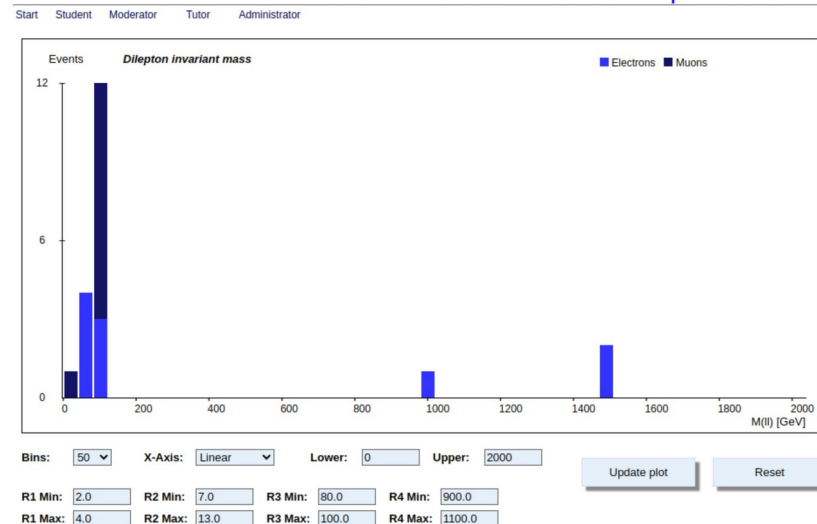


Podsumowanie poszukiwania bozonu Z i cząstki Higgs'a

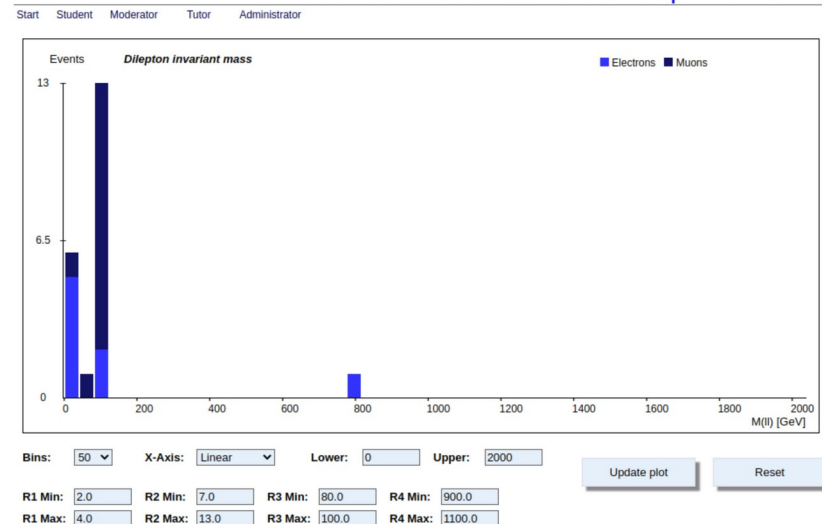


Po zakończeniu analizy danych i wysłaniu na serwer jej wyniku (przez jedną osobę) pojawia się histogram masy niezmienniczej par leptonów $\mu^+\mu^-$ oraz e^+e^- (łącznie)

OPlot – MasterClass with CERN – Plot for Krakow Group 16A on 202!



OPlot – MasterClass with CERN – Plot for Krakow Group 17A on 202!

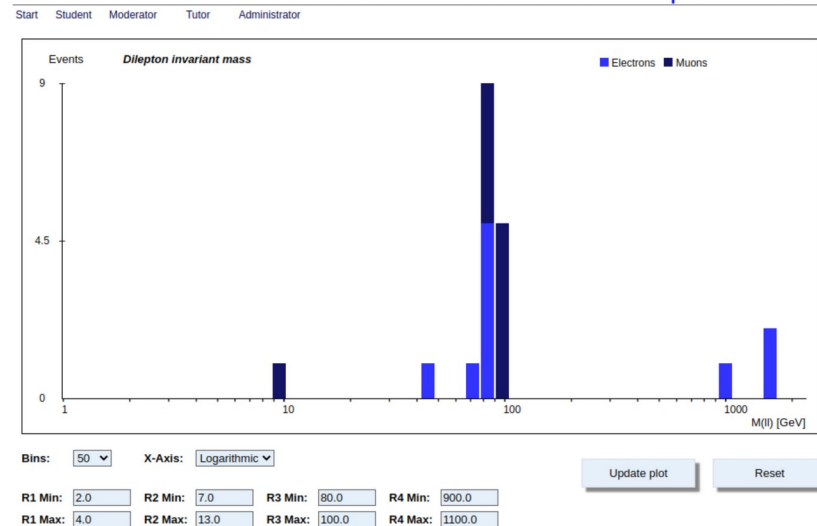


Widoczne są liczne pary poniżej 100 GeV oraz pojedyncze pary w okolicach:

