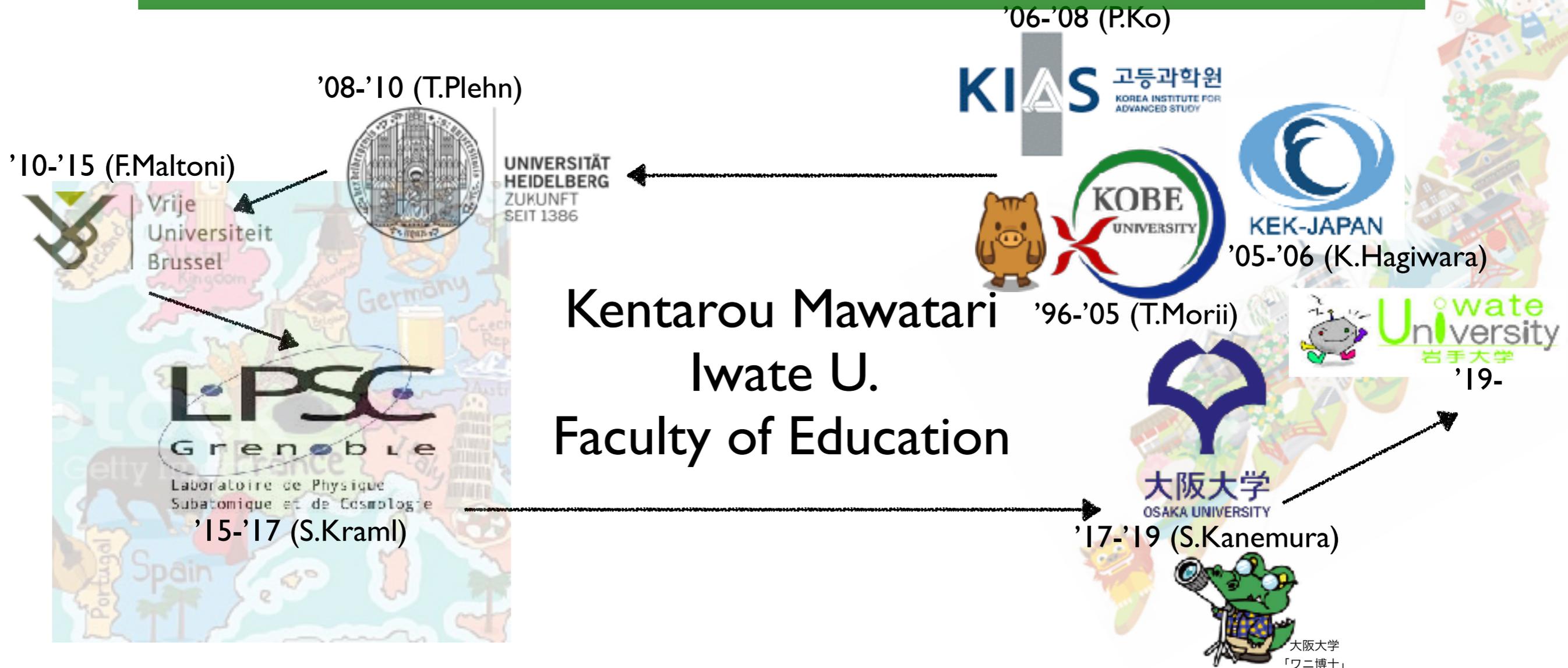


Helicity amplitudes without gauge cancellation in the Feynman-diagram gauge



キーワードを入力



トップ

速報

ライブ

個人

オリジナル

みんなの意見

ランキング

主要

国内

国際

経済

エンタメ

スポーツ

IT

科学

ライフ

地域

「2023年に行くべき52カ所」岩手・盛岡市が2番目に選出 NYタイムズ

1/15(日) 15:13 配信

10



ABEMA TIMES



「2023年に行くべき52カ所」2番目に盛岡市

アメリカのニューヨークタイムズが「2023年に行くべき52カ所」を発表し、ロンドンに続く2番目に岩手県の盛岡市が選ばれた。

【映像】NYタイムズの紹介コメント

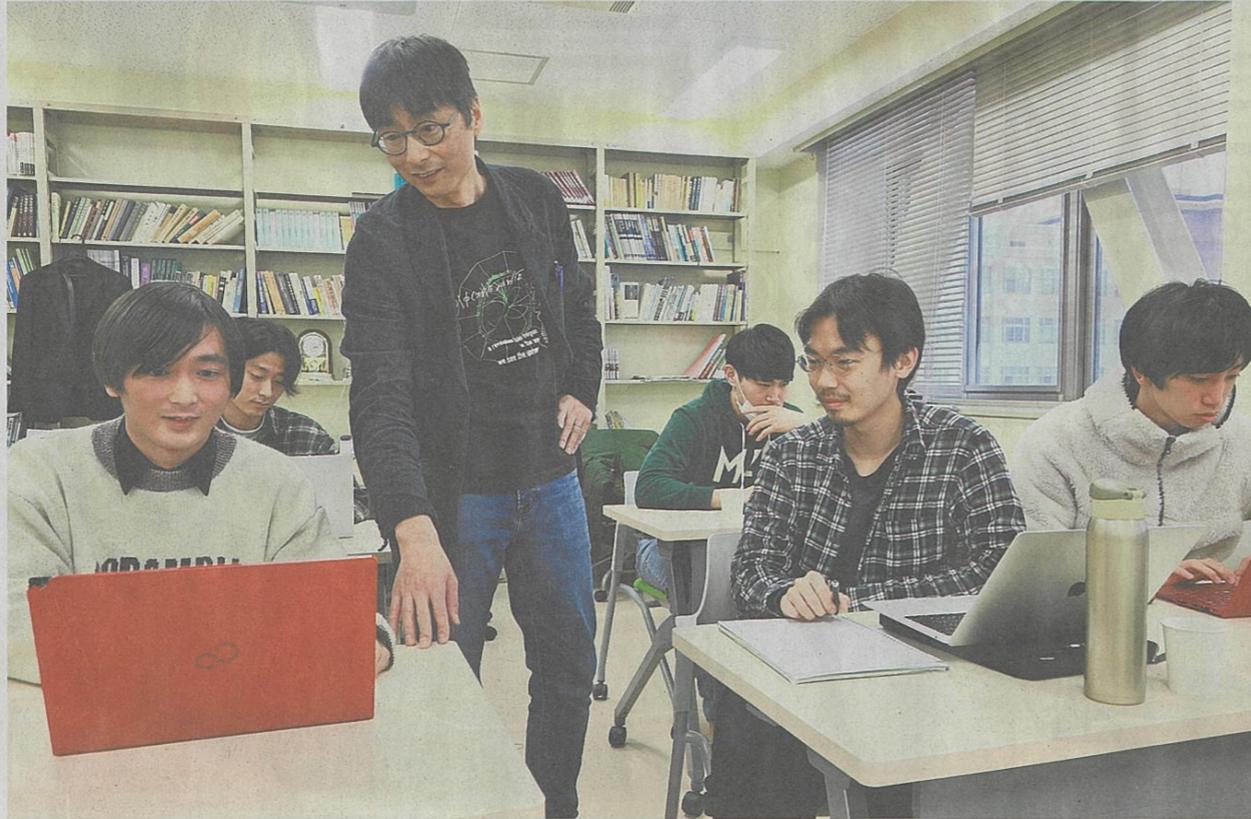
ニューヨークタイムズは毎年、独自の情報を元に旅行先を紹介していて、12日に「2023年に行くべき52カ所」が発表され、イギリスの首都ロンドンに続き、2番目に盛岡市が選ばれた。「大正時代に建てられた和洋折衷建築や、現代的なホテルのほか伝統的な旅館もある。城跡も公園になっていて、歩いて楽しめる街」と評価している。

また、東京から新幹線で数時間で行ける便利さや山に囲まれ、川が流れる風景を紹介し「完全に見落とされてきた街」と、盛岡を再評価する内容になっている。さらに、名物の「わんこそば」や**コーヒー豆**にこだわった喫茶店など、食についても紹介した。

19番目には福岡市が選ばれ、「焼き鳥やラーメンだけでなくワインやコーヒーなども屋台で楽しめる」と博多の中洲を紹介している。(ANNニュース)

ILC 岩手の若者に希望

国際リニアコライダー（ILC）は素粒子物理学の巨大実験施設を造り、宇宙創成の謎に迫る壮大なプロジェクト。本県がその候補地とされ、世界最先端の科学拠点が地元でできる話題は若者たちに夢や希望を与えている。2023年は実現へ前進するか。



海外で豊富な研究経験を持つ馬渡健太郎准教授。ILCの重要性を若者たちに説いている＝岩手大

学生へ重要性や魅力伝え

岩手大教育学部にある総合教育棟の一室。「この数値を変えてみたら？」。ILC実験で生じる反応をシミュレーションする演習で、男性教員が学生のパソコンをのぞき込み、声をかけた。
准教授の馬渡健太郎さん（46）は岩手大に19年着任し、4年目。素粒子理論、シミュレーションを専門とする国内外での豊富な研究生活を基に、ILCの重要性を熱く説いている。
長崎県出身。神戸大大学

素粒子理論専門 岩手大・馬渡准教授

院を修了後、高エネルギー加速器研究機構（KEK）、茨城県つくば市、や韓国、ドイツ、フランスの大学、研究所などで活動した。ヒッグス粒子が12年に発見された当時は粒子の存在を予言したランソワ・アンダールと共同で、ノーベル賞を受賞した。アンダール氏は同じフランスの国立科学センター（CNRS）に在籍。同氏がピーター・ヒッグス氏（英国）と共に13年、ノーベル物理学賞に決まった場面にも立ち会った。
ベルギーで36年ぶりの快挙に、街はお祭り騒ぎ。北

さん23は「ILCの必要性をSNS（交流サイト）で若い世代に発信していきたい」と実現に希望を抱く。ILCは政府が誘致の可否を検討中。海外の友人たちからは日本の現状を問うメールが届く。「世界はILC実現を待っている」のに議論の進展を待つ間に、人生を懸けてきた研究者が、ほとんど定年を迎えていくと危機感も募る。
海外生活を通じて、国籍や宗教、年齢性別を超え、同じ目的に向かって協力し合う平和をかみしめた。そんな研究所が岩手にできたら、これほど素晴らしいだろう」と、夢見て日々努力する。

ILC誘致をめぐる主な動き	
1991年	県の誘致活動スタート
2008年6月	先端加速器科学技術推進協議会（AAA）発足
09年4月	東北加速器基礎科学研究会発足
12年4月	県ILC推進協議会が発足
7月	欧州合同原子核研究所（CERN）でヒッグス粒子とみられる新粒子発見
13年8月	東北加速器基礎科学研究会が東北ILC推進協議会に改組
16年12月	北上山地（北上高地）が建設候補地に一本化される
17年11月	国際学会リニアコライダー・ワークショップ（LCWS）が盛岡市で開催
18年4月	国際将来加速器委員会（ICFA）が加速器の初期整備延長を当初計画の31%から20%へ短縮承認
6月	誘致を応援するILCサポーターズ発足
19年3月	経済人や文化人による100人委員会発足
8月	文部科学省が「関心がある」との政府見解を初めて示す
10月	県がILC推進局設置
20年8月	LCWSが仙台市で開催
22年12月	国際推進チームがKEKを拠点に始動
	東北ILC事業推進センターが発足
	政府が23年度当初予算案に前年度当初の倍額、9億7千万円を計上

ILCは北上山地（北上高地）が「世界の候補地」に選ばれて8月で丸10年になる。これまで地元は受け入れ環境の整備に取り組みできた。一方、政府の誘致検討はほぼ進展がなく、日本に期待を示してきた欧米の空気感は微妙になってきた。23年は成否を左右する分岐点になるかもしれない。
候補地は米国、スイス、ドイツ、ロシアなど複数あったが、最後に残ったのは日本の2カ所。専門家の会議が13年8月、強固な岩盤や生活環境などを評価し、岩手、宮城両県にまたがる北上山地に一本化した。
その後、ILC計画で世界の先頭に立つ素粒子物理学界の重鎮、リン・エバンズ氏（英国）が現地を訪れ「北上山地に限って建設を検討する」と明言。事実上

