

ПРОВЕРКА МЕТОДА ОЦЕНКИ ЧАСТОТЫ НЕВЕРНОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ ЭЛЕКТРОНА КАК ФОТОНА ДЛЯ ДАННЫХ ПРОТОН-ПРОТОННЫХ СТОЛКНОВЕНИЙ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ ATLAS

Зубов Д.В.

НИЯУ МИФИ

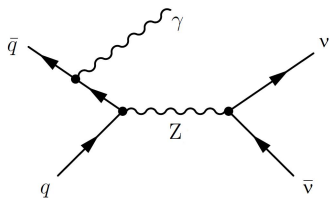
Научный руководитель: Солдатов Е.Ю.

Консультант: Курова А.С.

Москва, 2020

Введение

Группой ATLAS НИЯУ МИФИ изучается процесс $Z(\rightarrow \nu\bar{\nu})\gamma jj$. Отклонение от предсказанного СМ сечения в этом процессе будет указывать на наличие "новой физики" за рамками СМ. Сигатурой данного процесса является фотон с большим поперечным импульсом и большим E_T^{miss} . Схожую сигнатуру будут иметь процессы, в которых электрон неверно идентифицируется как фотон.



Метод оценки частоты неверной идентификации электрона как фотона

Оценка частоты неверной идентификации вычислялась по следующим образом:

$$\nu_{e \rightarrow \gamma} = \frac{N_{e\gamma}}{N_{ee}}$$

$N_{e\gamma}, N_{ee}$ - число пар с инвариантной массой от 80 до 100 ГэВ.

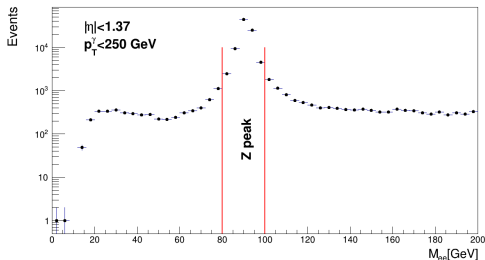
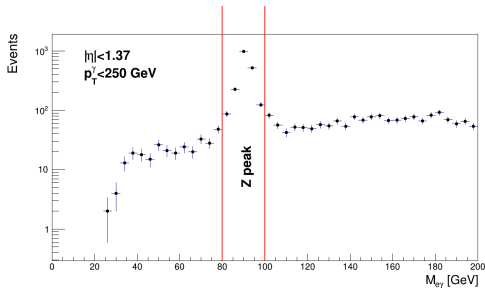
Отборы событий:

$$PT_{min}(\gamma \rightarrow e\gamma) = 150 \text{ ГэВ};$$

$$PT_{min}(e_{lead} \rightarrow ee) = 150 \text{ ГэВ};$$

$$PT_{min}(e_{sublead}) = 25 \text{ ГэВ};$$

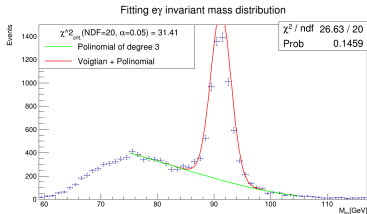
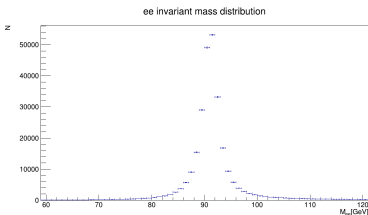
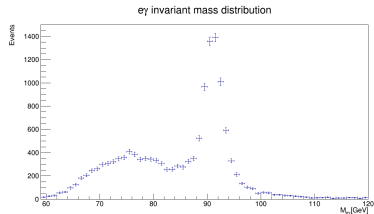
$$1.37 \leq |\eta| \leq 1.52, |\eta| \leq 2.37$$



Проверка метода оценки $\nu_{e \rightarrow \gamma}$

- ▶ Целью работы в этом семестре являлась проверка описанного выше метода оценки частоты неверной идентификации электрона как фотона.
- ▶ Для проверки метода с помощью программного пакета MadGraph5 и пакета симуляции детектора Delphes3 произведена Монте-Карло симуляция процесса $Z(\rightarrow e\bar{e})j$;
- ▶ Проверка метода состоит в сравнении $\nu_{e \rightarrow \gamma}$, полученной описанным выше методом и «истинной» частоты.