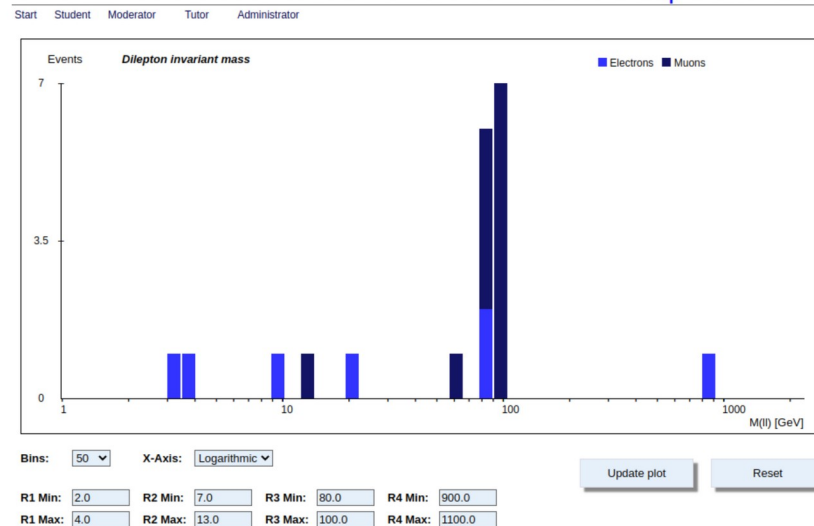
- 1000 i 1500 GeV (grupa 16A)
- 800 GeV (grupa 17A)

Obszar mas poniżej 200 GeV jest lepiej widoczny po zmianie skali liniowej na logarytmiczną

OPlot – MasterClass with CERN – Plot for Krakow Group 16A on 202!



OPlot – MasterClass with CERN – Plot for Krakow Group 17A on 202!



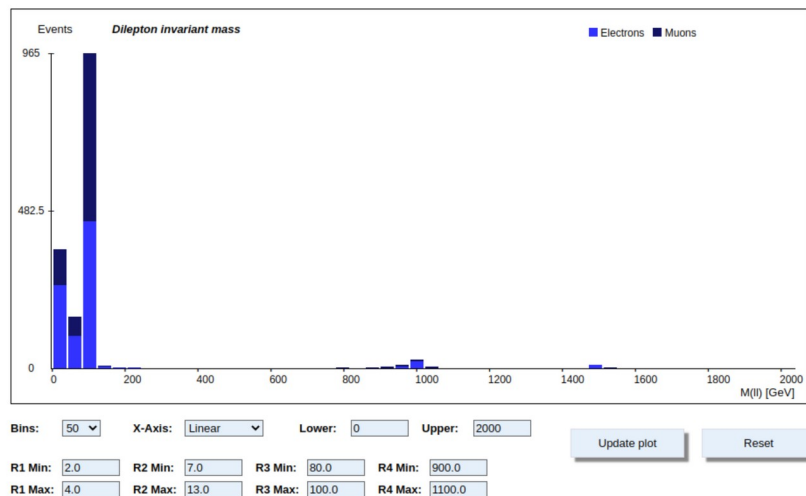
Teraz nadal widać małe maksima powyżej 200 GeV, ale staje się oczywiste, że największe jest maksimum w zakresie 80-100 GeV związane z **bozonem Z**. Jest też kilka par w obszarze niższych mas.

Więcej wniosków można wyciągnąć dopiero po połączeniu wyników z wielu grup danych.