北上山地 国内候補地決定から10年 成否左右する分岐点に

唯一の候補地となった。欧米などの研究者コミュニティは度々、日本での実現に期待感を表明。20年に策定された欧州素粒子物理戦略は、日本でタイムリーに実現される場合に「協働を望む」との姿勢を示した。米政府もILCへの明確な支持を打ち出した。
注目を集める日本政府は19年、ILCを推進する国際将来加速器委員会（ICFA）の東京会議で「関心がある」と表明。しかし、



可否の検討作業は専ら会議に長い時間を費やすだけでは進まない。継続的状況下で切らしてはしびれを切らして設計に携わってきた。22年3月、物理学者誌で「別の場所」を主張。エバンズ氏も、本紙に「世界のトレーニング（訓練）は100%以上がここには」と語った。ICFAが同4月に出した声は、今後1年で「議論の注意深く見守る」とな期限を盛り込んだ。北上山地への加速は1991年、工藤の時代に始まり、官携し研究者を支えつくりや建設に必要なことを進めてきた。時代から30年来携わった前関市長の勝部は「今は大きな出るための作戦タイプ現するため最後まで尽くす」と23年の飛躍を期す。



国際リニアコライダー（ILC） 地下約100mのトンネルに直線型加速器（初期延長約20km）を設置し、宇宙創成の謎を解明しようとする国際プロジェクト。素粒子の電子と陽電子を光に近い速度でぶつけて高いエネルギー状態をつくり、未知の物質や動きなどを調べる。2012年に発見され、万物に質量を与えるヒッグス粒子の精密測定が大きなテーマ。建設費は文部科学省

IWATE COLLIDER SCHOOL 2023

27 FEBRUARY - 4 MARCH, 2023

Appi highland, Iwate, Japan (Hybrid)

Registration fee

FREE and local expenses will be supported.
(No support for travel fees.)

Eligibility

Mainly for graduate students and postdoc fellows
(Max. 25 participants in person / No limitation for online students)

Venue

ANA Crowne Plaza Resort Appi Kogen

Application submission deadline

18 December, 2022

Website

<https://ics.sgk.iwate-u.ac.jp/>



Contact

ics2023@iwate-u.ac.jp

Overview

Students will learn a variety of topics in collider physics via lectures and tutorials. Long lunch break for skiing and discussions are planned.

Lecturers:

Rikkert Frederix (Lund, Sweden)
Benjamin Fuks (Paris, France)
Fabio Maltoni (Louvain, Belgium)
Olivier Mattelaer (Louvain, Belgium)
Davide Pagani (Bologna, Italy) etc.

Organizers:

Kaoru Hagiwara (KEK)
Daniel Jeans (KEK)
Fabio Maltoni (UC Louvain / Bologna)
Kentarou Mawatari (Chair, Iwate U.)
Shinya Narita (Iwate U.)
Yajuan Zheng (Iwate U.)


**ANA
CROWNE PLAZA**
AN IHG HOTEL
RESORT APPI KOGEN



Helicity amplitudes without gauge cancellation in the Feynman-diagram gauge

Kentarou Mawatari
健太郎 馬渡



Iwate
University
岩手大学

with Junmou Chen (Jinan U.)
Kaoru Hagiwara (KEK)
Junichi Kanzaki (Kavli IPMU)
Yutaro Suzuki (Iwate U., M2)
Ya-Juan Zheng (Iwate U., PD)

[arXiv: 2003.03003\(EPJC\), 2203.10440, 2211.14562, ...](#)



@ Iwate U. campus

When I was a PhD student, ...

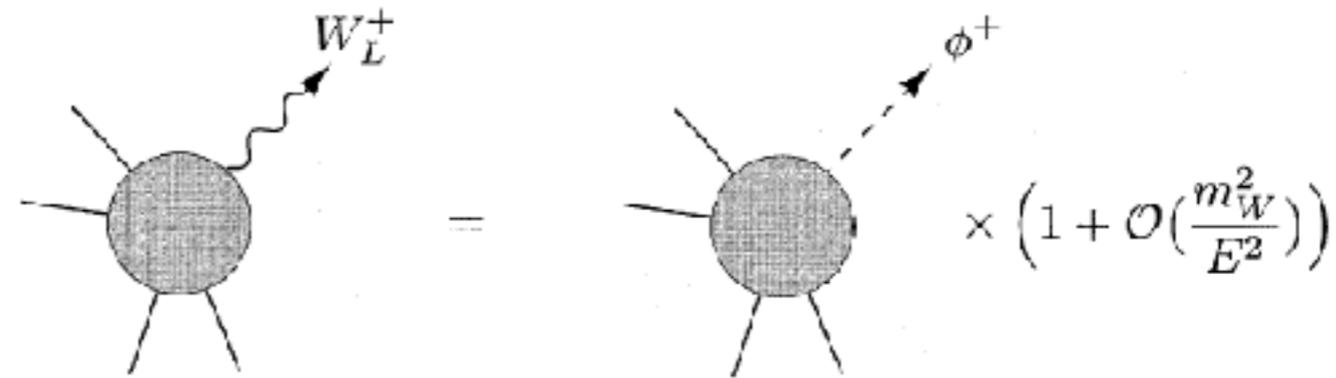
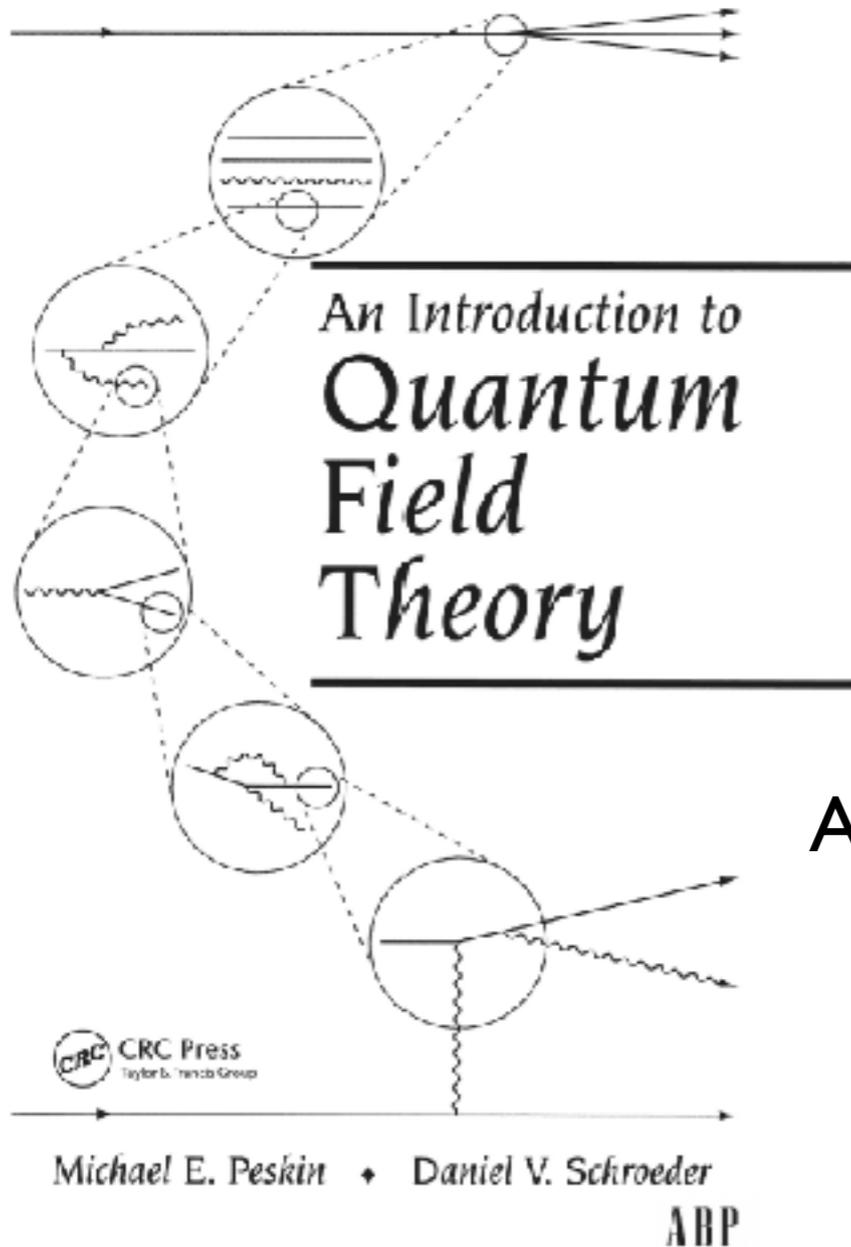


Figure 21.3. The Goldstone boson equivalence theorem. At high energy, the amplitude for emission or absorption of a longitudinally polarized massive gauge boson becomes equal to the amplitude for emission or absorption of the Goldstone boson that was eaten by the gauge boson.

A gauge boson (massless; $v=c$)

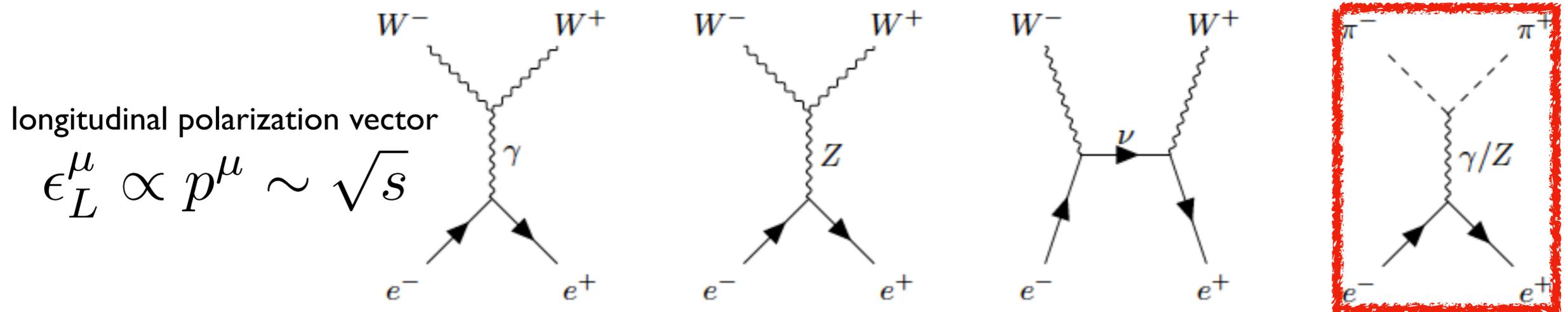
➡ eats a Nambu-Goldstone boson (NGB)

➡ becomes fat (massive; $v < c$)

➡ cannot digest the NGB well

➡ throw up the NGB ... **NGB equivalence theorem**

Peskin&Schroeder (Chapter 21) tells ...



$$\mathcal{M}(e^+e^- \rightarrow W_L^+W_L^-)_{\gamma,Z,\nu} \propto (\sqrt{s})^2$$

~~$$\Rightarrow \sigma(e^+e^- \rightarrow W_L^+W_L^-) \propto s \quad \text{Unitarity violation ???}$$~~

$$\Rightarrow \sigma(e^+e^- \rightarrow W_L^+W_L^-) \propto 1/s \quad \text{Miracle gauge cancellation among the 3 amplitudes !!!}$$

$$\approx \sigma(e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-) \quad \text{Goldstone-boson equivalence theorem}$$