Измерение частоты неверной идентификации в Монте Карло симуляции.



$$\nu_{e \rightarrow \gamma} = \frac{N_{e\gamma} - N_{bkg}}{N_{ee}}$$

$$F_{fit}(x) = POL3(x) + Voigtian(x)$$

Измеренная частота неверной идентификации в Монте Карло симуляции.

$$\nu_{e \rightarrow \gamma} = 2.32 \pm 0.04\%$$

Описание метода оценки «истинной» $\nu_{e \rightarrow \gamma}$

Оценка «истинной» $\nu_{e \rightarrow \gamma}$ основана на сопоставлении реконструированного с электроном до адронизации и симуляции детектора, находящегося внутри конуса $\Delta R = 0.1$ вокруг этого фотона.

Для оценки вычислялось отношение событий с парами $e\gamma$ к событиям с парами $e\bar{e}$. Частицы в парах имеют ограничения на PT и η , такие же, что и в описанном выше методе и не имеют ограничений на инвариантную массу.

$$\nu_{e \rightarrow \gamma} = \frac{N_{e\gamma}}{N_{e\bar{e}}}$$

Таким образом получена «истинная» частота неверной идентификации в Монте-Карло:

$$\nu_{e \rightarrow \gamma} = 3.11 \pm 0.03\%$$

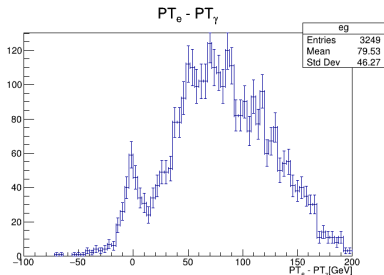
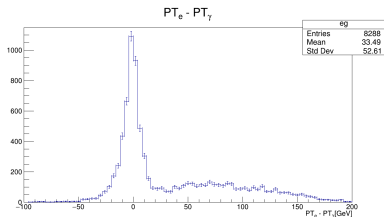
Анализ результатов

Различие частоты неверной идентификации, полученной двумя разными методами в Монте-Карло симуляции, составляет более 25%:
 $\nu_{e \rightarrow \gamma} = 2.32 \pm 0.04\%$ - измеренная частота.

$\nu_{e \rightarrow \gamma} = 3.11 \pm 0.03\%$ - "истинная" частота.

В событиях фонового "бампа" реконструируемый фотон имеет значительно более низкий поперечный импульс в сравнении с соответствующим ему электроном на партоновом уровне.

Распределения разности энергии фотона на реко-уровне и соответствующего электрона на партоновом уровне для всех фотонов участвующих в оценке $\nu_{e \rightarrow \gamma}$ (верхнее) и для фотонов из пар, инвариантная масса которых в пределе (65-80) ГэВ, что соответствует "бампу" (нижнее).



Эволюция неверно идентифицируемого электрона

Parton (E, PT, η, ϕ)	Particle PID : (E, PT, η, ϕ)	Detector (E, PT, η, ϕ)
(629.743, 232.454, 1.654, -1.369)	-11:(625, 230.3, 1.656, -1.365) -11:(228, 83.98, 1.656, -1.365) 22:(397, 146.3, 1.656, -1.365)	(321.402, 117.928, 1.660, -1.369)
(632.084, 212.922, -1.752, -1.807)	(583, 203.6, -1.713, -1.739) 22:(2.16, 0.700, -1.789, -1.755) 22:(0.98, 0.333, -1.739, -1.667)	(368.926, 128.934, -1.712, -1.736)
(264.189, 229.483, 0.543, 1.826)	(269, 235, 0.532, 1.794)	(166.294, 145.276, 0.532, 1.784)
(295.504, 283.834, -0.286, -2.078)	-11:(292, 281, -0.2723, -2.086) -11:(174, 168, -0.272, -2.086) 22:(118, 114, -0.272, -2.086)	(118.746, 114.731, -0.264, -2.087)
(514.313, 168.993, -1.778, -1.819)	11:(523, 179, -1.734, -1.800) 11:(522, 179, -1.734, -1.800) 22:(0.068, 0.023, -1.734, -1.800)	(334.183, 115.51, -1.724, -1.800)

