

Научном већу Института за физику  
Београд,  
10. јул 2014.

**ПРЕДМЕТ:**

**Молба за покретање поступка за избор у звање *истраживач-сарадник***

Молим Научно веће Института за физику да покрене поступак за мој избор у звање истраживач-сарадник.

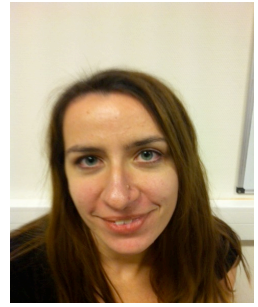
У прилогу достављам:

- Стручну биографију
- Мишљење руководиоца пројекта
- Списак и копије објављених радова
- Потврду о уписаним докторским студијама

С поштовањем,

Марија Марјановић  
истраживач-приправник

## Биографија кандидата



Марија Марјановић, рођена 1984. године у Београду, уписала је основне студије 2004. године на Физичком факултету Универзитета у Београду, где је дипломирала 2011. године на смеру теоријска физика са просечном оценом 8.96 и дипломским радом на тему: „Квантизација неабелових калибрационих теорија у Хамилтоновом формализму“. Од децембра 2011. године уписана је на програм докторских академских студија на Физичком факултету Универзитета у Београду, на смеру Физика језгара и честица. Тренутно је студент треће године и положила је све испите предвиђене овим програмом.

Од 1. децембра 2011. године запослена је у Лабораторији за физику високих енергија Института за физику као истраживач-приправник, са ангажовањем на пројекту Министарства просвете, науке и технолошког развоја ОИ171004 „АТЛАС експеримент и физика честица на *LHC* енергијама“.

Од 2012. године учествује и ради на АТЛАС експерименту на Великом хадронском сударачу (*Large Hadron Collider, LHC*) у ЦЕРН-у. Од септембра 2012. до јануара 2014. године радила је квалификацију за ауторство на радовима АТЛАС колаборације. Овај рад се односио на подешавање слободних параметара Монте Карло генератора ради добијања бољег слагања између симулираних догађаја и података прикупљених АТЛАС детектором. Технички део рада на овој теми подразумевао је усавршавање и прилагођавање постојећег софтверског пакета за генерисање Монте Карло догађаја и њихову анализу и обраду у оквиру компјутерске мреже Грид. Од 31. јануара 2014. године, аутор је радова АТЛАС колаборације.

Од новембра 2012. године стипендиста је француске владе у оквиру израде заједничког доктората на основу споразума о коменторству између Универзитета у Београду и Универзитета Париз – Суд. Поменути споразум предвиђа више дужих боравака у лабораторији ЛАЛ (*Laboratoire de l'accélérateur linéaire*) у Орсеју, у оквиру рада на докторској дисертацији у сарадњи са тамошњом АТЛАС групом. Главна тема истраживања на којој ради Марија Марјановић у оквиру АТЛАС експеримента односи се на трагање за суперсиметричним честицама у догађајима без лептона, са великим бројем цетова и великом недостајућом трансверзалном енергијом. Допринос Марије Марјановић у досадашњем раду на овој теми односи се на процену и контролу доминантног фона који потиче од хадронског распада тау лептона продукваног распадом *W* бозона.

Учествовала је на следећим школама из физике честица:

- *Journées de rencontre jeunes chercheurs*, 1. - 7. децембар 2013, Барбаст, Француска
- *School on Supersymmetry and Unification of Fundamental Interactions (Pre-SUSY 2013)*, 20. - 23. август 2013, Трст, Италија
- *Physics at TeV Colliders*, 12. - 21. јун 2013, Les Houches, Француска
- *Trans European School of High Energy Physics*, 13. -20. јул 2012, Петница, Србија
- *Sarajevo School of High Energy Physics*, 9. – 13. мај, 2012, Сарајево, Босна и Херцеговина
- *Balkan Summer Institute*, 21. - 27. август 2011, Доњи Милановац, Србија
- *Corfu Summer Institute*, 29. август – 12. септембар 2010, Крф, Грчка
- *CERN Summer Student Programme*, јул – август 2010, CERN, Швајцарска
- *Student exchange program SEENET*, август 2009, *University of Craiova*, Крајова, Румунија

## Научном већу Института за физику

Београд,  
9. јул 2014.

### Мишљење руководиоца пројекта за избор Марије Марјановић у звање истраживач-сарадник

Марија Марјановић је од 2011. године уписана на докторске студије на Физичком факултету, Универзитета у Београду и сада је студент треће године. Положила је све испите предвиђене планом докторских студија. Као стипендиста француске владе такође је уписана и на Универзитет Париз Суд, у оквиру израде заједничког доктората дефинисаног Споразумом о коменторству између два Универзитета. Истраживачким радом Марије Марјановић на АТЛАС експерименту, непосредно руководио dr Sophie Henrot-Versillé (из Laboratoire de l'Accélérateur Linéaire – Orsay) и ја, као коментори.

Од 1. децембра 2011. године запослена је у Лабораторији за физику високих енергија Института за физику као истраживач-приправник, и учествује на пројекту Министарства просвете, науке и технолошког развоја ОИ171004 „АТЛАС експеримент и физика честица на ЛНС енергијама“. У оквиру тог пројекта њена активност је везана за рад на две теме. Једна тема односи се на подешавање слободних параметара Монте Карло генератора ради добијања бољег слагања између симулираних догађаја и података прикупљених АТЛАС детектором, коју је колегиница Марија Марјановић успешно завршила и тако постала аутор радова АТЛАС колаборације од 31. јануара 2014. године. Друга тема, која је уједно и основна тема истраживачког рада колегинице Марије Марјановић, односи се на трагање за суперсиметричним честицама предвиђеним Минималним суперсиметричним проширењем Стандардног модела елементарних честица. Досадашњи допринос Марије Марјановић у раду на овој теми односи се на процену и контролу доминантног фона који потиче од хадронског распада тау лептона. Коначни резултати рада на овој теми биће садржани у њеној докторској дисертацији.

Током 2012. и 2013. године тридесетак пута представила је резултате рада на поменутих темама, на интерним састанцима радних група АТЛАС колаборације (састанци *SUSY 0-lepton* и *MC – physics* група). Поред тога, представила је постер „*ATLAS Minimum-Bias Tuning for Improved Pile-up Modeling*“ на *ATLAS Week* скупу АТЛАС колаборације који се одржава 4 пута годишње и на коме се даје преглед добијених резултата у оквиру свих радних група. Такође, била је позвана да представи резултате анализе „*Search for squarks and gluinos with the ATLAS detector in final states with jets and missing transverse momentum using 20.3 fb<sup>-1</sup> of  $\sqrt{s} = 8$  TeV proton-proton collision data*“ на постер секцији у јуну 2014. године на међународној конференцији LHCP2014 (*Large Hadron Collider Physics 2014*).

Коаутор је једног рада у међународном часопису, две јавне и две интерне публикације АТЛАС колаборације, које представљају додатну документацију јавних публикација колаборације и публикација објављених у референтним часописима.

На основу изложеног сматрам да колегиница Марија Марјановић испуњава све услове предвиђене Правилником за стицање истраживачких звања за избор у звање истраживач-сарадник и предлажем Научном већу Института за физику да покрене поступак за њен избор у ово звање.

За састав Комисије за избор Марије Марјановић у звање истраживач-сарадник предлажем:

1. проф. др Драгана Поповића, научног саветника Института за физику,
2. др Јелену Крстић, научног саветника Института за физику,
3. др Марију Врањеш Милосављевић, научног сарадника Института за физику,
4. проф. др Петра Ацића, редовног професора Физичког факултета

Руководилац пројекта,

др Драган Поповић  
научни саветник,

## Списак научних радова и саопштења са конференција

### Радови у врхунским међународним часописима (M21)

- G. Aad, ..., M. Marjanović *et al.* [ATLAS Collaboration], „*Measurement of the  $4l$  Cross Section at the  $Z$  Resonance and Determination of the Branching Fraction of  $Z \rightarrow 4l$  in  $pp$  Collisions at  $\sqrt{s} = 7$  and  $8$  TeV with ATLAS*“, Phys. Rev. Lett. 112 (2014) 231806, [arXiv:1403.5657[hep-ex]]

### Остале референтне публикације АТЛАС колаборације

- G. Aad, ..., M. Marjanović *et al.* [ATLAS Collaboration], „*Search for squarks and gluinos with the ATLAS detector in final states with jets and missing transverse momentum using  $\sqrt{s}=8$  TeV proton-proton collision data*“, [arXiv:1405.7875[hep-ex]].
- G. Aad, ..., M. Marjanović *et al.* [ATLAS Collaboration], „*Search for squarks and gluinos with the ATLAS detector in final states with jets and missing transverse momentum and  $20.3 \text{ fb}^{-1}$  of  $\sqrt{s} = 8$  TeV proton-proton collision data*“, ATLAS-CONF-2013-047.

### Supporting material – интерне публикације АТЛАС колаборације доступне на ЦЕРН серверу (cds.cern.ch)

- S. Amoroso, ..., M. Marjanović, *et al.*, „*Search for squarks and gluinos with the ATLAS detector in final states with jets and missing transverse momentum and  $20.3 \text{ fb}^{-1}$  of  $\sqrt{s} = 8$  TeV proton-proton collision data: supporting documentation*“, ATL-COM-PHYS-2012-1816.
- S. Amoroso, ..., M. Marjanović, *et al.*, „*Search for squarks and gluinos with the ATLAS detector in final states with jets and missing transverse momentum and  $20.3 \text{ fb}^{-1}$  of  $\sqrt{s} = 8$  TeV proton-proton collision data: supporting documentation*“, ATL-COM-PHYS-2013-1224.

### Саопштења на националним конференцијама (M63)

- М. Марјановић, Д. Поповић, М. Врањеш Милосављевић, „*Потрага за скварковима и глуинима на АТЛАС детектору у протон-протон сударима на енергији центра масе од  $8 \text{ TeV}$* “, XII Конгрес физичара Србије, Зборник радова, 28. април – 2. мај 2013, Врњачка бања, Србија, Презентација у секцији 2: Физика језгра, елементарних честица и основних интеракција.
- М. Марјановић, „*Search for squarks and gluinos with the ATLAS detector in final states with jets and missing transverse momentum using  $20.3 \text{ fb}^{-1}$  of  $\sqrt{s} = 8 \text{ TeV}$* “, poster at LHC France, 2. – 6. април 2013, Анси, Француска.

### Саопштења на међународним конференцијама (M34)

- М. Марјановић, „*Search for squarks and gluinos with the ATLAS detector in final states with jets and missing transverse momentum using  $20.3 \text{ fb}^{-1}$  of  $\sqrt{s} = 8 \text{ TeV}$  proton-proton collision data*“, Poster at LHCP 2014, 2. – 7. јун 2014, Њујорк, Сједињене Америчке Државе.

### Презентације на састанцима у оквиру АТЛАС колаборације

- SUSY Analysis Meeting, 23.01.2014, (<https://indico.cern.ch/event/278632/>),  
M. Marjanović, „*Full Analysis Review: Search for squarks and gluinos with the ATLAS detector in final states with jets and missing transverse momentum and  $20.3 \text{ fb}^{-1}$  of  $\sqrt{s}=8 \text{ TeV}$  proton-proton collision data*“
- SUSY 0-lepton paper meeting, 23.05.2014, (<https://indico.cern.ch/event/320907/>),  
M. Marjanović, „*0lepton exclusion for  $p\text{MSSM}$* “
- SUSY 0-lepton paper meeting, 04.04.2014, (<https://indico.cern.ch/event/311791/>),  
L. Duflot, S. Henrot-Versillé, M. Marjanović, „*Truth vs. reco comparison for the  $p\text{MSSM}$* “

- SUSY 0-lepton paper meeting, 31.01.2014, (<https://indico.cern.ch/event/298857/>), L. Duflot, S. Henrot-Versillé, M. Marjanović, „*Preliminary truth studies in 0lepton for pMSSM*“
- SUSY 0-lepton paper meeting, 27.09.2013, (<https://indico.cern.ch/event/274996/>), S. Henrot-Versillé, M. Marjanović, „*VRTau with data driven QCD*“
- SUSY 0-lepton paper meeting, 30.08.2013, (<https://indico.cern.ch/event/270240/>), M. Marjanović, „*Tau studies*“
- SUSY 0-lepton paper meeting, 05.07.2013, (<https://indico.cern.ch/event/261849/>), L. Duflot, S. Henrot-Versillé, M. Marjanović, „*Taus (systematics and fake rate)*“
- SUSY 0-lepton paper meeting, 04.06.2013, (<https://indico.cern.ch/event/251061/>), L. Duflot, S. Henrot-Versillé, M. Marjanović, „*Taus in 0-lepton*“
- SUSY 0-lepton paper meeting, 25.01.2013, (<https://indico.cern.ch/event/231834/>), L. Duflot, S. Henrot-Versillé, M. Marjanović, „*Tau background*“
- SUSY 0-lepton paper meeting, 14.12.2012, (<https://indico.cern.ch/event/222192/>) L. Duflot, S. Henrot-Versillé, M. Marjanović, „*Tau background studies*“
- MC Group Meeting during P&P week, 12.09.2013, (<https://indico.cern.ch/event/271453/>), D. Kar, M. Marjanović, „*Tuning update*“
- MC Group Meeting during P&P week, 01.08.2013, (<https://indico.cern.ch/event/265471/>), M. Marjanović, „*Tuning update*“
- MC Generator Meeting, 23.01.2014, (<https://indico.cern.ch/event/297166/>), M. Marjanović, „*Summary of min bias tuning*“
- MC Generator Meeting, 07.11.2013, (<https://indico.cern.ch/event/282178/>), D. Kar, M. Marjanović, „*Diffraction tuning update*“
- MC Tuning discussion meeting, 23.10.2013, (<https://indico.cern.ch/event/279798/>), Kar, M. Marjanović, „*Minbias tuning*“
- MC Tuning Discussion meeting, 03.09.2013, (<https://indico.cern.ch/event/270889/>), M. Marjanović, „*MinBias tuning update*“
- MC Physics Meeting, 22.08.2013, (<https://indico.cern.ch/event/268516/>), M. Marjanović, „*Envelopes, sensitivities and some tunes*“
- MC Physics Meeting, 16.05.2013, (<https://indico.cern.ch/event/252656/>), D. Kar, M. Marjanović, „*Tuning update*“

- pMSSM legacy paper meeting, 30.06.2014, (<https://indico.cern.ch/event/327426/>), L. Duflot, S. Henrot-Versillé, M. Marjanović, „*A look at 5 pMSSM points*“
- pMSSM legacy paper meeting, 24.04.2014, (<https://indico.cern.ch/event/314895/>), M. Marjanović, „*0lepton exclusion for pMSSM*“
- pMSSM legacy paper meeting, 07.04.2014, (<https://indico.cern.ch/event/312524/>), L. Duflot, S. Henrot-Versillé, M. Marjanović, „*Truth to reco comparison 0lepton*“
- pMSSM legacy paper meeting, 27.01.2014, (<https://indico.cern.ch/event/295590/>), M. Marjanović, „*Preliminary truth studies in 0lepton for the pMSSM*“

## Measurements of Four-Lepton Production at the Z Resonance in $pp$ Collisions at $\sqrt{s} = 7$ and 8 TeV with ATLAS

G. Aad *et al.*\*

(ATLAS Collaboration)

(Received 22 March 2014; published 13 June 2014)

Measurements of four-lepton ( $4\ell$ ,  $\ell = e, \mu$ ) production cross sections at the Z resonance in  $pp$  collisions at the LHC with the ATLAS detector are presented. For dilepton and four-lepton invariant mass regions  $m_{\ell^+\ell^-} > 5$  GeV and  $80 < m_{4\ell} < 100$  GeV, the measured cross sections are  $76 \pm 18(\text{stat}) \pm 4(\text{syst}) \pm 1.4(\text{lumi})$  fb and  $107 \pm 9(\text{stat}) \pm 4(\text{syst}) \pm 3.0(\text{lumi})$  fb at  $\sqrt{s} = 7$  and 8 TeV, respectively. By subtracting the nonresonant  $4\ell$  production contributions and normalizing with  $Z \rightarrow \mu^+\mu^-$  events, the branching fraction for the Z boson decay to  $4\ell$  is determined to be  $(3.20 \pm 0.25(\text{stat}) \pm 0.13(\text{syst})) \times 10^{-6}$ , consistent with the standard model prediction.

DOI: 10.1103/PhysRevLett.112.231806

PACS numbers: 13.38.Dg

This Letter presents measurements of the cross sections for the inclusive production of four leptons ( $4\ell$ ,  $\ell = e, \mu$ ) at the Z resonance in  $pp$  collisions at  $\sqrt{s} = 7$  and 8 TeV using data recorded by the ATLAS detector [1] at the LHC [2]. In the standard model (SM),  $4\ell$  production in the Z resonance region occurs dominantly via an  $s$ -channel diagram such as that shown in Fig. 1(a) where the Z boson decay to charged leptons includes the production of an additional lepton pair from the internal conversion of a virtual Z or  $\gamma$ . A small fraction of  $4\ell$  events is produced in a  $t$ -channel process such as that shown in Fig. 1(b), which includes Z production with internal conversion of initial-state radiation. The process  $gg \rightarrow Z^{(*)}Z^{(*)} \rightarrow 4\ell$  accounts for only about  $10^{-3}$  of the total  $4\ell$  event rate around the Z resonance [3]. A resonant peak around the Z mass in the  $4\ell$  invariant mass spectrum is observed along with the nearby peak from the Higgs boson decay  $H \rightarrow 4\ell$  [4,5]. A measurement of the  $4\ell$  production cross section at the Z resonance provides a test of the SM and a cross-check of the detector response to the  $4\ell$  final state from Higgs decays.

Since the interference between the resonant and non-resonant ( $t$ -channel and  $gg$ ) production mechanisms is expected to be small around the Z resonance, the branching fraction of the rare decay  $Z \rightarrow 4\ell$  can be determined by subtracting the expected nonresonant  $4\ell$  contributions from the measured  $4\ell$  rate. For simplicity, inclusive  $4\ell$  production around the Z resonance, including the nonresonant contributions, is denoted as  $Z \rightarrow 4\ell$  from here on, except that the branching fraction  $\Gamma_{Z \rightarrow 4\ell}/\Gamma_Z$  refers to the  $s$ -channel contribution alone. The CMS Collaboration has observed the  $Z \rightarrow 4\ell$  resonance in  $\sqrt{s} = 7$  TeV data and

determined a branching fraction, summed over the  $4e$ ,  $4\mu$ , and  $2e2\mu$  final states, of  $\Gamma_{Z \rightarrow 4\ell}/\Gamma_Z = (4.2^{+0.9}_{-0.8}(\text{stat}) \pm 0.2(\text{syst})) \times 10^{-6}$ , where  $80 < m_{4\ell} < 100$  GeV and  $m_{\ell\ell} > 4$  GeV for all pairs of leptons [6]. The results presented here include the first cross-section measurement of the  $4\ell$  production at the Z resonance at  $\sqrt{s} = 8$  TeV, and a determination of  $\Gamma_{Z \rightarrow 4\ell}/\Gamma_Z$  with improved statistical precision in a final phase-space region defined by the dilepton and four-lepton invariant mass requirements  $m_{\ell^+\ell^-} > 5$  GeV and  $80 < m_{4\ell} < 100$  GeV, where  $\ell^+\ell^-$  denotes all same-flavor lepton pairs with opposite charge.

The ATLAS detector has a cylindrical geometry [7] and consists of an inner tracking detector (ID) surrounded by a 2 T superconducting solenoid, electromagnetic and hadronic calorimeters, and a muon spectrometer (MS) with a toroidal magnetic field. The ID provides precision tracking for charged particles for  $|\eta| < 2.5$ . It consists of silicon pixel and strip detectors surrounded by a straw tube tracker that also provides transition radiation measurements for electron identification. The calorimeter system covers the pseudorapidity range  $|\eta| < 4.9$ . For  $|\eta| < 2.5$ , the liquid-argon electromagnetic calorimeter is finely segmented and plays an important role in electron identification. The MS includes fast-trigger chambers ( $|\eta| < 2.4$ ) and high-precision tracking chambers covering  $|\eta| < 2.7$ .

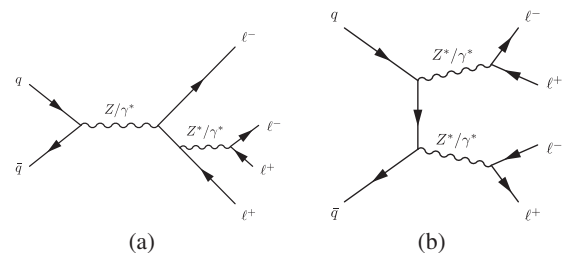


FIG. 1. Examples of (a)  $s$ -channel and (b)  $t$ -channel Feynman diagrams for  $4\ell$  production in  $pp$  collisions.

\* Full author list given at the end of the article.

Published by the American Physical Society under the terms of the Creative Commons Attribution 3.0 License. Further distribution of this work must maintain attribution to the author(s) and the published article's title, journal citation, and DOI.

The data sets for this analysis are recorded using single-lepton and dilepton triggers. The transverse momentum ( $p_T$ ) thresholds of these triggers vary from 20 to 24 GeV for the single-lepton triggers and from 8 to 13 GeV for the dilepton triggers, depending on lepton flavor and data-taking period. The overall trigger efficiency for selected  $Z \rightarrow 4\ell$  events ranges from 94 to 99%.

After removing the short data-taking periods having problems that affect the lepton reconstruction, the total integrated luminosity used in the analysis is  $4.5 \text{ fb}^{-1}$  at 7 TeV and  $20.3 \text{ fb}^{-1}$  at 8 TeV. The overall uncertainty on the integrated luminosity is 1.8% [8] and 2.8% [9] for the  $\sqrt{s} = 7$  and 8 TeV data sets, respectively.

The POWHEG Monte Carlo (MC) program [10–12], used to calculate the signal cross sections, includes perturbative QCD corrections to next-to-leading order. The calculation also includes the interference terms between the  $s$ -channel and the  $t$ -channel as well as the interference terms between the  $Z$  and the  $\gamma^*$  diagrams. The CT10 [13] set of parton distribution functions (PDFs) and QCD renormalization and factorization scales of  $\mu_R, \mu_F = m_{4\ell}$  are used. In the  $m_{\ell^+\ell^-} > 5 \text{ GeV}$  and  $80 < m_{4\ell} < 100 \text{ GeV}$  phase space, the production cross sections calculated by POWHEG are  $53.4 \pm 1.2 \text{ fb}$  ( $45.8 \pm 1.1 \text{ fb}$ ) for the sum of the  $4e$  and  $4\mu$  final states, and  $51.5 \pm 1.2 \text{ fb}$  ( $44.2 \pm 1.1 \text{ fb}$ ) for the  $2e2\mu$  final state at 8 TeV (7 TeV). The cross sections for  $4e$  and  $4\mu$  are larger than for  $2e2\mu$  due to the interference between the two same-flavor lepton pairs. The cross-section uncertainties reflect theoretical uncertainties from the choice of QCD scales and PDFs. The scales are varied independently from 0.5 to 2.0 times the nominal  $\mu_R, \mu_F = m_{4\ell}$ . The PDF uncertainties are estimated by taking the sum in quadrature of the deviations of the cross section for each PDF error set (52 CT10 eigenvectors varied by one standard deviation) and for an alternative PDF set, MSTW2008 [14], with respect to the nominal one. The expected fraction of  $4\ell$  events produced via the  $t$ -channel process is  $(3.35 \pm 0.02)\%$  and  $(3.90 \pm 0.02)\%$  for same-flavor ( $4e, 4\mu$ ) and mixed-flavor ( $2e2\mu$ ) final states, respectively, for both 7 and 8 TeV. The  $gg \rightarrow ZZ \rightarrow 4\ell$  process is modeled by GG2ZZ [15], and the  $4\ell$  event fraction from this process is calculated to be around 0.1%. The overall nonresonant fraction ( $f_{nr}$ ) from the  $t$ -channel and  $gg$  contributions combined is  $(3.45 \pm 0.02)\%$  and  $(4.00 \pm 0.02)\%$  for the same-flavor and mixed-flavor final states, respectively. To generate MC events with a simulation of the detector to determine the signal acceptance, POWHEG is interfaced to PYTHIA6 [16] or PYTHIA8 [17] for showering and hadronization and to PHOTOS [18] for radiated photons from charged leptons.

The MC generators used to simulate the reducible background contributions are MC@NLO [19] (to model top productions) and ALPGEN [20] (to model  $Z$  boson production in association with jets, referred to as  $Z + \text{jets}$ ). These generators are interfaced to HERWIG [21]

and JIMMY [22] for parton showering and underlying-event simulations. The diboson background processes  $WZ$  and  $Z\gamma$ , and  $Z^{(*)}Z^{(*)} \rightarrow 4\ell$  decays involving  $\tau \rightarrow e/\mu + 2\nu$ , are modeled by POWHEG (interfaced to PYTHIA for parton showering) and SHERPA [23].

The detector response simulation [24] is based on the GEANT4 program [25]. Additional inelastic  $pp$  interactions (referred to as pile-up) are included in the simulation, and events are reweighted to reproduce the observed distribution of the average number of collisions per bunch crossing in the data.

The  $Z \rightarrow 4\ell$  event selection closely follows the  $H \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4\ell$  analysis [26] with muon  $p_T$  and dilepton invariant mass requirements loosened to increase the acceptance for the  $Z \rightarrow 4\ell$  process.

Muons are identified by tracks reconstructed in the MS and are matched to tracks reconstructed in the ID ( $|\eta| < 2.5$ ). The muon momentum is calculated by combining the information from the tracking systems, correcting for the energy lost in the calorimeters. In the region  $2.5 < |\eta| < 2.7$ , muons can also be identified by an MS track alone (denoted stand-alone muons). The identified muons described above are required to have  $p_T > 4 \text{ GeV}$ . In the MS gap region ( $|\eta| < 0.1$ ) muons are identified by an ID track with  $p_T > 15 \text{ GeV}$  associated with a compatible calorimeter energy deposit (denoted calorimeter-tagged muons).

Electrons are reconstructed from energy deposits in the electromagnetic calorimeter matched to a track in the ID [27]. Tracks associated with electromagnetic clusters are fitted using a Gaussian sum filter [28], which allows bremsstrahlung energy losses to be taken into account. For  $\sqrt{s} = 8 \text{ TeV}$  data, improved electron discrimination from jets is obtained using a likelihood function formed from parameters characterizing the shower shape and track association, resulting in a reduction of the electron misidentification rate by more than a factor of two compared to that at 7 TeV. Electron candidates are required to have  $p_T > 7 \text{ GeV}$  and  $|\eta| < 2.47$ .

Collision events are selected by requiring at least one reconstructed vertex with at least three charged particle tracks with  $p_T > 0.4 \text{ GeV}$ . If more than one vertex satisfies the selection requirement, the primary vertex is chosen as the one with the highest  $\sum p_T^2$ , summed over all tracks associated with the vertex.

In order to reject electrons and muons from jets, only isolated leptons are selected, requiring the scalar sum of the transverse momenta,  $\sum p_T$ , of other tracks inside a cone size of  $\Delta R = \sqrt{(\Delta\eta)^2 + (\Delta\phi)^2} = 0.2$  around the lepton to be less than 15% of the lepton  $p_T$ . In addition, the  $\sum E_T$  deposited in calorimeter cells inside a cone size of  $\Delta R = 0.2$  around the lepton direction, excluding the transverse energy due to the lepton and corrected for the expected pile-up contribution, is required to be less than 30% of the lepton  $p_T$ , reduced to 20% for electrons in the 8 TeV data



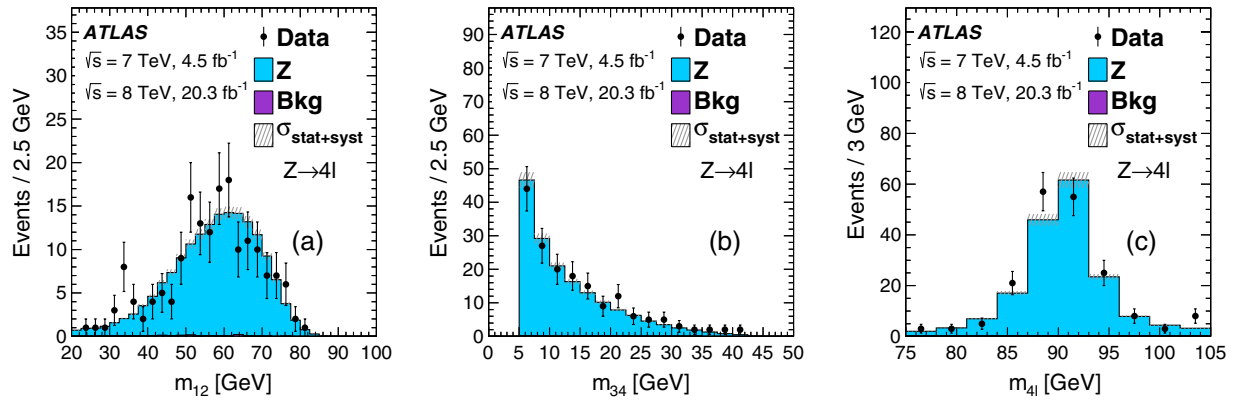


FIG. 2 (color online). Data and MC invariant mass distributions of (a) the leading lepton pair,  $m_{12}$ , (b) the subleading lepton pair,  $m_{34}$ , and (c) the four-lepton system,  $m_{4\ell}$ . All selections are applied except in (c) there is no  $m_{4\ell}$  requirement. The background contributes < 1% of the total expected signal (invisible in the plots).

set and 15% for stand-alone muons. The impact parameter relative to the primary vertex is required to be less than 3.5 (6.0) standard deviations for all muons (electrons), where the looser electron requirement allows for tails in the electron impact parameter distribution due to bremsstrahlung in the ID.

Candidate quadruplets are formed by selecting two opposite-sign, same-flavor dilepton ( $\ell^+\ell^-$ ) pairs in an event. The four leptons of a quadruplet are required to be well separated:  $\Delta R > 0.1$  for same-flavor lepton pairs and  $\Delta R > 0.2$  for  $e\mu$  pairs. At most one muon is allowed to be a stand-alone muon or a calorimeter-tagged muon. The two leading leptons must have  $p_T > 20$  and 15 GeV. The third lepton must have  $p_T > 10$  (8) GeV if it is an electron (muon). One quadruplet is selected for each event, formed from the  $\ell^+\ell^-$  pair with greatest invariant mass (the leading lepton pair, with mass  $m_{12}$ ) and the  $\ell^+\ell^-$  pair with the largest invariant mass among the remaining possible pairs (the subleading pair, with mass  $m_{34}$ ). The dilepton masses must satisfy  $m_{12} > 20$  GeV and  $m_{34} > 5$  GeV. In the  $4e$  and  $4\mu$  channels all the  $\ell^+\ell^-$  pairs are required to have  $m_{\ell^+\ell^-} > 5$  GeV, to reject events containing  $J/\psi \rightarrow \ell^+\ell^-$  decays. The  $4\ell$  invariant mass is restricted to  $80 < m_{4\ell} < 100$  GeV. A total of 21 and 151  $Z \rightarrow 4\ell$  candidate events are selected in the 7 and 8 TeV data sets, respectively. The distributions of  $m_{12}$ ,  $m_{34}$ , and  $m_{4\ell}$  are shown in Fig. 2. The number of events observed in each channel is shown in Table I, where the labeling  $\ell\ell + \ell'\ell'$  indicates the leading and subleading lepton pairs.