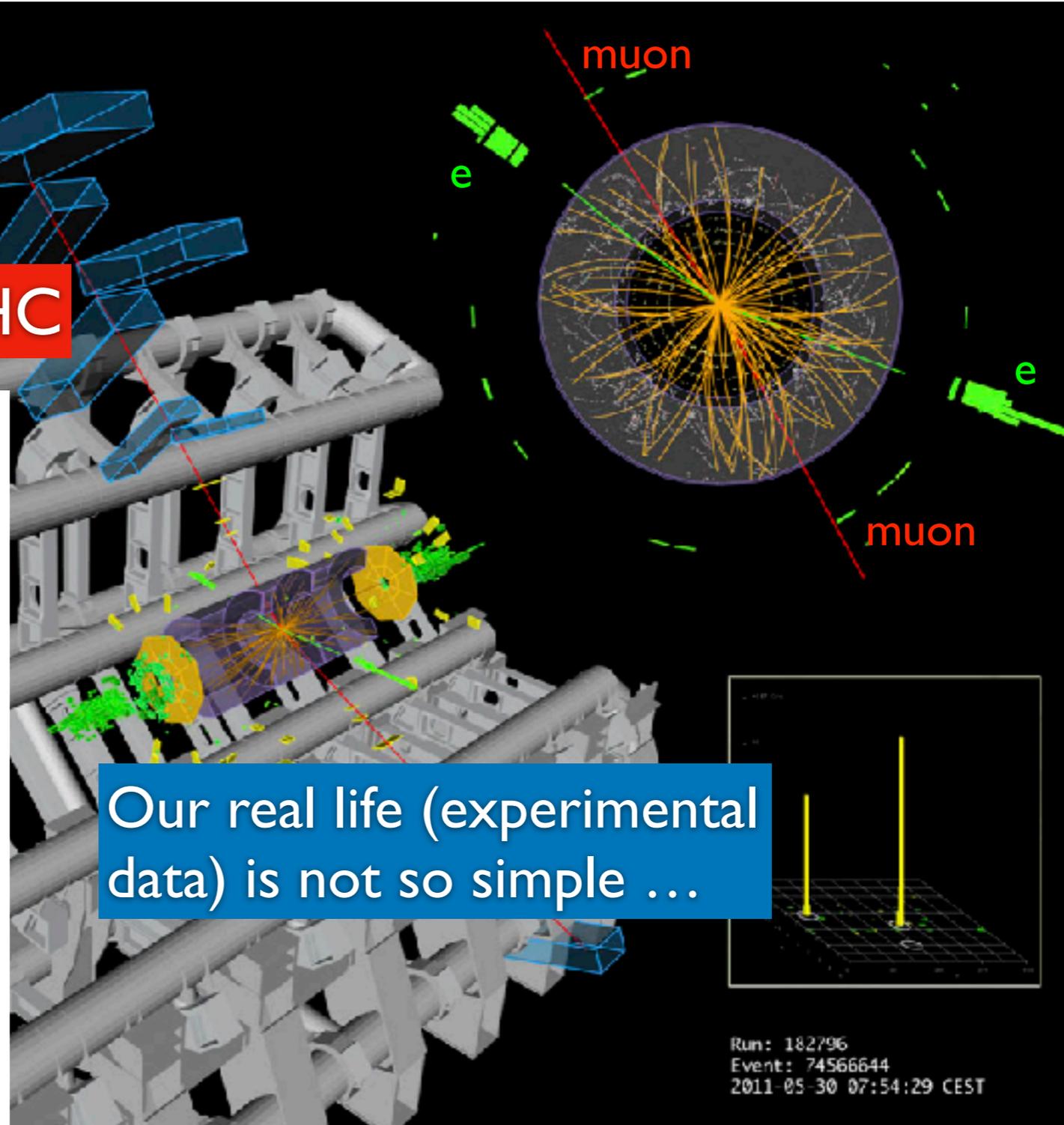
in the high-energy limit

Beauty of the spontaneously broken EW gauge theory

On the other hand, we need experimental tests to proof theories.

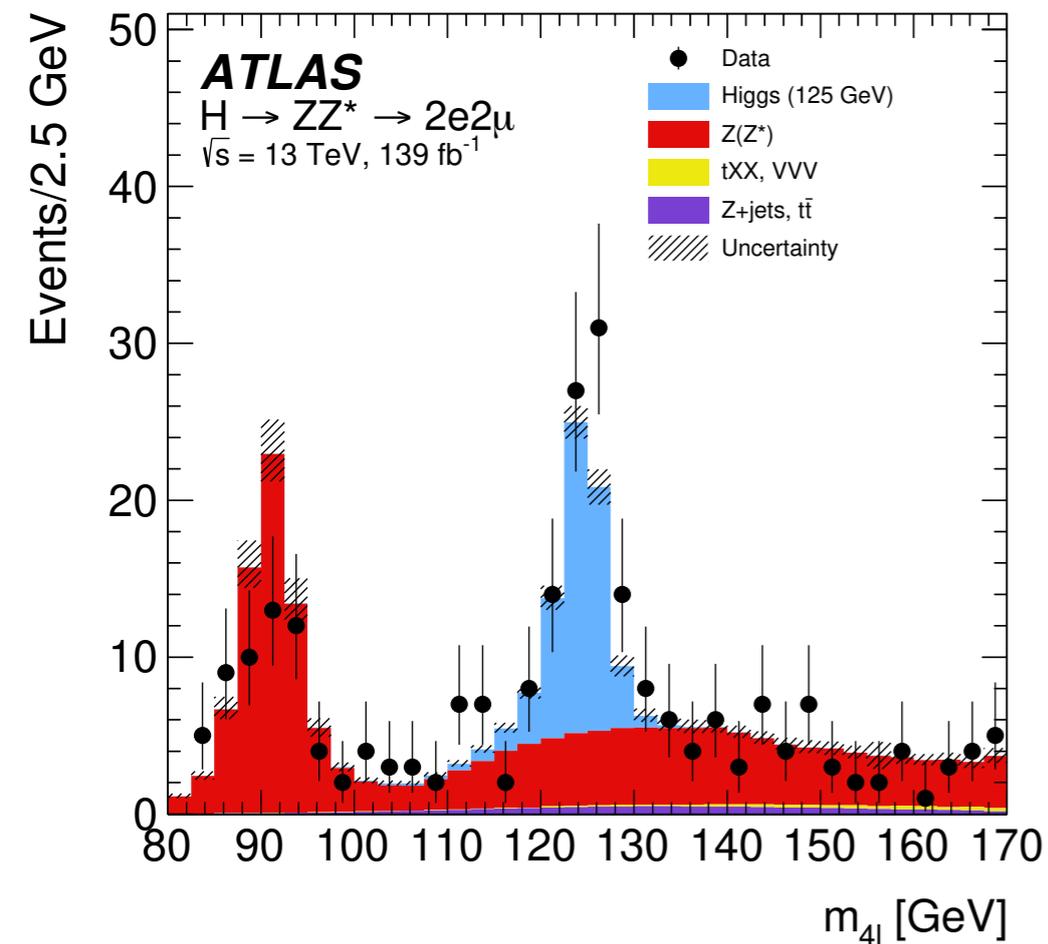
ATLAS
EXPERIMENT
<http://atlas.ch>

e.g. Higgs production @ LHC

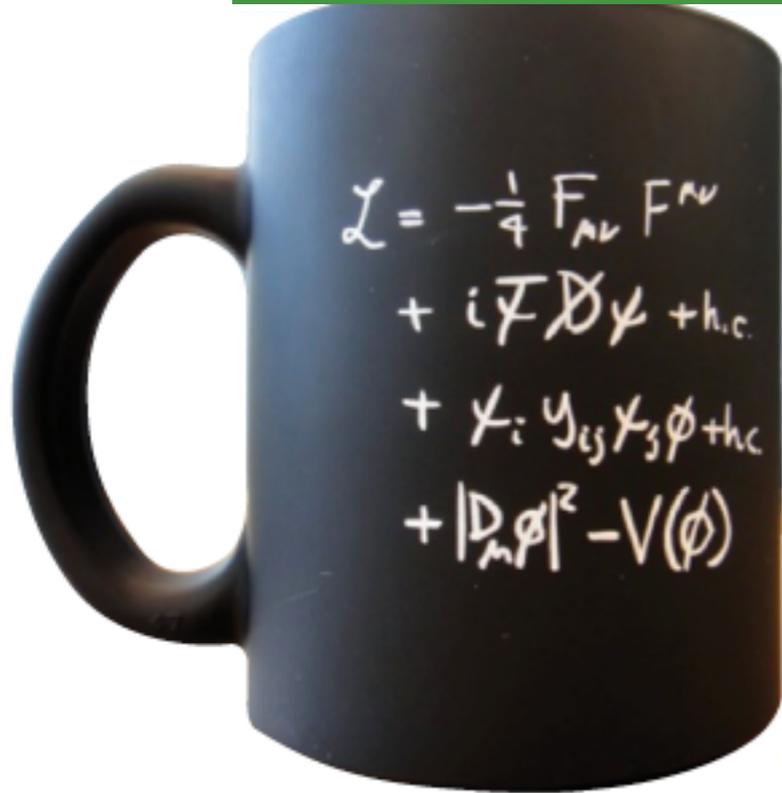


Our real life (experimental data) is not so simple ...

Run: 182796
Event: 74566644
2011-05-30 07:54:29 CEST



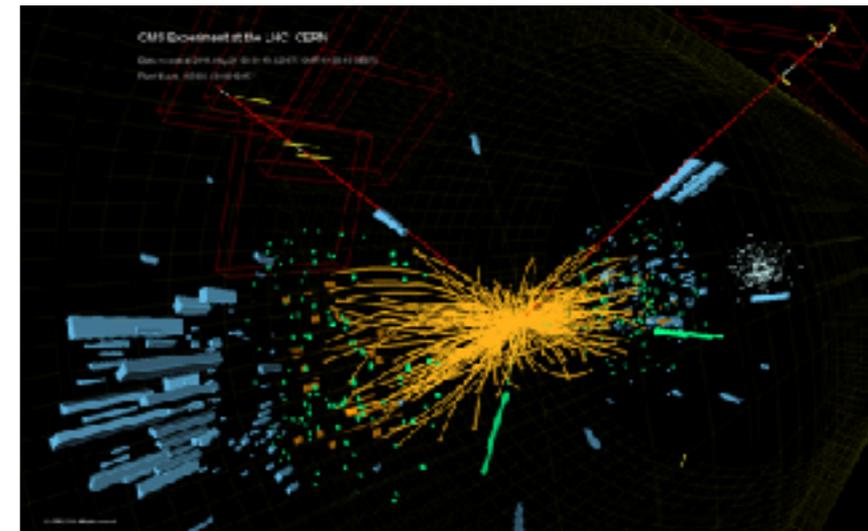
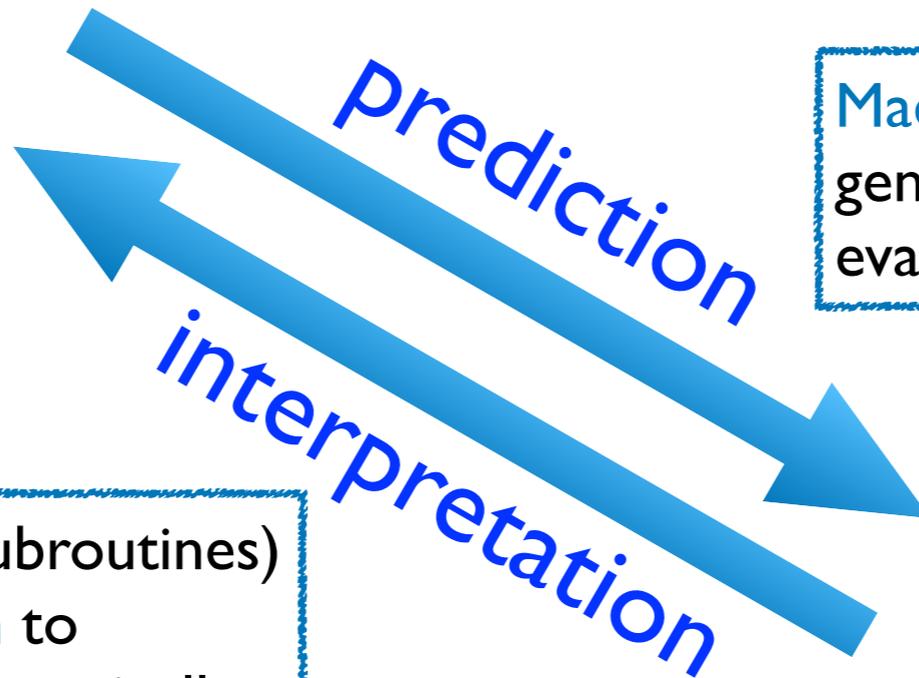
Lagrangian (TH) \Leftrightarrow Data (EXP)



simulation tools

MadGraph is one of such tools to generate events, based on numerical evaluation of **helicity amplitudes**.