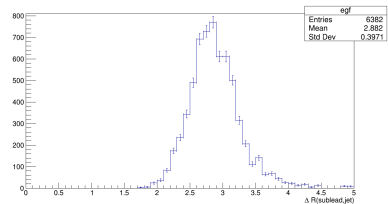
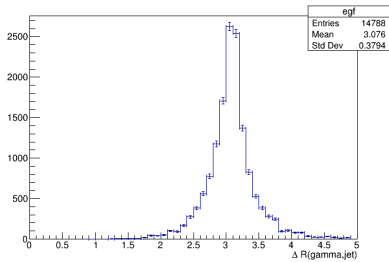
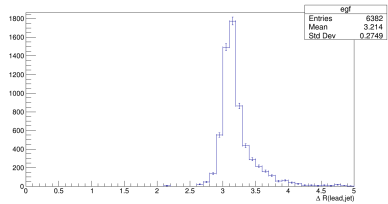
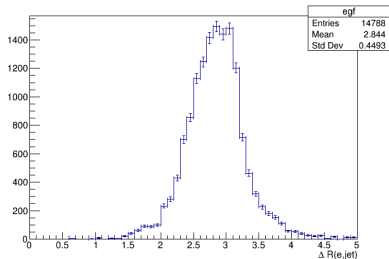
Как видно из таблицы происходит потеря энергии электроном посредством тормозного излучения. Причем на реко уровне регистрируется только фотон, электрон достаточного следа не оставляет.

Заключение

В работе осуществлялась проверка метода оценки неверной идентификации электрона как фотона. Была установлена неточность и необходимость доработки этого метода и метода проверки на полученном наборе данных. Была установлена причина неточности метода - наличие событий с тормозными фотонами.

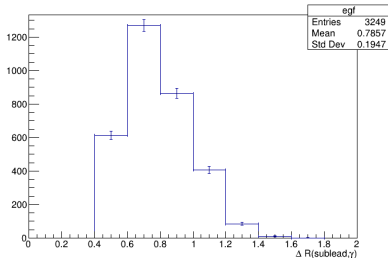
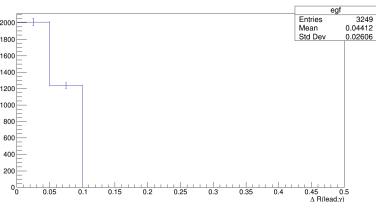
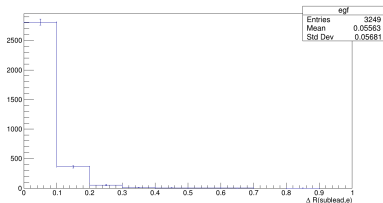
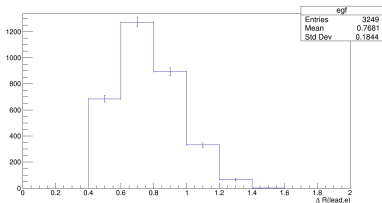
В скором времени планируется развить методы вычитания этих фотонов и решить на вопрос о пропадающем электроне.

Оверлап струй



Распределения по ΔR между струей и электроном(реко) - слева сверху, струей и фотоном(реко) - слева внизу, струей и электронами соответствующими электрону и фотону в паре $e\gamma$ (партонный уровень) - справа.

Оверлап электронов



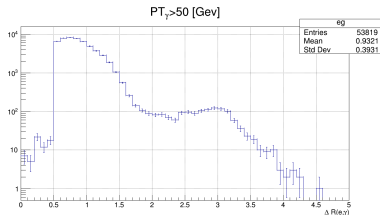
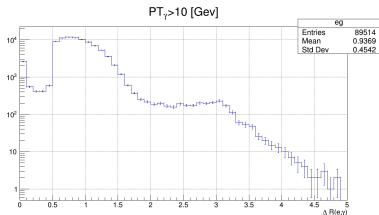
Распределения по ΔR электронами на партонном уровне и электроном и фотоном на реко уровне. Lead - электрон, соответствующий фотону на реко уровне, sublead - электрон, соответствующий электрону на реко уровне.