The overall signal selection efficiency is the product of efficiency and acceptance factors,  $C_{4\ell}$  and  $A_{4\ell}$ , respectively. The efficiency factor  $C_{4\ell}$  is the ratio of the number of  $Z \rightarrow 4\ell$  events passing the reconstructed event selections to the number in the fiducial region, and is determined using the signal MC samples after the detector simulation. The fiducial region, defined at the MC generator level using the lepton four-momenta, requires  $p_T > 20, 15, 10$  (8), 7(4) GeV and  $|\eta| < 2.5(2.7)$  of the  $p_T$ -ordered  $e(\mu)$ ,

$\Delta R(\ell, \ell') > 0.1(0.2)$  for all same(different)-flavor lepton pairs,  $m_{\ell^+\ell^-} > 20$  GeV for at least one lepton pair,  $m_{\ell^+\ell^-} > 5$  GeV for all same-flavor lepton pairs, and  $80 < m_{4\ell} < 100$  GeV. The four-momenta of all final-state photons within  $\Delta R = 0.1$  of a lepton are summed into the four-momentum of that lepton. The acceptance factor  $A_{4\ell}$  is the fraction of  $Z \rightarrow 4\ell$  events in the final phase space which falls into the fiducial region. The  $C_{4\ell}$  uncertainty is mostly experimental and the  $A_{4\ell}$  uncertainty is entirely theoretical. The  $A_{4\ell}$  and  $C_{4\ell}$  values are listed in Table I for each channel and data set. The  $C_{4\ell}$  values for 8 TeV are larger than for 7 TeV due to a variety of factors, including electron identification improvements with better bremsstrahlung treatment and additional muon detector coverage.

The MC lepton identification and trigger efficiencies are corrected based on studies performed in data control regions. The energy and momentum scales and resolutions of the MC events are calibrated to reproduce data from  $Z \rightarrow \ell^+\ell^-$  and  $J/\psi \rightarrow \ell^+\ell^-$  decays. The uncertainties on the  $Z \rightarrow 4\ell$  signal detection efficiency are determined by varying the nominal calibrations (including lepton energy and momentum resolutions and scales, and the trigger, reconstruction, and identification efficiencies) in the MC samples by one standard deviation. For the 8 TeV (7 TeV) analysis, the relative uncertainties on the  $C_{4\ell}$  factors are 2.7% (2.7%), 3.7% (4.9%), 6.2% (9.8%), and 9.4% (14.9%) for  $\mu\mu + \mu\mu$ ,  $ee + \mu\mu$ ,  $\mu\mu + ee$ , and  $ee + ee$ , respectively. The major uncertainty contributions come from the lepton reconstruction and identification efficiencies. The relative uncertainties on the  $A_{4\ell}$  factors, evaluated using POWHEG MC samples with the same approach for QCD scale and PDF uncertainties as described earlier, range from 1.3% to 1.7% depending on the channel.

The overall background in the selected  $4\ell$  event sample is estimated to be below 1%, as shown in Table I. The background contributions from diboson production are estimated, using MC simulations, to be  $0.06 \pm 0.01$  and  $0.49 \pm 0.04$  events in the 7 and 8 TeV data sets,

TABLE I. Summary of the observed ( $N_{4\ell}^{\text{obs}}$ ) and expected ( $N_{4\ell}^{\text{exp}}$ ) number of selected  $Z \rightarrow 4\ell$  candidate events, and the estimated number of background events ( $N_{4\ell}^{\text{bkg}}$ ) in each  $4\ell$  channel for  $\sqrt{s} = 7$  and 8 TeV. The associated uncertainties are statistical and systematic combined. The central values of the acceptance and efficiency factors ( $A_{4\ell}$ ) and ( $C_{4\ell}$ ), the measured fiducial cross sections ( $\sigma_{Z4\ell}^{\text{fid}}$ ), and the total cross sections for  $m_{\ell^+\ell^-} > 5$  GeV,  $80 < m_{4\ell} < 100$  GeV ( $\sigma_{Z4\ell}$ ) are also presented. The fiducial regions are defined in the text and are different for each channel. The  $\sigma_{Z4\ell}$  are given for same-flavor ( $4e$  and  $4\mu$ ), different-flavor ( $2e2\mu$ ), and all channels combined. The uncertainties on  $\sigma_{Z4\ell}^{\text{fid}}$  and  $\sigma_{Z4\ell}$  are the statistical and systematic uncertainties, and the uncertainty due to the luminosity measurement.

$\sqrt{s}$	$4\ell$ state	$N_{4\ell}^{\text{obs}}$	$N_{4\ell}^{\text{exp}}$	$N_{4\ell}^{\text{bkg}}$	$C_{4\ell}$	$\sigma_{Z4\ell}^{\text{fid}}$ [fb]	$A_{4\ell}$	$\sigma_{Z4\ell}$ [fb]
7 TeV	$ee + ee$	1	$1.8 \pm 0.3$	$0.12 \pm 0.04$	21.5%	$0.9_{-0.7}^{+1.4} \pm 0.14 \pm 0.02$	7.5%	$32 \pm 11 \pm 1.0 \pm 0.6$
	$\mu\mu + \mu\mu$	8	$11.3 \pm 0.5$	$0.08 \pm 0.04$	59.2%	$3.0_{-0.9}^{+1.2} \pm 0.07 \pm 0.05$	18.3%	
	$ee + \mu\mu$	7	$7.9 \pm 0.4$	$0.18 \pm 0.09$	49.0%	$3.1_{-1.1}^{+1.4} \pm 0.16 \pm 0.05$	15.8%	$44 \pm 14 \pm 3.3 \pm 0.9$
	$\mu\mu + ee$	5	$3.3 \pm 0.3$	$0.07 \pm 0.04$	36.3%	$3.0_{-1.2}^{+1.6} \pm 0.30 \pm 0.06$	8.8%	
	combined	21	$24.2 \pm 1.2$	$0.44 \pm 0.14$				$76 \pm 18 \pm 4 \pm 1.4$
8 TeV	$ee + ee$	16	$14.4 \pm 1.4$	$0.14 \pm 0.03$	36.1%	$2.2_{-0.5}^{+0.6} \pm 0.20 \pm 0.06$	7.3%	$56 \pm 6 \pm 1.8 \pm 1.6$
	$\mu\mu + \mu\mu$	71	$68.8 \pm 2.7$	$0.34 \pm 0.05$	71.1%	$4.9_{-0.6}^{+0.7} \pm 0.13 \pm 0.14$	17.8%	
	$ee + \mu\mu$	48	$43.2 \pm 2.1$	$0.32 \pm 0.05$	55.5%	$4.2_{-0.6}^{+0.7} \pm 0.16 \pm 0.12$	14.8%	$52 \pm 7 \pm 2.4 \pm 1.5$
	$\mu\mu + ee$	16	$19.3 \pm 1.3$	$0.18 \pm 0.04$	46.2%	$1.7_{-0.4}^{+0.5} \pm 0.10 \pm 0.04$	7.9%	
	combined	151	$146 \pm 7$	$1.0 \pm 0.11$				$107 \pm 9 \pm 4 \pm 3.0$

respectively. Background contributions from  $Z$  + jets and top-production processes are estimated from data. Such background events may contain two isolated leptons from  $Z$  decays or from  $W$  decays in top events, together with additional activity such as heavy-flavor jets or misidentified components of jets yielding reconstructed leptons. These backgrounds are estimated using a background-enriched control sample of  $\ell\ell j_\ell j_\ell$  events, selected with the standard signal requirements except that lepton-like jets,  $j_\ell$ , are selected in place of two of the signal leptons. Electron-like jets,  $j_e$ , in the  $\ell\ell j_\ell j_\ell$  control sample are obtained from electromagnetic clusters matched to tracks in the ID that do not satisfy the identification criteria or isolation requirements. Muon-like jets,  $j_\mu$ , are defined as muon candidates that fail the requirements on isolation. These backgrounds in the signal sample are estimated by scaling each event in the  $\ell\ell j_\ell j_\ell$  control sample by  $f_1 \times f_2$ , where the factor  $f_i$  ( $i = 1, 2$ ) for each of the two lepton-like jets depends on lepton flavor and  $p_T$ . The factor  $f$  is the ratio of the probability for a jet to satisfy the signal lepton selection criteria to the probability for the jet to satisfy the lepton-like jet criteria, and is obtained from independent jet-enriched data samples dominated by  $Z$  + jets or  $t\bar{t}$  events. The background from  $Z$  + jets and top processes, for all  $4\ell$  channels combined, is estimated to be  $0.38 \pm 0.14$  and  $0.49 \pm 0.10$  events for the 7 and 8 TeV data, respectively.

The numbers of signal events predicted by MC simulation are  $23.8 \pm 1.2$  and  $145 \pm 7$  for 7 and 8 TeV, respectively. The data and MC predictions, as shown in Fig. 2, are in good agreement. Denoting the integrated luminosity by  $L$ , the measured fiducial cross sections ( $\sigma_{Z4\ell}^{\text{fid}}$ ), determined by  $(N_{4\ell}^{\text{obs}} - N_{4\ell}^{\text{bkg}})/(L \times C_{4\ell})$ , are given in Table I. The cross section in the final phase space for

each channel is calculated by  $\sigma_{Z4\ell}^{\text{fid}}/A_{4\ell}$ . The cross sections obtained for the  $ee + ee$  and  $\mu\mu + \mu\mu$  channels, and for the  $2e + 2\mu$  and  $2\mu + 2e$  channels, are compatible within errors and are combined using  $2 \times 2$  covariance matrices. The total  $4\ell$  cross section is a sum of the two combined cross sections, and the uncertainty includes correlations between the four channels. These cross sections in the final phase space are also given in Table I.

The  $Z \rightarrow 4\ell$  branching fraction,  $\Gamma_{Z \rightarrow 4\ell}/\Gamma_Z$ , is determined by subtracting the nonresonant contributions to the selected events and normalizing the resulting yield to the observed number of  $Z \rightarrow \mu^+\mu^-$  events in the same data set,

$$\frac{\Gamma_{Z \rightarrow 4\ell}}{\Gamma_Z} = \left( \frac{\Gamma_{Z \rightarrow \mu\mu}}{\Gamma_Z} \right) \frac{(N_{4\ell}^{\text{obs}} - N_{4\ell}^{\text{bkg}})(1 - f_{\text{nr}})C_{2\mu} \cdot A_{2\mu}}{(N_{2\mu}^{\text{obs}} - N_{2\mu}^{\text{bkg}})C_{4\ell} \cdot A_{4\ell}},$$

where  $\Gamma_{Z \rightarrow \mu\mu}/\Gamma_Z = (3.366 \pm 0.007)\%$  [29],  $N_{2\mu}^{\text{obs}}$  is around 1.7 million and 8.9 million in the 7 and 8 TeV data sets, respectively, and  $(C \times A)_{2\mu}$  is  $(41.4 \pm 0.6)\%$  and  $(41.8 \pm 0.6)\%$ , respectively. The background ( $N_{2\mu}^{\text{bkg}}$ ) is estimated to be around 0.3% of the selected  $Z \rightarrow \mu^+\mu^-$  events. The branching fraction for  $Z \rightarrow 4\ell$ , summed over all  $\ell = e, \mu$  final states, is determined with both the 7 and 8 TeV data sets. The measured branching fractions for each data set are consistent within uncertainties and are combined, giving

$$\Gamma_{Z \rightarrow 4\ell}/\Gamma_Z = (3.20 \pm 0.25(\text{stat}) \pm 0.13(\text{syst})) \times 10^{-6}$$

in the final phase-space region, where the systematic uncertainty includes a contribution (about 0.2%) due to

the interference between the  $s$ -channel and  $t$ -channel processes, calculated using CALCHEP [30]. The measured branching fraction is consistent with the SM prediction of  $(3.33 \pm 0.01) \times 10^{-6}$ , calculated using POWHEG. For a larger final phase-space region defined by  $m_{\ell^+\ell^-} > 4$  GeV and  $80 < m_{4\ell} < 100$  GeV, similar to that used by CMS, the acceptance factors  $A_{4\ell}$  and the nonresonant fractions  $f_{\text{nr}}$ , and their uncertainties, are also evaluated (leaving the fiducial region unchanged), and the measured branching fraction becomes  $\Gamma_{Z \rightarrow 4\ell}/\Gamma_Z = (4.31 \pm 0.34(\text{stat}) \pm 0.17(\text{syst})) \times 10^{-6}$ , compared with an SM prediction of  $(4.50 \pm 0.01) \times 10^{-6}$ . This result is consistent with the CMS result measured with data collected from  $pp$  collisions at 7 TeV.

In summary, using data collected by the ATLAS detector corresponding to an integrated luminosity of  $4.5 \text{ fb}^{-1}$  and  $20.3 \text{ fb}^{-1}$  at  $\sqrt{s} = 7$  and 8 TeV, respectively, the total  $Z \rightarrow 4\ell$  production cross sections in the phase-space region  $m_{\ell^+\ell^-} > 5$  GeV and  $80 < m_{4\ell} < 100$  GeV are measured to be  $\sigma_{Z4\ell} = 76 \pm 18(\text{stat}) \pm 4(\text{syst}) \pm 1.4(\text{lumi}) \text{ fb}$  at 7 TeV and  $107 \pm 9(\text{stat}) \pm 4(\text{syst}) \pm 3.0(\text{lumi}) \text{ fb}$  at 8 TeV, consistent with the SM predictions of  $90.0 \pm 2.1 \text{ fb}$  and  $104.8 \pm 2.5 \text{ fb}$ , respectively. The  $Z \rightarrow 4\ell$  branching fraction is determined to be  $(3.20 \pm 0.25(\text{stat}) \pm 0.13(\text{syst})) \times 10^{-6}$ , consistent with the SM prediction of  $(3.33 \pm 0.01) \times 10^{-6}$ .

We thank CERN for the very successful operation of the LHC, as well as the support staff from our institutions without whom ATLAS could not be operated efficiently. We acknowledge the support of ANPCyT, Argentina; YerPhI, Armenia; ARC, Australia; BMWF and FWF, Austria; ANAS, Azerbaijan; SSTC, Belarus; CNPq and FAPESP, Brazil; NSERC, NRC and CFI, Canada; CERN; CONICYT, Chile; CAS, MOST and NSFC, China; COLCIENCIAS, Colombia; MSMT CR, MPO CR and VSC CR, Czech Republic; DNRF, DNSRC and Lundbeck Foundation, Denmark; EPLANET, ERC and NSRF, European Union; IN2P3-CNRS, CEA-DSM/IRFU, France; GNSF, Georgia; BMBF, DFG, HGF, MPG and AvH Foundation, Germany; GSRT and NSRF, Greece; ISF, MINERVA, GIF, DIP and Benoziyo Center, Israel; INFN, Italy; MEXT and JSPS, Japan; CNRST, Morocco; FOM and NWO, Netherlands; BRF and RCN, Norway; MNiSW, Poland; GRICES and FCT, Portugal; MERYS (MECTS), Romania; MES of Russia and ROSATOM, Russian Federation; JINR; MSTP, Serbia; MSSR, Slovakia; ARRS and MIZŠ, Slovenia; DST/NRF, South Africa; MICINN, Spain; SRC and Wallenberg Foundation, Sweden; SER, SNSF and Cantons of Bern and Geneva, Switzerland; NSC, Taiwan; TAEK, Turkey; STFC, the Royal Society and Leverhulme Trust, United Kingdom; DOE and NSF, USA. The crucial computing support from all WLCG partners is acknowledged gratefully, in particular from CERN and the ATLAS Tier-1 facilities at TRIUMF (Canada), NDGF (Denmark, Norway, Sweden),

CC-IN2P3 (France), KIT/GridKA (Germany), INFN-CNAF (Italy), NL-T1 (Netherlands), PIC (Spain), ASGC (Taiwan), RAL (UK) and BNL (USA) and in the Tier-2 facilities worldwide.

- 
- [1] ATLAS Collaboration, *JINST* **3**, S08003 (2008).
  - [2] L. Evans and P. Bryant, *JINST* **3**, S08001 (2008).
  - [3] J. M. Campbell, R. K. Ellis, and C. Williams, *J. High Energy Phys.* **07** (2011) 018.
  - [4] ATLAS Collaboration, *Phys. Lett. B* **716**, 1 (2012).
  - [5] CMS Collaboration, *Phys. Lett. B* **716**, 30 (2012).
  - [6] CMS Collaboration, *J. High Energy Phys.* **12** (2012) 034.
  - [7] ATLAS uses a right-handed coordinate system with its origin at the nominal interaction point (IP) in the center of the detector, and the  $z$  axis along the beam line. The  $x$  axis points from the IP to the center of the LHC ring, and the  $y$  axis points upwards. Cylindrical coordinates ( $r, \phi$ ) are used in the transverse plane,  $\phi$  being the azimuthal angle around the beam line. The pseudorapidity is defined in terms of the polar angle  $\theta$  as  $\eta = -\ln \tan(\theta/2)$ . Observables labeled “transverse” are projected into the  $x$ - $y$  plane.
  - [8] ATLAS Collaboration, *Eur. Phys. J. C* **73**, 2518 (2013).
  - [9] The 2012 luminosity measurement follows the same methodology as that detailed in Ref. [8]. It is based on a preliminary calibration of the luminosity scale derived from beam-separation scans performed in November 2012.
  - [10] T. Melia, P. Nason, R. Röntsch, and G. Zanderighi, *J. High Energy Phys.* **11** (2011) 078.
  - [11] S. Alioli, P. Nason, C. Oleari, and E. Re, *J. High Energy Phys.* **06** (2010) 043.
  - [12] P. Nason, *J. High Energy Phys.* **11** (2004) 040.
  - [13] H. L. Lai, M. Guzzi, J. Huston, Z. Li, P. M. Nadolsky, J. Pumplin, and C.-P. Yuan, *Phys. Rev. D* **82**, 074024 (2010).
  - [14] A. D. Martin, W. J. Stirling, R. S. Thorne, and G. Watt, *Eur. Phys. J. C* **63**, 189 (2009).
  - [15] T. Binoth, N. Kauer, and P. Mertsch, [arXiv:0807.0024](https://arxiv.org/abs/0807.0024).
  - [16] T. Sjostrand, S. Mrenna, and P. Skands, *J. High Energy Phys.* **05** (2006) 026.
  - [17] T. Sjostrand, S. Mrenna, and P. Skands, *Comput. Phys. Commun.* **178**, 852 (2008).
  - [18] P. Golonka and Z. Was, *Eur. Phys. J. C* **45**, 97 (2006).
  - [19] S. Frixione and B. R. Webber, *J. High Energy Phys.* **06** (2002) 029.
  - [20] M. L. Mangano, F. Piccinini, A. D. Polosa, M. Moretti, and R. Pittau, *J. High Energy Phys.* **07** (2003) 001.
  - [21] G. Corcella, I. G. Knowles, G. Marchesini, S. Moretti, K. Odagiri, P. Richardson, M. H. Seymour, and B. R. Webber, *J. High Energy Phys.* **01** (2001) 010.
  - [22] J. M. Butterworth, J. R. Forshaw, and M. H. Seymour, *Z. Phys. C* **72**, 637 (1996).
  - [23] T. Gleisberg, S. Höche, F. Krauss, M. Schönherr, S. Schumann, F. Siegert, and J. Winter, *J. High Energy Phys.* **02** (2009) 007.
  - [24] ATLAS Collaboration, *Eur. Phys. J. C* **70**, 823 (2010).
  - [25] S. Agostinelli *et al.* (GEANT4 Collaboration), *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. A* **506**, 250 (2003).

- [26] ATLAS Collaboration, *Phys. Lett. B* **726**, 88 (2013).  
 [27] ATLAS Collaboration, *Eur. Phys. J. C* **72**, 1909 (2012).  
 [28] ATLAS Collaboration, Report No. ATLAS-CONF-2012-047, <https://cds.cern.ch/record/1449796>.  
 [29] K. Nakamura (Particle Data Group), *J. Phys. G* **37**, 075021 (2010).  
 [30] A. Belyaev, N. D. Christensen, and A. Pukhov, *Comput. Phys. Commun.* **184**, 1729 (2013).

G. Aad,<sup>84</sup> B. Abbott,<sup>112</sup> J. Abdallah,<sup>152</sup> S. Abdel Khalek,<sup>116</sup> O. Abdinov,<sup>11</sup> R. Aben,<sup>106</sup> B. Abi,<sup>113</sup> M. Abolins,<sup>89</sup>  
 O. S. AbouZeid,<sup>159</sup> H. Abramowicz,<sup>154</sup> H. Abreu,<sup>137</sup> R. Abreu,<sup>30</sup> Y. Abulaiti,<sup>147a,147b</sup> B. S. Acharya,<sup>165a,165b,b</sup>  
 L. Adamczyk,<sup>38a</sup> D. L. Adams,<sup>25</sup> J. Adelman,<sup>177</sup> S. Adomeit,<sup>99</sup> T. Adye,<sup>130</sup> T. Agatonovic-Jovin,<sup>13a</sup>  
 J. A. Aguilar-Saavedra,<sup>125f,125a</sup> M. Agustoni,<sup>17</sup> S. P. Ahlen,<sup>22</sup> A. Ahmad,<sup>149</sup> F. Ahmadov,<sup>64,c</sup> G. Aielli,<sup>134a,134b</sup>  
 H. Akerstedt,<sup>147a,147b</sup> T. P. A. Åkesson,<sup>80</sup> G. Akimoto,<sup>156</sup> A. V. Akimov,<sup>95</sup> G. L. Alberghi,<sup>20a,20b</sup> J. Albert,<sup>170</sup> S. Albrand,<sup>55</sup>  
 M. J. Alconada Verzini,<sup>70</sup> M. Aleksa,<sup>30</sup> I. N. Aleksandrov,<sup>64</sup> C. Alexa,<sup>26a</sup> G. Alexander,<sup>154</sup> G. Alexandre,<sup>49</sup> T. Alexopoulos,<sup>10</sup>  
 M. Alhroob,<sup>165a,165c</sup> G. Alimonti,<sup>90a</sup> L. Alio,<sup>84</sup> J. Alison,<sup>31</sup> B. M. M. Allbrooke,<sup>18</sup> L. J. Allison,<sup>71</sup> P. P. Allport,<sup>73</sup>  
 S. E. Allwood-Spiers,<sup>53</sup> J. Almond,<sup>83</sup> A. Aloisio,<sup>103a,103b</sup> A. Alonso,<sup>36</sup> F. Alonso,<sup>70</sup> C. Alpigiani,<sup>75</sup> A. Altheimer,<sup>35</sup>  
 B. Alvarez Gonzalez,<sup>89</sup> M. G. Alviggi,<sup>103a,103b</sup> K. Amako,<sup>65</sup> Y. Amaral Coutinho,<sup>24a</sup> C. Amelung,<sup>23</sup> D. Amidei,<sup>88</sup>  
 S. P. Amor Dos Santos,<sup>125a,125c</sup> A. Amorim,<sup>125a,125b</sup> S. Amoroso,<sup>48</sup> N. Amram,<sup>154</sup> G. Amundsen,<sup>23</sup> C. Anastopoulos,<sup>140</sup>  
 L. S. Ancu,<sup>49</sup> N. Andari,<sup>30</sup> T. Andeen,<sup>35</sup> C. F. Anders,<sup>58b</sup> G. Anders,<sup>30</sup> K. J. Anderson,<sup>31</sup> A. Andreazza,<sup>90a,90b</sup> V. Andrei,<sup>58a</sup>  
 X. S. Anduaga,<sup>70</sup> S. Angelidakis,<sup>9</sup> I. Angelozzi,<sup>106</sup> P. Anger,<sup>44</sup> A. Angerami,<sup>35</sup> F. Anghinolfi,<sup>30</sup> A. V. Anisenkov,<sup>108</sup>  
 N. Anjos,<sup>125a</sup> A. Annovi,<sup>47</sup> A. Antonaki,<sup>9</sup> M. Antonelli,<sup>47</sup> A. Antonov,<sup>97</sup> J. Antos,<sup>145b</sup> F. Anulli,<sup>133a</sup> M. Aoki,<sup>65</sup>  
 L. Aperio Bella,<sup>18</sup> R. Apolle,<sup>119,d</sup> G. Arabidze,<sup>89</sup> I. Aracena,<sup>144</sup> Y. Arai,<sup>65</sup> J. P. Araque,<sup>125a</sup> A. T. H. Arce,<sup>45</sup> J-F. Arguin,<sup>94</sup>  
 S. Argyropoulos,<sup>42</sup> M. Arik,<sup>19a</sup> A. J. Armbruster,<sup>30</sup> O. Arnaez,<sup>82</sup> V. Arnal,<sup>81</sup> H. Arnold,<sup>48</sup> O. Arslan,<sup>21</sup> A. Artamonov,<sup>96</sup>  
 G. Artoni,<sup>23</sup> S. Asai,<sup>156</sup> N. Asbah,<sup>94</sup> A. Ashkenazi,<sup>154</sup> B. Åsman,<sup>147a,147b</sup> L. Asquith,<sup>6</sup> K. Assamagan,<sup>25</sup> R. Astalos,<sup>145a</sup>  
 M. Atkinson,<sup>166</sup> N. B. Atlay,<sup>142</sup> B. Auerbach,<sup>6</sup> K. Augsten,<sup>127</sup> M. Auresseau,<sup>146b</sup> G. Avolio,<sup>30</sup> G. Azuelos,<sup>94,e</sup> Y. Azuma,<sup>156</sup>  
 M. A. Baak,<sup>30</sup> C. Bacci,<sup>135a,135b</sup> H. Bachacou,<sup>137</sup> K. Bachas,<sup>155</sup> M. Backes,<sup>30</sup> M. Backhaus,<sup>30</sup> J. Backus Mayes,<sup>144</sup>  
 E. Badescu,<sup>26a</sup> P. Bagiacchi,<sup>133a,133b</sup> P. Bagnaia,<sup>133a,133b</sup> Y. Bai,<sup>33a</sup> T. Bain,<sup>35</sup> J. T. Baines,<sup>130</sup> O. K. Baker,<sup>177</sup> S. Baker,<sup>77</sup>  
 P. Balek,<sup>128</sup> F. Balli,<sup>137</sup> E. Banas,<sup>39</sup> Sw. Banerjee,<sup>174</sup> D. Banfi,<sup>30</sup> A. Bangert,<sup>151</sup> A. A. E. Bannoura,<sup>176</sup> V. Bansal,<sup>170</sup>  
 H. S. Bansil,<sup>18</sup> L. Barak,<sup>173</sup> S. P. Baranov,<sup>95</sup> E. L. Barberio,<sup>87</sup> D. Barberis,<sup>50a,50b</sup> M. Barbero,<sup>84</sup> T. Barillari,<sup>100</sup>  
 M. Barisonzi,<sup>176</sup> T. Barklow,<sup>144</sup> N. Barlow,<sup>28</sup> B. M. Barnett,<sup>130</sup> R. M. Barnett,<sup>15</sup> Z. Barnovska,<sup>5</sup> A. Baroncelli,<sup>135a</sup>  
 G. Barone,<sup>49</sup> A. J. Barr,<sup>119</sup> F. Barreiro,<sup>81</sup> J. Barreiro Guimarães da Costa,<sup>57</sup> R. Bartoldus,<sup>144</sup> A. E. Barton,<sup>71</sup> P. Bartos,<sup>145a</sup>  
 V. Bartsch,<sup>150</sup> A. Bassalat,<sup>116</sup> A. Basye,<sup>166</sup> R. L. Bates,<sup>53</sup> L. Batkova,<sup>145a</sup> J. R. Batley,<sup>28</sup> M. Battistin,<sup>30</sup> F. Bauer,<sup>137</sup>  
 H. S. Bawa,<sup>144,f</sup> T. Beau,<sup>79</sup> P. H. Beauchemin,<sup>162</sup> R. Beccherle,<sup>123a,123b</sup> P. Bechtel,<sup>21</sup> H. P. Beck,<sup>17</sup> K. Becker,<sup>176</sup> S. Becker,<sup>99</sup>  
 M. Beckingham,<sup>139</sup> C. Becot,<sup>116</sup> A. J. Beddall,<sup>19c</sup> A. Beddall,<sup>19c</sup> S. Bedikian,<sup>177</sup> V. A. Bednyakov,<sup>64</sup> C. P. Bee,<sup>149</sup>  
 L. J. Beemster,<sup>106</sup> T. A. Beermann,<sup>176</sup> M. Begel,<sup>25</sup> K. Behr,<sup>119</sup> C. Belanger-Champagne,<sup>86</sup> P. J. Bell,<sup>49</sup> W. H. Bell,<sup>49</sup>  
 G. Bella,<sup>154</sup> L. Bellagamba,<sup>20a</sup> A. Bellerive,<sup>29</sup> M. Bellomo,<sup>85</sup> A. Belloni,<sup>57</sup> O. L. Beloborodova,<sup>108,g</sup> K. Belotskiy,<sup>97</sup>  
 O. Beltramello,<sup>30</sup> O. Benary,<sup>154</sup> D. Bencheikroun,<sup>136a</sup> K. Bendtz,<sup>147a,147b</sup> N. Benekos,<sup>166</sup> Y. Benhammou,<sup>154</sup>  
 E. Benhar Nocchioli,<sup>49</sup> J. A. Benitez Garcia,<sup>160b</sup> D. P. Benjamin,<sup>45</sup> J. R. Bensinger,<sup>23</sup> K. Benslama,<sup>131</sup> S. Bentvelsen,<sup>106</sup>  
 D. Berge,<sup>106</sup> E. Bergeas Kuutmann,<sup>16</sup> N. Berger,<sup>5</sup> F. Berghaus,<sup>170</sup> E. Berglund,<sup>106</sup> J. Beringer,<sup>15</sup> C. Bernard,<sup>22</sup> P. Bernat,<sup>77</sup>  
 C. Bernius,<sup>78</sup> F. U. Bernlochner,<sup>170</sup> T. Berry,<sup>76</sup> P. Berta,<sup>128</sup> C. Bertella,<sup>84</sup> F. Bertolucci,<sup>123a,123b</sup> D. Bertsche,<sup>112</sup>  
 M. I. Besana,<sup>90a</sup> G. J. Besjes,<sup>105</sup> O. Bessidskaia,<sup>147a,147b</sup> N. Besson,<sup>137</sup> C. Betancourt,<sup>48</sup> S. Bethke,<sup>100</sup> W. Bhimji,<sup>46</sup>  
 R. M. Bianchi,<sup>124</sup> L. Bianchini,<sup>23</sup> M. Bianco,<sup>30</sup> O. Biebel,<sup>99</sup> S. P. Bieniek,<sup>77</sup> K. Bierwagen,<sup>54</sup> J. Biesiada,<sup>15</sup> M. Biglietti,<sup>135a</sup>  
 J. Bilbao De Mendizabal,<sup>49</sup> H. Bilokon,<sup>47</sup> M. Bindi,<sup>54</sup> S. Binet,<sup>116</sup> A. Bingul,<sup>19c</sup> C. Bini,<sup>133a,133b</sup> C. W. Black,<sup>151</sup>  
 J. E. Black,<sup>144</sup> K. M. Black,<sup>22</sup> D. Blackburn,<sup>139</sup> R. E. Blair,<sup>6</sup> J-B. Blanchard,<sup>137</sup> T. Blazek,<sup>145a</sup> I. Bloch,<sup>42</sup> C. Blocker,<sup>23</sup>  
 W. Blum,<sup>82,a</sup> U. Blumenschein,<sup>54</sup> G. J. Bobbink,<sup>106</sup> V. S. Bobrovnikov,<sup>108</sup> S. S. Bocchetta,<sup>80</sup> A. Bocci,<sup>45</sup> C. R. Boddy,<sup>119</sup>  
 M. Boehler,<sup>48</sup> J. Boek,<sup>176</sup> T. T. Boek,<sup>176</sup> J. A. Bogaerts,<sup>30</sup> A. G. Bogdanchikov,<sup>108</sup> A. Bogouch,<sup>91,a</sup> C. Bohm,<sup>147a</sup> J. Bohm,<sup>126</sup>  
 V. Boisvert,<sup>76</sup> T. Bold,<sup>38a</sup> V. Boldea,<sup>26a</sup> A. S. Boldyrev,<sup>98</sup> M. Bomben,<sup>79</sup> M. Bona,<sup>75</sup> M. Boonekamp,<sup>137</sup> A. Borisov,<sup>129</sup>  
 G. Borissov,<sup>71</sup> M. Borri,<sup>83</sup> S. Borroni,<sup>42</sup> J. Bortfeldt,<sup>99</sup> V. Bortolotto,<sup>135a,135b</sup> K. Bos,<sup>106</sup> D. Boscherini,<sup>20a</sup> M. Bosman,<sup>12</sup>  
 H. Boterenbrood,<sup>106</sup> J. Boudreau,<sup>124</sup> J. Bouffard,<sup>2</sup> E. V. Bouhova-Thacker,<sup>71</sup> D. Boumediene,<sup>34</sup> C. Bourdarios,<sup>116</sup>  
 N. Bousson,<sup>113</sup> S. Boutouil,<sup>136d</sup> A. Boveia,<sup>31</sup> J. Boyd,<sup>30</sup> I. R. Boyko,<sup>64</sup> I. Bozovic-Jelisavcic,<sup>13b</sup> J. Bracinik,<sup>18</sup>