HELAS (HELicity Amplitude Subroutines) plays a main role in **MadGraph** to evaluate helicity amplitudes numerically, invented by **K.Hagiwara**, H.Murayama and I.Watanabe in 1991.



HELAS and MadGraph/MadEvent with spin-2 particles

K. Hagiwara¹, J. Kanzaki^{2,a}, Q. Li^{3,b}, K. Mawatari^{4,c}

¹KEK, Theory Division and Sokendai, Tsukuba 305-0801, Japan

²KEK, Tsukuba 305-0801, Japan

³Institut für Theoretische Physik, Universität Karlsruhe, Postfach 698

⁴School of Physics, Korea Institute for Advanced Study, Seoul 130-7

Vertex	Inputs	Output	Subroutine
SST	SST	Amplitude	SSTXXX
	ST	S	HSTXXX
	SS	T	USSXXX
FFT	FFT	Amplitude	IOTXXX
	FT	F	FTIXXX, FT0XXX
	FF	T	UIOXXX
VVT	VVT	Amplitude	VVTXXX
	VT	V	JVTXXX
	VV	T	UVVXXX
FFVT	FFVT	Amplitude	IOVTXX
	FVT	F	FVTIXX, FVTOXX
	FFT	V	JIOTXX
	FFV	T	UIOVXX
VVVT	VVVT	Amplitude	VVVTXX
	VVT	V	JVVTXX
	VVV	T	UVVVXX
VVVVT	GGGGT	Amplitude	GGGGTX
	GGGT	G	JGGGTX
	GGGG	T	UGGGGX

```

TKK = TKK - T12*(pv1(1)*pv2(2) + pv1(2)*pv2(1))
&
- T13*(pv1(1)*pv2(3) + pv1(3)*pv2(1))
&
- T14*(pv1(1)*pv2(4) + pv1(4)*pv2(1))
&
+ T23*(pv1(2)*pv2(3) + pv1(3)*pv2(2))
&
+ T24*(pv1(2)*pv2(4) + pv1(4)*pv2(2))
&
+ T34*(pv1(3)*pv2(4) + pv1(4)*pv2(3))

TK1V2 = TK1V2 - T12*(pv1(1)*v2(2) + pv1(2)*v2(1))
&
- T13*(pv1(1)*v2(3) + pv1(3)*v2(1))
&
- T14*(pv1(1)*v2(4) + pv1(4)*v2(1))
&
+ T23*(pv1(2)*v2(3) + pv1(3)*v2(2))
&
+ T24*(pv1(2)*v2(4) + pv1(4)*v2(2))
&
+ T34*(pv1(3)*v2(4) + pv1(4)*v2(3))

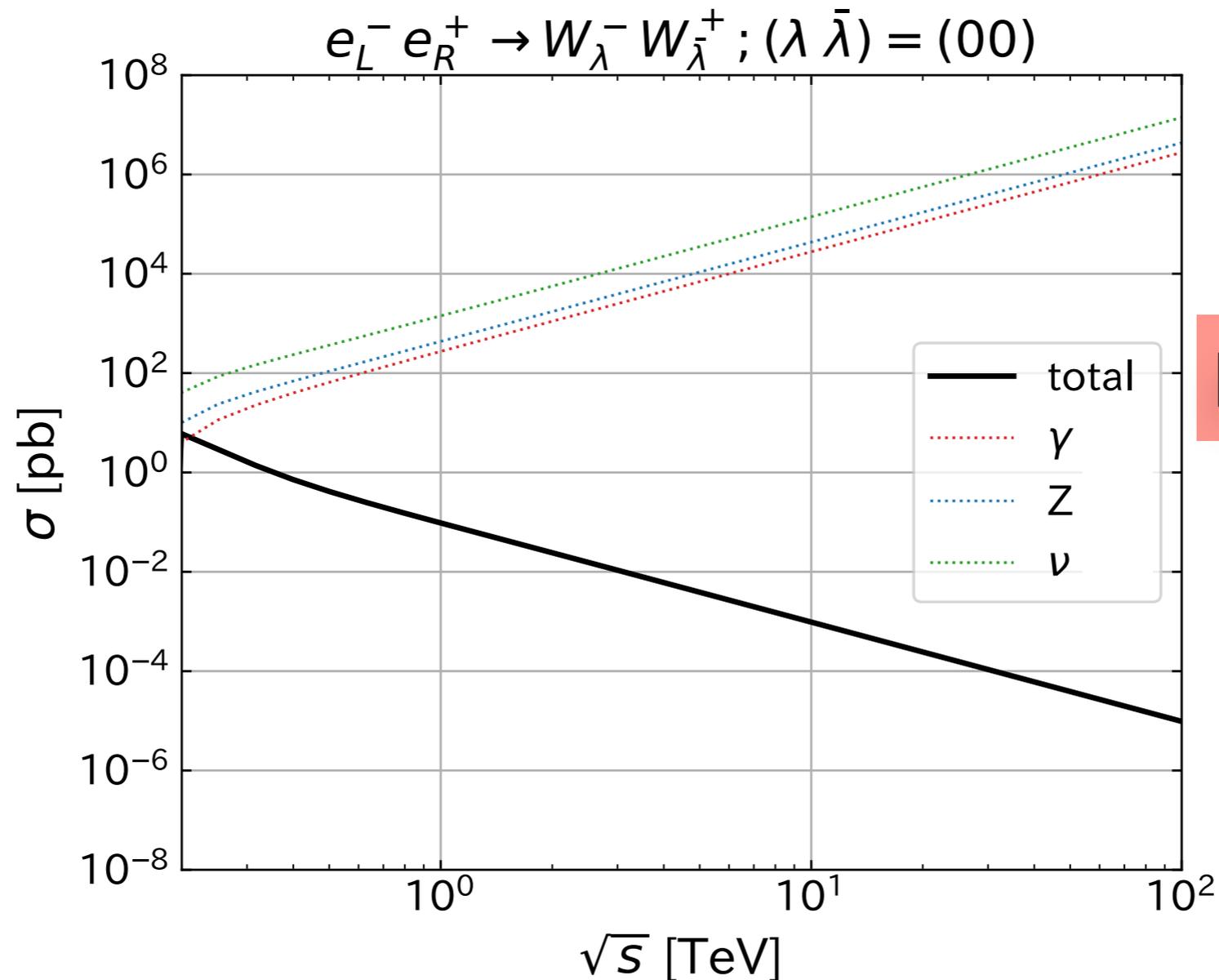
TVV = TVV - T12*(v1(1)*v2(2) + v1(2)*v2(1))
&
- T13*(v1(1)*v2(3) + v1(3)*v2(1))
&
- T14*(v1(1)*v2(4) + v1(4)*v2(1))
&
+ T23*(v1(2)*v2(3) + v1(3)*v2(2))
&
+ T24*(v1(2)*v2(4) + v1(4)*v2(2))
&
+ T34*(v1(3)*v2(4) + v1(4)*v2(3))

TK2V1 = TK2V1 - T12*(v1(1)*pv2(2) + v1(2)*pv2(1))
&
- T13*(v1(1)*pv2(3) + v1(3)*pv2(1))
&
- T14*(v1(1)*pv2(4) + v1(4)*pv2(1))
&
+ T23*(v1(2)*pv2(3) + v1(3)*pv2(2))
&
+ T24*(v1(2)*pv2(4) + v1(4)*pv2(2))
&
+ T34*(v1(3)*pv2(4) + v1(4)*pv2(3))

vertex = (ft(1,1)-ft(2,2)-ft(3,3)-ft(4,4))*( K1V2*K2V1 - V1V2*F )
&
+ F*TVV + V1V2*TKK - K2V1*TK1V2 - K1V2*TK2V1

