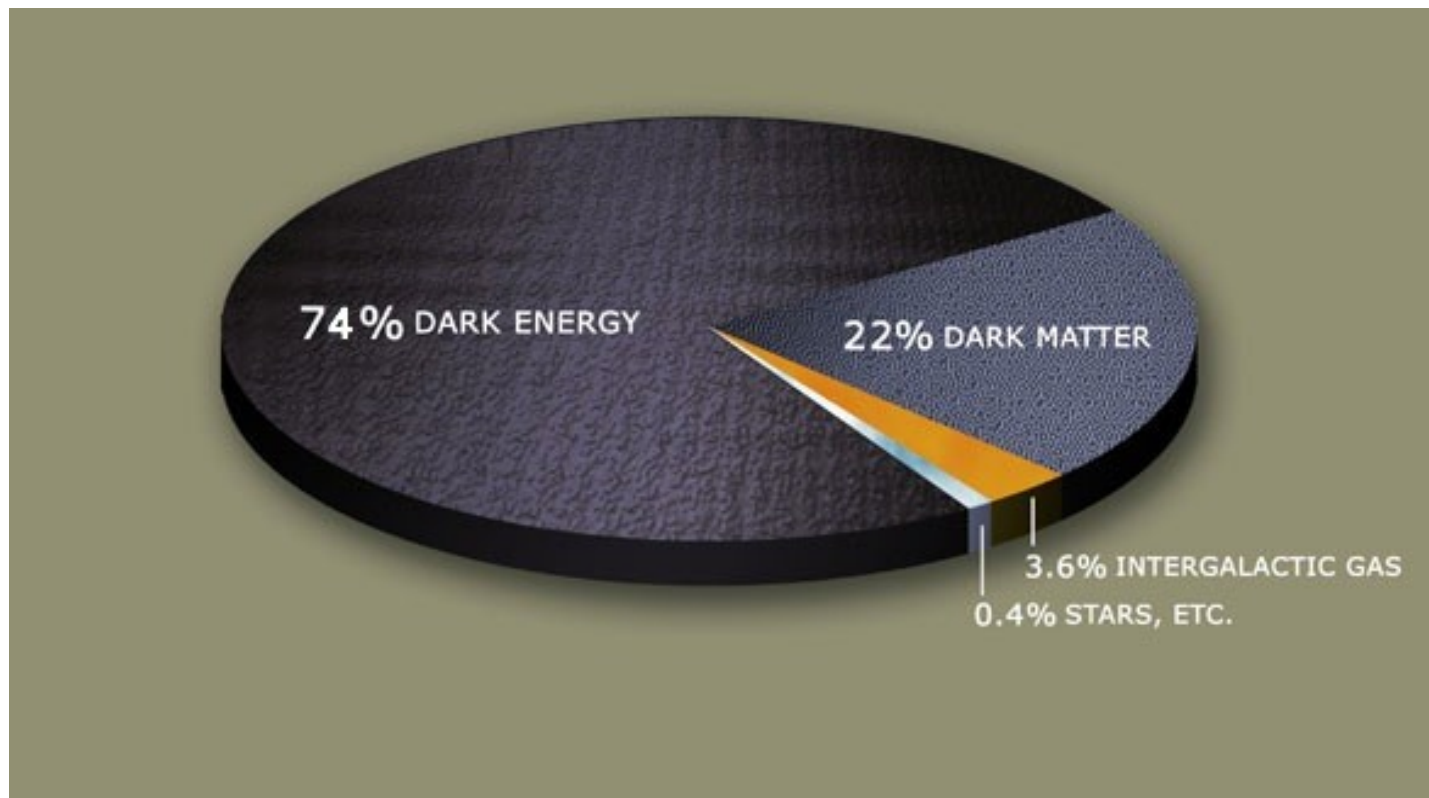
- W skali Plancka (nowej!) rzędu TeV grawitacja może wiązać obiekty, mogą też powstawać czarne dziury
- LHC, $m(\text{BH}) > 5 \text{ TeV}$ (tzw. Mini czarne dziury), produkcja 1 BH/s ($n > 5$)
- Nieszkodliwe, szybko “parują”, czas życia $< 10^{(-30)} \text{ s}$
- np. C.Sivaram, “Black Holes and the LHC”, arXiv:0810.4613

Energie nawet 10^{20} eV w atmosferze (i nie ma czarnych dziur)



Ciemna materia

- Ciemna materia to mogą być stany wzbudzone w postaci energii w dodatkowych wymiarach



Dla dociekliwych, np.

- Chris Quigg, “Unanswered Questions in the Electroweak Theory”,
e-Print: arXiv:0905.3187 [hep-ph]