W skali liniowej maksima przy ok. 1000 GeV i 1500 GeV są potwierdzone, choć niezbyt wyraźne z powodu dominacji maksimum od bozonu Z

[OPlot – MasterClass with CERN – Combination for Krakow on 2025-0](#)

[Start](#) [Student](#) [Moderator](#) [Tutor](#) [Administrator](#)



**Zsumowane wyniki pomiarów
z wszystkich analizowanych grup**

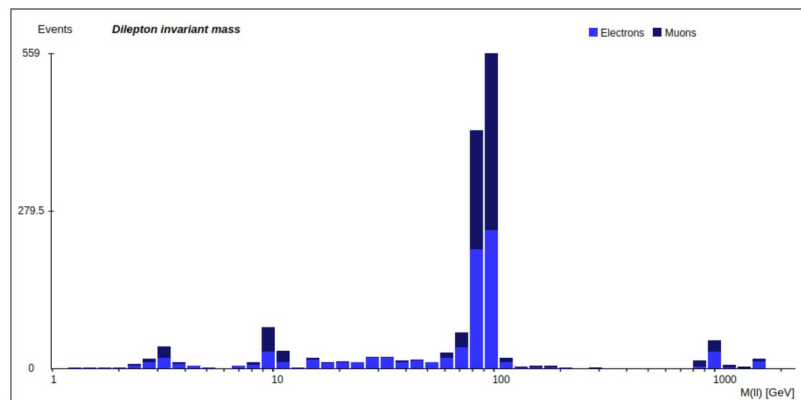
Teraz nadal widać małe maksima powyżej 100 GeV, ale staje się oczywiste, że największe jest maksimum w zakresie 80-100 GeV związane z **bozonem Z**. Jest też kilka par w obszarze niższych mas.

Więcej wniosków można wyciągnąć dopiero po połączeniu wyników z wielu grup danych

W skali logarytmicznej poza dominującym maksimum w obszarze 80-100 GeV wyraźnie widać dwa maksima dla niższych mas, w okolicach 10 GeV i 3 GeV.

[OPlot – MasterClass with CERN – Combination for Krakow on 2025-0](#)

[Start](#) [Student](#) [Moderator](#) [Tutor](#) [Administrator](#)



Bins: 50

X-Axis: Logarithmic

Update plot

Reset

R1 Min: 2.0 R2 Min: 7.0 R3 Min: 80.0 R4 Min: 900.0

R1 Max: 4.0 R2 Max: 13.0 R3 Max: 100.0 R4 Max: 1100.0

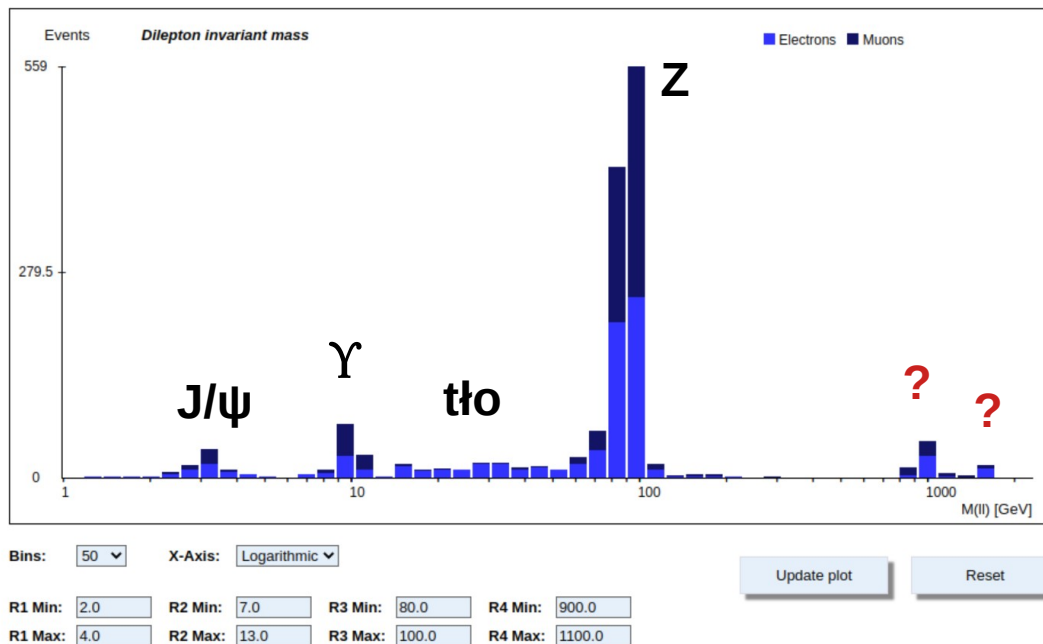
**Zsumowane wyniki pomiarów
z wszystkich analizowanych grup**

W obszarze 20-80 GeV jest sporo par leptonów, ale nie jest wyróżniona żadna konkretna wartość masy.