```

Numerical check for gauge cancellation

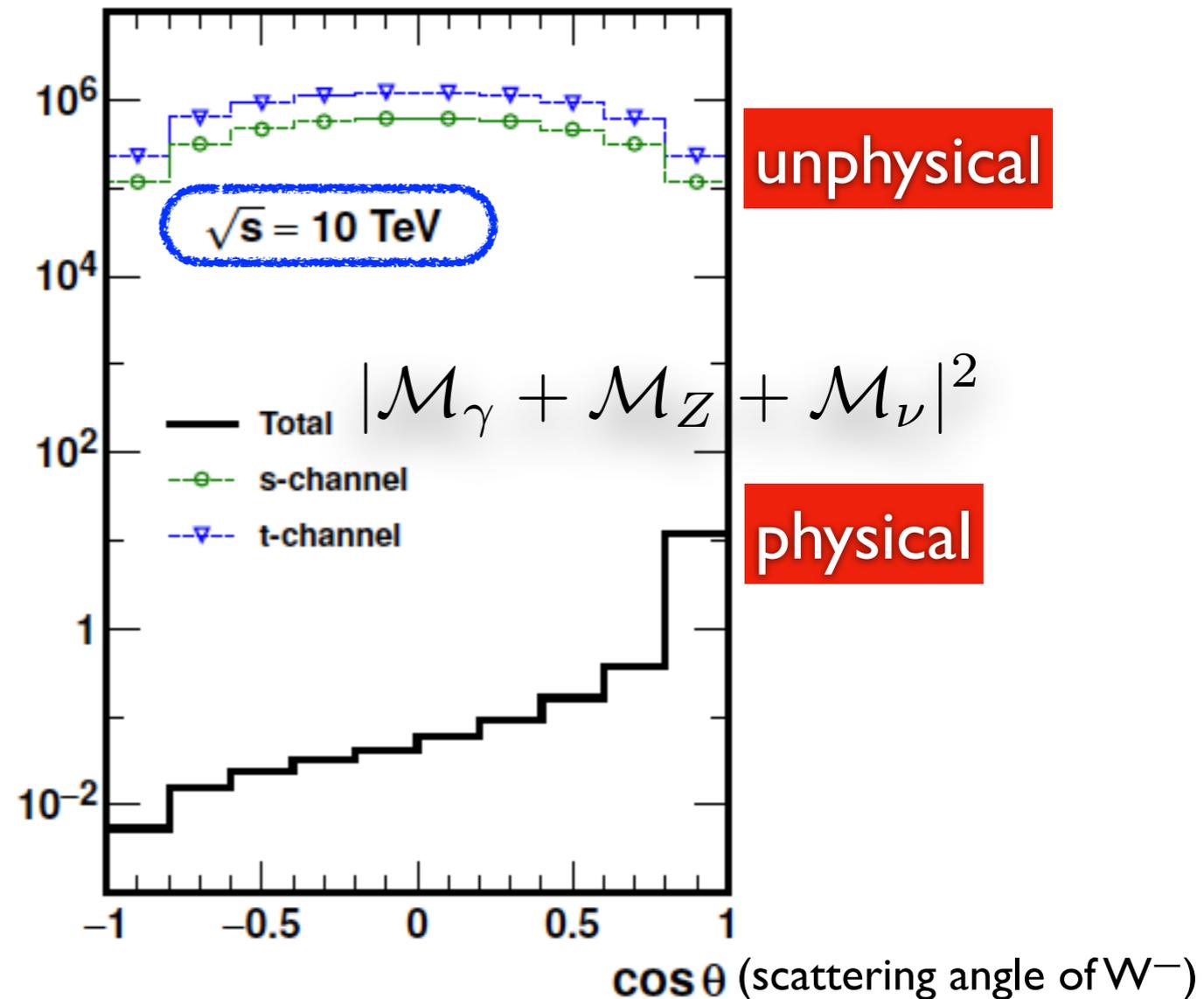
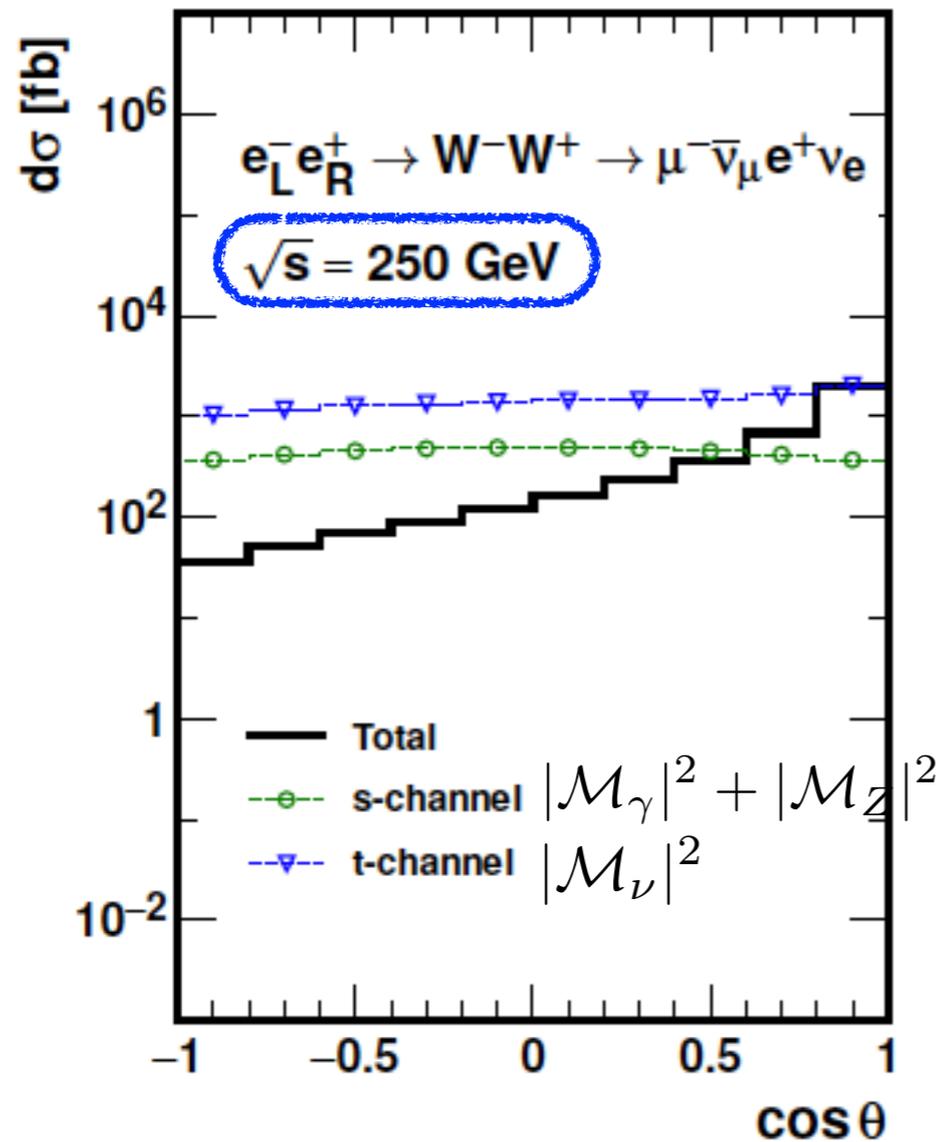


$$|\mathcal{M}_\gamma + \mathcal{M}_Z + \mathcal{M}_\nu|^2$$

huge cancellation

At very high energies, event generators encounter numerical problems due to cancellation of significant digits ...

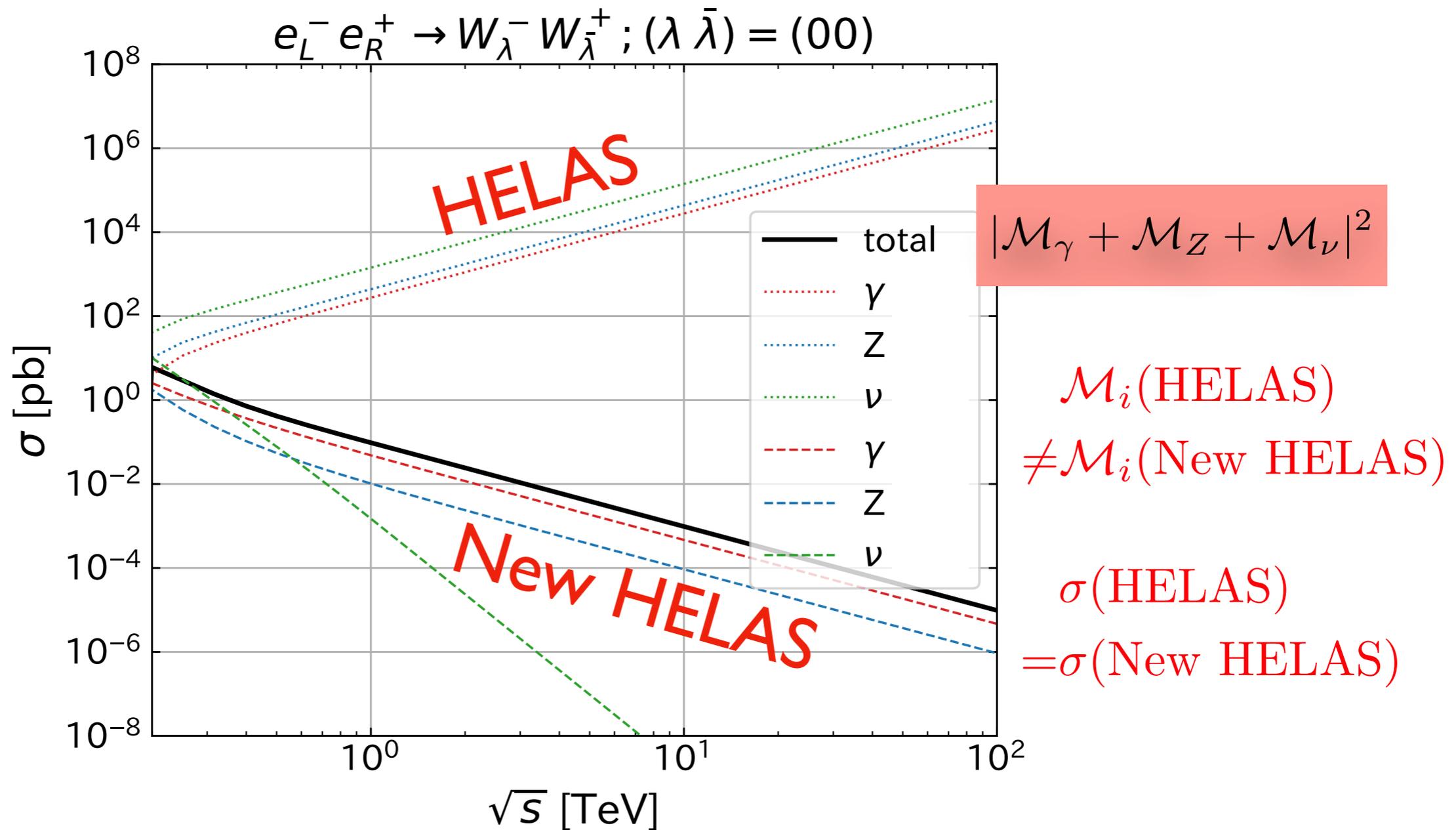
Moreover ...



Each amplitude is (too) unphysical ...

Do we have any choice?
YES!!!

Highlight of New HELAS (total cross section)



In the New HELAS calculation, No unphysical energy growth for each amplitude!

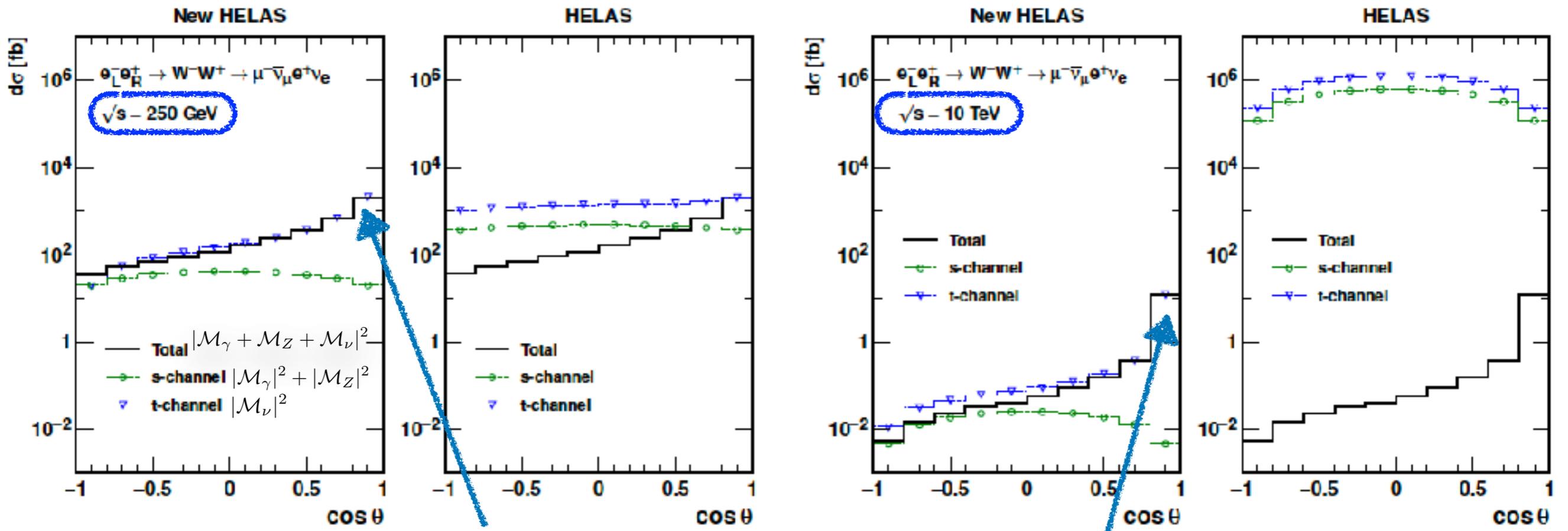
Highlight of New HELAS (distribution)

Feynman-Diagram gauge

Unitary gauge

Feynman-Diagram gauge

Unitary gauge



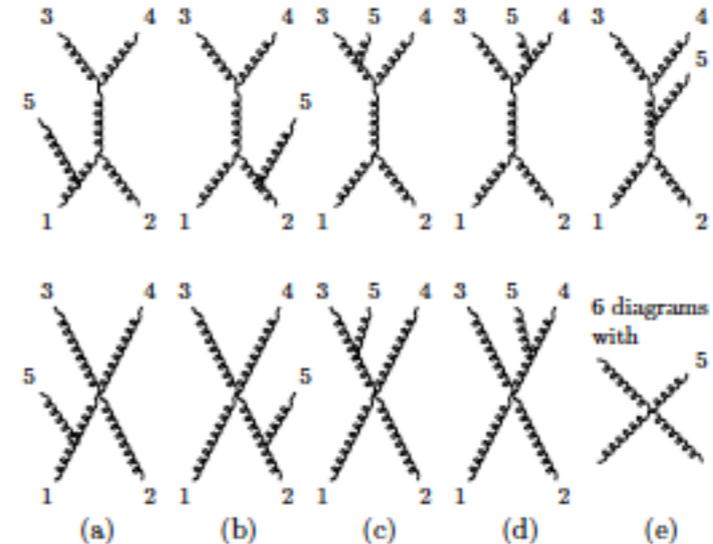
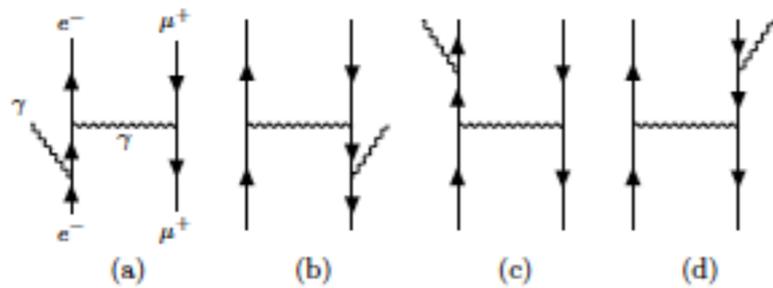
Enhancement from the t-channel amplitude

In the New HELAS calculation:

- No subtle cancellation among the amplitudes!
- Each squared amplitude describes the physical distributions!