Таблица соответствия

Parton (E, PT, η, ϕ)	Particle PID : (E, PT, η, ϕ)	Detector (E, PT, η, ϕ)
(629.743, 232.454, 1.654, -1.369)	-11:(625, 230.3, 1.656, -1.365) -11:(228, 83.98, 1.656, -1.365) 22:(397, 146.3, 1.656, -1.365)	(321.402, 117.928, 1.660, -1.369)
(632.084, 212.922, -1.752, -1.807)	(583, 203.6, -1.713, -1.739) 22:(2.16, 0.700, -1.789, -1.755) 22:(0.98, 0.333, -1.739, -1.667)	(368.926, 128.934, -1.712, -1.736)
(264.189, 229.483, 0.543, 1.826)	(269, 235, 0.532, 1.794)	(166.294, 145.276, 0.532, 1.784)
(295.504, 283.834, -0.286, -2.078)	-11:(292, 281, -0.2723, -2.086) -11:(174, 168, -0.272, -2.086) 22:(118, 114, -0.272, -2.086)	(118.746, 114.731, -0.264, -2.087)
(514.313, 168.993, -1.778, -1.819)	11:(523, 179, -1.734, -1.800) 11:(522, 179, -1.734, -1.800) 22:(0.068, 0.023, -1.734, -1.800)	(334.183, 115.51, -1.724, -1.800)

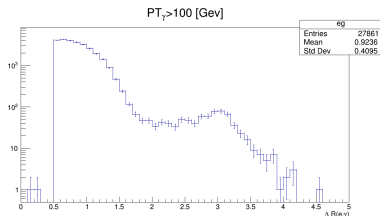
В таблице представлены 4-импульс фотона на реко уровне(третий столбец), электрон на партонном уровне соответствующий(ΔR) этому электрону(первый столбец) и промежуточные частицы на партикл уровне. Как видно из второго столбца, а особенно из 4 строки ответственный за недостачу энергию фотона на реко уровне ФСР-фотон излученный на партикл уровне. Стоит отметить, что не во всех событиях ФСР фотон очевиден(например строка). Возможно излучение фотона за пределы конуса $\Delta R = 0.1$

Регистрация электрона и жесткого фотона внутри одного конуса



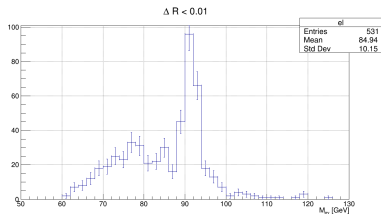
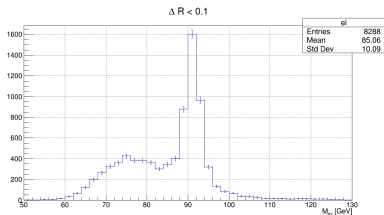
Распределения по ΔR между электроном на реко уровне и фотоном на реко уровне в событиях с $N_e > 0$, $N_\gamma > 0$, $PT_e > 20$ и изолированным фотоном для различных минимальных значений PT_γ .

Здесь учтены события с двумя электронами и одним фотоном. Как видно из распределений, при отборе жестких фотонов, нет событий с близко летящими электроном и фотоном.



Уменьшение размера конуса

Распределения по инвариантной массе электрона на реко уровне и фотона на реко уровне для различных значений ΔR между фотоном на реко уровне и соответствующим ему электроном на ген уровне. Как видно, уменьшение параметра ΔR не ведет к улучшению отбора фотонов - бамп "плохих" фотонов не уменьшился относительно пика.