Trzy z pięciu maksimów można przypisać znanym cząstkom:
mezon J/ψ (J/ψ) o masie **3,097 GeV** - składający się z kwarku c i anty-kwarku c
mezon Υ (upsilon) o masie **9,46 GeV** - składający się z kwarku b i anty-kwarku b
bozon Z o masie **91,19 GeV**

OPloT – MasterClass with CERN – Combination for Krakow on 2025-0

[Start](#) [Student](#) [Moderator](#) [Tutor](#) [Administrator](#)



W obszarze 20-80 GeV mamy pary leptonów, które nie pochodzą z rozpadu jednej cząstki, ale z dwu różnych, niezależnych źródeł (tło kombinatoryczne)

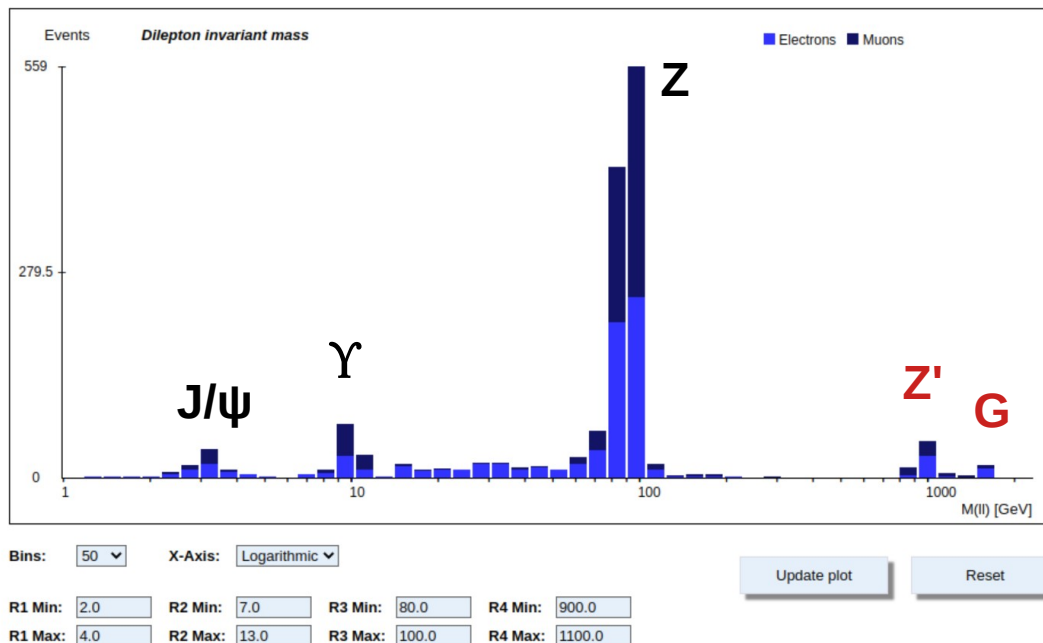
Nie znamy żadnych cząstek o masach powyżej 200 GeV

Dwa niezidentyfikowane maksima odpowiadają hipotetycznym cząstkom:

- bozonowi Z' (z prim) - przewidywanym w jednym z rozszerzeń Modelu Standardowego
- grawitonowi G - cząstce pośredniczącej w oddziaływaniu grawitacyjnym (w teorii kwantowej grawitacji ma on zerową masę, ale są jej rozszerzenia nadające mu masę)