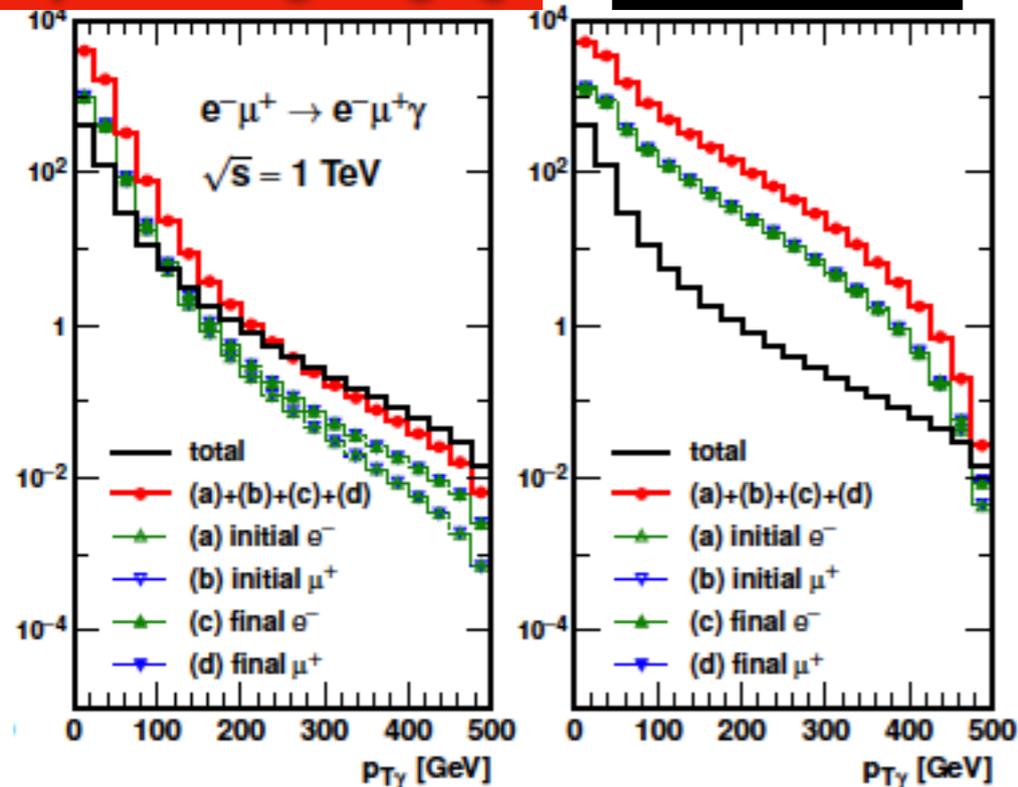
What is new?
Gauge choice

Not only EW, but also QED/QCD



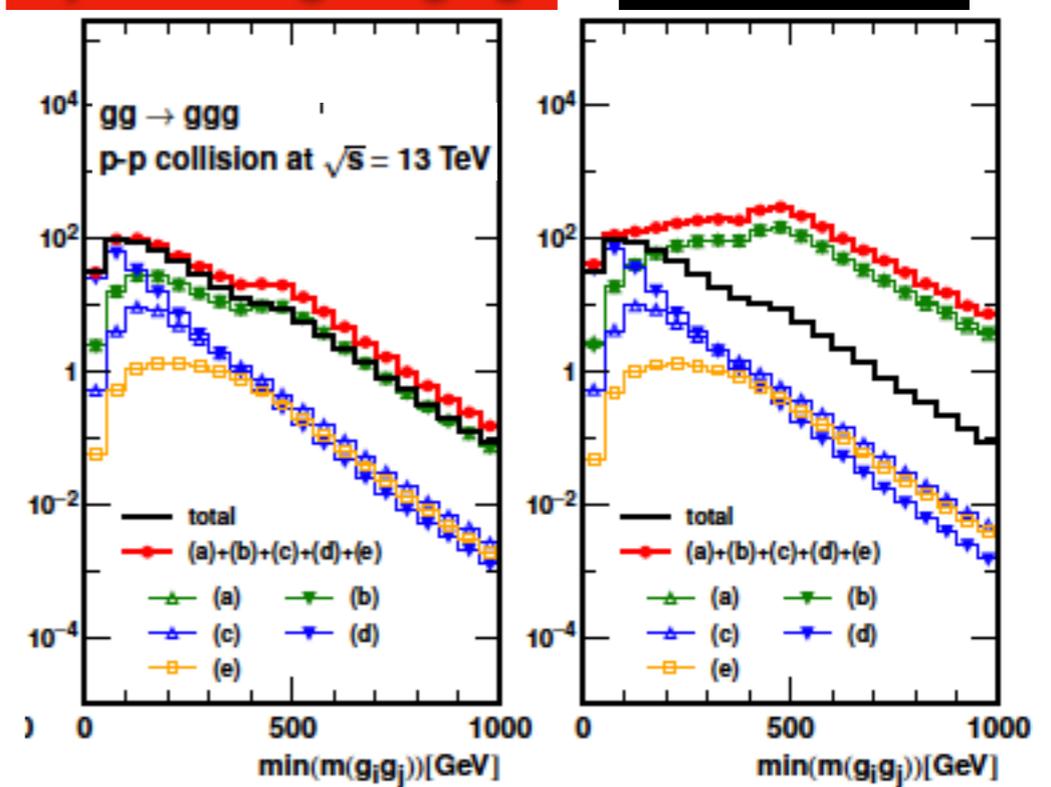
Feynman-Diagram gauge

Feynman gauge



Feynman-Diagram gauge

Feynman gauge



What is the Feynman-Diagram gauge ?

Feynman-Diagram (FD) gauge in QED/QCD

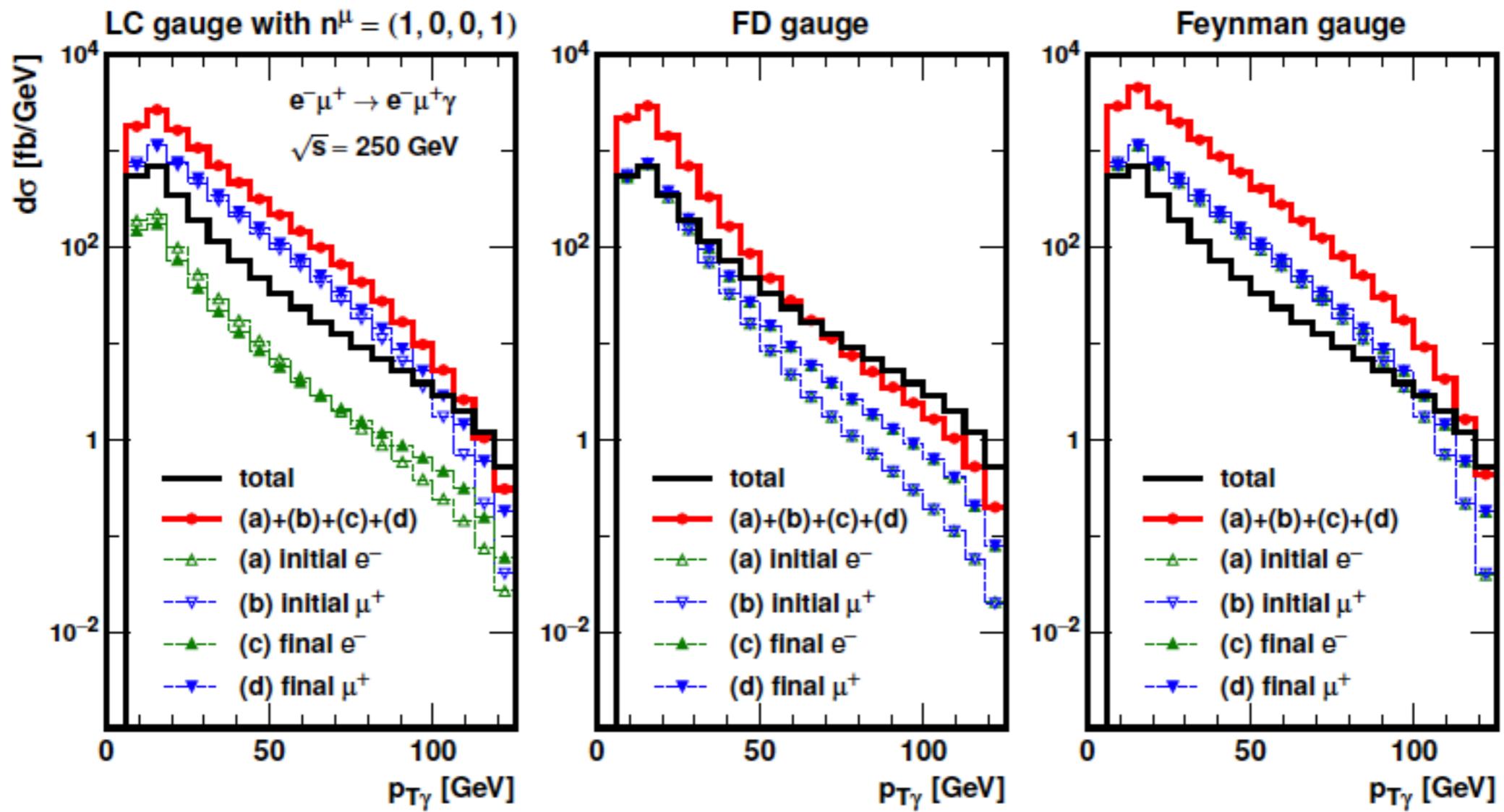
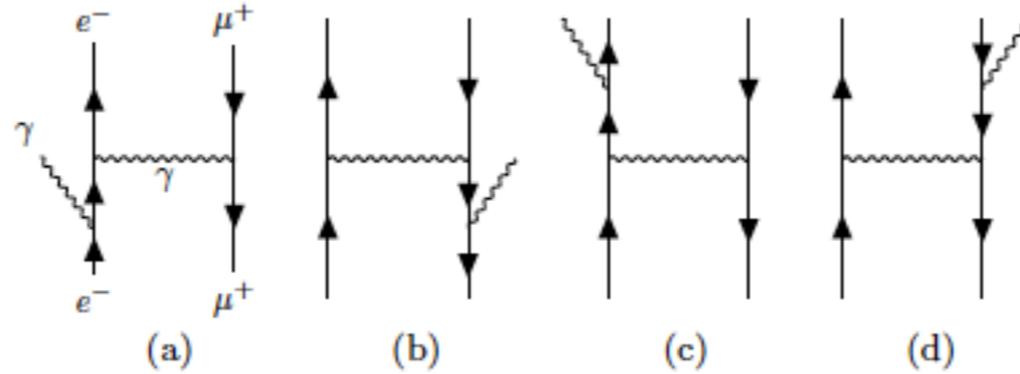
- obtained from a light-cone (LC) gauge propagator, by choosing the gauge vector along the opposite direction of the gauge-boson momentum.