P. Branchini,<sup>135a</sup> A. Brandt,<sup>8</sup> G. Brandt,<sup>15</sup> O. Brandt,<sup>58a</sup> U. Bratzler,<sup>157</sup> B. Brau,<sup>85</sup> J. E. Brau,<sup>115</sup> H. M. Braun,<sup>176,a</sup>  
S. F. Brazzale,<sup>165a,165c</sup> B. Breliet,<sup>159</sup> K. Brendlinger,<sup>121</sup> A. J. Brennan,<sup>87</sup> R. Brenner,<sup>167</sup> S. Bressler,<sup>173</sup> K. Bristow,<sup>146c</sup>  
T. M. Bristow,<sup>46</sup> D. Britton,<sup>53</sup> F. M. Brochu,<sup>28</sup> I. Brock,<sup>21</sup> R. Brock,<sup>89</sup> C. Bromberg,<sup>89</sup> J. Bronner,<sup>100</sup> G. Brooijmans,<sup>35</sup>  
T. Brooks,<sup>76</sup> W. K. Brooks,<sup>32b</sup> J. Brosamer,<sup>15</sup> E. Brost,<sup>115</sup> G. Brown,<sup>83</sup> J. Brown,<sup>55</sup> P. A. Bruckman de Renstrom,<sup>39</sup>  
D. Bruncko,<sup>145b</sup> R. Bruneliere,<sup>48</sup> S. Brunet,<sup>60</sup> A. Bruni,<sup>20a</sup> G. Bruni,<sup>20a</sup> M. Bruschi,<sup>20a</sup> L. Bryngemark,<sup>80</sup> T. Buanes,<sup>14</sup>  
Q. Buat,<sup>143</sup> F. Bucci,<sup>49</sup> P. Buchholz,<sup>142</sup> R. M. Buckingham,<sup>119</sup> A. G. Buckley,<sup>53</sup> S. I. Buda,<sup>26a</sup> I. A. Budagov,<sup>64</sup> F. Buehrer,<sup>48</sup>  
L. Bugge,<sup>118</sup> M. K. Bugge,<sup>118</sup> O. Bulekov,<sup>97</sup> A. C. Bundock,<sup>73</sup> H. Burckhart,<sup>30</sup> S. Burdin,<sup>73</sup> B. Burghgrave,<sup>107</sup> S. Burke,<sup>130</sup>  
I. Burmeister,<sup>43</sup> E. Busato,<sup>34</sup> D. Büscher,<sup>48</sup> V. Büscher,<sup>82</sup> P. Bussey,<sup>53</sup> C. P. Buszello,<sup>167</sup> B. Butler,<sup>57</sup> J. M. Butler,<sup>22</sup>  
A. I. Butt,<sup>3</sup> C. M. Buttar,<sup>53</sup> J. M. Butterworth,<sup>77</sup> P. Butti,<sup>106</sup> W. Buttinger,<sup>28</sup> A. Buzatu,<sup>53</sup> M. Byszewski,<sup>10</sup>  
S. Cabrera Urbán,<sup>168</sup> D. Caforio,<sup>20a,20b</sup> O. Cakir,<sup>4a</sup> P. Calafiura,<sup>15</sup> A. Calandri,<sup>137</sup> G. Calderini,<sup>79</sup> P. Calfayan,<sup>99</sup> R. Calkins,<sup>107</sup>  
L. P. Caloba,<sup>24a</sup> D. Calvet,<sup>34</sup> S. Calvet,<sup>34</sup> R. Camacho Toro,<sup>49</sup> S. Camarda,<sup>42</sup> D. Cameron,<sup>118</sup> L. M. Caminada,<sup>15</sup>  
R. Caminal Armadans,<sup>12</sup> S. Campana,<sup>30</sup> M. Campanelli,<sup>77</sup> A. Campoverde,<sup>149</sup> V. Canale,<sup>103a,103b</sup> A. Canepa,<sup>160a</sup>  
M. Cano Bret,<sup>75</sup> J. Cantero,<sup>81</sup> R. Cantrill,<sup>76</sup> T. Cao,<sup>40</sup> M. D. M. Capeans Garrido,<sup>30</sup> I. Caprini,<sup>26a</sup> M. Caprini,<sup>26a</sup>  
M. Capua,<sup>37a,37b</sup> R. Caputo,<sup>82</sup> R. Cardarelli,<sup>134a</sup> T. Carli,<sup>30</sup> G. Carlino,<sup>103a</sup> L. Carminati,<sup>90a,90b</sup> S. Caron,<sup>105</sup> E. Carquin,<sup>32a</sup>  
G. D. Carrillo-Montoya,<sup>146c</sup> A. A. Carter,<sup>75</sup> J. R. Carter,<sup>28</sup> J. Carvalho,<sup>125a,125c</sup> D. Casadei,<sup>77</sup> M. P. Casado,<sup>12</sup>  
E. Castaneda-Miranda,<sup>146b</sup> A. Castelli,<sup>106</sup> V. Castillo Gimenez,<sup>168</sup> N. F. Castro,<sup>125a</sup> P. Catastini,<sup>57</sup> A. Catinaccio,<sup>30</sup>  
J. R. Catmore,<sup>118</sup> A. Cattai,<sup>30</sup> G. Cattani,<sup>134a,134b</sup> S. Caughron,<sup>89</sup> V. Cavaliere,<sup>166</sup> D. Cavalli,<sup>90a</sup> M. Cavalli-Sforza,<sup>12</sup>  
V. Cavasinni,<sup>123a,123b</sup> F. Ceradini,<sup>135a,135b</sup> B. Cerio,<sup>45</sup> K. Cerny,<sup>128</sup> A. S. Cerqueira,<sup>24b</sup> A. Cerri,<sup>150</sup> L. Cerrito,<sup>75</sup> F. Cerutti,<sup>15</sup>  
M. Cerv,<sup>30</sup> A. Cervelli,<sup>17</sup> S. A. Cetin,<sup>19b</sup> A. Chafaq,<sup>136a</sup> D. Chakraborty,<sup>107</sup> I. Chalupkova,<sup>128</sup> K. Chan,<sup>3</sup> P. Chang,<sup>166</sup>  
B. Chapleau,<sup>86</sup> J. D. Chapman,<sup>28</sup> D. Charfeddine,<sup>116</sup> D. G. Charlton,<sup>18</sup> C. C. Chau,<sup>159</sup> C. A. Chavez Barajas,<sup>150</sup>  
S. Cheatham,<sup>86</sup> A. Chegwidan,<sup>89</sup> S. Chekanov,<sup>6</sup> S. V. Chekulaev,<sup>160a</sup> G. A. Chelkov,<sup>64</sup> M. A. Chelstowska,<sup>88</sup> C. Chen,<sup>63</sup>  
H. Chen,<sup>25</sup> K. Chen,<sup>149</sup> L. Chen,<sup>33d,h</sup> S. Chen,<sup>33c</sup> X. Chen,<sup>146c</sup> Y. Chen,<sup>35</sup> H. C. Cheng,<sup>88</sup> Y. Cheng,<sup>31</sup> A. Cheplakov,<sup>64</sup>  
R. Cherkaoui El Moursli,<sup>136e</sup> V. Chernyatin,<sup>25,a</sup> E. Cheu,<sup>7</sup> L. Chevalier,<sup>137</sup> V. Chiarella,<sup>47</sup> G. Chiefari,<sup>103a,103b</sup> J. T. Childers,<sup>6</sup>  
A. Chilingarov,<sup>71</sup> G. Chiodini,<sup>72a</sup> A. S. Chisholm,<sup>18</sup> R. T. Chislett,<sup>77</sup> A. Chitan,<sup>26a</sup> M. V. Chizhov,<sup>64</sup> S. Chouridou,<sup>9</sup>  
B. K. B. Chow,<sup>99</sup> D. Chromek-Burckhart,<sup>30</sup> M. L. Chu,<sup>152</sup> J. Chudoba,<sup>126</sup> J. C. Chwastowski,<sup>39</sup> L. Chytka,<sup>114</sup>  
G. Ciapetti,<sup>133a,133b</sup> A. K. Ciftci,<sup>4a</sup> R. Ciftci,<sup>4a</sup> D. Cinca,<sup>62</sup> V. Cindro,<sup>74</sup> A. Ciocio,<sup>15</sup> P. Cirkovic,<sup>13b</sup> Z. H. Citron,<sup>173</sup>  
M. Citterio,<sup>90a</sup> M. Ciubancan,<sup>26a</sup> A. Clark,<sup>49</sup> P. J. Clark,<sup>46</sup> R. N. Clarke,<sup>15</sup> W. Cleland,<sup>124</sup> J. C. Clemens,<sup>84</sup> C. Clement,<sup>147a,147b</sup>  
Y. Coadou,<sup>84</sup> M. Cobal,<sup>165a,165c</sup> A. Coccaro,<sup>139</sup> J. Cochran,<sup>63</sup> L. Coffey,<sup>23</sup> J. G. Cogan,<sup>144</sup> J. Coggeshall,<sup>166</sup> B. Cole,<sup>35</sup>  
S. Cole,<sup>107</sup> A. P. Colijn,<sup>106</sup> C. Collins-Tooth,<sup>53</sup> J. Collot,<sup>55</sup> T. Colombo,<sup>58c</sup> G. Colon,<sup>85</sup> G. Compostella,<sup>100</sup>  
P. Conde Muiño,<sup>125a,125b</sup> E. Coniavitis,<sup>167</sup> M. C. Conidi,<sup>12</sup> S. H. Connell,<sup>146b</sup> I. A. Connelly,<sup>76</sup> S. M. Consonni,<sup>90a,90b</sup>  
V. Consorti,<sup>48</sup> S. Constantinescu,<sup>26a</sup> C. Conta,<sup>120a,120b</sup> G. Conti,<sup>57</sup> F. Conventi,<sup>103a,i</sup> M. Cooke,<sup>15</sup> B. D. Cooper,<sup>77</sup>  
A. M. Cooper-Sarkar,<sup>119</sup> N. J. Cooper-Smith,<sup>76</sup> K. Copic,<sup>15</sup> T. Cornelissen,<sup>176</sup> M. Corradi,<sup>20a</sup> F. Corriveau,<sup>86j</sup>  
A. Corso-Radu,<sup>164</sup> A. Cortes-Gonzalez,<sup>12</sup> G. Cortiana,<sup>100</sup> G. Costa,<sup>90a</sup> M. J. Costa,<sup>168</sup> D. Costanzo,<sup>140</sup> D. Côté,<sup>8</sup> G. Cottin,<sup>28</sup>  
G. Cowan,<sup>76</sup> B. E. Cox,<sup>83</sup> K. Cranmer,<sup>109</sup> G. Cree,<sup>29</sup> S. Crépe-Renaudin,<sup>55</sup> F. Crescioli,<sup>79</sup> W. A. Cribbs,<sup>147a,147b</sup>  
M. Crispin Ortuzar,<sup>119</sup> M. Cristinziani,<sup>21</sup> V. Croft,<sup>105</sup> G. Crosetti,<sup>37a,37b</sup> C-M. Cuciuc,<sup>26a</sup> C. Cuenca Almenar,<sup>177</sup>  
T. Cuhadar Donszelmann,<sup>140</sup> J. Cummings,<sup>177</sup> M. Curatolo,<sup>47</sup> C. Cuthbert,<sup>151</sup> H. Czirr,<sup>142</sup> P. Czodrowski,<sup>3</sup> Z. Czyczula,<sup>177</sup>  
S. D'Auria,<sup>53</sup> M. D'Onofrio,<sup>73</sup> M. J. Da Cunha Sargedas De Sousa,<sup>125a,125b</sup> C. Da Via,<sup>83</sup> W. Dabrowski,<sup>38a</sup> A. Dafinca,<sup>119</sup>  
T. Dai,<sup>88</sup> O. Dale,<sup>14</sup> F. Dallaire,<sup>94</sup> C. Dallapiccola,<sup>85</sup> M. Dam,<sup>36</sup> A. C. Daniells,<sup>18</sup> M. Dano Hoffmann,<sup>137</sup> V. Dao,<sup>105</sup>  
G. Darbo,<sup>50a</sup> G. L. Darlea,<sup>26c</sup> S. Darmora,<sup>8</sup> J. A. Dassoulas,<sup>42</sup> A. Dattagupta,<sup>60</sup> W. Davey,<sup>21</sup> C. David,<sup>170</sup> T. Davidek,<sup>128</sup>  
E. Davies,<sup>119,d</sup> M. Davies,<sup>154</sup> O. Davignon,<sup>79</sup> A. R. Davison,<sup>77</sup> P. Davison,<sup>77</sup> Y. Davygora,<sup>58a</sup> E. Dawe,<sup>143</sup> I. Dawson,<sup>140</sup>  
R. K. Daya-Ishmukhametova,<sup>23</sup> K. De,<sup>8</sup> R. de Asmundis,<sup>103a</sup> S. De Castro,<sup>20a,20b</sup> S. De Cecco,<sup>79</sup> N. De Groot,<sup>105</sup>  
P. de Jong,<sup>106</sup> H. De la Torre,<sup>81</sup> F. De Lorenzi,<sup>63</sup> L. De Nooij,<sup>106</sup> D. De Pedis,<sup>133a</sup> A. De Salvo,<sup>133a</sup> U. De Sanctis,<sup>165a,165b</sup>  
A. De Santo,<sup>150</sup> J. B. De Vivie De Regie,<sup>116</sup> G. De Zorzi,<sup>133a,133b</sup> W. J. Dearnaley,<sup>71</sup> R. Debye,<sup>25</sup> C. Debenedetti,<sup>46</sup>  
B. Dechenaux,<sup>55</sup> D. V. Dedovich,<sup>64</sup> J. Degenhardt,<sup>121</sup> I. Deigaard,<sup>106</sup> J. Del Peso,<sup>81</sup> T. Del Prete,<sup>123a,123b</sup> F. Deliot,<sup>137</sup>  
C. M. Delitzsch,<sup>49</sup> M. Deliyergiyev,<sup>74</sup> A. Dell'Acqua,<sup>30</sup> L. Dell'Asta,<sup>22</sup> M. Dell'Orso,<sup>123a,123b</sup> M. Della Pietra,<sup>103a,i</sup>  
D. della Volpe,<sup>49</sup> M. Delmastro,<sup>5</sup> P. A. Delsart,<sup>55</sup> C. Deluca,<sup>106</sup> S. Demers,<sup>177</sup> M. Demichev,<sup>64</sup> A. Demilly,<sup>79</sup> S. P. Denisov,<sup>129</sup>  
D. Derendarz,<sup>39</sup> J. E. Derkaoui,<sup>136d</sup> F. Derue,<sup>79</sup> P. Dervan,<sup>73</sup> K. Desch,<sup>21</sup> C. Deterre,<sup>42</sup> P. O. Deviveiros,<sup>106</sup> A. Dewhurst,<sup>130</sup>  
S. Dhaliwal,<sup>106</sup> A. Di Ciaccio,<sup>134a,134b</sup> L. Di Ciaccio,<sup>5</sup> A. Di Domenico,<sup>133a,133b</sup> C. Di Donato,<sup>103a,103b</sup> A. Di Girolamo,<sup>30</sup>  
B. Di Girolamo,<sup>30</sup> A. Di Mattia,<sup>153</sup> B. Di Micco,<sup>135a,135b</sup> R. Di Nardo,<sup>47</sup> A. Di Simone,<sup>48</sup> R. Di Sipio,<sup>20a,20b</sup> D. Di Valentino,<sup>29</sup>

M. A. Diaz,<sup>32a</sup> E. B. Diehl,<sup>88</sup> J. Dietrich,<sup>42</sup> T. A. Dietzsch,<sup>58a</sup> S. Diglio,<sup>84</sup> A. Dimitrievska,<sup>13a</sup> J. Dingfelder,<sup>21</sup>  
 C. Dionisi,<sup>133a,133b</sup> P. Dita,<sup>26a</sup> S. Dita,<sup>26a</sup> F. Dittus,<sup>30</sup> F. Djama,<sup>84</sup> T. Djobava,<sup>51b</sup> M. A. B. do Vale,<sup>24c</sup>  
 A. Do Valle Wemans,<sup>125a,125g</sup> T. K. O. Doan,<sup>5</sup> D. Dobos,<sup>30</sup> C. Doglioni,<sup>49</sup> T. Doherty,<sup>53</sup> T. Dohmae,<sup>156</sup> J. Dolejsi,<sup>128</sup>  
 Z. Dolezal,<sup>128</sup> B. A. Dolgoshein,<sup>97,a</sup> M. Donadelli,<sup>24d</sup> S. Donati,<sup>123a,123b</sup> P. Dondero,<sup>120a,120b</sup> J. Donini,<sup>34</sup> J. Dopke,<sup>30</sup>  
 A. Doria,<sup>103a</sup> A. Dos Anjos,<sup>174</sup> M. T. Dova,<sup>70</sup> A. T. Doyle,<sup>53</sup> M. Dris,<sup>10</sup> J. Dubbert,<sup>88</sup> S. Dube,<sup>15</sup> E. Dubreuil,<sup>34</sup>  
 E. Duchovni,<sup>173</sup> G. Duckeck,<sup>99</sup> O. A. Ducu,<sup>26a</sup> D. Duda,<sup>176</sup> A. Dudarev,<sup>30</sup> F. Dudziak,<sup>63</sup> L. Duflot,<sup>116</sup> L. Duguid,<sup>76</sup>  
 M. Dührssen,<sup>30</sup> M. Dunford,<sup>58a</sup> H. Duran Yildiz,<sup>4a</sup> M. Düren,<sup>52</sup> A. Durglishvili,<sup>51b</sup> M. Dwuznik,<sup>38a</sup> M. Dyndal,<sup>38a</sup> J. Ebke,<sup>99</sup>  
 W. Edson,<sup>2</sup> N. C. Edwards,<sup>46</sup> W. Ehrenfeld,<sup>21</sup> T. Eifert,<sup>144</sup> G. Eigen,<sup>14</sup> K. Einsweiler,<sup>15</sup> T. Ekelof,<sup>167</sup> M. El Kacimi,<sup>136c</sup>  
 M. Ellert,<sup>167</sup> S. Elles,<sup>5</sup> F. Ellinghaus,<sup>82</sup> N. Ellis,<sup>30</sup> J. Elmsheuser,<sup>99</sup> M. Elsing,<sup>30</sup> D. Emelianov,<sup>130</sup> Y. Enari,<sup>156</sup>  
 O. C. Endner,<sup>82</sup> M. Endo,<sup>117</sup> R. Engelmann,<sup>149</sup> J. Erdmann,<sup>177</sup> A. Ereditato,<sup>17</sup> D. Eriksson,<sup>147a</sup> G. Ernis,<sup>176</sup> J. Ernst,<sup>2</sup>  
 M. Ernst,<sup>25</sup> J. Ernwein,<sup>137</sup> D. Errede,<sup>166</sup> S. Errede,<sup>166</sup> E. Ertel,<sup>82</sup> M. Escalier,<sup>116</sup> H. Esch,<sup>43</sup> C. Escobar,<sup>124</sup> B. Esposito,<sup>47</sup>  
 A. I. Etievre,<sup>137</sup> E. Etzion,<sup>154</sup> H. Evans,<sup>60</sup> L. Fabbri,<sup>20a,20b</sup> G. Facini,<sup>30</sup> R. M. Fakhruddinov,<sup>129</sup> S. Falciano,<sup>133a</sup> R. J. Falla,<sup>77</sup>  
 Y. Fang,<sup>33a</sup> M. Fantì,<sup>90a,90b</sup> A. Farbin,<sup>8</sup> A. Farilla,<sup>135a</sup> T. Farooque,<sup>12</sup> S. Farrell,<sup>164</sup> S. M. Farrington,<sup>171</sup> P. Farthouat,<sup>30</sup>  
 F. Fassi,<sup>168</sup> P. Fassnacht,<sup>30</sup> D. Fassouliotis,<sup>9</sup> A. Favareto,<sup>50a,50b</sup> L. Fayard,<sup>116</sup> P. Federic,<sup>145a</sup> O. L. Fedin,<sup>122,k</sup> W. Fedorko,<sup>169</sup>  
 M. Fehling-Kaschek,<sup>48</sup> S. Feigl,<sup>30</sup> L. Feligioni,<sup>84</sup> C. Feng,<sup>33d</sup> E. J. Feng,<sup>6</sup> H. Feng,<sup>88</sup> A. B. Fenyuk,<sup>129</sup> S. Fernandez Perez,<sup>30</sup>  
 S. Ferrag,<sup>53</sup> J. Ferrando,<sup>53</sup> A. Ferrari,<sup>167</sup> P. Ferrari,<sup>106</sup> R. Ferrari,<sup>120a</sup> D. E. Ferreira de Lima,<sup>53</sup> A. Ferrer,<sup>168</sup> D. Ferrere,<sup>49</sup>  
 C. Ferretti,<sup>88</sup> A. Ferretto Parodi,<sup>50a,50b</sup> M. Fiascaris,<sup>31</sup> F. Fiedler,<sup>82</sup> A. Filipčić,<sup>74</sup> M. Filipuzzi,<sup>42</sup> F. Filthaut,<sup>105</sup>  
 M. Fincke-Keeler,<sup>170</sup> K. D. Finelli,<sup>151</sup> M. C. N. Fiolhais,<sup>125a,125c</sup> L. Fiorini,<sup>168</sup> A. Firan,<sup>40</sup> J. Fischer,<sup>176</sup> W. C. Fisher,<sup>89</sup>  
 E. A. Fitzgerald,<sup>23</sup> M. Flechl,<sup>48</sup> I. Fleck,<sup>142</sup> P. Fleischmann,<sup>175</sup> S. Fleischmann,<sup>176</sup> G. T. Fletcher,<sup>140</sup> G. Fletcher,<sup>75</sup> T. Flick,<sup>176</sup>  
 A. Floderus,<sup>80</sup> L. R. Flores Castillo,<sup>174</sup> A. C. Florez Bustos,<sup>160b</sup> M. J. Flowerdew,<sup>100</sup> A. Formica,<sup>137</sup> A. Forti,<sup>83</sup> D. Fortin,<sup>160a</sup>  
 D. Fournier,<sup>116</sup> H. Fox,<sup>71</sup> S. Fracchia,<sup>12</sup> P. Francavilla,<sup>79</sup> M. Franchini,<sup>20a,20b</sup> S. Franchino,<sup>30</sup> D. Francis,<sup>30</sup> M. Franklin,<sup>57</sup>  
 S. Franz,<sup>61</sup> M. Fraternali,<sup>120a,120b</sup> S. T. French,<sup>28</sup> C. Friedrich,<sup>42</sup> F. Friedrich,<sup>44</sup> D. Froidevaux,<sup>30</sup> J. A. Frost,<sup>28</sup> C. Fukunaga,<sup>157</sup>  
 E. Fullana Torregrosa,<sup>82</sup> B. G. Fulsom,<sup>144</sup> J. Fuster,<sup>168</sup> C. Gabaldon,<sup>55</sup> O. Gabizon,<sup>173</sup> A. Gabrielli,<sup>20a,20b</sup> A. Gabrielli,<sup>133a,133b</sup>  
 S. Gadatsch,<sup>106</sup> S. Gadomski,<sup>49</sup> G. Gagliardi,<sup>50a,50b</sup> P. Gagnon,<sup>60</sup> C. Galea,<sup>105</sup> B. Galhardo,<sup>125a,125c</sup> E. J. Gallas,<sup>119</sup> V. Gallo,<sup>17</sup>  
 B. J. Gallop,<sup>130</sup> P. Gallus,<sup>127</sup> G. Galster,<sup>36</sup> K. K. Gan,<sup>110</sup> R. P. Gandrajula,<sup>62</sup> J. Gao,<sup>33b,h</sup> Y. S. Gao,<sup>144,f</sup> F. M. Garay Walls,<sup>46</sup>  
 F. Garbersson,<sup>177</sup> C. García,<sup>168</sup> J. E. García Navarro,<sup>168</sup> M. Garcia-Sciveres,<sup>15</sup> R. W. Gardner,<sup>31</sup> N. Garelli,<sup>144</sup> V. Garonne,<sup>30</sup>  
 C. Gatti,<sup>47</sup> G. Gaudio,<sup>120a</sup> B. Gaur,<sup>142</sup> L. Gauthier,<sup>94</sup> P. Gauzzi,<sup>133a,133b</sup> I. L. Gavrilenko,<sup>95</sup> C. Gay,<sup>169</sup> G. Gaycken,<sup>21</sup>  
 E. N. Gazis,<sup>10</sup> P. Ge,<sup>33d</sup> Z. Gecse,<sup>169</sup> C. N. P. Gee,<sup>130</sup> D. A. A. Geerts,<sup>106</sup> Ch. Geich-Gimbel,<sup>21</sup> K. Gellerstedt,<sup>147a,147b</sup>  
 C. Gemme,<sup>50a</sup> A. Gemmell,<sup>53</sup> M. H. Genest,<sup>55</sup> S. Gentile,<sup>133a,133b</sup> M. George,<sup>54</sup> S. George,<sup>76</sup> D. Gerbaudo,<sup>164</sup> A. Gershon,<sup>154</sup>  
 H. Ghazlane,<sup>136b</sup> N. Ghodbane,<sup>34</sup> B. Giacobbe,<sup>20a</sup> S. Giagu,<sup>133a,133b</sup> V. Giangiobbe,<sup>12</sup> P. Giannetti,<sup>123a,123b</sup> F. Gianotti,<sup>30</sup>  
 B. Gibbard,<sup>25</sup> S. M. Gibson,<sup>76</sup> M. Gilchriese,<sup>15</sup> T. P. S. Gillam,<sup>28</sup> D. Gillberg,<sup>30</sup> G. Gilles,<sup>34</sup> D. M. Gingrich,<sup>3,e</sup> N. Giokaris,<sup>9</sup>  
 M. P. Giordani,<sup>165a,165c</sup> R. Giordano,<sup>103a,103b</sup> F. M. Giorgi,<sup>20a</sup> F. M. Giorgi,<sup>16</sup> P. F. Giraud,<sup>137</sup> D. Giugni,<sup>90a</sup> C. Giuliani,<sup>48</sup>  
 M. Giulini,<sup>58b</sup> B. K. Gjelsten,<sup>118</sup> I. Gkialas,<sup>155,l</sup> L. K. Gladilin,<sup>98</sup> C. Glasman,<sup>81</sup> J. Glatzer,<sup>30</sup> P. C. F. Glaysher,<sup>46</sup> A. Glazov,<sup>42</sup>  
 G. L. Glonti,<sup>64</sup> M. Goblirsch-Kolb,<sup>100</sup> J. R. Goddard,<sup>75</sup> J. Godfrey,<sup>143</sup> J. Godlewski,<sup>30</sup> C. Goeringer,<sup>82</sup> S. Goldfarb,<sup>88</sup>  
 T. Golling,<sup>177</sup> D. Golubkov,<sup>129</sup> A. Gomes,<sup>125a,125b,125d</sup> L. S. Gomez Fajardo,<sup>42</sup> R. Gonçalves,<sup>125a</sup>  
 J. Goncalves Pinto Firmino Da Costa,<sup>137</sup> L. Gonella,<sup>21</sup> S. González de la Hoz,<sup>168</sup> G. Gonzalez Parra,<sup>12</sup>  
 M. L. Gonzalez Silva,<sup>27</sup> S. Gonzalez-Sevilla,<sup>49</sup> L. Goossens,<sup>30</sup> P. A. Gorbounov,<sup>96</sup> H. A. Gordon,<sup>25</sup> I. Gorelov,<sup>104</sup>  
 G. Gorfine,<sup>176</sup> B. Gorini,<sup>30</sup> E. Gorini,<sup>72a,72b</sup> A. Gorišek,<sup>74</sup> E. Gornicki,<sup>39</sup> A. T. Goshaw,<sup>6</sup> C. Gössling,<sup>43</sup> M. I. Gostkin,<sup>64</sup>  
 M. Goughri,<sup>136a</sup> D. Goujdami,<sup>136c</sup> M. P. Goulette,<sup>49</sup> A. G. Goussiou,<sup>139</sup> C. Goy,<sup>5</sup> S. Gozpinar,<sup>23</sup> H. M. X. Grabas,<sup>137</sup>  
 L. Graber,<sup>54</sup> I. Grabowska-Bold,<sup>38a</sup> P. Grafström,<sup>20a,20b</sup> K.-J. Grahm,<sup>42</sup> J. Gramling,<sup>49</sup> E. Gramstad,<sup>118</sup> S. Grancagnolo,<sup>16</sup>  
 V. Grassi,<sup>149</sup> V. Gratchev,<sup>122</sup> H. M. Gray,<sup>30</sup> E. Graziani,<sup>135a</sup> O. G. Grebenyuk,<sup>122</sup> Z. D. Greenwood,<sup>78,m</sup> K. Gregersen,<sup>77</sup>  
 I. M. Gregor,<sup>42</sup> P. Grenier,<sup>144</sup> J. Griffiths,<sup>8</sup> N. Grigalashvili,<sup>64</sup> A. A. Grillo,<sup>138</sup> K. Grimm,<sup>71</sup> S. Grinstein,<sup>12,n</sup> Ph. Gris,<sup>34</sup>  
 Y. V. Grishkevich,<sup>98</sup> J.-F. Grivaz,<sup>116</sup> J. P. Grohs,<sup>44</sup> A. Grohsjean,<sup>42</sup> E. Gross,<sup>173</sup> J. Grosse-Knetter,<sup>54</sup> G. C. Grossi,<sup>134a,134b</sup>  
 J. Groth-Jensen,<sup>173</sup> Z. J. Grout,<sup>150</sup> K. Grybel,<sup>142</sup> L. Guan,<sup>33b</sup> F. Guescini,<sup>49</sup> D. Guest,<sup>177</sup> O. Gueta,<sup>154</sup> C. Guicheney,<sup>34</sup>  
 E. Guido,<sup>50a,50b</sup> T. Guillemin,<sup>116</sup> S. Guindon,<sup>2</sup> U. Gul,<sup>53</sup> C. Gumpert,<sup>44</sup> J. Gunther,<sup>127</sup> J. Guo,<sup>35</sup> S. Gupta,<sup>119</sup> P. Gutierrez,<sup>112</sup>  
 N. G. Gutierrez Ortiz,<sup>53</sup> C. Gutschow,<sup>77</sup> N. Guttman,<sup>154</sup> C. Guyot,<sup>137</sup> C. Gwenlan,<sup>119</sup> C. B. Gwilliam,<sup>73</sup> A. Haas,<sup>109</sup>  
 C. Haber,<sup>15</sup> H. K. Hadavand,<sup>8</sup> N. Haddad,<sup>136e</sup> P. Haefner,<sup>21</sup> S. Hageboeck,<sup>21</sup> Z. Hajduk,<sup>39</sup> H. Hakobyan,<sup>178</sup> M. Haleem,<sup>42</sup>  
 D. Hall,<sup>119</sup> G. Halladjian,<sup>89</sup> K. Hamacher,<sup>176</sup> P. Hamal,<sup>114</sup> K. Hamano,<sup>170</sup> M. Hamer,<sup>54</sup> A. Hamilton,<sup>146a</sup> S. Hamilton,<sup>162</sup>  
 P. G. Hamnett,<sup>42</sup> L. Han,<sup>33b</sup> K. Hanagaki,<sup>117</sup> K. Hanawa,<sup>156</sup> M. Hance,<sup>15</sup> P. Hanke,<sup>58a</sup> R. Hanna,<sup>137</sup> J. R. Hansen,<sup>36</sup>