Отборы на генераторном уровне(Прописывались в runcard)

```
lhpdf = pdlabel  
260000 = lhaid  
20.0 = ptj ! minimum pt for the jets  
25.0 = ptl ! minimum pt for the charged leptons  
0.1 = drll ! min distance between leptons  
0.3 = drjl ! min distance between jet and lepton  
150.0 = ptl1min ! minimum pt for the leading lepton in pt  
25.0 = ptl2min ! minimum pt for the second lepton in pt
```

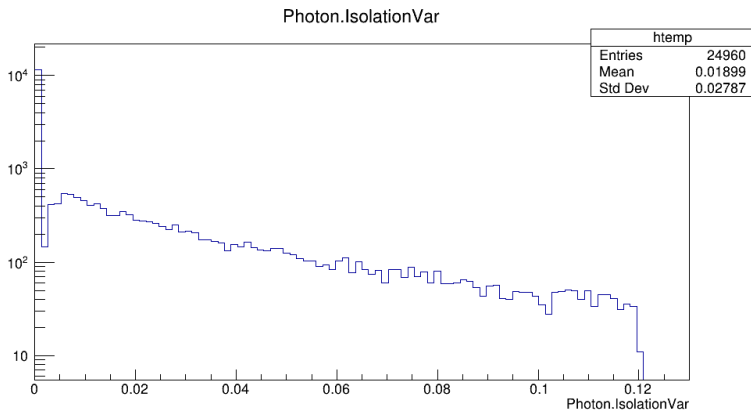
Отборы для методов tag-n-probe и ΔR

Переменная	tag-n-probe		ΔR	
	Пара $e\bar{e}$	Пара $e\gamma$	Пара $e\bar{e}$	Пара $e\gamma$
$PT_{min}(tag)$	25			
$PT_{min}(probe)^*$	150			
$\eta(\text{both particles in pair})$	$1.37 \leq \eta \leq 1.52, \eta \leq 2.37$			
$PhIso_{max}^{**}$	-	0.05	-	0.05
Num e	2	1	2	1
Num γ	0	1	0	1
Pair inv. mass	80-100	80-100	-	-
ΔR_{max}	-	-	0.1	0.1

* - В парах $e\bar{e}$ probe - электрон, $e\gamma$ - фотон.

** - $PhIso = \frac{\sum_{i \neq p} \Delta R \leq 0.2, PT_{min}(i) = 0.5 PT(i)}{PT(p)}$ - приближение к изоляционному отбору $PT^{cone20} / PT \leq 0.05$

Форма распределения для переменной фотонной изоляции



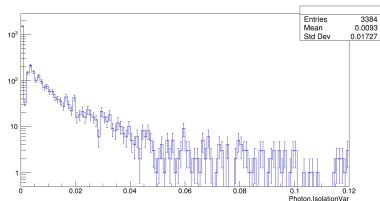
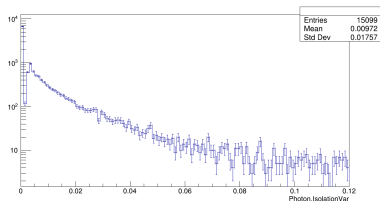
Спектр изоляции фотона

Сравнение распределений для переменной изоляции фотонов.

Верхнее для всех фотонов, прошедших отборы для оценки частоты методом ΔR (слайд 12, кроме отбора на изоляцию).

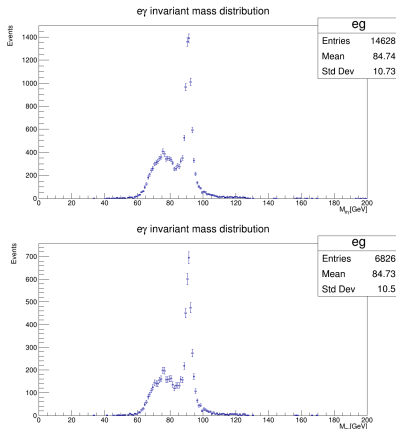
Нижнее - с теми же отборами + события такие, что инвариантная масса электрона и фотона в событии в интервале (65, 80) ГэВ. Таким образом отбирались фотоны с энергией не соответствующей тому же электрону на партонном уровне.

Как видно, формы распределений похожи и нельзя говорить о том, что у фотонов из "бампа" изоляция отличается от изоляции фотонов из пика.