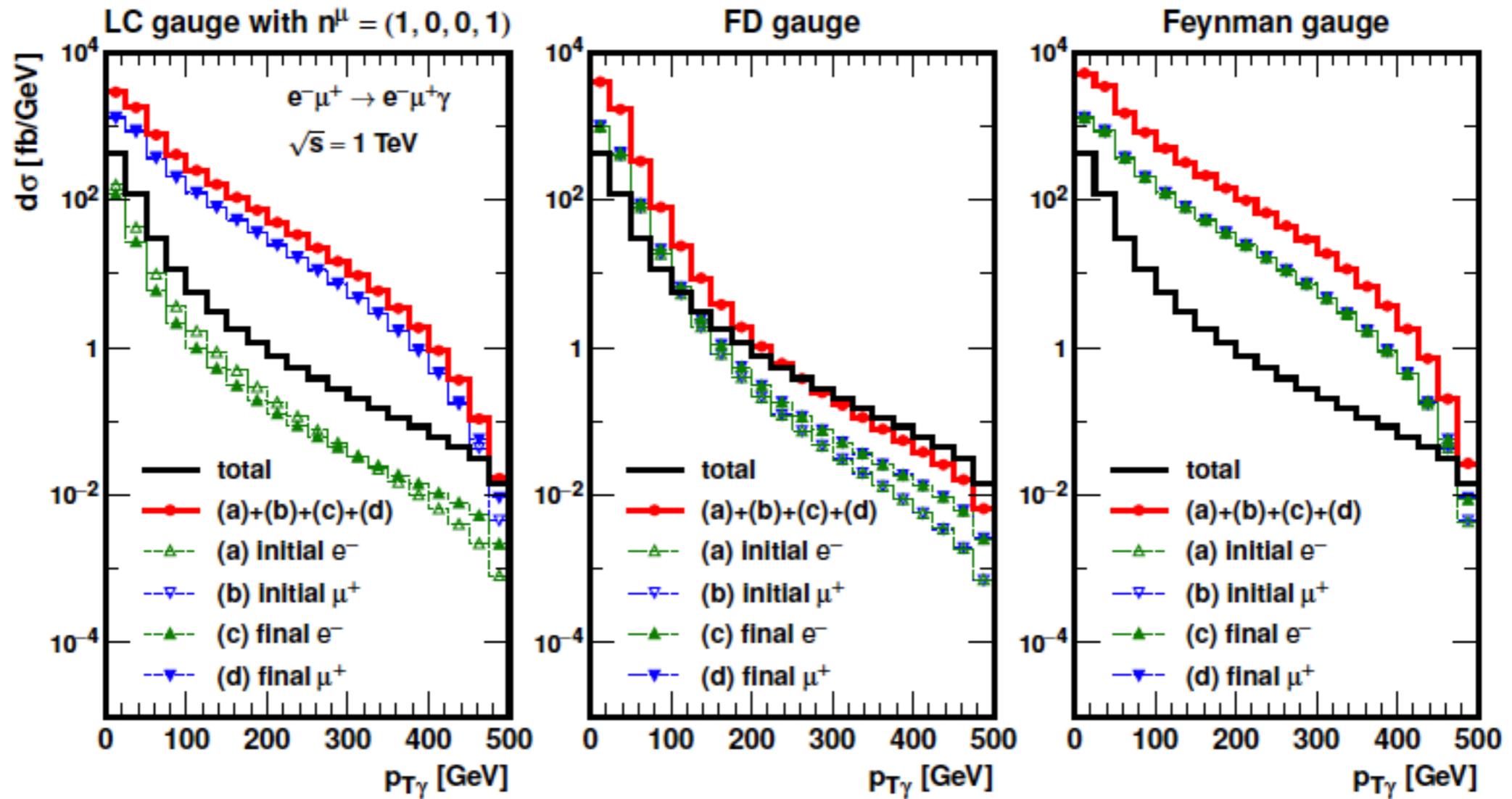
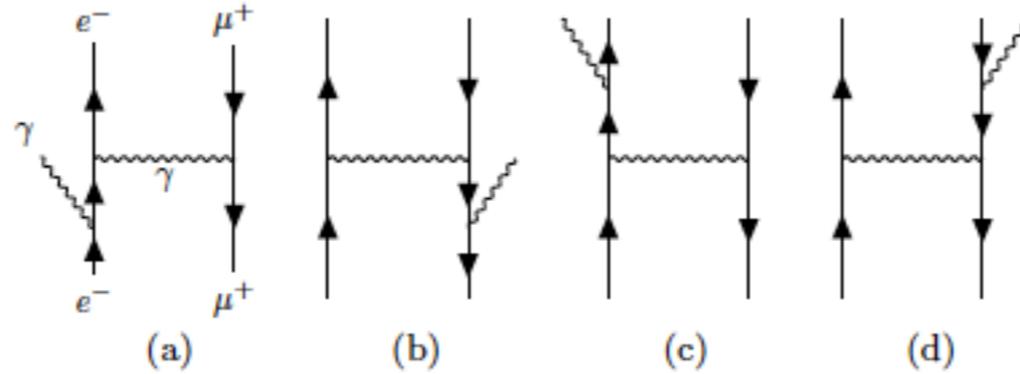
$$\begin{aligned}
 P_{\text{FD}}^{\mu\nu} &\equiv -\tilde{g}^{\mu\nu} \\
 &= -g^{\mu\nu} + \frac{n^\mu q^\nu + q^\mu n^\nu}{n \cdot q} \quad \text{with } n^\mu = (\text{sgn}(q^0), -\vec{q}/|\vec{q}|) \\
 &= \sum_{h=\pm 1} \epsilon^\mu(q, h) \epsilon^\nu(q, h)^* + \text{sgn}(q^0) \tilde{\epsilon}^\mu(q, 0) \tilde{\epsilon}^\nu(q, 0)^* \quad \text{with } \tilde{\epsilon}^\mu(q, 0) = \epsilon^\mu(q, 0) - \frac{q^\mu}{Q}
 \end{aligned}$$

cf. $P_{\text{Landau}}^{\mu\nu} = -g^{\mu\nu} + \frac{q^\mu q^\nu}{q^2}$

$$= \sum_{h=\pm 1} \epsilon^\mu(q, h) \epsilon^\nu(q, h)^* + \text{sgn}(q^0) \epsilon^\mu(q, 0) \epsilon^\nu(q, 0)^*$$

systematically subtract the scalar component which leads to unphysical energy growth in each amplitude.





Feynman-Diagram (FD) gauge in EW

- 5-component polarization vector

$$\mathcal{M}_0 = \epsilon_{V\mu}(q, 0) T_V^\mu \implies \tilde{\epsilon}_{VM}(q, 0) T_V^M \text{ with } M = (\mu, 4)$$

$$\tilde{\epsilon}_V^M(q, 0) = (\tilde{\epsilon}_V^\mu(q, 0), i) \quad [\text{reduced pol. vector}] \quad \tilde{\epsilon}_V^\mu(q, 0) = \epsilon_V^\mu(q, 0) - \frac{q^\mu}{m_V}$$

$$T_V^4 = T^{\pi\nu} \quad [\text{BRST identities}] \quad iq_\mu T_V^\mu = m_V T^{\pi\nu}$$

- 5x5 component propagator

$$\mathcal{M} = T_1^\mu \frac{P_{V\mu\nu}^U}{q^2 - m_V^2 + i\varepsilon} T_2^\nu \implies T_1^M \frac{\tilde{P}_{VMN}}{q^2 - m_V^2 + i\varepsilon} T_2^N$$

$$\tilde{P}_{VMN} = \begin{pmatrix} -\tilde{g}_{\mu\nu} & -i\tilde{\epsilon}_\mu(q, 0)^* \frac{m_V}{Q} \\ i\tilde{\epsilon}_\nu(q, 0) \frac{m_V}{Q} & 1 \end{pmatrix} \quad \tilde{g}_{\mu\nu} = g_{\mu\nu} - \frac{n_\mu q_\nu + q_\mu n_\nu}{n \cdot q}$$

$$n^\mu = (\text{sgn}(q^0), -\vec{q}/|\vec{q}|)$$

Massive gauge boson = QM superposition [reduced polarization vector + its associate NGB]

We can systematically remove unphysical terms which grow with energy from all the diagrams.

Derivation of the FD gauge propagator from the Lagrangian

- The free Lagrangian in the Light-Cone (LC) gauge:

$$\begin{aligned}\mathcal{L} &= -\frac{1}{4}(\partial^\mu Z^\nu - \partial^\nu Z^\mu)^2 + \frac{1}{2}m^2 Z^\mu Z_\mu + \frac{1}{2}(\partial^\mu \pi)^2 + mZ^\mu \partial_\mu \pi - \frac{1}{2\xi}(n^\mu Z_\mu)^2 \\ &= \frac{1}{2} \begin{pmatrix} Z^\mu & \pi \end{pmatrix} \begin{pmatrix} (\partial^2 + m^2)g_{\mu\nu} - \partial_\mu \partial_\nu - \frac{n_\mu n_\nu}{\xi} & m\partial_\mu \\ -m\partial_\nu & -\partial^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Z^\nu \\ \pi \end{pmatrix}\end{aligned}$$

- The equation of motion in the momentum space:

$$\begin{pmatrix} (-q^2 + m^2)g^\mu_\nu + q^\mu q_\nu - \frac{n^\mu n_\nu}{\xi} & -imq^\mu \\ imq_\nu & q^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \tilde{Z}^\nu(q) \\ \tilde{\pi}(q) \end{pmatrix} = O^M_N \tilde{Z}^N(q) = 0$$

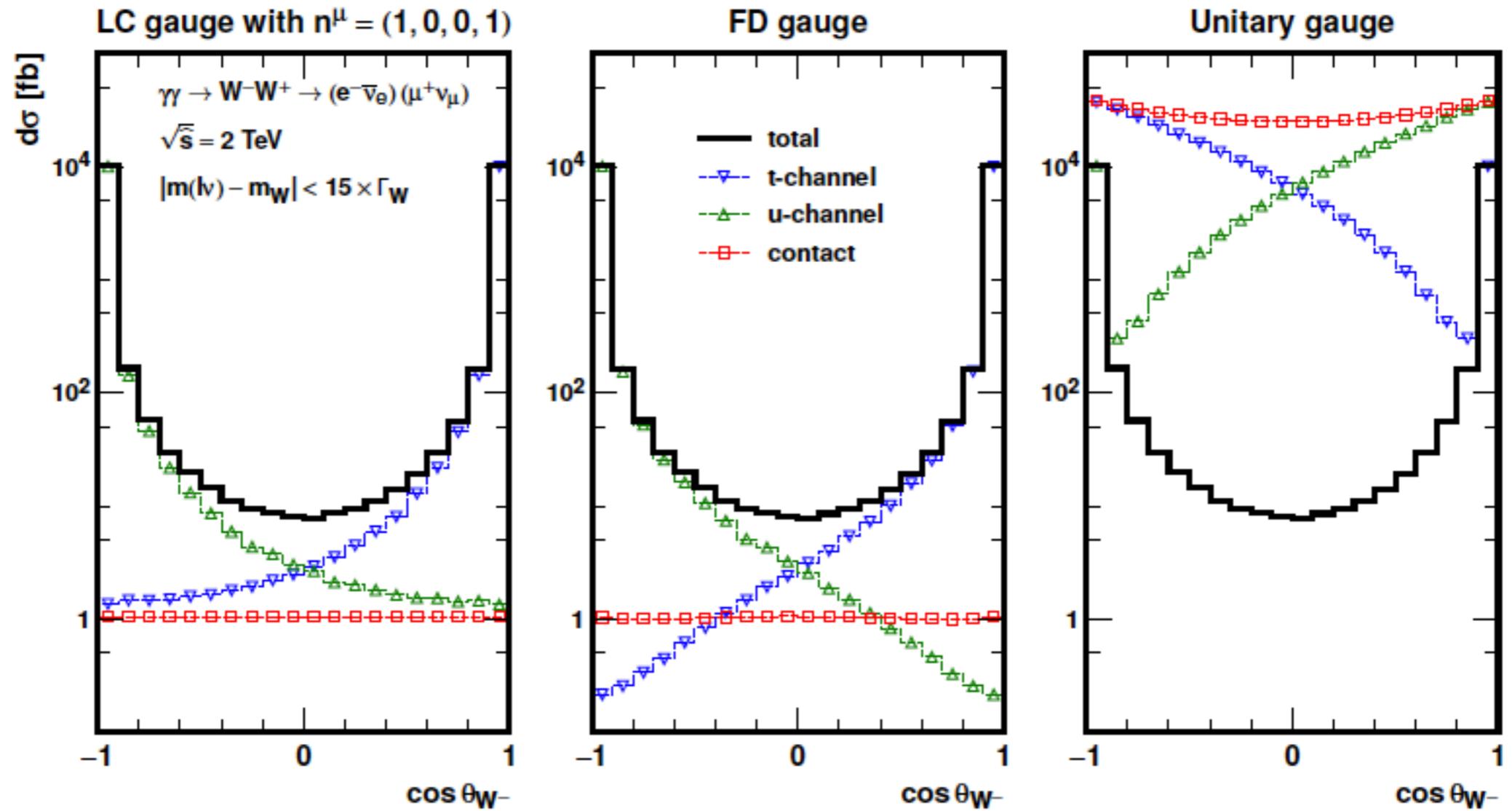
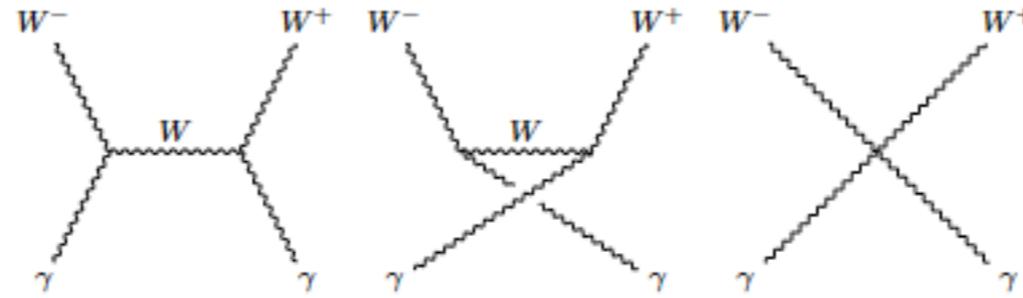
- All the 5-component of $\tilde{Z}^N(q)$ have a common mass.