J. B. Hansen,<sup>36</sup> J. D. Hansen,<sup>36</sup> P. H. Hansen,<sup>36</sup> K. Hara,<sup>161</sup> A. S. Hard,<sup>174</sup> T. Harenberg,<sup>176</sup> S. Harkusha,<sup>91</sup> D. Harper,<sup>88</sup>  
 R. D. Harrington,<sup>46</sup> O. M. Harris,<sup>139</sup> P. F. Harrison,<sup>171</sup> F. Hartjes,<sup>106</sup> S. Hasegawa,<sup>102</sup> Y. Hasegawa,<sup>141</sup> A. Hasib,<sup>112</sup>  
 S. Hassani,<sup>137</sup> S. Haug,<sup>17</sup> M. Hauschild,<sup>30</sup> R. Hauser,<sup>89</sup> M. Havranek,<sup>126</sup> C. M. Hawkes,<sup>18</sup> R. J. Hawkings,<sup>30</sup>  
 A. D. Hawkins,<sup>80</sup> T. Hayashi,<sup>161</sup> D. Hayden,<sup>89</sup> C. P. Hays,<sup>119</sup> H. S. Hayward,<sup>73</sup> S. J. Haywood,<sup>130</sup> S. J. Head,<sup>18</sup> T. Heck,<sup>82</sup>  
 V. Hedberg,<sup>80</sup> L. Heelan,<sup>8</sup> S. Heim,<sup>121</sup> T. Heim,<sup>176</sup> B. Heinemann,<sup>15</sup> L. Heinrich,<sup>109</sup> S. Heisterkamp,<sup>36</sup> J. Hejbal,<sup>126</sup>  
 L. Helary,<sup>22</sup> C. Heller,<sup>99</sup> M. Heller,<sup>30</sup> S. Hellman,<sup>147a,147b</sup> D. Hellmich,<sup>21</sup> C. Helsens,<sup>30</sup> J. Henderson,<sup>119</sup>  
 R. C. W. Henderson,<sup>71</sup> C. Hengler,<sup>42</sup> A. Henrichs,<sup>177</sup> A. M. Henriques Correia,<sup>30</sup> S. Henrot-Versille,<sup>116</sup> C. Hensel,<sup>54</sup>  
 G. H. Herbert,<sup>16</sup> Y. Hernández Jiménez,<sup>168</sup> R. Herrberg-Schubert,<sup>16</sup> G. Herten,<sup>48</sup> R. Hertenberger,<sup>99</sup> L. Hervas,<sup>30</sup>  
 G. G. Hesketh,<sup>77</sup> N. P. Hessey,<sup>106</sup> R. Hickling,<sup>75</sup> E. Higón-Rodríguez,<sup>168</sup> E. Hill,<sup>170</sup> J. C. Hill,<sup>28</sup> K. H. Hiller,<sup>42</sup> S. Hillert,<sup>21</sup>  
 S. J. Hillier,<sup>18</sup> I. Hinchliffe,<sup>15</sup> E. Hines,<sup>121</sup> M. Hirose,<sup>117</sup> D. Hirschbuehl,<sup>176</sup> J. Hobbs,<sup>149</sup> N. Hod,<sup>106</sup> M. C. Hodgkinson,<sup>140</sup>  
 P. Hodgson,<sup>140</sup> A. Hoecker,<sup>30</sup> M. R. Hoeferkamp,<sup>104</sup> J. Hoffman,<sup>40</sup> D. Hoffmann,<sup>84</sup> J. I. Hofmann,<sup>58a</sup> M. Hohlfeld,<sup>82</sup>  
 T. R. Holmes,<sup>15</sup> T. M. Hong,<sup>121</sup> L. Hooft van Huysduynen,<sup>109</sup> J.-Y. Hostachy,<sup>55</sup> S. Hou,<sup>152</sup> A. Houmada,<sup>136a</sup> J. Howard,<sup>119</sup>  
 J. Howarth,<sup>42</sup> M. Hrabovsky,<sup>114</sup> I. Hristova,<sup>16</sup> J. Hrivnac,<sup>116</sup> T. Hryn'ova,<sup>5</sup> P. J. Hsu,<sup>82</sup> S.-C. Hsu,<sup>139</sup> D. Hu,<sup>35</sup> X. Hu,<sup>25</sup>  
 Y. Huang,<sup>42</sup> Z. Hubacek,<sup>30</sup> F. Hubaut,<sup>84</sup> F. Huegging,<sup>21</sup> T. B. Huffman,<sup>119</sup> E. W. Hughes,<sup>35</sup> G. Hughes,<sup>71</sup> M. Huhtinen,<sup>30</sup>  
 T. A. Hülsing,<sup>82</sup> M. Hurwitz,<sup>15</sup> N. Huseynov,<sup>64,c</sup> J. Huston,<sup>89</sup> J. Huth,<sup>57</sup> G. Iacobucci,<sup>49</sup> G. Iakovidis,<sup>10</sup> I. Ibragimov,<sup>142</sup>  
 L. Iconomidou-Fayard,<sup>116</sup> J. Idarraga,<sup>116</sup> E. Ideal,<sup>177</sup> P. Iengo,<sup>103a</sup> O. Igonkina,<sup>106</sup> T. Iizawa,<sup>172</sup> Y. Ikegami,<sup>65</sup> K. Ikematsu,<sup>142</sup>  
 M. Ikeno,<sup>65</sup> D. Iliadis,<sup>155</sup> N. Ilic,<sup>159</sup> Y. Inamaru,<sup>66</sup> T. Ince,<sup>100</sup> P. Ioannou,<sup>9</sup> M. Iodice,<sup>135a</sup> K. Iordanidou,<sup>9</sup> V. Ippolito,<sup>57</sup>  
 A. Irlés Quiles,<sup>168</sup> C. Isaksson,<sup>167</sup> M. Ishino,<sup>67</sup> M. Ishitsuka,<sup>158</sup> R. Ishmukhametov,<sup>110</sup> C. Issever,<sup>119</sup> S. Istin,<sup>19a</sup>  
 J. M. Iturbe Ponce,<sup>83</sup> J. Ivarsson,<sup>80</sup> A. V. Ivashin,<sup>129</sup> W. Iwanski,<sup>39</sup> H. Iwasaki,<sup>65</sup> J. M. Izen,<sup>41</sup> V. Izzo,<sup>103a</sup> B. Jackson,<sup>121</sup>  
 J. N. Jackson,<sup>73</sup> M. Jackson,<sup>73</sup> P. Jackson,<sup>1</sup> M. R. Jaekel,<sup>30</sup> V. Jain,<sup>2</sup> K. Jakobs,<sup>48</sup> S. Jakobsen,<sup>30</sup> T. Jakoubek,<sup>126</sup>  
 J. Jakubek,<sup>127</sup> D. O. Jamin,<sup>152</sup> D. K. Jana,<sup>78</sup> E. Jansen,<sup>77</sup> H. Jansen,<sup>30</sup> J. Janssen,<sup>21</sup> M. Janus,<sup>171</sup> G. Jarlskog,<sup>80</sup> N. Javadov,<sup>64,c</sup>  
 T. Javůrek,<sup>48</sup> L. Jeanty,<sup>15</sup> G.-Y. Jeng,<sup>151</sup> D. Jennens,<sup>87</sup> P. Jenni,<sup>48,o</sup> J. Jentsch,<sup>43</sup> C. Jeske,<sup>171</sup> S. Jézéquel,<sup>5</sup> H. Ji,<sup>174</sup> W. Ji,<sup>82</sup>  
 J. Jia,<sup>149</sup> Y. Jiang,<sup>33b</sup> M. Jimenez Belenguer,<sup>42</sup> S. Jin,<sup>33a</sup> A. Jinaru,<sup>26a</sup> O. Jinnouchi,<sup>158</sup> M. D. Joergensen,<sup>36</sup>  
 K. E. Johansson,<sup>147a</sup> P. Johansson,<sup>140</sup> K. A. Johns,<sup>7</sup> K. Jon-And,<sup>147a,147b</sup> G. Jones,<sup>171</sup> R. W. L. Jones,<sup>71</sup> T. J. Jones,<sup>73</sup>  
 J. Jongmanns,<sup>58a</sup> P. M. Jorge,<sup>125a,125b</sup> K. D. Joshi,<sup>83</sup> J. Jovicevic,<sup>148</sup> X. Ju,<sup>174</sup> C. A. Jung,<sup>43</sup> R. M. Jungst,<sup>30</sup> P. Jussel,<sup>61</sup>  
 A. Juste Rozas,<sup>12,n</sup> M. Kaci,<sup>168</sup> A. Kaczmarzka,<sup>39</sup> M. Kado,<sup>116</sup> H. Kagan,<sup>110</sup> M. Kagan,<sup>144</sup> E. Kajomovitz,<sup>45</sup>  
 C. W. Kalderon,<sup>119</sup> S. Kama,<sup>40</sup> N. Kanaya,<sup>156</sup> M. Kaneda,<sup>30</sup> S. Kaneti,<sup>28</sup> T. Kanno,<sup>158</sup> V. A. Kantsеров,<sup>97</sup> J. Kanzaki,<sup>65</sup>  
 B. Kaplan,<sup>109</sup> A. Kapliy,<sup>31</sup> D. Kar,<sup>53</sup> K. Karakostas,<sup>10</sup> N. Karastathis,<sup>10</sup> M. Karneviskiy,<sup>82</sup> S. N. Karpov,<sup>64</sup> K. Karthik,<sup>109</sup>  
 V. Kartvelishvili,<sup>71</sup> A. N. Karyukhin,<sup>129</sup> L. Kashif,<sup>174</sup> G. Kasieczka,<sup>58b</sup> R. D. Kass,<sup>110</sup> A. Kastanas,<sup>14</sup> Y. Kataoka,<sup>156</sup>  
 A. Katre,<sup>49</sup> J. Katzy,<sup>42</sup> V. Kaushik,<sup>7</sup> K. Kawagoe,<sup>69</sup> T. Kawamoto,<sup>156</sup> G. Kawamura,<sup>54</sup> S. Kazama,<sup>156</sup> V. F. Kazanin,<sup>108</sup>  
 M. Y. Kazarinov,<sup>64</sup> R. Keeler,<sup>170</sup> P. T. Keener,<sup>121</sup> R. Kehoe,<sup>40</sup> M. Keil,<sup>54</sup> J. S. Keller,<sup>42</sup> J. J. Kempster,<sup>76</sup> H. Keoshkerian,<sup>5</sup>  
 O. Kepka,<sup>126</sup> B. P. Kerševan,<sup>74</sup> S. Kersten,<sup>176</sup> K. Kessoku,<sup>156</sup> J. Keung,<sup>159</sup> F. Khalil-zada,<sup>11</sup> H. Khandanyan,<sup>147a,147b</sup>  
 A. Khanov,<sup>113</sup> A. Khodinov,<sup>97</sup> A. Khomich,<sup>58a</sup> T. J. Khoo,<sup>28</sup> G. Khorauli,<sup>21</sup> A. Khoroshilov,<sup>176</sup> V. Khovanskiy,<sup>96</sup>  
 E. Khramov,<sup>64</sup> J. Khubua,<sup>51b</sup> H. Y. Kim,<sup>8</sup> H. Kim,<sup>147a,147b</sup> S. H. Kim,<sup>161</sup> N. Kimura,<sup>172</sup> O. Kind,<sup>16</sup> B. T. King,<sup>73</sup> M. King,<sup>168</sup>  
 R. S. B. King,<sup>119</sup> S. B. King,<sup>169</sup> J. Kirk,<sup>130</sup> A. E. Kiryunin,<sup>100</sup> T. Kishimoto,<sup>66</sup> D. Kisielewska,<sup>38a</sup> F. Kiss,<sup>48</sup> T. Kitamura,<sup>66</sup>  
 T. Kittelmann,<sup>124</sup> K. Kiuchi,<sup>161</sup> E. Kladiva,<sup>145b</sup> M. Klein,<sup>73</sup> U. Klein,<sup>73</sup> K. Kleinknecht,<sup>82</sup> P. Klimek,<sup>147a,147b</sup> A. Klimentov,<sup>25</sup>  
 R. Klingenberg,<sup>43</sup> J. A. Klinger,<sup>83</sup> T. Klioutchnikova,<sup>30</sup> P. F. Klok,<sup>105</sup> E.-E. Kluge,<sup>58a</sup> P. Kluit,<sup>106</sup> S. Kluth,<sup>100</sup> E. Kneringer,<sup>61</sup>  
 E. B. F. G. Knoops,<sup>84</sup> A. Knue,<sup>53</sup> T. Kobayashi,<sup>156</sup> M. Kobel,<sup>44</sup> M. Kocian,<sup>144</sup> P. Kodys,<sup>128</sup> P. Koevesarki,<sup>21</sup> T. Koffas,<sup>29</sup>  
 E. Koffeman,<sup>106</sup> L. A. Kogan,<sup>119</sup> S. Kohlmann,<sup>176</sup> Z. Kohout,<sup>127</sup> T. Kohriki,<sup>65</sup> T. Koi,<sup>144</sup> H. Kolanoski,<sup>16</sup> I. Koletsou,<sup>5</sup>  
 J. Koll,<sup>89</sup> A. A. Komar,<sup>95,a</sup> Y. Komori,<sup>156</sup> T. Kondo,<sup>65</sup> N. Kondrashova,<sup>42</sup> K. Köneke,<sup>48</sup> A. C. König,<sup>105</sup> S. König,<sup>82</sup>  
 T. Kono,<sup>65,p</sup> R. Konoplich,<sup>109,q</sup> N. Konstantinidis,<sup>77</sup> R. Kopeliansky,<sup>153</sup> S. Koperny,<sup>38a</sup> L. Köpke,<sup>82</sup> A. K. Kopp,<sup>48</sup>  
 K. Korcyl,<sup>39</sup> K. Kordas,<sup>155</sup> A. Korn,<sup>77</sup> A. A. Korol,<sup>108</sup> I. Korolkov,<sup>12</sup> E. V. Korolkova,<sup>140</sup> V. A. Korotkov,<sup>129</sup> O. Kortner,<sup>100</sup>  
 S. Kortner,<sup>100</sup> V. V. Kostyukhin,<sup>21</sup> S. Kotov,<sup>100</sup> V. M. Kotov,<sup>64</sup> A. Kotwal,<sup>45</sup> C. Kourkoumelis,<sup>9</sup> V. Kouskoura,<sup>155</sup>  
 A. Koutsman,<sup>160a</sup> R. Kowalewski,<sup>170</sup> T. Z. Kowalski,<sup>38a</sup> W. Kozanecki,<sup>137</sup> A. S. Kozhin,<sup>129</sup> V. Kral,<sup>127</sup> V. A. Kramarenko,<sup>98</sup>  
 G. Kramberger,<sup>74</sup> D. Krasnopevtsev,<sup>97</sup> M. W. Krasny,<sup>79</sup> A. Krasznahorkay,<sup>30</sup> J. K. Kraus,<sup>21</sup> A. Kravchenko,<sup>25</sup> S. Kreiss,<sup>109</sup>  
 M. Kretz,<sup>58c</sup> J. Kretzschmar,<sup>73</sup> K. Kreuzfeldt,<sup>52</sup> P. Krieger,<sup>159</sup> K. Kroeninger,<sup>54</sup> H. Kroha,<sup>100</sup> J. Kroll,<sup>121</sup> J. Kroseberg,<sup>21</sup>  
 J. Krstic,<sup>13a</sup> U. Kruchonak,<sup>64</sup> H. Krüger,<sup>21</sup> T. Kruker,<sup>17</sup> N. Krumnack,<sup>63</sup> Z. V. Krumshteyn,<sup>64</sup> A. Kruse,<sup>174</sup> M. C. Kruse,<sup>45</sup>  
 M. Kruskal,<sup>22</sup> T. Kubota,<sup>87</sup> S. Kuday,<sup>4a</sup> S. Kuehn,<sup>48</sup> A. Kugel,<sup>58c</sup> A. Kuhl,<sup>138</sup> T. Kuhl,<sup>42</sup> V. Kukhtin,<sup>64</sup> Y. Kulchitsky,<sup>91</sup>  
 S. Kuleshov,<sup>32b</sup> M. Kuna,<sup>133a,133b</sup> J. Kunkle,<sup>121</sup> A. Kupco,<sup>126</sup> H. Kurashige,<sup>66</sup> Y. A. Kurochkin,<sup>91</sup> R. Kurumida,<sup>66</sup> V. Kus,<sup>126</sup>

E. S. Kuwertz,<sup>148</sup> M. Kuze,<sup>158</sup> J. Kvita,<sup>114</sup> A. La Rosa,<sup>49</sup> L. La Rotonda,<sup>37a,37b</sup> C. Lacasta,<sup>168</sup> F. Lacava,<sup>133a,133b</sup> J. Lacey,<sup>29</sup> H. Lacker,<sup>16</sup> D. Lacour,<sup>79</sup> V. R. Lacuesta,<sup>168</sup> E. Ladygin,<sup>64</sup> R. Lafaye,<sup>5</sup> B. Laforge,<sup>79</sup> T. Lagouri,<sup>177</sup> S. Lai,<sup>48</sup> H. Laier,<sup>58a</sup> L. Lambourne,<sup>77</sup> S. Lammers,<sup>60</sup> C. L. Lampen,<sup>7</sup> W. Lampl,<sup>137</sup> E. Lançon,<sup>137</sup> U. Landgraf,<sup>48</sup> M. P. J. Landon,<sup>75</sup> V. S. Lang,<sup>58a</sup> C. Lange,<sup>42</sup> A. J. Lankford,<sup>164</sup> F. Lanni,<sup>25</sup> K. Lantzsich,<sup>30</sup> S. Laplace,<sup>79</sup> C. Lapoire,<sup>21</sup> J. F. Laporte,<sup>137</sup> T. Lari,<sup>90a</sup> M. Lassnig,<sup>30</sup> P. Laurelli,<sup>47</sup> W. Lavrijsen,<sup>15</sup> A. T. Law,<sup>138</sup> P. Laycock,<sup>73</sup> B. T. Le,<sup>55</sup> O. Le Dortz,<sup>79</sup> E. Le Guirriec,<sup>84</sup> E. Le Menedeu,<sup>12</sup> T. LeCompte,<sup>6</sup> F. Ledroit-Guillon,<sup>55</sup> C. A. Lee,<sup>152</sup> H. Lee,<sup>106</sup> J. S. H. Lee,<sup>117</sup> S. C. Lee,<sup>152</sup> L. Lee,<sup>177</sup> G. Lefebvre,<sup>79</sup> M. Lefebvre,<sup>170</sup> F. Legger,<sup>99</sup> C. Leggett,<sup>15</sup> A. Lehan,<sup>73</sup> M. Lehmacher,<sup>21</sup> G. Lehmann Miotto,<sup>30</sup> X. Lei,<sup>7</sup> W. A. Leight,<sup>29</sup> A. G. Leister,<sup>177</sup> M. A. L. Leite,<sup>24d</sup> R. Leitner,<sup>128</sup> D. Lellouch,<sup>173</sup> B. Lemmer,<sup>54</sup> K. J. C. Leney,<sup>77</sup> T. Lenz,<sup>106</sup> G. Lenzen,<sup>176</sup> B. Lenzi,<sup>30</sup> R. Leone,<sup>7</sup> K. Leonhardt,<sup>44</sup> S. Leontsinis,<sup>10</sup> C. Leroy,<sup>94</sup> C. G. Lester,<sup>28</sup> C. M. Lester,<sup>121</sup> M. Levchenko,<sup>122</sup> J. Levêque,<sup>5</sup> D. Levin,<sup>88</sup> L. J. Levinson,<sup>173</sup> M. Levy,<sup>18</sup> A. Lewis,<sup>119</sup> G. H. Lewis,<sup>109</sup> A. M. Leyko,<sup>21</sup> M. Leyton,<sup>41</sup> B. Li,<sup>33b,r</sup> B. Li,<sup>84</sup> H. Li,<sup>149</sup> H. L. Li,<sup>31</sup> L. Li,<sup>45</sup> L. Li,<sup>33e</sup> S. Li,<sup>45</sup> Y. Li,<sup>33c,s</sup> Z. Liang,<sup>138</sup> H. Liao,<sup>34</sup> B. Liberti,<sup>134a</sup> P. Lichard,<sup>30</sup> K. Lie,<sup>166</sup> J. Liebal,<sup>21</sup> W. Liebig,<sup>14</sup> C. Limbach,<sup>21</sup> A. Limosani,<sup>87</sup> S. C. Lin,<sup>152,t</sup> F. Linde,<sup>106</sup> B. E. Lindquist,<sup>149</sup> J. T. Linnemann,<sup>89</sup> E. Lipeles,<sup>121</sup> A. Lipniacka,<sup>14</sup> M. Lisovyi,<sup>42</sup> T. M. Liss,<sup>166</sup> D. Lissauer,<sup>25</sup> A. Lister,<sup>169</sup> A. M. Litke,<sup>138</sup> B. Liu,<sup>152</sup> D. Liu,<sup>152</sup> J. B. Liu,<sup>33b</sup> K. Liu,<sup>33b,u</sup> L. Liu,<sup>88</sup> M. Liu,<sup>45</sup> M. Liu,<sup>33b</sup> Y. Liu,<sup>33b</sup> M. Livan,<sup>120a,120b</sup> S. S. A. Livermore,<sup>119</sup> A. Lleres,<sup>55</sup> J. Llorente Merino,<sup>81</sup> S. L. Lloyd,<sup>75</sup> F. Lo Sterzo,<sup>152</sup> E. Lobodzinska,<sup>42</sup> P. Loch,<sup>7</sup> W. S. Lockman,<sup>138</sup> T. Loddenkoetter,<sup>21</sup> F. K. Loebinger,<sup>83</sup> A. E. Loevschall-Jensen,<sup>36</sup> A. Loginov,<sup>177</sup> C. W. Loh,<sup>169</sup> T. Lohse,<sup>16</sup> K. Lohwasser,<sup>42</sup> M. Lokajicek,<sup>126</sup> V. P. Lombardo,<sup>5</sup> B. A. Long,<sup>22</sup> J. D. Long,<sup>88</sup> R. E. Long,<sup>71</sup> L. Lopes,<sup>125a</sup> D. Lopez Mateos,<sup>57</sup> B. Lopez Paredes,<sup>140</sup> I. Lopez Paz,<sup>12</sup> J. Lorenz,<sup>99</sup> N. Lorenzo Martinez,<sup>60</sup> M. Losada,<sup>163</sup> P. Loscutoff,<sup>15</sup> X. Lou,<sup>41</sup> A. Lounis,<sup>116</sup> J. Love,<sup>6</sup> P. A. Love,<sup>71</sup> A. J. Lowe,<sup>144,f</sup> F. Lu,<sup>33a</sup> H. J. Lubatti,<sup>139</sup> C. Luci,<sup>133a,133b</sup> A. Lucotte,<sup>55</sup> F. Luehring,<sup>60</sup> W. Lukas,<sup>61</sup> L. Luminari,<sup>133a</sup> O. Lundberg,<sup>147a,147b</sup> B. Lund-Jensen,<sup>148</sup> M. Lungwitz,<sup>82</sup> D. Lynn,<sup>25</sup> R. Lysak,<sup>126</sup> E. Lytken,<sup>80</sup> H. Ma,<sup>25</sup> L. L. Ma,<sup>33d</sup> G. Maccarrone,<sup>47</sup> A. Macchiolo,<sup>100</sup> J. Machado Miguens,<sup>125a,125b</sup> D. Macina,<sup>30</sup> D. Madaffari,<sup>84</sup> R. Madar,<sup>48</sup> H. J. Maddocks,<sup>71</sup> W. F. Mader,<sup>44</sup> A. Madsen,<sup>167</sup> M. Maeno,<sup>8</sup> T. Maeno,<sup>25</sup> E. Magradze,<sup>54</sup> K. Mahboubi,<sup>48</sup> J. Mahlstedt,<sup>106</sup> S. Mahmoud,<sup>73</sup> C. Maiani,<sup>137</sup> C. Maidantchik,<sup>24a</sup> A. Maio,<sup>125a,125b,125d</sup> S. Majewski,<sup>115</sup> Y. Makida,<sup>65</sup> N. Makovec,<sup>116</sup> P. Mal,<sup>137,v</sup> B. Malaescu,<sup>79</sup> Pa. Malecki,<sup>39</sup> V. P. Maleev,<sup>122</sup> F. Malek,<sup>55</sup> U. Mallik,<sup>62</sup> D. Malon,<sup>6</sup> C. Malone,<sup>144</sup> S. Maltezos,<sup>10</sup> V. M. Malyshev,<sup>108</sup> S. Malyukov,<sup>30</sup> J. Mamuzic,<sup>13b</sup> B. Mandelli,<sup>30</sup> L. Mandelli,<sup>90a</sup> I. Mandić,<sup>74</sup> R. Mandrysch,<sup>62</sup> J. Maneira,<sup>125a,125b</sup> A. Manfredini,<sup>100</sup> L. Manhaes de Andrade Filho,<sup>24b</sup> J. A. Manjarres Ramos,<sup>160b</sup> A. Mann,<sup>99</sup> P. M. Manning,<sup>138</sup> A. Manousakis-Katsikakis,<sup>9</sup> B. Mansoulie,<sup>137</sup> R. Mantifel,<sup>86</sup> L. Mapelli,<sup>30</sup> L. March,<sup>168</sup> J. F. Marchand,<sup>29</sup> G. Marchiori,<sup>79</sup> M. Marcisovsky,<sup>126</sup> C. P. Marino,<sup>170</sup> M. Marjanovic,<sup>13a</sup> C. N. Marques,<sup>125a</sup> F. Marroquim,<sup>24a</sup> S. P. Marsden,<sup>83</sup> Z. Marshall,<sup>15</sup> L. F. Marti,<sup>17</sup> S. Marti-Garcia,<sup>168</sup> B. Martin,<sup>30</sup> B. Martin,<sup>89</sup> J. P. Martin,<sup>94</sup> T. A. Martin,<sup>171</sup> V. J. Martin,<sup>46</sup> B. Martin dit Latour,<sup>14</sup> H. Martinez,<sup>137</sup> M. Martinez,<sup>12,n</sup> S. Martin-Haugh,<sup>130</sup> A. C. Martyniuk,<sup>77</sup> M. Marx,<sup>139</sup> F. Marzano,<sup>133a</sup> A. Marzin,<sup>30</sup> L. Masetti,<sup>82</sup> T. Mashimo,<sup>156</sup> R. Mashinistov,<sup>95</sup> J. Masik,<sup>83</sup> A. L. Maslennikov,<sup>108</sup> I. Massa,<sup>20a,20b</sup> N. Massol,<sup>5</sup> P. Mastrandrea,<sup>149</sup> A. Mastroberardino,<sup>37a,37b</sup> T. Masubuchi,<sup>156</sup> P. Matricon,<sup>116</sup> T. Matsushita,<sup>66</sup> P. Mättig,<sup>176</sup> S. Mättig,<sup>42</sup> J. Mattmann,<sup>82</sup> J. Maurer,<sup>26a</sup> S. J. Maxfield,<sup>73</sup> D. A. Maximov,<sup>108,g</sup> R. Mazini,<sup>152</sup> L. Mazzaferro,<sup>134a,134b</sup> G. Mc Goldrick,<sup>159</sup> S. P. Mc Kee,<sup>88</sup> A. McCarn,<sup>88</sup> R. L. McCarthy,<sup>149</sup> T. G. McCarthy,<sup>29</sup> N. A. McCubbin,<sup>130</sup> K. W. McFarlane,<sup>56a</sup> J. A. MCFayden,<sup>77</sup> G. Mchedlize,<sup>54</sup> S. J. McMahon,<sup>130</sup> R. A. McPherson,<sup>170,j</sup> A. Meade,<sup>85</sup> J. Mechnich,<sup>106</sup> M. Medinnis,<sup>42</sup> S. Meehan,<sup>31</sup> S. Mehlhase,<sup>36</sup> A. Mehta,<sup>73</sup> K. Meier,<sup>58a</sup> C. Meineck,<sup>99</sup> B. Meirose,<sup>80</sup> C. Melachrinou,<sup>31</sup> B. R. Mellado Garcia,<sup>146c</sup> F. Meloni,<sup>90a,90b</sup> A. Mengarelli,<sup>20a,20b</sup> S. Menke,<sup>100</sup> E. Meoni,<sup>162</sup> K. M. Mercurio,<sup>57</sup> S. Mergelmeyer,<sup>21</sup> N. Meric,<sup>137</sup> P. Mermod,<sup>49</sup> L. Merola,<sup>103a,103b</sup> C. Meroni,<sup>90a</sup> F. S. Merritt,<sup>31</sup> H. Merritt,<sup>110</sup> A. Messina,<sup>30,w</sup> J. Metcalfe,<sup>25</sup> A. S. Mete,<sup>164</sup> C. Meyer,<sup>82</sup> C. Meyer,<sup>31</sup> J-P. Meyer,<sup>137</sup> J. Meyer,<sup>30</sup> R. P. Middleton,<sup>130</sup> S. Migas,<sup>73</sup> L. Mijović,<sup>137</sup> G. Mikenberg,<sup>173</sup> M. Mikesstikova,<sup>126</sup> M. Mikuž,<sup>74</sup> D. W. Miller,<sup>31</sup> C. Mills,<sup>46</sup> A. Milov,<sup>173</sup> D. A. Milstead,<sup>147a,147b</sup> D. Milstein,<sup>173</sup> A. A. Minaenko,<sup>129</sup> M. Miñano Moya,<sup>168</sup> I. A. Minashvili,<sup>64</sup> A. I. Mincer,<sup>109</sup> B. Mindur,<sup>38a</sup> M. Mineev,<sup>64</sup> Y. Ming,<sup>174</sup> L. M. Mir,<sup>12</sup> G. Mirabelli,<sup>133a</sup> T. Mitani,<sup>172</sup> J. Mitrevski,<sup>99</sup> V. A. Mitsou,<sup>168</sup> S. Mitsui,<sup>65</sup> A. Miucci,<sup>49</sup> P. S. Miyagawa,<sup>140</sup> J. U. Mjörnmark,<sup>80</sup> T. Moa,<sup>147a,147b</sup> K. Mochizuki,<sup>84</sup> V. Moeller,<sup>28</sup> S. Mohapatra,<sup>35</sup> W. Mohr,<sup>48</sup> S. Molander,<sup>147a,147b</sup> R. Moles-Valls,<sup>168</sup> K. Mönig,<sup>42</sup> C. Monini,<sup>55</sup> J. Monk,<sup>36</sup> E. Monnier,<sup>84</sup> J. Montejo Berlingen,<sup>12</sup> F. Monticelli,<sup>70</sup> S. Monzani,<sup>133a,133b</sup> R. W. Moore,<sup>3</sup> A. Moraes,<sup>53</sup> N. Morange,<sup>62</sup> J. Morel,<sup>54</sup> D. Moreno,<sup>82</sup> M. Moreno Llácer,<sup>54</sup> P. Morettini,<sup>50a</sup> M. Morgenstern,<sup>44</sup> M. Morii,<sup>57</sup> S. Moritz,<sup>82</sup> A. K. Morley,<sup>148</sup> G. Mornacchi,<sup>30</sup> J. D. Morris,<sup>75</sup> L. Morvaj,<sup>102</sup> H. G. Moser,<sup>100</sup> M. Mosidze,<sup>51b</sup> J. Moss,<sup>110</sup> R. Mount,<sup>144</sup> E. Mountricha,<sup>25</sup> S. V. Mouraviev,<sup>95,a</sup> E. J. W. Moyses,<sup>85</sup> S. Muanza,<sup>84</sup> R. D. Mudd,<sup>18</sup> F. Mueller,<sup>58a</sup> J. Mueller,<sup>124</sup> K. Mueller,<sup>21</sup> T. Mueller,<sup>28</sup> T. Mueller,<sup>82</sup> D. Muenstermann,<sup>49</sup> Y. Munwes,<sup>154</sup> J. A. Murillo Quijada,<sup>18</sup> W. J. Murray,<sup>171,130</sup> H. Musheghyan,<sup>54</sup>