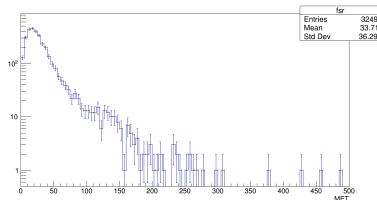
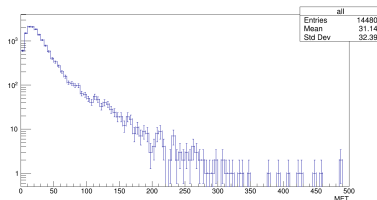
Сравнение инвариантной массы $e\gamma$ для различных значений изоляции

Сравнение распределений инвариантной массы электрона и фотона при $Phlso_{max} = 0.05$ верхняя картинка и $Phlso_{max} = 0.002$ нижняя. Как видно из распределений, более высокий порог на изолированность фотона не избавляет от "бампа а пропорционально уменьшает количество событий в каждом бине. Форма распределения не изменилась.



Сравнение распределений MET

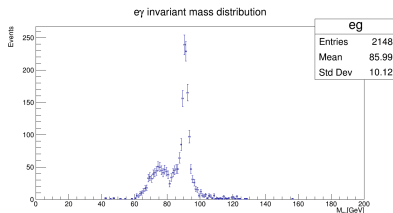
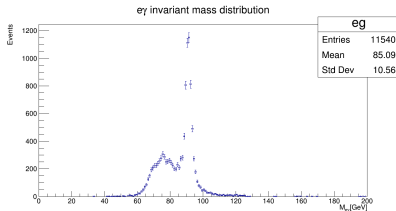
Сравнение распределений потерянной поперечной энергии в событиях со всеми фотонами на верхней картинке и в событиях с фотонами из "бампа" (аналогично слайду 14). Как видно, форма распределений для всех фотонов и для фотонов из "бампа" аналогична, то есть нельзя говорить о различии потерянной энергии в бампе и пике.



Сравнение инвариантной массы $e\gamma$ для различных значений MET

Сравнение распределений инвариантной массы электрона и фотона с ограничением на потерянную поперечную энергию $MET_{max} = 40$ Гэв вверх и $MET_{max} = 10$ ГэВ вниз.

Как видно из распределений, изменение порога на потерянную поперечную не избавляет от "бампа" а пропорционально уменьшает количество событий в каждом бине. Форма распределения не изменилась.



Оценка формы фона в распределении инвариантной массы $e\gamma$ проводилась путем фитирования распределения суммой полинома третьей степени и Воигтиана, где Воигтиан есть свертка распределения Гасса и распределения Брейта-Вигнера:

$$F_{fit}(x) = POL3(x) + Voigtian(x) \quad (1)$$

$$Gauss(M, \sigma) \times BreitWigner(M, \Gamma) = Voigt(M, \Gamma, \sigma). \quad (2)$$

Таким образом события в распределении от распада Z-бозона описывались Воигтианом, а фон полиномом третьей степени.

$$F_{fit} = p_4 + p_5 \cdot x + p_6 \cdot x^2 + p_7 \cdot x^3 + p_0 \cdot Voigt(M, \Gamma, \sigma), \quad (3)$$

Фитирование проводилось в интервалах (75-85) ГэВ и (95-105) ГэВ. При фитировании такие параметры Воигтиана как ширина распада Z-бозона Γ , масса Z-бозона M , среднеквадратичное отклонение σ фиксировались: $M = 91.2$ ГэВ - масса, $\Gamma = 0.084$ ГэВ [6], $\sigma = 1.79$ ГэВ. Параметр p_0 ответственный за высоты пика принимал значения в фиксированном интервале, таком чтобы при фитировании высота Воигтиана лежала в пределах 10% от высоты пика распределения. Фиксирование и ограничение принимаемых значений параметров необходимо для стабильного фитирования. Значение параметра σ оценивалось из ширины пика Z-бозона на полувысоте по формуле:

$$FWHM_{Voigt} \approx \frac{\Gamma}{2} + \sqrt{\frac{\Gamma^2}{4} + (2.35 \cdot \sigma)^2}. \quad (4)$$