OPloT – MasterClass with CERN – Combination for Krakow on 2025-0

Start Student Moderator Tutor Administrator



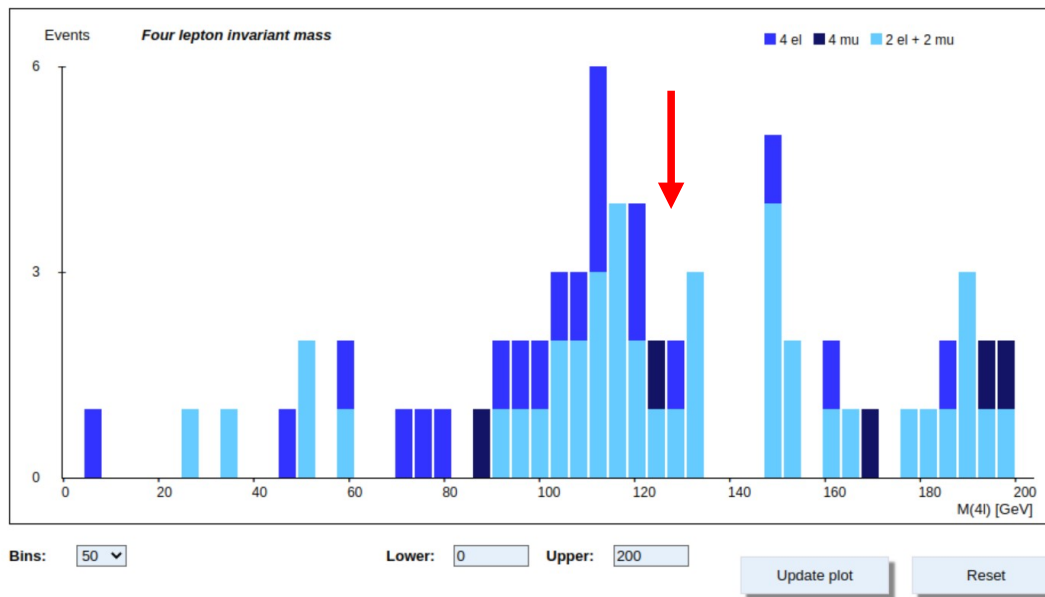
Do danych eksperymentalnych
zostały dodane leptony
pochodzące z **symulacji**
rozpadów cząstek hipotetycznych:

bozonu Z' o masie ~ 1000 GeV
grawitonu G o masie ~ 1500 GeV

W rozkładach masy 4 leptonów oczekiwali byśmy cząstki Higgs'a o masie ~ 125 GeV
Niestety w naszych wynikach nie ma w tym miejscu wyraźnego maksimum

OPloT – MasterClass with CERN – Combination for Krakow on 2025-0

[Start](#) [Student](#) [Moderator](#) [Tutor](#) [Administrator](#)

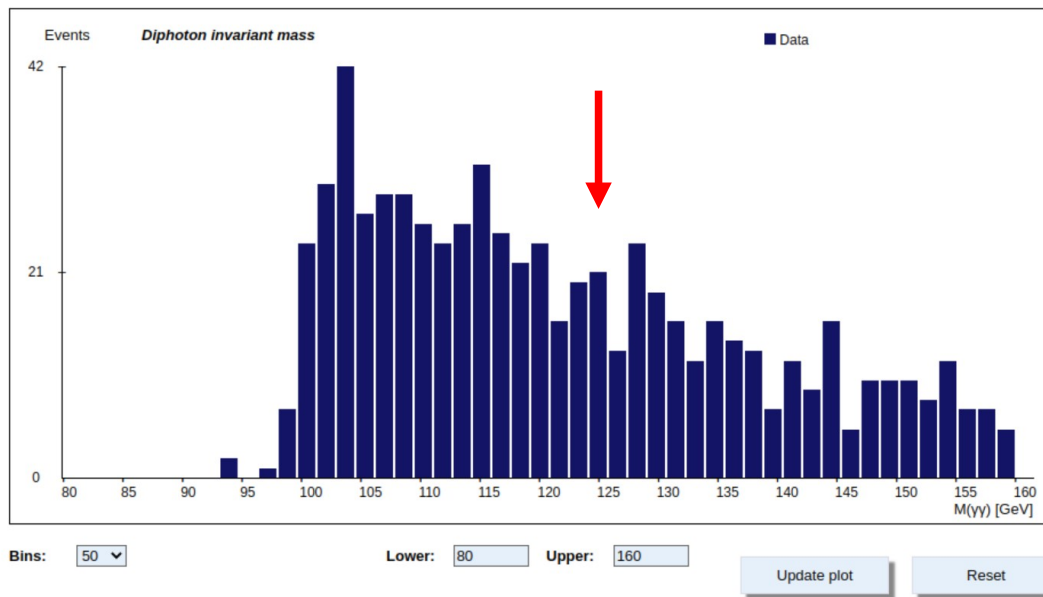


Najwyraźniej większość
czwórek leptonów nie
pochodziła z rozpadu cząstki
Higgs'a - są tłem.