E. Musto,<sup>153</sup> A. G. Myagkov,<sup>129,x</sup> M. Myska,<sup>127</sup> O. Nackenhorst,<sup>54</sup> J. Nadal,<sup>54</sup> K. Nagai,<sup>61</sup> R. Nagai,<sup>158</sup> Y. Nagai,<sup>84</sup> K. Nagano,<sup>65</sup> A. Nagarkar,<sup>110</sup> Y. Nagasaka,<sup>59</sup> M. Nagel,<sup>100</sup> A. M. Nairz,<sup>30</sup> Y. Nakahama,<sup>30</sup> K. Nakamura,<sup>65</sup> T. Nakamura,<sup>156</sup> I. Nakano,<sup>111</sup> H. Namasivayam,<sup>41</sup> G. Nanava,<sup>21</sup> R. Narayan,<sup>58b</sup> T. Nattermann,<sup>21</sup> T. Naumann,<sup>42</sup> G. Navarro,<sup>163</sup> R. Nayyar,<sup>7</sup> H. A. Neal,<sup>88</sup> P. Yu. Nechaeva,<sup>95</sup> T. J. Neep,<sup>83</sup> A. Negri,<sup>120a,120b</sup> G. Negri,<sup>30</sup> M. Negrini,<sup>20a</sup> S. Nektarijevic,<sup>49</sup> A. Nelson,<sup>164</sup> T. K. Nelson,<sup>144</sup> S. Nemecek,<sup>126</sup> P. Nemethy,<sup>109</sup> A. A. Nepomuceno,<sup>24a</sup> M. Nessi,<sup>30,y</sup> M. S. Neubauer,<sup>166</sup> M. Neumann,<sup>176</sup> R. M. Neves,<sup>109</sup> P. Nevski,<sup>25</sup> F. M. Newcomer,<sup>121</sup> P. R. Newman,<sup>18</sup> D. H. Nguyen,<sup>6</sup> R. B. Nickerson,<sup>119</sup> R. Nicolaidou,<sup>137</sup> B. Nicquevert,<sup>30</sup> J. Nielsen,<sup>138</sup> N. Nikiforou,<sup>35</sup> A. Nikiforov,<sup>16</sup> V. Nikolaenko,<sup>129,x</sup> I. Nikolic-Audit,<sup>79</sup> K. Nikolics,<sup>49</sup> K. Nikolopoulos,<sup>18</sup> P. Nilsson,<sup>8</sup> Y. Ninomiya,<sup>156</sup> A. Nisati,<sup>133a</sup> R. Nisius,<sup>100</sup> T. Nobe,<sup>158</sup> L. Nodulman,<sup>6</sup> M. Nomachi,<sup>117</sup> I. Nomidis,<sup>155</sup> S. Norberg,<sup>112</sup> M. Nordberg,<sup>30</sup> J. Novakova,<sup>128</sup> S. Nowak,<sup>100</sup> M. Nozaki,<sup>65</sup> L. Nozka,<sup>114</sup> K. Ntekas,<sup>10</sup> G. Nunes Hanninger,<sup>87</sup> T. Nunnemann,<sup>99</sup> E. Nurse,<sup>77</sup> F. Nuti,<sup>87</sup> B. J. O'Brien,<sup>46</sup> F. O'Grady,<sup>7</sup> D. C. O'Neil,<sup>143</sup> V. O'Shea,<sup>53</sup> F. G. Oakham,<sup>29,e</sup> H. Oberlack,<sup>100</sup> T. Obermann,<sup>21</sup> J. Ocariz,<sup>79</sup> A. Ochi,<sup>66</sup> M. I. Ochoa,<sup>77</sup> S. Oda,<sup>69</sup> S. Odaka,<sup>65</sup> H. Ogren,<sup>60</sup> A. Oh,<sup>83</sup> S. H. Oh,<sup>45</sup> C. C. Ohm,<sup>30</sup> H. Ohman,<sup>167</sup> T. Ohshima,<sup>102</sup> W. Okamura,<sup>117</sup> H. Okawa,<sup>25</sup> Y. Okumura,<sup>31</sup> T. Okuyama,<sup>156</sup> A. Olariu,<sup>26a</sup> A. G. Olchevski,<sup>64</sup> S. A. Olivares Pino,<sup>46</sup> D. Oliveira Damazio,<sup>25</sup> E. Oliver Garcia,<sup>168</sup> A. Olszewski,<sup>39</sup> J. Olszowska,<sup>39</sup> A. Onofre,<sup>125a,125e</sup> P. U. E. Onyisi,<sup>31,z</sup> C. J. Oram,<sup>160a</sup> M. J. Oreglia,<sup>31</sup> Y. Oren,<sup>154</sup> D. Orestano,<sup>135a,135b</sup> N. Orlando,<sup>72a,72b</sup> C. Oropeza Barrera,<sup>53</sup> R. S. Orr,<sup>159</sup> B. Osculati,<sup>50a,50b</sup> R. Ospanov,<sup>121</sup> G. Otero y Garzon,<sup>27</sup> H. Otono,<sup>69</sup> M. Ouchrif,<sup>136d</sup> E. A. Ouellette,<sup>170</sup> F. Ould-Saada,<sup>118</sup> A. Ouraou,<sup>137</sup> K. P. Oussoren,<sup>106</sup> Q. Ouyang,<sup>33a</sup> A. Ovcharova,<sup>15</sup> M. Owen,<sup>83</sup> V. E. Ozcan,<sup>19a</sup> N. Ozturk,<sup>8</sup> K. Pachal,<sup>119</sup> A. Pacheco Pages,<sup>12</sup> C. Padilla Aranda,<sup>12</sup> M. Pagáčová,<sup>48</sup> S. Pagan Griso,<sup>15</sup> E. Paganis,<sup>140</sup> C. Pahl,<sup>100</sup> F. Paige,<sup>25</sup> P. Pais,<sup>85</sup> K. Pajchel,<sup>118</sup> G. Palacino,<sup>160b</sup> S. Palestini,<sup>30</sup> D. Pallin,<sup>34</sup> A. Palma,<sup>125a,125b</sup> J. D. Palmer,<sup>18</sup> Y. B. Pan,<sup>174</sup> E. Panagiotopoulou,<sup>10</sup> J. G. Panduro Vazquez,<sup>76</sup> P. Pani,<sup>106</sup> N. Panikashvili,<sup>88</sup> S. Panitkin,<sup>25</sup> D. Pantea,<sup>26a</sup> L. Paolozzi,<sup>134a,134b</sup> Th. D. Papadopoulou,<sup>10</sup> K. Papageorgiou,<sup>155,1</sup> A. Paramonov,<sup>6</sup> D. Paredes Hernandez,<sup>34</sup> M. A. Parker,<sup>28</sup> F. Parodi,<sup>50a,50b</sup> J. A. Parsons,<sup>35</sup> U. Parzefall,<sup>48</sup> E. Pasqualucci,<sup>133a</sup> S. Passaggio,<sup>50a</sup> A. Passeri,<sup>135a</sup> F. Pastore,<sup>135a,135b,a</sup> Fr. Pastore,<sup>76</sup> G. Pásztor,<sup>29</sup> S. Patariaia,<sup>176</sup> N. D. Patel,<sup>151</sup> J. R. Pater,<sup>83</sup> S. Patricelli,<sup>103a,103b</sup> T. Pauly,<sup>30</sup> J. Pearce,<sup>170</sup> M. Pedersen,<sup>118</sup> S. Pedraza Lopez,<sup>168</sup> R. Pedro,<sup>125a,125b</sup> S. V. Peleganchuk,<sup>108</sup> D. Pelikan,<sup>167</sup> H. Peng,<sup>33b</sup> B. Penning,<sup>31</sup> J. Penwell,<sup>60</sup> D. V. Perepelitsa,<sup>25</sup> E. Perez Codina,<sup>160a</sup> M. T. Pérez García-Estañ,<sup>168</sup> V. Perez Reale,<sup>35</sup> L. Perini,<sup>90a,90b</sup> H. Pernegger,<sup>30</sup> R. Perrino,<sup>72a</sup> R. Peschke,<sup>42</sup> V. D. Peshekhonov,<sup>64</sup> K. Peters,<sup>30</sup> R. F. Y. Peters,<sup>83</sup> B. A. Petersen,<sup>87</sup> J. Petersen,<sup>30</sup> T. C. Petersen,<sup>36</sup> E. Petit,<sup>42</sup> A. Petridis,<sup>147a,147b</sup> C. Petridou,<sup>155</sup> E. Petrolo,<sup>133a</sup> F. Petrucci,<sup>135a,135b</sup> M. Petteni,<sup>143</sup> N. E. Pettersson,<sup>158</sup> R. Pezoa,<sup>32b</sup> P. W. Phillips,<sup>130</sup> G. Piacquadio,<sup>144</sup> E. Pianori,<sup>171</sup> A. Picazio,<sup>49</sup> E. Piccaro,<sup>75</sup> M. Piccinini,<sup>20a,20b</sup> R. Piegaia,<sup>27</sup> D. T. Pignotti,<sup>110</sup> J. E. Pilcher,<sup>31</sup> A. D. Pilkington,<sup>77</sup> J. Pina,<sup>125a,125b,125d</sup> M. Pinamonti,<sup>165a,165c,aa</sup> A. Pinder,<sup>119</sup> J. L. Pinfold,<sup>3</sup> A. Pingel,<sup>36</sup> B. Pinto,<sup>125a</sup> S. Pires,<sup>79</sup> M. Pitt,<sup>173</sup> C. Pizio,<sup>90a,90b</sup> M-A. Pleier,<sup>25</sup> V. Pleskot,<sup>128</sup> E. Plotnikova,<sup>64</sup> P. Plucinski,<sup>147a,147b</sup> S. Poddar,<sup>58a</sup> F. Podlyski,<sup>34</sup> R. Poettgen,<sup>82</sup> L. Poggioli,<sup>116</sup> D. Pohl,<sup>21</sup> M. Pohl,<sup>49</sup> G. Polesello,<sup>120a</sup> A. Policicchio,<sup>37a,37b</sup> R. Polifka,<sup>159</sup> A. Polini,<sup>20a</sup> C. S. Pollard,<sup>45</sup> V. Polychronakos,<sup>25</sup> K. Pommès,<sup>30</sup> L. Pontecorvo,<sup>133a</sup> B. G. Pope,<sup>89</sup> G. A. Popeneciu,<sup>26b</sup> D. S. Popovic,<sup>13a</sup> A. Poppleton,<sup>30</sup> X. Portell Bueso,<sup>12</sup> G. E. Pospelov,<sup>100</sup> S. Pospisil,<sup>127</sup> K. Potamianos,<sup>15</sup> I. N. Potrap,<sup>64</sup> C. J. Potter,<sup>150</sup> C. T. Potter,<sup>115</sup> G. Poulard,<sup>30</sup> J. Poveda,<sup>60</sup> V. Pozdnyakov,<sup>64</sup> P. Pralavorio,<sup>84</sup> A. Pranko,<sup>15</sup> S. Prasad,<sup>30</sup> R. Pravahan,<sup>8</sup> S. Prell,<sup>63</sup> D. Price,<sup>83</sup> J. Price,<sup>73</sup> L. E. Price,<sup>6</sup> D. Prieur,<sup>124</sup> M. Primavera,<sup>72a</sup> M. Proissl,<sup>46</sup> K. Prokofiev,<sup>47</sup> F. Prokoshin,<sup>32b</sup> E. Protopapadaki,<sup>137</sup> S. Protopopescu,<sup>25</sup> J. Proudfoot,<sup>6</sup> M. Przybycien,<sup>38a</sup> H. Przysieszniak,<sup>5</sup> E. Ptacek,<sup>115</sup> E. Pueschel,<sup>85</sup> D. Poldon,<sup>149</sup> M. Purohit,<sup>25,bb</sup> P. Puzo,<sup>116</sup> J. Qian,<sup>88</sup> G. Qin,<sup>53</sup> Y. Qin,<sup>83</sup> A. Quadt,<sup>54</sup> D. R. Quarrie,<sup>15</sup> W. B. Quayle,<sup>165a,165b</sup> M. Queitsch-Maitland,<sup>83</sup> D. Quilty,<sup>53</sup> A. Qureshi,<sup>160b</sup> V. Radeka,<sup>25</sup> V. Radescu,<sup>42</sup> S. K. Radhakrishnan,<sup>149</sup> P. Radloff,<sup>115</sup> P. Rados,<sup>87</sup> F. Ragusa,<sup>90a,90b</sup> G. Rahal,<sup>179</sup> S. Rajagopalan,<sup>25</sup> M. Rammensee,<sup>30</sup> A. S. Randle-Conde,<sup>40</sup> C. Rangel-Smith,<sup>167</sup> K. Rao,<sup>164</sup> F. Rauscher,<sup>99</sup> T. C. Rave,<sup>48</sup> T. Ravenscroft,<sup>53</sup> M. Raymond,<sup>30</sup> A. L. Read,<sup>118</sup> D. M. Rebutzi,<sup>120a,120b</sup> A. Redelbach,<sup>175</sup> G. Redlinger,<sup>25</sup> R. Reece,<sup>138</sup> K. Reeves,<sup>41</sup> L. Rehnisch,<sup>16</sup> H. Reisin,<sup>27</sup> M. Relich,<sup>164</sup> C. Rembser,<sup>30</sup> H. Ren,<sup>33a</sup> Z. L. Ren,<sup>152</sup> A. Renaud,<sup>116</sup> M. Rescigno,<sup>133a</sup> S. Resconi,<sup>90a</sup> B. Resende,<sup>137</sup> P. Reznicek,<sup>128</sup> R. Rezvani,<sup>94</sup> R. Richter,<sup>100</sup> M. Ridel,<sup>79</sup> P. Rieck,<sup>16</sup> J. Rieger,<sup>54</sup> M. Rijssenbeek,<sup>149</sup> A. Rimoldi,<sup>120a,120b</sup> L. Rinaldi,<sup>20a</sup> E. Ritsch,<sup>61</sup> I. Riu,<sup>12</sup> F. Rizatdinova,<sup>113</sup> E. Rizvi,<sup>75</sup> S. H. Robertson,<sup>86,j</sup> A. Robichaud-Veronneau,<sup>119</sup> D. Robinson,<sup>28</sup> J. E. M. Robinson,<sup>83</sup> A. Robson,<sup>53</sup> C. Roda,<sup>123a,123b</sup> L. Rodrigues,<sup>30</sup> S. Roe,<sup>30</sup> O. Røhne,<sup>118</sup> S. Rolli,<sup>162</sup> A. Romaniouk,<sup>97</sup> M. Romano,<sup>20a,20b</sup> G. Romeo,<sup>27</sup> E. Romero Adam,<sup>168</sup> N. Rompotis,<sup>139</sup> L. Roos,<sup>79</sup> E. Ros,<sup>168</sup> S. Rosati,<sup>133a</sup> K. Rosbach,<sup>49</sup> M. Rose,<sup>76</sup> P. L. Rosendahl,<sup>14</sup> O. Rosenthal,<sup>142</sup> V. Rossetti,<sup>147a,147b</sup> E. Rossi,<sup>103a,103b</sup> L. P. Rossi,<sup>50a</sup> R. Rosten,<sup>139</sup> M. Rotaru,<sup>26a</sup> I. Roth,<sup>173</sup> J. Rothberg,<sup>139</sup> D. Rousseau,<sup>116</sup> C. R. Royon,<sup>137</sup> A. Rozanov,<sup>84</sup> Y. Rozen,<sup>153</sup> X. Ruan,<sup>146c</sup> F. Rubbo,<sup>12</sup> I. Rubinskiy,<sup>42</sup> V. I. Rud,<sup>98</sup> C. Rudolph,<sup>44</sup>

M. S. Rudolph,<sup>159</sup> F. Rühr,<sup>48</sup> A. Ruiz-Martinez,<sup>30</sup> Z. Rurikova,<sup>48</sup> N. A. Rusakovich,<sup>64</sup> A. Ruschke,<sup>99</sup> J. P. Rutherford,<sup>7</sup> N. Ruthmann,<sup>48</sup> Y. F. Ryabov,<sup>122</sup> M. Rybar,<sup>128</sup> G. Rybkin,<sup>116</sup> N. C. Ryder,<sup>119</sup> A. F. Saavedra,<sup>151</sup> S. Sacerdoti,<sup>27</sup> A. Saddique,<sup>3</sup> I. Sadeh,<sup>154</sup> H. F.-W. Sadrozinski,<sup>138</sup> R. Sadykov,<sup>64</sup> F. Safai Tehrani,<sup>133a</sup> H. Sakamoto,<sup>156</sup> Y. Sakurai,<sup>172</sup> G. Salamanna,<sup>75</sup> A. Salamon,<sup>134a</sup> M. Saleem,<sup>112</sup> D. Salek,<sup>106</sup> P. H. Sales De Bruin,<sup>139</sup> D. Salihagic,<sup>100</sup> A. Salnikov,<sup>144</sup> J. Salt,<sup>168</sup> B. M. Salvachua Ferrando,<sup>6</sup> D. Salvatore,<sup>37a,37b</sup> F. Salvatore,<sup>150</sup> A. Salvucci,<sup>105</sup> A. Salzburger,<sup>30</sup> D. Sampsonidis,<sup>155</sup> A. Sanchez,<sup>103a,103b</sup> J. Sánchez,<sup>168</sup> V. Sanchez Martinez,<sup>168</sup> H. Sandaker,<sup>14</sup> R. L. Sandbach,<sup>75</sup> H. G. Sander,<sup>82</sup> M. P. Sanders,<sup>99</sup> M. Sandhoff,<sup>176</sup> T. Sandoval,<sup>28</sup> C. Sandoval,<sup>163</sup> R. Sandstroem,<sup>100</sup> D. P. C. Sankey,<sup>130</sup> A. Sansoni,<sup>47</sup> C. Santoni,<sup>34</sup> R. Santonico,<sup>134a,134b</sup> H. Santos,<sup>125a</sup> I. Santoyo Castillo,<sup>150</sup> K. Sapp,<sup>124</sup> A. Sapronov,<sup>64</sup> J. G. Saraiva,<sup>125a,125d</sup> B. Sarrazin,<sup>21</sup> G. Sartiso, <sup>176</sup> O. Sasaki,<sup>65</sup> Y. Sasaki,<sup>156</sup> I. Satsounkevitch,<sup>91</sup> G. Sauvage,<sup>5a</sup> E. Sauvan,<sup>5</sup> P. Savard,<sup>159,e</sup> D. O. Savu,<sup>30</sup> C. Sawyer,<sup>119</sup> L. Sawyer,<sup>78,m</sup> D. H. Saxon,<sup>53</sup> J. Saxon,<sup>121</sup> C. Sbarra,<sup>20a</sup> A. Sbrizzi,<sup>3</sup> T. Scanlon,<sup>77</sup> D. A. Scannicchio,<sup>164</sup> M. Scarcella,<sup>151</sup> J. Schaarschmidt,<sup>173</sup> P. Schacht,<sup>100</sup> D. Schaefer,<sup>121</sup> R. Schaefer,<sup>42</sup> S. Schaepe,<sup>21</sup> S. Schaetzel,<sup>58b</sup> U. Schäfer,<sup>82</sup> A. C. Schaffer,<sup>116</sup> D. Schaile,<sup>99</sup> R. D. Schamberger,<sup>149</sup> V. Scharf,<sup>58a</sup> V. A. Schegelsky,<sup>122</sup> D. Scheirich,<sup>128</sup> M. Schernau,<sup>164</sup> M. I. Scherzer,<sup>35</sup> C. Schiavi,<sup>50a,50b</sup> J. Schieck,<sup>99</sup> C. Schillo,<sup>48</sup> M. Schioppa,<sup>37a,37b</sup> S. Schlenker,<sup>30</sup> E. Schmidt,<sup>48</sup> K. Schmieden,<sup>30</sup> C. Schmitt,<sup>82</sup> C. Schmitt,<sup>99</sup> S. Schmitt,<sup>58b</sup> B. Schneider,<sup>17</sup> Y. J. Schnellbach,<sup>73</sup> U. Schnoor,<sup>44</sup> L. Schoeffel,<sup>137</sup> A. Schoening,<sup>58b</sup> B. D. Schoenrock,<sup>89</sup> A. L. S. Schorlemmer,<sup>54</sup> M. Schott,<sup>82</sup> D. Schouten,<sup>160a</sup> J. Schovancova,<sup>25</sup> M. Schram,<sup>86</sup> S. Schramm,<sup>159</sup> M. Schreyer,<sup>175</sup> C. Schroeder,<sup>82</sup> N. Schuh,<sup>82</sup> M. J. Schultens,<sup>21</sup> H.-C. Schultz-Coulon,<sup>58a</sup> H. Schulz,<sup>16</sup> M. Schumacher,<sup>48</sup> B. A. Schumm,<sup>138</sup> Ph. Schune,<sup>137</sup> C. Schwanenberger,<sup>83</sup> A. Schwartzman,<sup>144</sup> Ph. Schwegler,<sup>100</sup> Ph. Schwemling,<sup>137</sup> R. Schwienhorst,<sup>89</sup> J. Schwindling,<sup>137</sup> T. Schwindt,<sup>21</sup> M. Schwoerer,<sup>5</sup> F. G. Sciacca,<sup>17</sup> E. Scifo,<sup>116</sup> G. Sciolla,<sup>23</sup> W. G. Scott,<sup>130</sup> F. Scuri,<sup>123a,123b</sup> F. Scutti,<sup>21</sup> J. Searcy,<sup>88</sup> G. Sedov,<sup>42</sup> E. Sedykh,<sup>122</sup> S. C. Seidel,<sup>104</sup> A. Seiden,<sup>138</sup> F. Seifert,<sup>127</sup> J. M. Seixas,<sup>24a</sup> G. Sekhniaidze,<sup>103a</sup> S. J. Sekula,<sup>40</sup> K. E. Selbach,<sup>46</sup> D. M. Seliverstov,<sup>122a</sup> G. Sellers,<sup>73</sup> N. Semprini-Cesari,<sup>20a,20b</sup> C. Serfon,<sup>30</sup> L. Serin,<sup>116</sup> L. Serkin,<sup>54</sup> T. Serre,<sup>84</sup> R. Seuster,<sup>160a</sup> H. Severini,<sup>112</sup> F. Sforza,<sup>100</sup> A. Sfyrla,<sup>30</sup> E. Shabalina,<sup>54</sup> M. Shamim,<sup>115</sup> L. Y. Shan,<sup>33a</sup> R. Shang,<sup>166</sup> J. T. Shank,<sup>22</sup> Q. T. Shao,<sup>87</sup> M. Shapiro,<sup>15</sup> P. B. Shatalov,<sup>96</sup> K. Shaw,<sup>165a,165b</sup> P. Sherwood,<sup>77</sup> L. Shi,<sup>152</sup> S. Shimizu,<sup>66</sup> C. O. Shimmin,<sup>164</sup> M. Shimojima,<sup>101</sup> T. Shin,<sup>56</sup> M. Shiyakova,<sup>64</sup> A. Shmeleva,<sup>95</sup> M. J. Shochet,<sup>31</sup> D. Short,<sup>119</sup> S. Shrestha,<sup>63</sup> E. Shulga,<sup>97</sup> M. A. Shupe,<sup>7</sup> S. Shushkevich,<sup>42</sup> P. Sicho,<sup>126</sup> D. Sidorov,<sup>113</sup> A. Sidoti,<sup>133a</sup> F. Siegert,<sup>44</sup> Dj. Sijacki,<sup>13a</sup> J. Silva,<sup>125a,125d</sup> Y. Silver,<sup>154</sup> D. Silverstein,<sup>144</sup> S. B. Silverstein,<sup>147a</sup> V. Simak,<sup>127</sup> O. Simard,<sup>5</sup> Lj. Simic,<sup>13a</sup> S. Simion,<sup>116</sup> E. Simioni,<sup>82</sup> B. Simmons,<sup>77</sup> R. Simoniello,<sup>90a,90b</sup> M. Simonyan,<sup>36</sup> P. Sinervo,<sup>159</sup> N. B. Sinev,<sup>115</sup> V. Sipica,<sup>142</sup> G. Siragusa,<sup>175</sup> A. Sircar,<sup>78</sup> A. N. Sisakyan,<sup>64a</sup> S. Yu. Sivoklokov,<sup>98</sup> J. Sjölin,<sup>147a,147b</sup> T. B. Sjurson,<sup>14</sup> H. P. Skottowe,<sup>57</sup> K. Yu. Skovpen,<sup>108</sup> P. Skubic,<sup>112</sup> M. Slater,<sup>18</sup> T. Slavicek,<sup>127</sup> K. Sliwa,<sup>162</sup> V. Smakhtin,<sup>173</sup> B. H. Smart,<sup>46</sup> L. Smestad,<sup>14</sup> S. Yu. Smirnov,<sup>97</sup> Y. Smirnov,<sup>97</sup> L. N. Smirnova,<sup>98,cc</sup> O. Smirnova,<sup>80</sup> K. M. Smith,<sup>53</sup> M. Smizanska,<sup>71</sup> K. Smolek,<sup>127</sup> A. A. Snesarev,<sup>95</sup> G. Snidero,<sup>75</sup> J. Snow,<sup>112</sup> S. Snyder,<sup>25</sup> R. Sobie,<sup>170,j</sup> F. Socher,<sup>44</sup> J. Sodomka,<sup>127</sup> A. Soffer,<sup>154</sup> D. A. Soh,<sup>152,dd</sup> C. A. Solans,<sup>30</sup> M. Solar,<sup>127</sup> J. Solc,<sup>127</sup> E. Yu. Soldatov,<sup>97</sup> U. Soldevila,<sup>168</sup> E. Solfaroli Camillocci,<sup>133a,133b</sup> A. A. Solodkov,<sup>129</sup> O. V. Solovyanov,<sup>129</sup> V. Solovye, <sup>122</sup> P. Sommer,<sup>48</sup> H. Y. Song,<sup>33b</sup> N. Soni,<sup>1</sup> A. Sood,<sup>15</sup> A. Sopczak,<sup>127</sup> V. Sopko,<sup>127</sup> B. Sopko,<sup>127</sup> V. Sorin,<sup>12</sup> M. Sosebee,<sup>8</sup> R. Soualah,<sup>165a,165c</sup> P. Soueid,<sup>94</sup> A. M. Soukharev,<sup>108</sup> D. South,<sup>42</sup> S. Spagnolo,<sup>72a,72b</sup> F. Spanò,<sup>76</sup> W. R. Spearman,<sup>57</sup> R. Spighi,<sup>20a</sup> G. Spigo,<sup>30</sup> M. Spousta,<sup>128</sup> T. Spreitzer,<sup>159</sup> B. Spurlock,<sup>8</sup> R. D. St. Denis,<sup>53</sup> S. Staerz,<sup>44</sup> J. Stahlman,<sup>121</sup> R. Stamen,<sup>58a</sup> E. Stanecka,<sup>39</sup> R. W. Stanek,<sup>6</sup> C. Stanescu,<sup>135a</sup> M. Stanescu-Bellu,<sup>42</sup> M. M. Stanitzki,<sup>42</sup> S. Stapnes,<sup>118</sup> E. A. Starchenko,<sup>129</sup> J. Stark,<sup>55</sup> P. Staroba,<sup>126</sup> P. Starovoitov,<sup>42</sup> R. Staszewski,<sup>39</sup> P. Stavina,<sup>145a,a</sup> G. Steele,<sup>53</sup> P. Steinberg,<sup>25</sup> I. Stekl,<sup>127</sup> B. Stelzer,<sup>143</sup> H. J. Stelzer,<sup>30</sup> O. Stelzer-Chilton,<sup>160a</sup> H. Stenzel,<sup>52</sup> S. Stern,<sup>100</sup> G. A. Stewart,<sup>53</sup> J. A. Stillings,<sup>21</sup> M. C. Stockton,<sup>86</sup> M. Stoebe,<sup>86</sup> G. Stoica,<sup>26a</sup> P. Stolte,<sup>54</sup> S. Stonjek,<sup>100</sup> A. R. Stradling,<sup>8</sup> A. Straessner,<sup>44</sup> M. E. Stramaglia,<sup>17</sup> J. Strandberg,<sup>148</sup> S. Strandberg,<sup>147a,147b</sup> A. Strandlie,<sup>118</sup> E. Strauss,<sup>144</sup> M. Strauss,<sup>112</sup> P. Strizenec,<sup>145b</sup> R. Ströhmer,<sup>175</sup> D. M. Strom,<sup>115</sup> R. Stroynowski,<sup>40</sup> S. A. Stucci,<sup>17</sup> B. Stugu,<sup>14</sup> N. A. Styles,<sup>42</sup> D. Su,<sup>144</sup> J. Su,<sup>124</sup> HS. Subramania,<sup>3</sup> R. Subramaniam,<sup>78</sup> A. Succurro,<sup>12</sup> Y. Sugaya,<sup>117</sup> C. Suhr,<sup>107</sup> M. Suk,<sup>127</sup> V. V. Sulin,<sup>95</sup> S. Sultansoy,<sup>4c</sup> T. Sumida,<sup>67</sup> X. Sun,<sup>33a</sup> J. E. Sundermann,<sup>48</sup> K. Suruliz,<sup>140</sup> G. Susinno,<sup>37a,37b</sup> M. R. Sutton,<sup>150</sup> Y. Suzuki,<sup>65</sup> M. Svatos,<sup>126</sup> S. Swedish,<sup>169</sup> M. Swiatlowski,<sup>144</sup> I. Sykora,<sup>145a</sup> T. Sykora,<sup>128</sup> D. Ta,<sup>89</sup> K. Tackmann,<sup>42</sup> J. Taenzer,<sup>159</sup> A. Taffard,<sup>164</sup> R. Tafirout,<sup>160a</sup> N. Taiblum,<sup>154</sup> Y. Takahashi,<sup>102</sup> H. Takai,<sup>25</sup> R. Takashima,<sup>68</sup> H. Takeda,<sup>66</sup> T. Takeshita,<sup>141</sup> Y. Takubo,<sup>65</sup> M. Talby,<sup>84</sup> A. A. Talyshev,<sup>108,g</sup> J. Y. C. Tam,<sup>175</sup> M. C. Tamsett,<sup>78,ee</sup> K. G. Tan,<sup>87</sup> J. Tanaka,<sup>156</sup> R. Tanaka,<sup>116</sup> S. Tanaka,<sup>132</sup> S. Tanaka,<sup>65</sup> A. J. Tanasijczuk,<sup>143</sup> K. Tani,<sup>66</sup> N. Tannoury,<sup>21</sup> S. Tapprogge,<sup>82</sup> S. Tarem,<sup>153</sup> F. Tarrade,<sup>29</sup> G. F. Tartarelli,<sup>90a</sup> P. Tas,<sup>128</sup> M. Tasevsky,<sup>126</sup> T. Tashiro,<sup>67</sup> E. Tassi,<sup>37a,37b</sup> A. Tavares Delgado,<sup>125a,125b</sup> Y. Tayalati,<sup>136d</sup> F. E. Taylor,<sup>93</sup> G. N. Taylor,<sup>87</sup> W. Taylor,<sup>160b</sup> F. A. Teischinger,<sup>30</sup> M. Teixeira Dias Castanheira,<sup>75</sup> P. Teixeira-Dias,<sup>76</sup> K. K. Temming,<sup>48</sup>