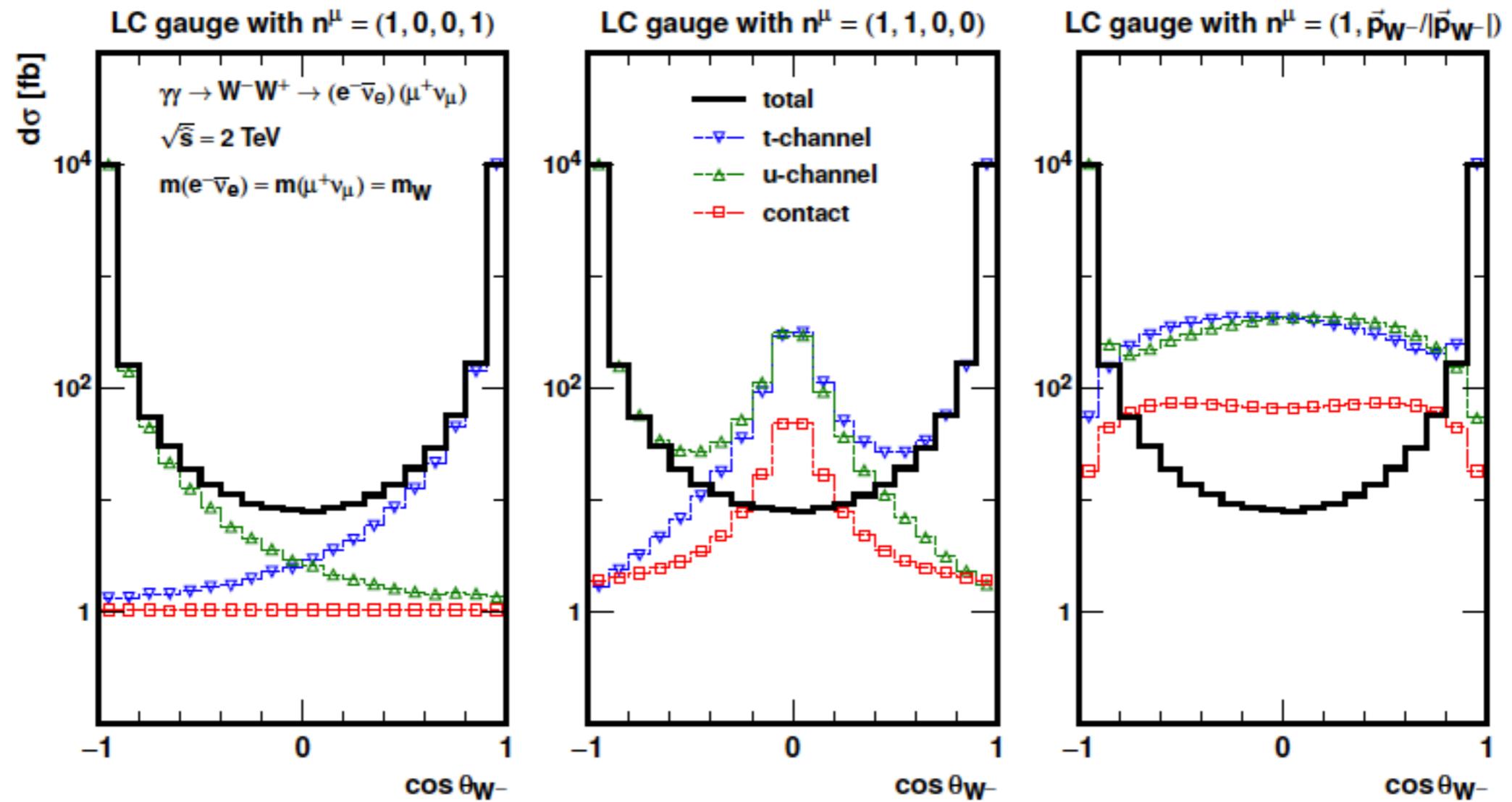
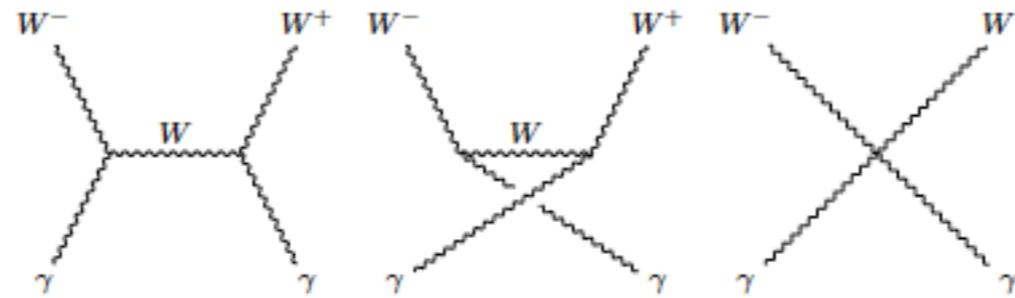
- The LC gauge propagator:

$$G_{\text{LC}}^M_N = \frac{P_{\text{LC}}^M_N}{q^2 - m^2 + i\varepsilon} \quad P_{\text{LC}}^M_N = \begin{pmatrix} -g^\mu_\nu + \frac{n^\mu q_\nu + q^\mu n_\nu}{n \cdot q} & im \frac{n^\mu}{n \cdot q} \\ -im \frac{n_\nu}{n \cdot q} & 1 \end{pmatrix}$$

- The FD gauge propagator is obtained by setting

$$n^\mu \equiv n_{\text{FD}}^\mu = (\text{sgn}(q^0), -\vec{q}/|\vec{q}|)$$





Key features of Feynman-Diagram (FD) gauge

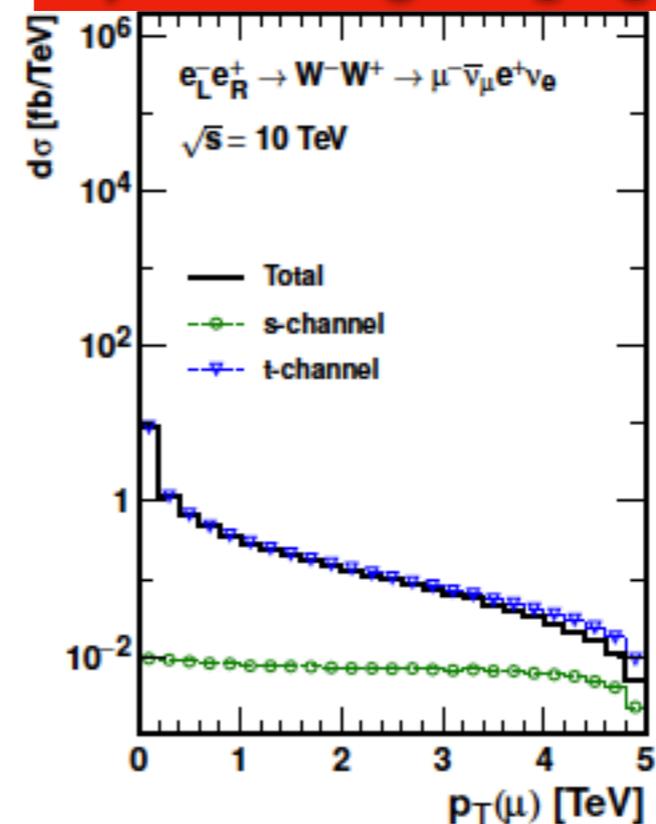
- All the numerical problems associated with so-called gauge cancellation is absent.
- Helicity amplitudes for individual **Feynman diagram** have definite physical interpretation as

[all the invariant Feynman propagator factors for the connecting lines]

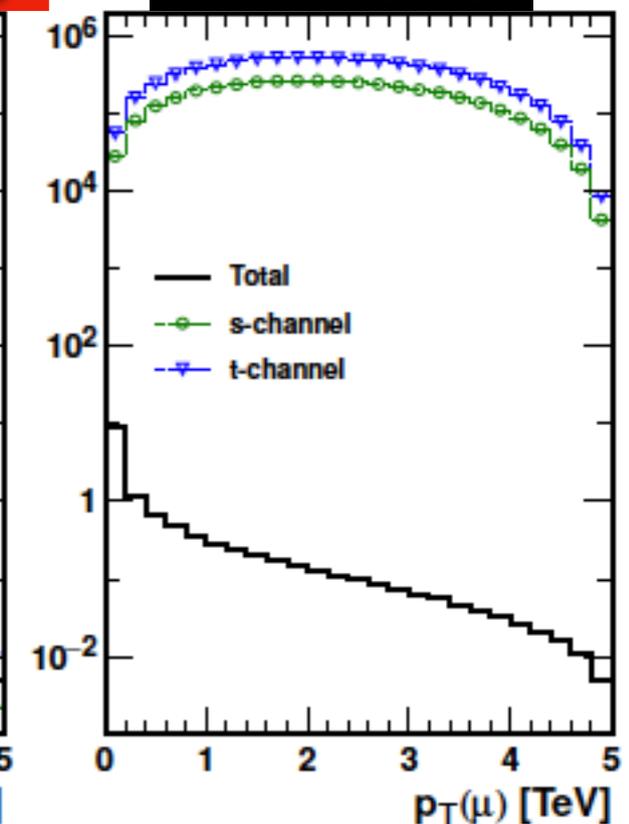
×

[the splitting amplitudes at each vertex (=Wigner's d-function)]

Feynman-Diagram gauge



Unitary gauge



Because of these properties, we believe that amplitudes evaluated in the FD gauge give us **deeper insights on scattering processes**, and give **improved efficiency in event generations**.