Szukaliśmy cząstki Higgs'a również w **rozkładach masy dwu fotonów**
Tu także brakuje choćby lokalnego maksimum ponad licznym tłem

OPloT – MasterClass with CERN – Combination for Krakow on 2025-0

Start Student Moderator Tutor Administrator

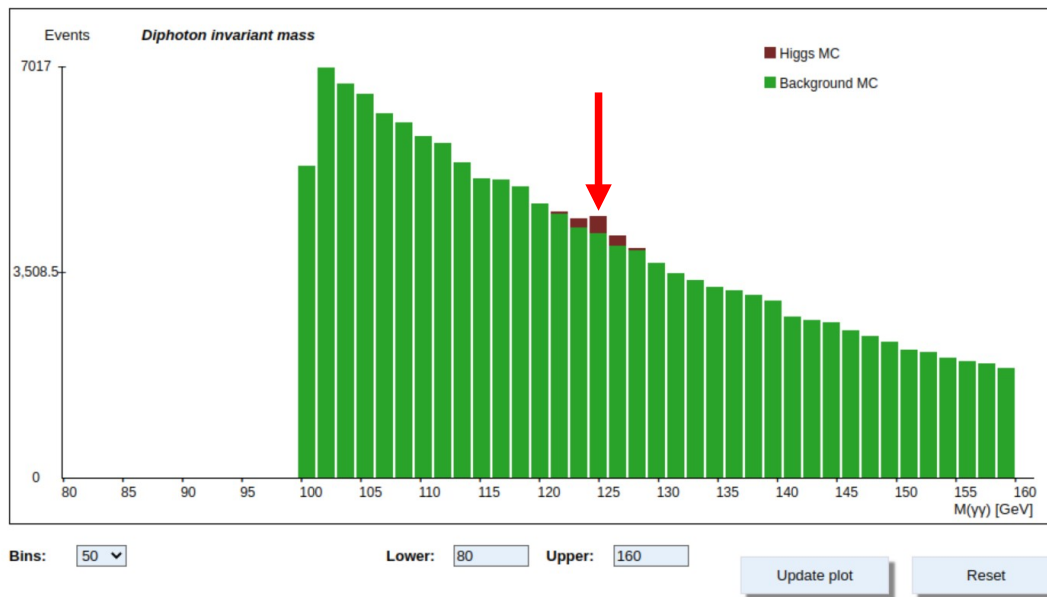


Tło od przypadkowych par fotonów znacznie przewyższa liczbę par pochodzących z rozpadu cząstki Higgs'a

Cząstka Higgs'a stała by się zauważalna w rozkładzie masy dwu fotonów dopiero gdybyśmy przeanalizowali kilkaset razy więcej przypadków - ale nawet wtedy w okolicach 125 GeV par fotonów z tła byłoby kilkanaście razy więcej niż z rozpadów cząstki Higgs'a

OPloT – MasterClass with CERN – Combination for Krakow on 2025-0

[Start](#) [Student](#) [Moderator](#) [Tutor](#) [Administrator](#)



proszę porównać skalę w tym i w poprzednim histogramie

Jak widać do znalezienia cząstki Higgs'a niezbędne jest zebranie i analizowanie bardzo dużej ilości danych eksperymentalnych

Rozpady bozonu Z' (1000 GeV) i grawitonu G (1500 GeV) przebiegają odmiennie:

- bozon Z' rozpada się wyłącznie na pojedynczą parę leptonów
- grawiton G może rozpaść się na dwa lepton, cztery lepton (poprzez rozpad na ZZ) albo dwa fotony

OPlOT – MasterClass with CERN – Combination for Krakow on 2025-0

Start Student Moderator Tutor Administrator



Sposób rozpadu tych cząstek związany jest z ich **spinem** liczbą kwantową odpowiadającą momentowi obrotowemu

- bozon Z' ma $\text{spin}=1$, musi rozpaść się na leptony o $\text{spinie}=1/2$ ($1/2+1/2 = 1$)
- grawiton ma $\text{spin}=2$, może więc rozpadać się na 2 cząstki o $\text{spinie}=1$ ($\gamma\gamma, ZZ$) ($1+1=2$) oraz na parę leptonów (nadmiarowy spin przekształca się w kręt względny: $1/2+1/2+1=2$)