H. Ten Kate,<sup>30</sup> P. K. Teng,<sup>152</sup> J. J. Teoh,<sup>117</sup> S. Terada,<sup>65</sup> K. Terashi,<sup>156</sup> J. Terron,<sup>81</sup> S. Terzo,<sup>100</sup> M. Testa,<sup>47</sup> R. J. Teuscher,<sup>159,j</sup>  
 J. Therhaag,<sup>21</sup> T. Thevenaux-Pelzer,<sup>34</sup> S. Thoma,<sup>48</sup> J. P. Thomas,<sup>18</sup> J. Thomas-Wilsker,<sup>76</sup> E. N. Thompson,<sup>35</sup>  
 P. D. Thompson,<sup>18</sup> P. D. Thompson,<sup>159</sup> A. S. Thompson,<sup>53</sup> L. A. Thomsen,<sup>36</sup> E. Thomson,<sup>121</sup> M. Thomson,<sup>28</sup>  
 W. M. Thong,<sup>87</sup> R. P. Thun,<sup>88,a</sup> F. Tian,<sup>35</sup> M. J. Tibbetts,<sup>15</sup> V. O. Tikhomirov,<sup>95,ff</sup> Yu. A. Tikhonov,<sup>108,g</sup> S. Timoshenko,<sup>97</sup>  
 E. Tiouchichine,<sup>84</sup> P. Tipton,<sup>177</sup> S. Tisserant,<sup>84</sup> T. Todorov,<sup>5</sup> S. Todorova-Nova,<sup>128</sup> B. Toggerson,<sup>7</sup> J. Tojo,<sup>69</sup> S. Tokár,<sup>145a</sup>  
 K. Tokushuku,<sup>65</sup> K. Tollefson,<sup>89</sup> L. Tomlinson,<sup>83</sup> M. Tomoto,<sup>102</sup> L. Tompkins,<sup>31</sup> K. Toms,<sup>104</sup> N. D. Topilin,<sup>64</sup> E. Torrence,<sup>115</sup>  
 H. Torres,<sup>143</sup> E. Torr o Pastor,<sup>168</sup> J. Toth,<sup>84,gg</sup> F. Touchard,<sup>84</sup> D. R. Tovey,<sup>140</sup> H. L. Tran,<sup>116</sup> T. Trefzger,<sup>175</sup> L. Tremblet,<sup>30</sup>  
 A. Tricoli,<sup>30</sup> I. M. Trigger,<sup>160a</sup> S. Trincaz-Duvold,<sup>79</sup> M. F. Tripania,<sup>70</sup> N. Triplett,<sup>25</sup> W. Trischuk,<sup>159</sup> B. Trocm e,<sup>55</sup>  
 C. Troncon,<sup>90a</sup> M. Trotter-McDonald,<sup>143</sup> M. Trovatelli,<sup>135a,135b</sup> P. True,<sup>89</sup> M. Trzebinski,<sup>39</sup> A. Trzupek,<sup>39</sup> C. Tsarouchas,<sup>30</sup>  
 J. C.-L. Tseng,<sup>119</sup> P. V. Tsiarshka,<sup>91</sup> D. Tsionou,<sup>137</sup> G. Tsipolitis,<sup>10</sup> N. Tsirintanis,<sup>9</sup> S. Tsiskaridze,<sup>12</sup> V. Tsiskaridze,<sup>48</sup>  
 E. G. Tskhadadze,<sup>51a</sup> I. I. Tsukerman,<sup>96</sup> V. Tsulaia,<sup>15</sup> S. Tsuno,<sup>65</sup> D. Tsybychev,<sup>149</sup> A. Tudorache,<sup>26a</sup> V. Tudorache,<sup>26a</sup>  
 A. N. Tuna,<sup>121</sup> S. A. Tuppuri,<sup>20a,20b</sup> S. Turchikhin,<sup>98,cc</sup> D. Turecek,<sup>127</sup> I. Turk Cakir,<sup>4d</sup> R. Turra,<sup>90a,90b</sup> P. M. Tuts,<sup>35</sup>  
 A. Tykhonov,<sup>74</sup> M. Tylmad,<sup>147a,147b</sup> M. Tyndel,<sup>130</sup> K. Uchida,<sup>21</sup> I. Ueda,<sup>156</sup> R. Ueno,<sup>29</sup> M. Ughetto,<sup>84</sup> M. Ugland,<sup>14</sup>  
 M. Uhlenbrock,<sup>21</sup> F. Ukegawa,<sup>161</sup> G. Unal,<sup>30</sup> A. Undrus,<sup>25</sup> G. Unel,<sup>164</sup> F. C. Ungaro,<sup>48</sup> Y. Unno,<sup>65</sup> D. Urbaniec,<sup>35</sup>  
 P. Urquijo,<sup>21</sup> G. Usai,<sup>8</sup> A. Usanova,<sup>61</sup> L. Vacavant,<sup>84</sup> V. Vacek,<sup>127</sup> B. Vachon,<sup>86</sup> N. Valencic,<sup>106</sup> S. Valentinetti,<sup>20a,20b</sup>  
 A. Valero,<sup>168</sup> L. Valery,<sup>34</sup> S. Valkar,<sup>128</sup> E. Valladolid Gallego,<sup>168</sup> S. Vallecorsa,<sup>49</sup> J. A. Valls Ferrer,<sup>168</sup> R. Van Berg,<sup>121</sup>  
 P. C. Van Der Deijl,<sup>106</sup> R. van der Geer,<sup>106</sup> H. van der Graaf,<sup>106</sup> R. Van Der Leeuw,<sup>106</sup> D. van der Ster,<sup>30</sup> N. van Eldik,<sup>30</sup>  
 P. van Gemmeren,<sup>6</sup> J. Van Nieuwkoop,<sup>143</sup> I. van Vulpen,<sup>106</sup> M. C. van Woerden,<sup>30</sup> M. Vanadia,<sup>133a,133b</sup> W. Vandelli,<sup>30</sup>  
 R. Vanguri,<sup>121</sup> A. Vaniachine,<sup>6</sup> P. Vankov,<sup>42</sup> F. Vannucci,<sup>79</sup> G. Vardanyan,<sup>178</sup> R. Vari,<sup>133a</sup> E. W. Varnes,<sup>7</sup> T. Varol,<sup>85</sup>  
 D. Varouchas,<sup>79</sup> A. Vartapetian,<sup>8</sup> K. E. Varvell,<sup>151</sup> V. I. Vassilakopoulos,<sup>56</sup> F. Vazeille,<sup>34</sup> T. Vazquez Schroeder,<sup>54</sup> J. Veatch,<sup>7</sup>  
 F. Veloso,<sup>125a,125c</sup> S. Veneziano,<sup>133a</sup> A. Ventura,<sup>72a,72b</sup> D. Ventura,<sup>85</sup> M. Venturi,<sup>48</sup> N. Venturi,<sup>159</sup> A. Venturini,<sup>23</sup> V. Vercesi,<sup>120a</sup>  
 M. Verducci,<sup>139</sup> W. Verkerke,<sup>106</sup> J. C. Vermeulen,<sup>106</sup> A. Vest,<sup>44</sup> M. C. Vetterli,<sup>143,e</sup> O. Viazlo,<sup>80</sup> I. Vichou,<sup>166</sup> T. Vickey,<sup>146c,hh</sup>  
 O. E. Vickey Boeriu,<sup>146c</sup> G. H. A. Viehhauser,<sup>119</sup> S. Viel,<sup>169</sup> R. Vigne,<sup>30</sup> M. Villa,<sup>20a,20b</sup> M. Villaplana Perez,<sup>168</sup> E. Vilucchi,<sup>47</sup>  
 M. G. Vincter,<sup>29</sup> V. B. Vinogradov,<sup>64</sup> J. Virzi,<sup>15</sup> I. Vivarelli,<sup>150</sup> F. Vives Vaque,<sup>3</sup> S. Vlachos,<sup>10</sup> D. Vladoiu,<sup>99</sup> M. Vlasak,<sup>127</sup>  
 A. Vogel,<sup>21</sup> P. Vokac,<sup>127</sup> G. Volpi,<sup>123a,123b</sup> M. Volpi,<sup>87</sup> H. von der Schmitt,<sup>100</sup> H. von Radziewski,<sup>48</sup> E. von Toerne,<sup>21</sup>  
 V. Vorobel,<sup>128</sup> K. Vorobev,<sup>97</sup> M. Vos,<sup>168</sup> R. Voss,<sup>30</sup> J. H. Vossebeld,<sup>73</sup> N. Vranjes,<sup>137</sup> M. Vranjes Milosavljevic,<sup>106</sup> V. Vrba,<sup>126</sup>  
 M. Vreeswijk,<sup>106</sup> T. Vu Anh,<sup>48</sup> R. Vuillermet,<sup>30</sup> I. Vukotic,<sup>31</sup> Z. Vykydal,<sup>127</sup> W. Wagner,<sup>176</sup> P. Wagner,<sup>21</sup> S. Wahrmund,<sup>44</sup>  
 J. Wakabayashi,<sup>102</sup> J. Walder,<sup>71</sup> R. Walker,<sup>99</sup> W. Walkowiak,<sup>142</sup> R. Wall,<sup>177</sup> P. Waller,<sup>73</sup> B. Walsh,<sup>177</sup> C. Wang,<sup>152</sup> C. Wang,<sup>45</sup>  
 F. Wang,<sup>174</sup> H. Wang,<sup>15</sup> H. Wang,<sup>40</sup> J. Wang,<sup>42</sup> J. Wang,<sup>33a</sup> K. Wang,<sup>86</sup> R. Wang,<sup>104</sup> S. M. Wang,<sup>152</sup> T. Wang,<sup>21</sup> X. Wang,<sup>177</sup>  
 C. Wanotayaroj,<sup>115</sup> A. Warburton,<sup>86</sup> C. P. Ward,<sup>28</sup> D. R. Wardrope,<sup>77</sup> M. Warsinsky,<sup>48</sup> A. Washbrook,<sup>46</sup> C. Wasicki,<sup>42</sup>  
 I. Watanabe,<sup>66</sup> P. M. Watkins,<sup>18</sup> A. T. Watson,<sup>18</sup> I. J. Watson,<sup>151</sup> M. F. Watson,<sup>18</sup> G. Watts,<sup>139</sup> S. Watts,<sup>83</sup> B. M. Waugh,<sup>77</sup>  
 S. Webb,<sup>83</sup> M. S. Weber,<sup>17</sup> S. W. Weber,<sup>175</sup> J. S. Webster,<sup>31</sup> A. R. Weidberg,<sup>119</sup> P. Weigell,<sup>100</sup> B. Weinert,<sup>60</sup> J. Weingarten,<sup>54</sup>  
 C. Weiser,<sup>48</sup> H. Weits,<sup>106</sup> P. S. Wells,<sup>30</sup> T. Wenaus,<sup>25</sup> D. Wendland,<sup>16</sup> Z. Weng,<sup>152,dd</sup> T. Wengler,<sup>30</sup> S. Wenig,<sup>30</sup> N. Wermes,<sup>21</sup>  
 M. Werner,<sup>48</sup> P. Werner,<sup>30</sup> M. Wessels,<sup>58a</sup> J. Wetter,<sup>162</sup> K. Whalen,<sup>29</sup> A. White,<sup>8</sup> M. J. White,<sup>1</sup> R. White,<sup>32b</sup> S. White,<sup>123a,123b</sup>  
 D. Whiteson,<sup>164</sup> D. Wicke,<sup>176</sup> F. J. Wickens,<sup>130</sup> W. Wiedenmann,<sup>174</sup> M. Wielers,<sup>130</sup> P. Wienemann,<sup>21</sup> C. Wiglesworth,<sup>36</sup>  
 L. A. M. Wiik-Fuchs,<sup>21</sup> P. A. Wijeratne,<sup>77</sup> A. Wildauer,<sup>100</sup> M. A. Wildt,<sup>42,ii</sup> H. G. Wilkens,<sup>30</sup> J. Z. Will,<sup>99</sup> H. H. Williams,<sup>121</sup>  
 S. Williams,<sup>28</sup> C. Willis,<sup>89</sup> S. Willocq,<sup>85</sup> J. A. Wilson,<sup>18</sup> A. Wilson,<sup>88</sup> I. Wingerter-Seez,<sup>5</sup> F. Winklmeier,<sup>115</sup> B. T. Winter,<sup>21</sup>  
 M. Wittgen,<sup>144</sup> T. Wittig,<sup>43</sup> J. Wittkowski,<sup>99</sup> S. J. Wollstadt,<sup>82</sup> M. W. Wolter,<sup>39</sup> H. Wolters,<sup>125a,125c</sup> B. K. Wosiek,<sup>39</sup>  
 J. Wotschack,<sup>30</sup> M. J. Woudstra,<sup>83</sup> K. W. Wozniak,<sup>39</sup> M. Wright,<sup>53</sup> M. Wu,<sup>55</sup> S. L. Wu,<sup>174</sup> X. Wu,<sup>49</sup> Y. Wu,<sup>88</sup> E. Wulf,<sup>35</sup>  
 T. R. Wyatt,<sup>83</sup> B. M. Wynne,<sup>46</sup> S. Xella,<sup>36</sup> M. Xiao,<sup>137</sup> D. Xu,<sup>33a</sup> L. Xu,<sup>33b,ij</sup> B. Yabsley,<sup>151</sup> S. Yacoob,<sup>146b,kk</sup> M. Yamada,<sup>65</sup>  
 H. Yamaguchi,<sup>156</sup> Y. Yamaguchi,<sup>156</sup> A. Yamamoto,<sup>65</sup> K. Yamamoto,<sup>63</sup> S. Yamamoto,<sup>156</sup> T. Yamamura,<sup>156</sup> T. Yamanaka,<sup>156</sup>  
 K. Yamauchi,<sup>102</sup> Y. Yamazaki,<sup>66</sup> Z. Yan,<sup>22</sup> H. Yang,<sup>33e</sup> H. Yang,<sup>174</sup> U. K. Yang,<sup>83</sup> Y. Yang,<sup>110</sup> S. Yanush,<sup>92</sup> L. Yao,<sup>33a</sup>  
 W.-M. Yao,<sup>15</sup> Y. Yasu,<sup>65</sup> E. Yatsenko,<sup>42</sup> K. H. Yau Wong,<sup>21</sup> J. Ye,<sup>40</sup> S. Ye,<sup>25</sup> A. L. Yen,<sup>57</sup> E. Yildirim,<sup>42</sup> M. Yilmaz,<sup>4b</sup>  
 R. Yoosofmiya,<sup>124</sup> K. Yorita,<sup>172</sup> R. Yoshida,<sup>6</sup> K. Yoshihara,<sup>156</sup> C. Young,<sup>144</sup> C. J. S. Young,<sup>30</sup> S. Youssef,<sup>22</sup> D. R. Yu,<sup>15</sup>  
 J. Yu,<sup>8</sup> J. M. Yu,<sup>88</sup> J. Yu,<sup>113</sup> L. Yuan,<sup>66</sup> A. Yurkewicz,<sup>107</sup> B. Zabinski,<sup>39</sup> R. Zaidan,<sup>62</sup> A. M. Zaitsev,<sup>129,x</sup> A. Zaman,<sup>149</sup>  
 S. Zambito,<sup>23</sup> L. Zanello,<sup>133a,133b</sup> D. Zanzi,<sup>100</sup> A. Zaytsev,<sup>25</sup> C. Zeitnitz,<sup>176</sup> M. Zeman,<sup>127</sup> A. Zemla,<sup>38a</sup> K. Zengel,<sup>23</sup>  
 O. Zenin,<sup>129</sup> T.  eniš,<sup>145a</sup> D. Zerwas,<sup>116</sup> G. Zevi della Porta,<sup>57</sup> D. Zhang,<sup>88</sup> F. Zhang,<sup>174</sup> H. Zhang,<sup>89</sup> J. Zhang,<sup>6</sup> L. Zhang,<sup>152</sup>  
 X. Zhang,<sup>33d</sup> Z. Zhang,<sup>116</sup> Z. Zhao,<sup>33b</sup> A. Zhemchugov,<sup>64</sup> J. Zhong,<sup>119</sup> B. Zhou,<sup>88</sup> L. Zhou,<sup>35</sup> N. Zhou,<sup>164</sup> C. G. Zhu,<sup>33d</sup>  
 H. Zhu,<sup>33a</sup> J. Zhu,<sup>88</sup> Y. Zhu,<sup>33b</sup> X. Zhuang,<sup>33a</sup> A. Zibell,<sup>175</sup> D. Zieminska,<sup>60</sup> N. I. Zimine,<sup>64</sup> C. Zimmermann,<sup>82</sup>

R. Zimmermann,<sup>21</sup> S. Zimmermann,<sup>21</sup> S. Zimmermann,<sup>48</sup> Z. Zinonos,<sup>54</sup> M. Ziolkowski,<sup>142</sup> G. Zobernig,<sup>174</sup> A. Zoccoli,<sup>20a,20b</sup>  
M. zur Nedden,<sup>16</sup> G. Zurzolo,<sup>103a,103b</sup> V. Zutshi<sup>107</sup> and L. Zwalinski<sup>30</sup>

(ATLAS Collaboration)

- <sup>1</sup>*Department of Physics, University of Adelaide, Adelaide, Australia*  
<sup>2</sup>*Physics Department, SUNY Albany, Albany New York, USA*  
<sup>3</sup>*Department of Physics, University of Alberta, Edmonton, Alberta, Canada*  
<sup>4a</sup>*Department of Physics, Ankara University, Ankara, Turkey*  
<sup>4b</sup>*Department of Physics, Gazi University, Ankara, Turkey*  
<sup>4c</sup>*Division of Physics, TOBB University of Economics and Technology, Ankara, Turkey*  
<sup>4d</sup>*Turkish Atomic Energy Authority, Ankara, Turkey*  
<sup>5</sup>*LAPP, CNRS/IN2P3 and Université de Savoie, Annecy-le-Vieux, France*  
<sup>6</sup>*High Energy Physics Division, Argonne National Laboratory, Argonne, Illinois, USA*  
<sup>7</sup>*Department of Physics, University of Arizona, Tucson, Arizona, USA*  
<sup>8</sup>*Department of Physics, The University of Texas at Arlington, Arlington, Texas, USA*  
<sup>9</sup>*Physics Department, University of Athens, Athens, Greece*  
<sup>10</sup>*Physics Department, National Technical University of Athens, Zografou, Greece*  
<sup>11</sup>*Institute of Physics, Azerbaijan Academy of Sciences, Baku, Azerbaijan*  
<sup>12</sup>*Institut de Física d'Altes Energies and Departament de Física de la Universitat Autònoma de Barcelona, Barcelona, Spain*  
<sup>13a</sup>*Institute of Physics, University of Belgrade, Belgrade, Serbia*  
<sup>13b</sup>*Vinca Institute of Nuclear Sciences, University of Belgrade, Belgrade, Serbia*  
<sup>14</sup>*Department for Physics and Technology, University of Bergen, Bergen, Norway*  
<sup>15</sup>*Physics Division, Lawrence Berkeley National Laboratory and University of California, Berkeley, California, USA*  
<sup>16</sup>*Department of Physics, Humboldt University, Berlin, Germany*  
<sup>17</sup>*Albert Einstein Center for Fundamental Physics and Laboratory for High Energy Physics, University of Bern, Bern, Switzerland*  
<sup>18</sup>*School of Physics and Astronomy, University of Birmingham, Birmingham, United Kingdom*  
<sup>19a</sup>*Department of Physics, Bogazici University, Istanbul, Turkey*  
<sup>19b</sup>*Department of Physics, Dogus University, Istanbul, Turkey*  
<sup>19c</sup>*Department of Physics Engineering, Gaziantep University, Gaziantep, Turkey*  
<sup>20a</sup>*INFN Sezione di Bologna, Bologna, Italy*  
<sup>20b</sup>*Dipartimento di Fisica e Astronomia, Università di Bologna, Bologna, Italy*  
<sup>21</sup>*Physikalisches Institut, University of Bonn, Bonn, Germany*  
<sup>22</sup>*Department of Physics, Boston University, Boston, Massachusetts, USA*  
<sup>23</sup>*Department of Physics, Brandeis University, Waltham, Massachusetts, USA*  
<sup>24a</sup>*Universidade Federal do Rio De Janeiro COPPE/EE/IF, Rio de Janeiro, Brazil*  
<sup>24b</sup>*Federal University of Juiz de Fora (UFJF), Juiz de Fora, Brazil*  
<sup>24c</sup>*Federal University of Sao Joao del Rei (UFSJ), Sao Joao del Rei, Brazil*  
<sup>24d</sup>*Instituto de Física, Universidade de Sao Paulo, Sao Paulo, Brazil*  
<sup>25</sup>*Physics Department, Brookhaven National Laboratory, Upton, New York, USA*  
<sup>26a</sup>*National Institute of Physics and Nuclear Engineering, Bucharest, Romania*  
<sup>26b</sup>*National Institute for Research and Development of Isotopic and Molecular Technologies, Physics Department, Cluj Napoca, Romania*  
<sup>26c</sup>*University Politehnica Bucharest, Bucharest, Romania*  
<sup>26d</sup>*West University in Timisoara, Timisoara, Romania*  
<sup>27</sup>*Departamento de Física, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina*  
<sup>28</sup>*Cavendish Laboratory, University of Cambridge, Cambridge, United Kingdom*  
<sup>29</sup>*Department of Physics, Carleton University, Ottawa, Ontario, Canada*  
<sup>30</sup>*CERN, Geneva, Switzerland*  
<sup>31</sup>*Enrico Fermi Institute, University of Chicago, Chicago, Illinois, USA*  
<sup>32a</sup>*Departamento de Física, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile*  
<sup>32b</sup>*Departamento de Física, Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso, Chile*  
<sup>33a</sup>*Institute of High Energy Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing, China*  
<sup>33b</sup>*Department of Modern Physics, University of Science and Technology of China, Anhui, China*  
<sup>33c</sup>*Department of Physics, Nanjing University, Jiangsu, China*  
<sup>33d</sup>*School of Physics, Shandong University, Shandong, China*  
<sup>33e</sup>*Physics Department, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai, China*

- <sup>34</sup>Laboratoire de Physique Corpusculaire, Clermont Université and Université Blaise Pascal and CNRS/IN2P3, Clermont-Ferrand, France
- <sup>35</sup>Nevis Laboratory, Columbia University, Irvington, New York, USA
- <sup>36</sup>Niels Bohr Institute, University of Copenhagen, Kobenhavn, Denmark
- <sup>37a</sup>INFN Gruppo Collegato di Cosenza, Laboratori Nazionali di Frascati, Rende, Italy
- <sup>37b</sup>Dipartimento di Fisica, Università della Calabria, Rende, Italy
- <sup>38a</sup>AGH University of Science and Technology, Faculty of Physics and Applied Computer Science, Krakow, Poland
- <sup>38b</sup>Marian Smoluchowski Institute of Physics, Jagiellonian University, Krakow, Poland
- <sup>39</sup>The Henryk Niewodniczanski Institute of Nuclear Physics, Polish Academy of Sciences, Krakow, Poland
- <sup>40</sup>Physics Department, Southern Methodist University, Dallas, Texas, USA
- <sup>41</sup>Physics Department, University of Texas at Dallas, Richardson, Texas, USA
- <sup>42</sup>DESY, Hamburg and Zeuthen, Germany
- <sup>43</sup>Institut für Experimentelle Physik IV, Technische Universität Dortmund, Dortmund, Germany
- <sup>44</sup>Institut für Kern- und Teilchenphysik, Technische Universität Dresden, Dresden, Germany
- <sup>45</sup>Department of Physics, Duke University, Durham, North Carolina, USA
- <sup>46</sup>SUPA—School of Physics and Astronomy, University of Edinburgh, Edinburgh, United Kingdom
- <sup>47</sup>INFN Laboratori Nazionali di Frascati, Frascati, Italy
- <sup>48</sup>Fakultät für Mathematik und Physik, Albert-Ludwigs-Universität, Freiburg, Germany
- <sup>49</sup>Section de Physique, Université de Genève, Geneva, Switzerland
- <sup>50a</sup>INFN Sezione di Genova, Genova, Italy
- <sup>50b</sup>Dipartimento di Fisica, Università di Genova, Genova, Italy
- <sup>51a</sup>E. Andronikashvili Institute of Physics, Iv. Javakishvili Tbilisi State University, Tbilisi, Georgia
- <sup>51b</sup>High Energy Physics Institute, Tbilisi State University, Tbilisi, Georgia
- <sup>52</sup>II Physikalisches Institut, Justus-Liebig-Universität Giessen, Giessen, Germany
- <sup>53</sup>SUPA—School of Physics and Astronomy, University of Glasgow, Glasgow, United Kingdom
- <sup>54</sup>II Physikalisches Institut, Georg-August-Universität, Göttingen, Germany
- <sup>55</sup>Laboratoire de Physique Subatomique et de Cosmologie, Université Grenoble-Alpes, CNRS/IN2P3, Grenoble, France
- <sup>56</sup>Department of Physics, Hampton University, Hampton, Virginia, USA
- <sup>57</sup>Laboratory for Particle Physics and Cosmology, Harvard University, Cambridge, Massachusetts, USA
- <sup>58a</sup>Kirchhoff-Institut für Physik, Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg, Heidelberg, Germany
- <sup>58b</sup>Physikalisches Institut, Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg, Heidelberg, Germany
- <sup>58c</sup>ZITI Institut für technische Informatik, Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg, Mannheim, Germany
- <sup>59</sup>Faculty of Applied Information Science, Hiroshima Institute of Technology, Hiroshima, Japan
- <sup>60</sup>Department of Physics, Indiana University, Bloomington, Indiana, USA
- <sup>61</sup>Institut für Astro-und Teilchenphysik, Leopold-Franzens-Universität, Innsbruck, Austria
- <sup>62</sup>University of Iowa, Iowa City, Iowa, USA
- <sup>63</sup>Department of Physics and Astronomy, Iowa State University, Ames, Iowa, USA
- <sup>64</sup>Joint Institute for Nuclear Research, JINR Dubna, Dubna, Russia
- <sup>65</sup>KEK, High Energy Accelerator Research Organization, Tsukuba, Japan
- <sup>66</sup>Graduate School of Science, Kobe University, Kobe, Japan
- <sup>67</sup>Faculty of Science, Kyoto University, Kyoto, Japan
- <sup>68</sup>Kyoto University of Education, Kyoto, Japan
- <sup>69</sup>Department of Physics, Kyushu University, Fukuoka, Japan
- <sup>70</sup>Instituto de Física La Plata, Universidad Nacional de La Plata and CONICET, La Plata, Argentina
- <sup>71</sup>Physics Department, Lancaster University, Lancaster, United Kingdom
- <sup>72a</sup>INFN Sezione di Lecce, Lecce, Italy
- <sup>72b</sup>Dipartimento di Matematica e Fisica, Università del Salento, Lecce, Italy
- <sup>73</sup>Oliver Lodge Laboratory, University of Liverpool, Liverpool, United Kingdom
- <sup>74</sup>Department of Physics, Jožef Stefan Institute and University of Ljubljana, Ljubljana, Slovenia
- <sup>75</sup>School of Physics and Astronomy, Queen Mary University of London, London, United Kingdom
- <sup>76</sup>Department of Physics, Royal Holloway University of London, Surrey, United Kingdom
- <sup>77</sup>Department of Physics and Astronomy, University College London, London, United Kingdom
- <sup>78</sup>Louisiana Tech University, Ruston, Los Angeles, USA
- <sup>79</sup>Laboratoire de Physique Nucléaire et de Hautes Energies, UPMC and Université Paris-Diderot and CNRS/IN2P3, Paris, France
- <sup>80</sup>Fysiska institutionen, Lunds universitet, Lund, Sweden
- <sup>81</sup>Departamento de Física Teórica C-15, Universidad Autónoma de Madrid, Madrid, Spain
- <sup>82</sup>Institut für Physik, Universität Mainz, Mainz, Germany
- <sup>83</sup>School of Physics and Astronomy, University of Manchester, Manchester, United Kingdom
- <sup>84</sup>CPPM, Aix-Marseille Université and CNRS/IN2P3, Marseille, France
- <sup>85</sup>Department of Physics, University of Massachusetts, Amherst, Massachusetts, USA

- <sup>86</sup>*Department of Physics, McGill University, Montreal, Québec, Canada*
- <sup>87</sup>*School of Physics, University of Melbourne, Victoria, Australia*
- <sup>88</sup>*Department of Physics, The University of Michigan, Ann Arbor, Michigan, USA*
- <sup>89</sup>*Department of Physics and Astronomy, Michigan State University, East Lansing, Michigan, USA*
- <sup>90a</sup>*INFN Sezione di Milano, Milano, Italy*
- <sup>90b</sup>*Dipartimento di Fisica, Università di Milano, Milano, Italy*
- <sup>91</sup>*B.I. Stepanov Institute of Physics, National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus*
- <sup>92</sup>*National Scientific and Educational Centre for Particle and High Energy Physics, Minsk, Republic of Belarus*
- <sup>93</sup>*Department of Physics, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts, USA*
- <sup>94</sup>*Group of Particle Physics, University of Montreal, Montreal, Québec, Canada*
- <sup>95</sup>*P.N. Lebedev Institute of Physics, Academy of Sciences, Moscow, Russia*
- <sup>96</sup>*Institute for Theoretical and Experimental Physics (ITEP), Moscow, Russia*
- <sup>97</sup>*Moscow Engineering and Physics Institute (MEPhI), Moscow, Russia*
- <sup>98</sup>*D.V.Skobel'syn Institute of Nuclear Physics, M.V.Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia*
- <sup>99</sup>*Fakultät für Physik, Ludwig-Maximilians-Universität München, München, Germany*
- <sup>100</sup>*Max-Planck-Institut für Physik (Werner-Heisenberg-Institut), München, Germany*
- <sup>101</sup>*Nagasaki Institute of Applied Science, Nagasaki, Japan*
- <sup>102</sup>*Graduate School of Science and Kobayashi-Maskawa Institute, Nagoya University, Nagoya, Japan*
- <sup>103a</sup>*INFN Sezione di Napoli, Napoli, Italy*
- <sup>103b</sup>*Dipartimento di Fisica, Università di Napoli, Napoli, Italy*
- <sup>104</sup>*Department of Physics and Astronomy, University of New Mexico, Albuquerque, New Mexico, USA*
- <sup>105</sup>*Institute for Mathematics, Astrophysics and Particle Physics, Radboud University Nijmegen/Nikhef, Nijmegen, Netherlands*
- <sup>106</sup>*Nikhef National Institute for Subatomic Physics and University of Amsterdam, Amsterdam, Netherlands*
- <sup>107</sup>*Department of Physics, Northern Illinois University, DeKalb, Illinois, USA*
- <sup>108</sup>*Budker Institute of Nuclear Physics, SB RAS, Novosibirsk, Russia*
- <sup>109</sup>*Department of Physics, New York University, New York, New York, USA*
- <sup>110</sup>*Ohio State University, Columbus, Ohio, USA*
- <sup>111</sup>*Faculty of Science, Okayama University, Okayama, Japan*
- <sup>112</sup>*Homer L. Dodge Department of Physics and Astronomy, University of Oklahoma, Norman, Oklahoma, USA*
- <sup>113</sup>*Department of Physics, Oklahoma State University, Stillwater, Oklahoma, USA*
- <sup>114</sup>*Palacký University, RCPTM, Olomouc, Czech Republic*
- <sup>115</sup>*Center for High Energy Physics, University of Oregon, Eugene, Oregon, USA*
- <sup>116</sup>*LAL, Université Paris-Sud and CNRS/IN2P3, Orsay, France*
- <sup>117</sup>*Graduate School of Science, Osaka University, Osaka, Japan*
- <sup>118</sup>*Department of Physics, University of Oslo, Oslo, Norway*
- <sup>119</sup>*Department of Physics, Oxford University, Oxford, United Kingdom*
- <sup>120a</sup>*INFN Sezione di Pavia, Pavia, Italy*
- <sup>120b</sup>*Dipartimento di Fisica, Università di Pavia, Pavia, Italy*
- <sup>121</sup>*Department of Physics, University of Pennsylvania, Philadelphia PA, USA*
- <sup>122</sup>*Petersburg Nuclear Physics Institute, Gatchina, Russia*
- <sup>123a</sup>*INFN Sezione di Pisa, Pisa, Italy*
- <sup>123b</sup>*Dipartimento di Fisica E. Fermi, Università di Pisa, Pisa, Italy*
- <sup>124</sup>*Department of Physics and Astronomy, University of Pittsburgh, Pittsburgh, Pennsylvania, USA*
- <sup>125a</sup>*Laboratório de Instrumentação e Física Experimental de Partículas—LIP, Lisboa, Portugal*
- <sup>125b</sup>*Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal*
- <sup>125c</sup>*Department of Physics, University of Coimbra, Coimbra, Portugal*
- <sup>125d</sup>*Centro de Física Nuclear da Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal*
- <sup>125e</sup>*Departamento de Física, Universidade do Minho, Braga, Portugal*
- <sup>125f</sup>*Departamento de Física Teórica y del Cosmos and CAFPE, Universidad de Granada, Granada (Spain), Portugal*
- <sup>125g</sup>*Dep Física and CEFITEC of Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Caparica, Portugal*
- <sup>126</sup>*Institute of Physics, Academy of Sciences of the Czech Republic, Praha, Czech Republic*
- <sup>127</sup>*Czech Technical University in Prague, Praha, Czech Republic*
- <sup>128</sup>*Faculty of Mathematics and Physics, Charles University in Prague, Praha, Czech Republic*
- <sup>129</sup>*State Research Center Institute for High Energy Physics, Protvino, Russia*
- <sup>130</sup>*Particle Physics Department, Rutherford Appleton Laboratory, Didcot, United Kingdom*
- <sup>131</sup>*Physics Department, University of Regina, Regina, Saskatchewan, Canada*
- <sup>132</sup>*Ritsumeikan University, Kusatsu, Shiga, Japan*
- <sup>133a</sup>*INFN Sezione di Roma, Roma, Italy*
- <sup>133b</sup>*Dipartimento di Fisica, Sapienza Università di Roma, Roma, Italy*

- <sup>134a</sup>*INFN Sezione di Roma Tor Vergata, Roma, Italy*  
<sup>134b</sup>*Dipartimento di Fisica, Università di Roma Tor Vergata, Roma, Italy*  
<sup>135a</sup>*INFN Sezione di Roma Tre, Roma, Italy*  
<sup>135b</sup>*Dipartimento di Matematica e Fisica, Università Roma Tre, Roma, Italy*  
<sup>136a</sup>*Faculté des Sciences Ain Chock, Réseau Universitaire de Physique des Hautes Energies—Université Hassan II, Casablanca, Morocco*  
<sup>136b</sup>*Centre National de l’Energie des Sciences Techniques Nucleaires, Rabat, Morocco*  
<sup>136c</sup>*Faculté des Sciences Semlalia, Université Cadi Ayyad, LPHEA-Marrakech, Morocco*  
<sup>136d</sup>*Faculté des Sciences, Université Mohamed Premier and LPTPM, Oujda, Morocco*  
<sup>136e</sup>*Faculté des sciences, Université Mohammed V-Agdal, Rabat, Morocco*  
<sup>137</sup>*DSM/IRFU (Institut de Recherches sur les Lois Fondamentales de l’Univers), CEA Saclay (Commissariat à l’Energie Atomique et aux Energies Alternatives), Gif-sur-Yvette, France*  
<sup>138</sup>*Santa Cruz Institute for Particle Physics, University of California Santa Cruz, Santa Cruz, California, USA*  
<sup>139</sup>*Department of Physics, University of Washington, Seattle, Washington, USA*  
<sup>140</sup>*Department of Physics and Astronomy, University of Sheffield, Sheffield, United Kingdom*  
<sup>141</sup>*Department of Physics, Shinshu University, Nagano, Japan*  
<sup>142</sup>*Fachbereich Physik, Universität Siegen, Siegen, Germany*  
<sup>143</sup>*Department of Physics, Simon Fraser University, Burnaby, British Columbia, Canada*  
<sup>144</sup>*SLAC National Accelerator Laboratory, Stanford, California, USA*  
<sup>145a</sup>*Faculty of Mathematics, Physics & Informatics, Comenius University, Bratislava, Slovak Republic*  
<sup>145b</sup>*Department of Subnuclear Physics, Institute of Experimental Physics of the Slovak Academy of Sciences, Kosice, Slovak Republic*  
<sup>146a</sup>*Department of Physics, University of Cape Town, Cape Town, South Africa*  
<sup>146b</sup>*Department of Physics, University of Johannesburg, Johannesburg, South Africa*  
<sup>146c</sup>*School of Physics, University of the Witwatersrand, Johannesburg, South Africa*  
<sup>147a</sup>*Department of Physics, Stockholm University, Sweden*  
<sup>147b</sup>*The Oskar Klein Centre, Stockholm, Sweden*  
<sup>148</sup>*Physics Department, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden*  
<sup>149</sup>*Departments of Physics & Astronomy and Chemistry, Stony Brook University, Stony Brook, New York, USA*  
<sup>150</sup>*Department of Physics and Astronomy, University of Sussex, Brighton, United Kingdom*  
<sup>151</sup>*School of Physics, University of Sydney, Sydney, Australia*  
<sup>152</sup>*Institute of Physics, Academia Sinica, Taipei, Taiwan*  
<sup>153</sup>*Department of Physics, Technion: Israel Institute of Technology, Haifa, Israel*  
<sup>154</sup>*Raymond and Beverly Sackler School of Physics and Astronomy, Tel Aviv University, Tel Aviv, Israel*  
<sup>155</sup>*Department of Physics, Aristotle University of Thessaloniki, Thessaloniki, Greece*  
<sup>156</sup>*International Center for Elementary Particle Physics and Department of Physics, The University of Tokyo, Tokyo, Japan*  
<sup>157</sup>*Graduate School of Science and Technology, Tokyo Metropolitan University, Tokyo, Japan*  
<sup>158</sup>*Department of Physics, Tokyo Institute of Technology, Tokyo, Japan*  
<sup>159</sup>*Department of Physics, University of Toronto, Toronto, Ontario, Canada*  
<sup>160a</sup>*TRIUMF, Vancouver, British Columbia, Canada*  
<sup>160b</sup>*Department of Physics and Astronomy, York University, Toronto, Ontario, Canada*  
<sup>161</sup>*Faculty of Pure and Applied Sciences, University of Tsukuba, Tsukuba, Japan*  
<sup>162</sup>*Department of Physics and Astronomy, Tufts University, Medford, Massachusetts, USA*  
<sup>163</sup>*Centro de Investigaciones, Universidad Antonio Narino, Bogota, Colombia*  
<sup>164</sup>*Department of Physics and Astronomy, University of California Irvine, Irvine, California, USA*  
<sup>165a</sup>*INFN Gruppo Collegato di Udine, Sezione di Trieste, Udine, Italy*  
<sup>165b</sup>*ICTP, Trieste, Italy*  
<sup>165c</sup>*Dipartimento di Chimica, Fisica e Ambiente, Università di Udine, Udine, Italy*  
<sup>166</sup>*Department of Physics, University of Illinois, Urbana, Illinois, USA*  
<sup>167</sup>*Department of Physics and Astronomy, University of Uppsala, Uppsala, Sweden*  
<sup>168</sup>*Instituto de Física Corpuscular (IFIC) and Departamento de Física Atómica, Molecular y Nuclear and Departamento de Ingeniería Electrónica and Instituto de Microelectrónica de Barcelona (IMB-CNM), University of Valencia and CSIC, Valencia, Spain*  
<sup>169</sup>*Department of Physics, University of British Columbia, Vancouver, British Columbia, Canada*  
<sup>170</sup>*Department of Physics and Astronomy, University of Victoria, Victoria, British Columbia, Canada*  
<sup>171</sup>*Department of Physics, University of Warwick, Coventry, United Kingdom*  
<sup>172</sup>*Waseda University, Tokyo, Japan*  
<sup>173</sup>*Department of Particle Physics, The Weizmann Institute of Science, Rehovot, Israel*  
<sup>174</sup>*Department of Physics, University of Wisconsin, Madison, Wisconsin, USA*  
<sup>175</sup>*Fakultät für Physik und Astronomie, Julius-Maximilians-Universität, Würzburg, Germany*  
<sup>176</sup>*Fachbereich C Physik, Bergische Universität Wuppertal, Wuppertal, Germany*

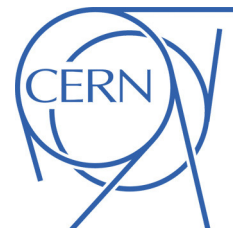
<sup>177</sup>*Department of Physics, Yale University, New Haven, Connecticut, USA*<sup>178</sup>*Yerevan Physics Institute, Yerevan, Armenia*<sup>179</sup>*Centre de Calcul de l'Institut National de Physique Nucléaire et de Physique des Particules (IN2P3), Villeurbanne, France*<sup>a</sup>Deceased.<sup>b</sup>Also at Department of Physics, King's College London, London, United Kingdom.<sup>c</sup>Also at Institute of Physics, Azerbaijan Academy of Sciences, Baku, Azerbaijan.<sup>d</sup>Also at Particle Physics Department, Rutherford Appleton Laboratory, Didcot, United Kingdom.<sup>e</sup>Also at TRIUMF, Vancouver BC, Canada.<sup>f</sup>Also at Department of Physics, California State University, Fresno CA, USA.<sup>g</sup>Also at Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia.<sup>h</sup>Also at CPPM, Aix-Marseille Université and CNRS/IN2P3, Marseille, France.<sup>i</sup>Also at Università di Napoli Parthenope, Napoli, Italy.<sup>j</sup>Also at Institute of Particle Physics (IPP), Canada.<sup>k</sup>Also at Department of Physics, St. Petersburg State Polytechnical University, St. Petersburg, Russia.<sup>l</sup>Also at Department of Financial and Management Engineering, University of the Aegean, Chios, Greece.<sup>m</sup>Also at Louisiana Tech University, Ruston LA, USA.<sup>n</sup>Also at Institutio Catalana de Recerca i Estudis Avancats, ICREA, Barcelona, Spain.<sup>o</sup>Also at CERN, Geneva, Switzerland.<sup>p</sup>Also at Ochadai Academic Production, Ochanomizu University, Tokyo, Japan.<sup>q</sup>Also at Manhattan College, New York NY, USA.<sup>r</sup>Also at Institute of Physics, Academia Sinica, Taipei, Taiwan.<sup>s</sup>Also at LAL, Université Paris-Sud and CNRS/IN2P3, Orsay, France.<sup>t</sup>Also at Academia Sinica Grid Computing, Institute of Physics, Academia Sinica, Taipei, Taiwan.<sup>u</sup>Also at Laboratoire de Physique Nucléaire et de Hautes Energies, UPMC and Université Paris-Diderot and CNRS/IN2P3, Paris, France.<sup>v</sup>Also at School of Physical Sciences, National Institute of Science Education and Research, Bhubaneswar, India.<sup>w</sup>Also at Dipartimento di Fisica, Sapienza Università di Roma, Roma, Italy.<sup>x</sup>Also at Moscow Institute of Physics and Technology State University, Dolgoprudny, Russia.<sup>y</sup>Also at Section de Physique, Université de Genève, Geneva, Switzerland.<sup>z</sup>Also at Department of Physics, The University of Texas at Austin, Austin TX, USA.<sup>aa</sup>Also at International School for Advanced Studies (SISSA), Trieste, Italy.<sup>bb</sup>Also at Department of Physics and Astronomy, University of South Carolina, Columbia SC, USA.<sup>cc</sup>Also at Faculty of Physics, M.V.Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia.<sup>dd</sup>Also at School of Physics and Engineering, Sun Yat-sen University, Guangzhou, China.<sup>ee</sup>Also at Physics Department, Brookhaven National Laboratory, Upton NY, USA.<sup>ff</sup>Also at Moscow Engineering and Physics Institute (MEPhI), Moscow, Russia.<sup>gg</sup>Also at Institute for Particle and Nuclear Physics, Wigner Research Centre for Physics, Budapest, Hungary.<sup>hh</sup>Also at Department of Physics, Oxford University, Oxford, United Kingdom.<sup>ii</sup>Also at Institut für Experimentalphysik, Universität Hamburg, Hamburg, Germany.<sup>jj</sup>Also at Department of Physics, The University of Michigan, Ann Arbor MI, USA.<sup>kk</sup>Also at Discipline of Physics, University of KwaZulu-Natal, Durban, South Africa.





# ATLAS NOTE

July 8, 2013



**Search for squarks and gluinos with the ATLAS detector  
in final states with jets and missing transverse momentum and  $20.3 \text{ fb}^{-1}$  of  
 $\sqrt{s} = 8 \text{ TeV}$  proton-proton collision data:  
supporting documentation**

S. Amoroso<sup>1</sup>, M. Baak<sup>3</sup>, G.J. Besjes<sup>4,5</sup>, R. Brunelière<sup>1</sup>, S. Caron<sup>4,5</sup>, V. Consorti<sup>1</sup>, L. Duflot<sup>6</sup>,  
G. Fletcher<sup>7</sup>, S. Henrot-Versille<sup>6</sup>, M. Hodgkinson<sup>7</sup>, N. Kanaya<sup>2</sup>, T. Javurek<sup>1</sup>, Y. Kataoka<sup>2</sup>,  
T.J. Khoo<sup>8</sup>, T. LeCompte<sup>9</sup>, R. van der Leeuw<sup>4</sup>, N. Makovec<sup>6</sup>, M. Marjanovic<sup>6,10</sup>,  
J. Mamuzic<sup>11,12</sup>, Y. Nakahama<sup>3</sup>, M.A. Parker<sup>8</sup>, Z. Rurikova<sup>1</sup>, D.R. Tovey<sup>7</sup>, and  
M. Vranjes Milosavljevic<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Albert-Ludwigs Universität Freiburg

<sup>2</sup>Tokyo University

<sup>3</sup>CERN

<sup>4</sup>NIKHEF

<sup>5</sup>Radboud University Nijmegen

<sup>6</sup>Universite de Paris-Sud 11 (LAL)

<sup>7</sup>University of Sheffield

<sup>8</sup>University of Cambridge

<sup>9</sup>Argonne National Laboratory

<sup>10</sup>Institute of Physics, Belgrade

<sup>11</sup>INN Vinca, Belgrade

<sup>12</sup>DESY

**Abstract**



# ATLAS NOTE

April 25, 2014



**Search for squarks and gluinos with the ATLAS detector  
in final states with jets and missing transverse momentum and  $20.3 \text{ fb}^{-1}$  of  
 $\sqrt{s} = 8 \text{ TeV}$  proton-proton collision data:  
supporting documentation**

S. Amoroso<sup>1</sup>, M. Baak<sup>3</sup>, G.J. Besjes<sup>4,5</sup>, R. Brunelière<sup>1</sup>, S. Caron<sup>4,5</sup>, V. Consorti<sup>1</sup>, L. Duflot<sup>6</sup>,  
G. Fletcher<sup>7</sup>, S. Henrot-Versille<sup>6</sup>, M. Hodgkinson<sup>7</sup>, N. Kanaya<sup>2</sup>, T. Javurek<sup>1</sup>, Y. Kataoka<sup>2</sup>,  
T.J. Khoo<sup>8</sup>, T. LeCompte<sup>9</sup>, R. van der Leeuw<sup>4</sup>, N. Makovec<sup>6</sup>, M. Marjanovic<sup>6,10</sup>,  
J. Mamuzic<sup>11,12</sup>, Y. Nakahama<sup>3</sup>, M.A. Parker<sup>8</sup>, M. Ronzani<sup>1</sup>, Z. Rurikova<sup>1</sup>, D.R. Tovey<sup>7</sup>, and  
M. Vranjes Milosavljevic<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Albert-Ludwigs Universität Freiburg

<sup>2</sup>Tokyo University

<sup>3</sup>CERN

<sup>4</sup>NIKHEF

<sup>5</sup>Radboud University Nijmegen

<sup>6</sup>Universite de Paris-Sud 11 (LAL)

<sup>7</sup>University of Sheffield

<sup>8</sup>University of Cambridge

<sup>9</sup>Argonne National Laboratory

<sup>10</sup>Institute of Physics, Belgrade

<sup>11</sup>INN Vinca, Belgrade

<sup>12</sup>DESY

**Abstract**

## CERN Document Server

[Search](#)[Submit](#)[Help](#)[Personalize](#)

Home > Articles & Preprints > CERN Notes > ATLAS Communications > ATLAS Communications Physics > Search for squarks and gluinos with the ATLAS detector in final states with jets and missing transverse momentum and 20.3 fb<sup>-1</sup> of  $\sqrt{s} = 8\text{TeV}$  proton-proton collision data: supporting documentation

[Information](#)[Discussion \(31\)](#)[Files](#)

### Internal Note

Report number	ATL-COM-PHYS-2013-1224
Title	<b>Search for squarks and gluinos with the ATLAS detector in final states with jets and missing transverse momentum and 20.3 fb<sup>-1</sup> of <math>\sqrt{s} = 8\text{TeV}</math> proton-proton collision data: supporting documentation</b>
Author(s)	Amoroso, S ; Baak, M ; Besjes, G J ; Bruneliere, R ; Caron, S ; Consorti, V ; Duflot, L ; Fletcher, G ; Henrot-Versille, S ; Hodgkinson, M ; Kanaya, N ; Javurek, T ; Kataoka, Y ; Khoo, T J ; LeCompte, T ; van der Leeuw, R ; Makovec, N ; Marjanovic, M ; Mamuzic, J ; Nakahama, Y ; Parker, M A ; Ronzani, M ; Rurikova, Z ; Tovey, D R ; Vranjes Milosavljevic, M <i>Hide</i>
Imprint	29 Aug 2013. - mult. p.
Subject category	Detectors and Experimental Techniques
Accelerator/Facility, Experiment	CERN LHC ; ATLAS
Free keywords	SUSY ; squark ; gluino ; mSUGRA ; cMSSM ; pMSSM ; MET ; SUSY
Abstract	Results are presented of a search for the production of squarks and gluinos in $\sqrt{s} = 8\text{TeV}$ LHC collisions at the ATLAS experiment using 20.3 fb <sup>-1</sup> of data from 2012. Using the jets + ETmiss + no leptons signature, no evidence for an excess beyond SM expectations is observed. Limits are set on the parameters of mSUGRA/CMSSM models, simplified and 'compressed spectrum' SUSY models which extend substantially beyond those set by ATLAS and other experiments previously.

Email contact: [marija.vranjes.milosavljevic@cern.ch](mailto:marija.vranjes.milosavljevic@cern.ch) ; [renaud.bruneliere@cern.ch](mailto:renaud.bruneliere@cern.ch) ; [d.r.tovey@googlemail.com](mailto:d.r.tovey@googlemail.com) ; [nikola.makovec@cern.ch](mailto:nikola.makovec@cern.ch)

Being an author of this document, you can [Submit a Revised Version](#) or [Update the Bibliographic Information](#) or [Other actions](#)

RESTRICTED



# Search for squarks and gluinos

with the ATLAS detector in final states with jets and missing transverse momentum using 20.3 fb<sup>-1</sup> of  $\sqrt{s} = 8$  TeV proton-proton collision data

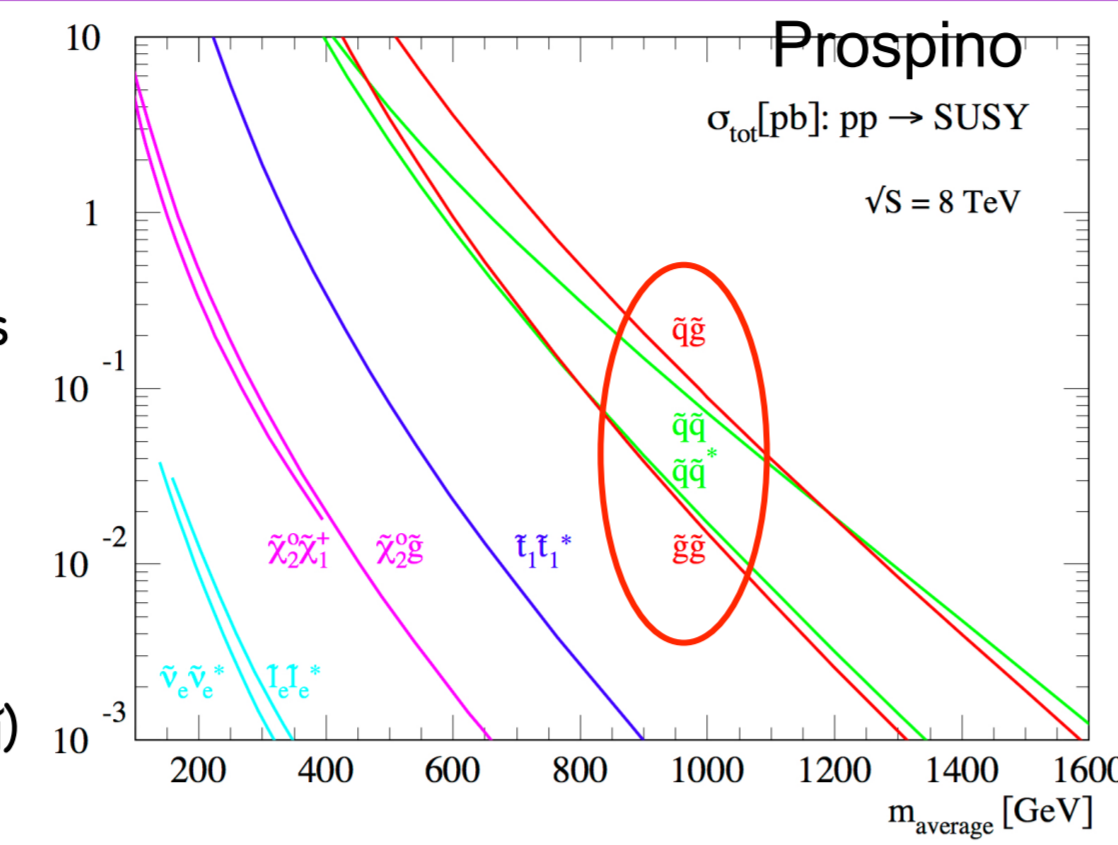
arxiv:1405.7875

Marija Marjanović on behalf of the ATLAS collaboration

marija.marjanovic@cern.ch

## What are we trying to find?

- Squarks and gluinos are SUSY partners of quarks and gluons
- The partners of the neutral and charged SM gauge and Higgs bosons are respectively the neutralinos ( $\tilde{\chi}_i^0$ ) and charginos ( $\tilde{\chi}^\pm$ )
- We assume:
  - R-parity conservation: therefore squarks and gluinos must be produced in pairs ( $\tilde{q}\tilde{q}, \tilde{q}\tilde{q}, \tilde{q}\tilde{g}$ )
  - the neutralino ( $\tilde{\chi}_1^0$ ) is the LSP
- Strong production is the dominant mode for the production of SUSY sparticles at the LHC
- This search is looking in final states containing 2 to 6 jets and large  $E_T^{\text{miss}}$ , veto on leptons
- Interpretation are given in:
  - Simplified models,
  - mSUGRA/CMSSM
- The main results of this analysis are relevant for constraining any BSM physics that predicts production of jets in association with  $E_T^{\text{miss}}$

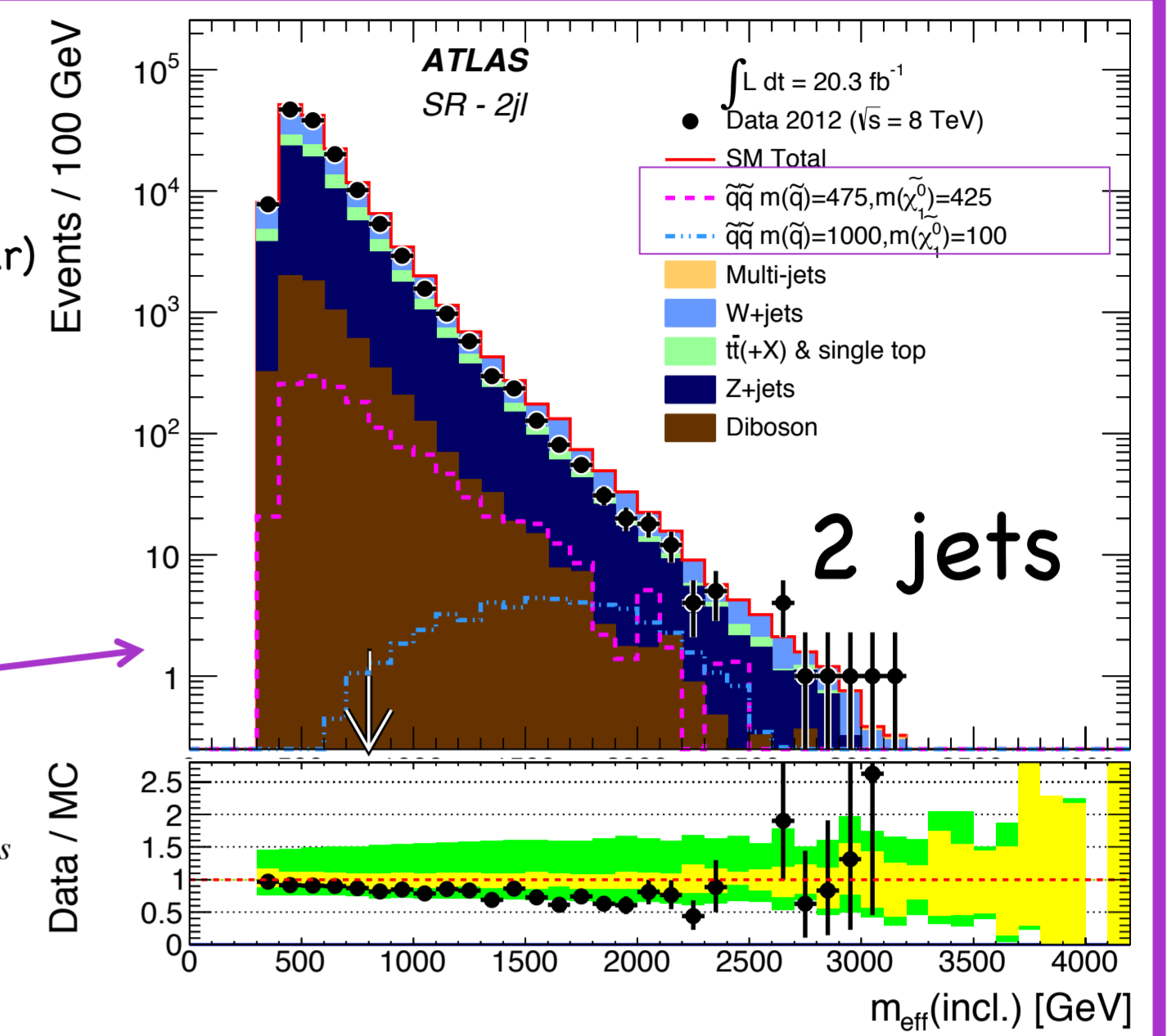


## Event selection

- Combined jet +  $E_T^{\text{miss}}$  trigger
- No isolated electron or muon (suppress W+jets and ttbar)
- $E_T^{\text{miss}} > 160$  GeV
- 1<sup>st</sup> jet  $p_T > 130$  GeV
- 2<sup>nd</sup> - 6<sup>th</sup> jet  $p_T > 60$  GeV
- Variables used for discriminating SUSY signal from backgrounds:

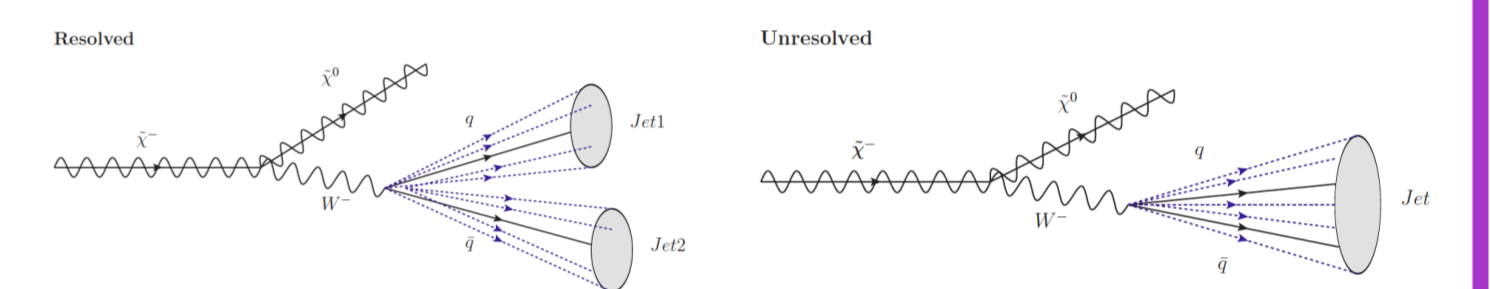
$$m_{\text{eff}}(\text{incl.}) = \sum_{p_T > 40 \text{ GeV}} p_T^{\text{jets}} + E_T^{\text{miss}}$$

$$H_T = \sum_{p_T > 40 \text{ GeV}} p_T^{\text{jets}} \quad m_{\text{eff}}(N\text{jet}) = \sum_{i=1}^N p_T^{\text{jet},i} + E_T^{\text{miss}}$$



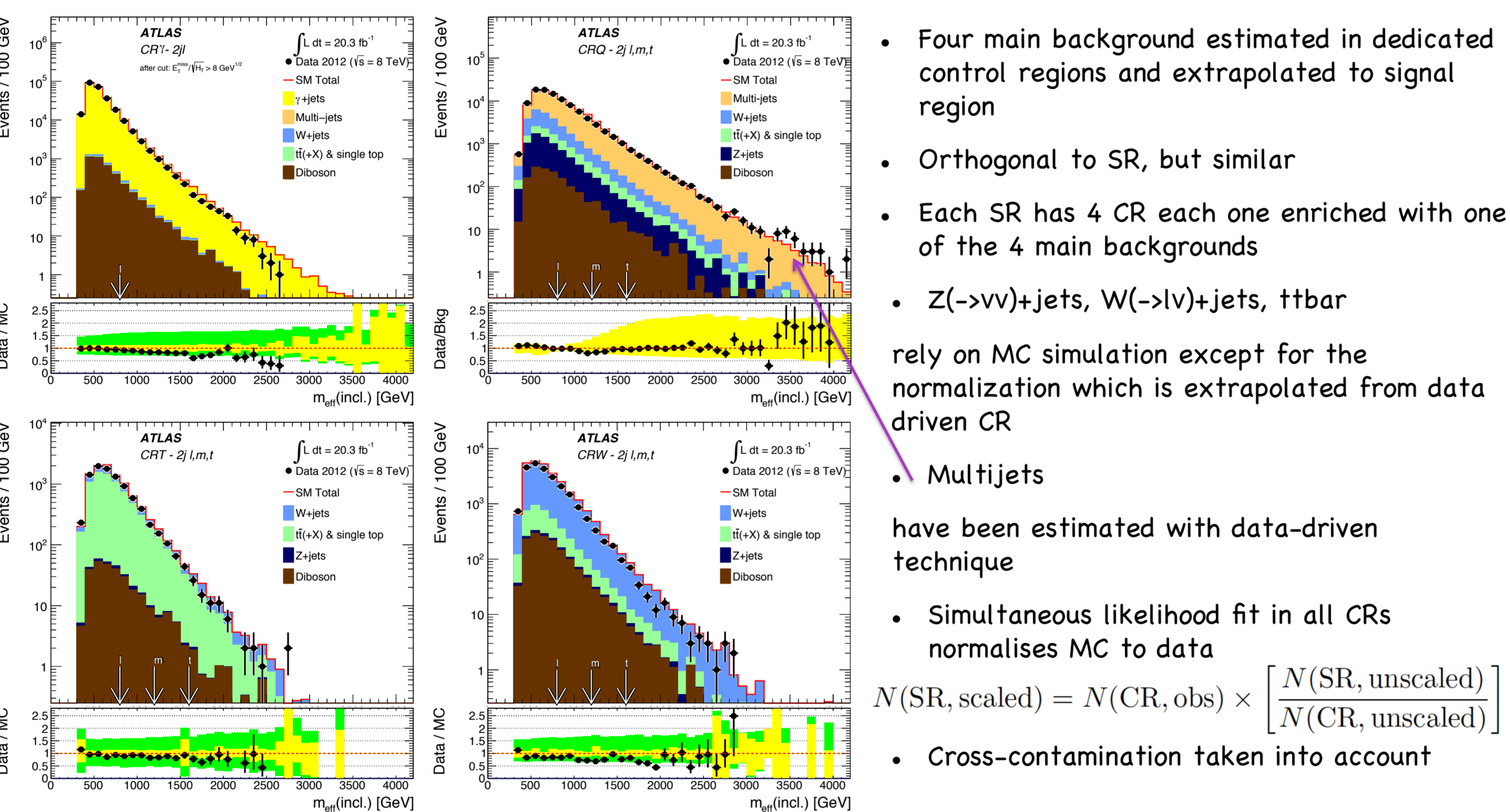
## Signal regions (SR)

- 5 SRs depending on the number of jets
- 2 jets regions dominated by W/Z+jets
- 6 jets regions dominated by ttbar
- $E_T^{\text{miss}}/\sqrt{H_T}$ ,  $E_T^{\text{miss}}/m_{\text{eff}}(N\text{jet})$  rejecting the multijets background
- Signal/background discrimination based on the  $m_{\text{eff}}$  sensitive to the SUSY mass scale (loose/medium/tight)
- Two dedicated SRs (2jW and 4jW) place additional requirements on the invariant masses of candidate W bosons decaying to hadrons

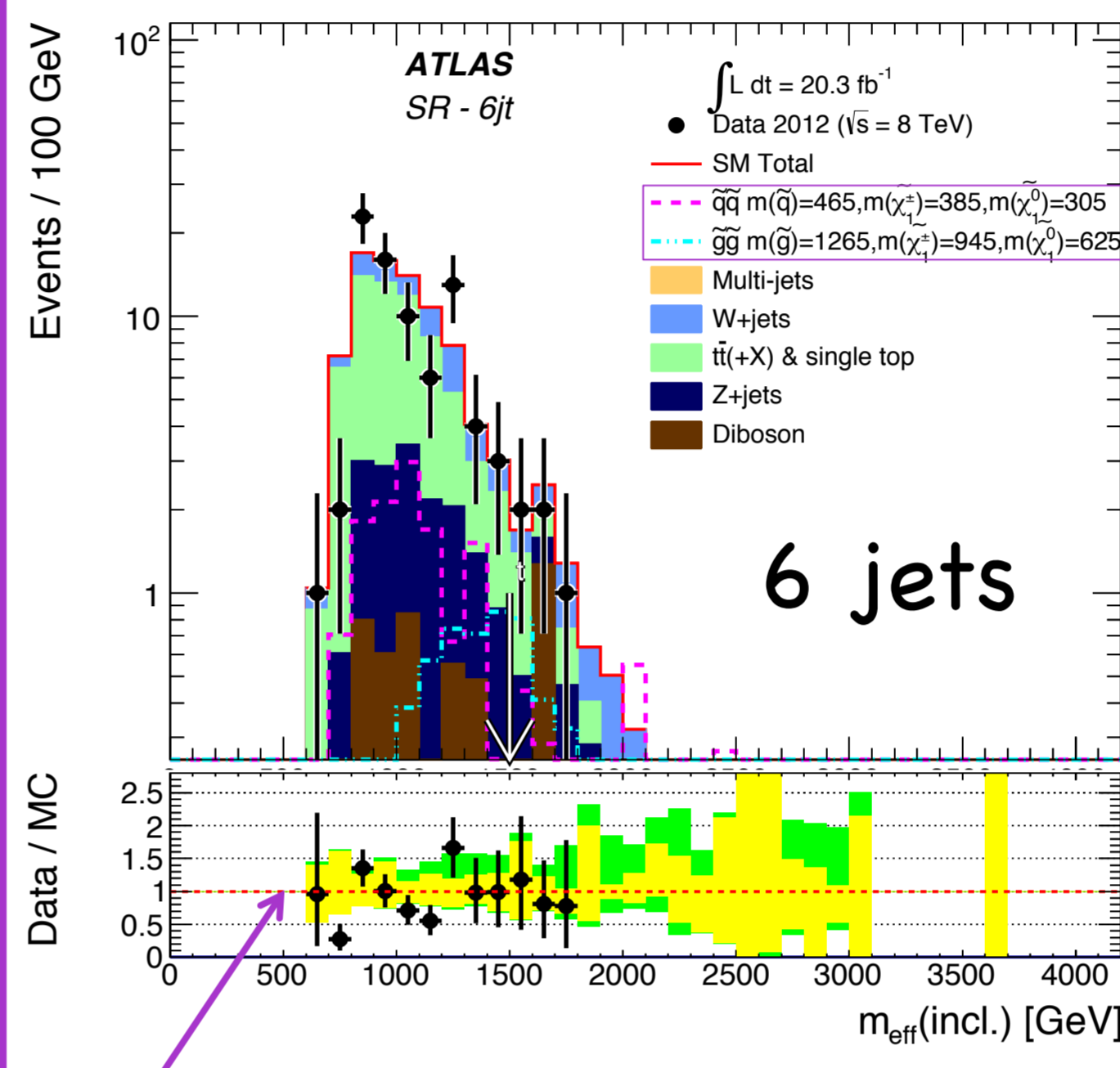


## Background estimation

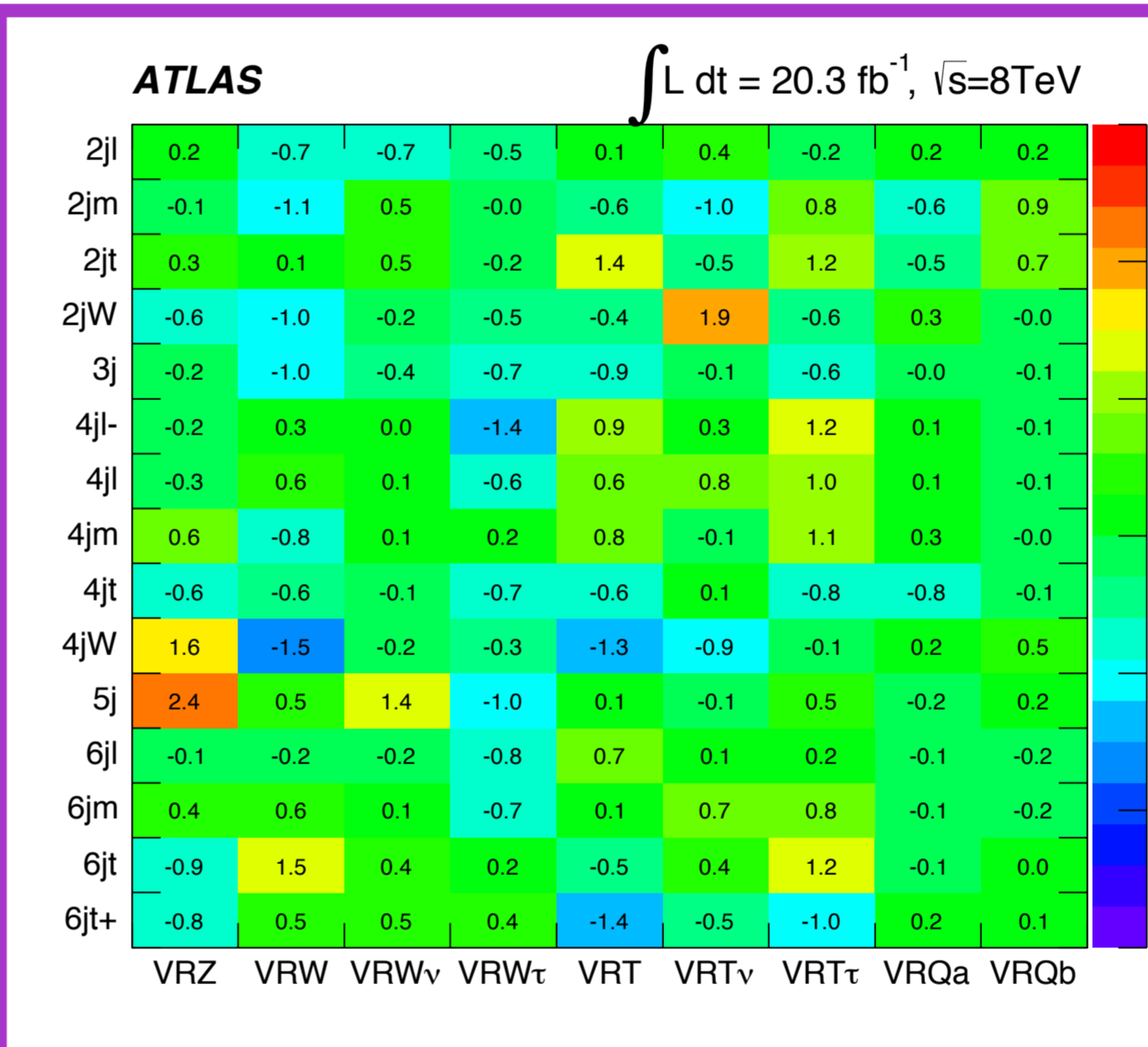
CR	SR background	CR process	CR selection
CR $\gamma$	Z( $\rightarrow \nu\nu$ )+jets	$\gamma$ +jets	Isolated photon
CRQ	Multi-jets	Multi-jets	SR with reversed requirements on (i) $\Delta\phi(\text{jet}, E_T^{\text{miss}})_{\text{min}}$ and (ii) $E_T^{\text{miss}}/m_{\text{eff}}(N\text{jet})$ or $E_T^{\text{miss}}/\sqrt{H_T}$
CRW	W( $\rightarrow l\nu$ )+jets	W( $\rightarrow l\nu$ )+jets	30 GeV < $m_T(l, E_T^{\text{miss}})$ < 100 GeV, b-veto
CRT	tt and single-t	$t\bar{t} \rightarrow b\bar{b}q\bar{q}'l\nu$	30 GeV < $m_T(l, E_T^{\text{miss}})$ < 100 GeV, b-tag



- Four main background estimated in dedicated control regions and extrapolated to signal region
- Orthogonal to SR, but similar
- Each SR has 4 CR each one enriched with one of the 4 main backgrounds
- Z( $\rightarrow \nu\nu$ )+jets, W( $\rightarrow l\nu$ )+jets, ttbar rely on MC simulation except for the normalization which is extrapolated from data driven CR
- Multijets have been estimated with data-driven technique
- Simultaneous likelihood fit in all CRs normalises MC to data
- Cross-contamination taken into account



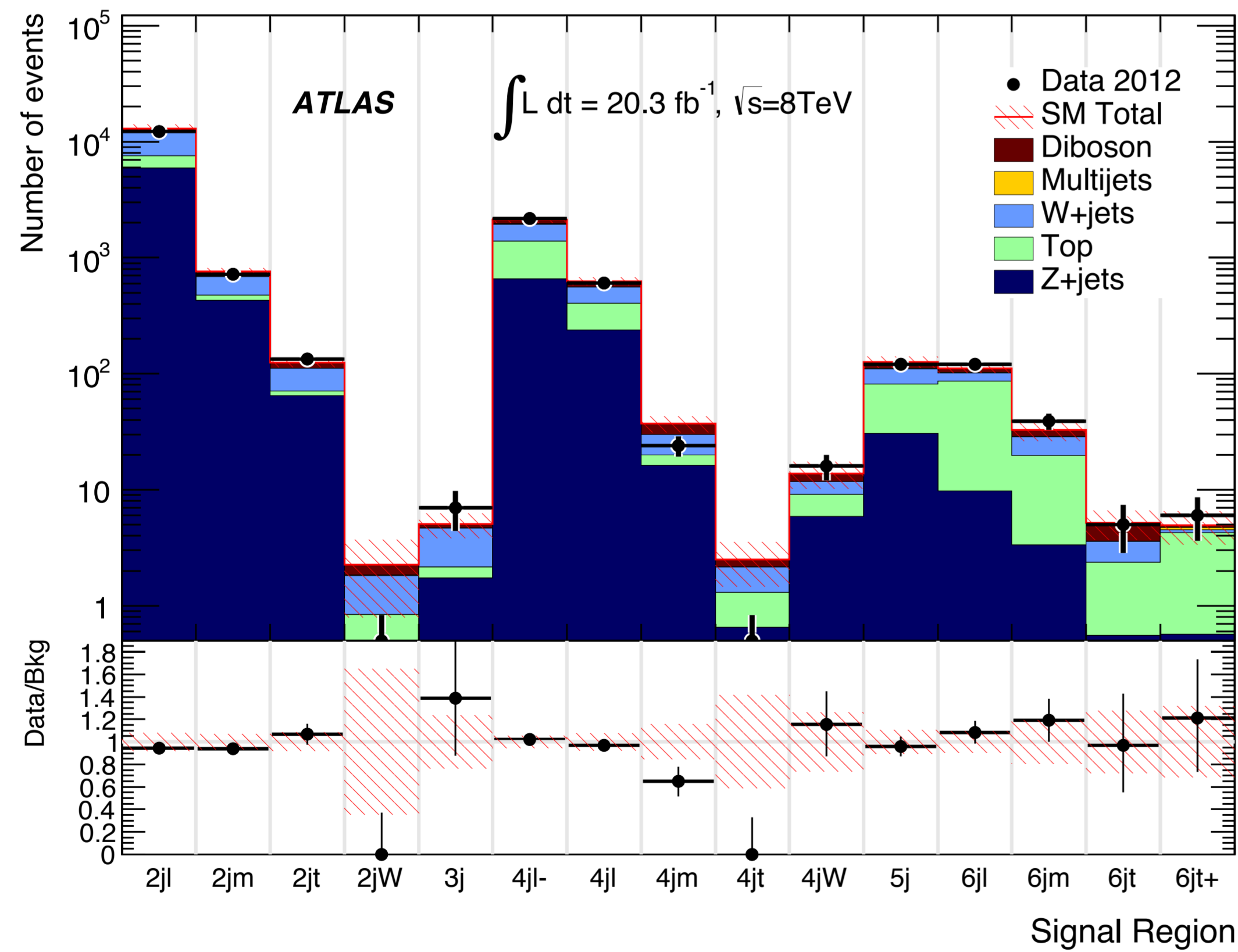
the experimental and MC statistical uncertainties  
the total uncertainty



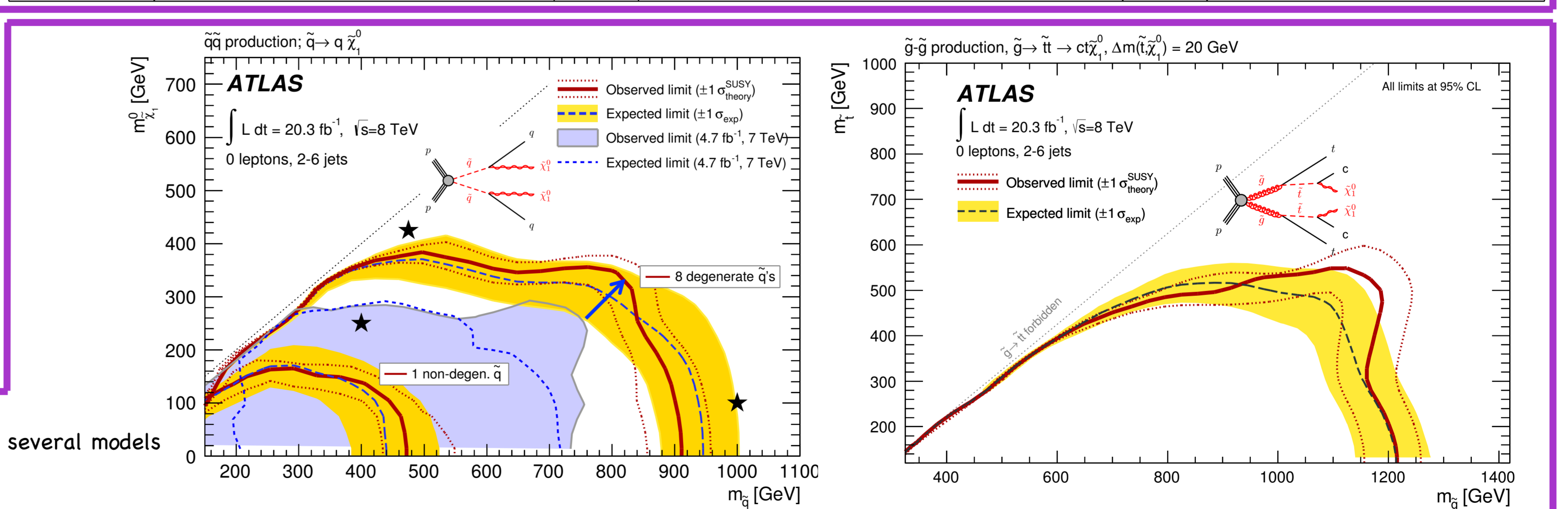
## Validation regions (VR)

- The results of the fit are cross checked in Validation regions
- Orthogonal both to CRs and SRs
- Validate the predictions:
  - from CR $\gamma$  using Z( $\rightarrow l\nu$ )+jets
  - from CRT and CRW requiring hadronically decaying taus...
- The differences between the numbers of observed and expected events expressed as fractions of the 1 $\sigma$  uncertainties on the latter  $\frac{n_{\text{expected}} - n_{\text{observed}}}{\sigma_{\text{total}}}$
- Most VR observations lie within 1 $\sigma$  of the background expectations

## Results



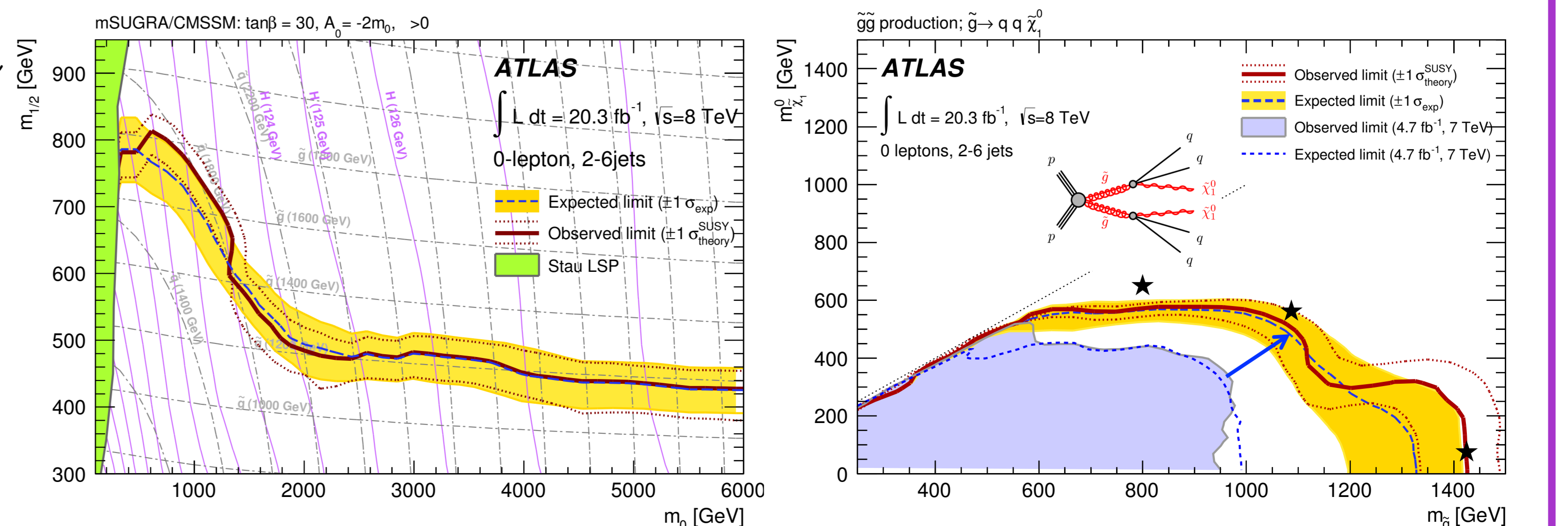
Description	Channel														
	2j	2jm	2jt	2j(W)	3j	4j	4jm	4jt	4j(W)	5j	6j	6jm	6jt	6jt+	
$E_T^{\text{miss}}(\text{GeV}) >$	160														
$p_T(j_1)(\text{GeV}) >$	130														
$p_T(j_2)(\text{GeV}) >$	60				60					60				60	
W candidates				2 W $\rightarrow$ j						W $\rightarrow$ j + W $\rightarrow$ jj					
$\Delta\phi(j_{2,3}, E_T^{\text{miss}}) >$	0.4														
$\Delta\phi(j_{3,4}, E_T^{\text{miss}}) >$	0.2														
$E_T^{\text{miss}}/\sqrt{H_T} >$	8	15	15			10	10			0.2	0.2	0.2	0.2	0.15	
$E_T^{\text{miss}}/m_{\text{eff}}(N\text{jet}) >$				0.25	0.3			0.4	0.25	0.35	0.2	0.2	0.2	0.25	0.15
$\langle\sigma\rangle_{\text{obs}}^{\text{95}}[\text{fb}]$	62	3.98	1.8	0.12	0.40	13	4.3	0.45	0.12	0.63	1.6	1.8	1.1	0.30	0.36
$\sigma_{\text{obs}}^{\text{95}}$	1259	81	37	2.5	8.1	268	87	9.2	2.5	13	32	37	22	6.1	7.3
$\sigma_{\text{exp}}^{\text{95}}$	1586 <sup>+560</sup> <sub>-430</sub>	105 <sup>+39</sup> <sub>-29</sub>	31 <sup>+12</sup> <sub>-8</sub>	4.1 <sup>+2.4</sup> <sub>-1.4</sub>	6.3 <sup>+3.2</sup> <sub>-2.0</sub>	242 <sup>+87</sup> <sub>-65</sub>	97 <sup>+35</sup> <sub>-25</sub>	15 <sup>+6</sup> <sub>-4</sub>	4.0 <sup>+2.4</sup> <sub>-1.4</sub>	11 <sup>+5</sup> <sub>-3</sub>	35 <sup>+13</sup> <sub>-10</sub>	30 <sup>+12</sup> <sub>-8</sub>	18 <sup>+7</sup> <sub>-5</sub>	6.3 <sup>+3.1</sup> <sub>-2.0</sub>	6.4 <sup>+3.2</sup> <sub>-2.0</sub>
$p_0(Z)$	0.50(0.0)	0.49(0.0)	0.29(0.5)	0.50(0.0)	0.24(0.7)	0.35(0.4)	0.50(0.0)	0.50(0.0)	0.50(0.0)	0.34(0.4)	0.50(0.0)	0.27(0.6)	0.25(0.7)	0.50(0.0)	0.36(0.4)



No significant excess  $\rightarrow$  Results are interpreted in terms of limits on several models

## Interpretations

- The results of exclusion fits in all the SRs are used to compute limits in several slices of the SUSY parameter spaces
- The combined limits were achieved choosing the best expected signal region per model point
- Limits are shown for:
  - mSUGRA model: squarks and gluinos of equal mass are excluded for masses below 1650 GeV
  - Simplified models in which only direct production of gluino pairs, gluino squark pairs or light-flavour squark pairs are considered
    - all other superpartners, except for the neutralino LSP  $\tilde{\chi}_1^0$  are decoupled thereby forcing each lightflavour squark or gluino to decay directly to one or more quarks and a  $\tilde{\chi}_1^0$
    - Direct squark pair production limits are shown for 8 degenerate squarks, as well as for 1 nondegenerate squark (8 times lower xsec)
    - When the  $\tilde{\chi}_1^0$  is massless the limit on the gluino mass is 1400 GeV, and the limit on the squark mass is 900 GeV



Deepak Kar  
deepak.kar@cern.ch

Marija Marjanović  
marija.marjanovic@cern.ch

## How tuning is done?

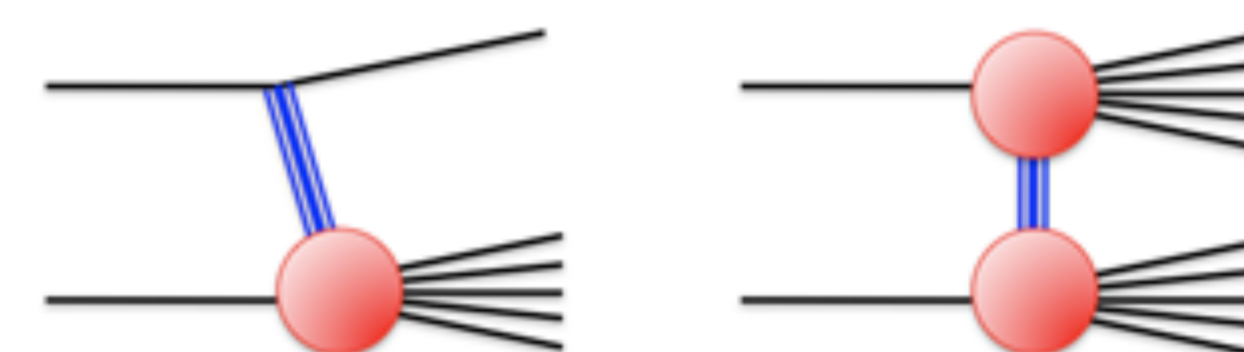
- Goal is to obtain better description of the data with the Monte Carlo generators
  - > Adjust the free parameters
- Define parameters one wants to tune
- Then define ranges of the values of the parameters
- Randomly choose several hundreds of points in that parameter space
- Generate events with that set of parameters - runs
- Interpolate between generated runs
- Put more weight on the distributions we care about
- Then one comes up with the actual tune!
- Using Rivet for generating distributions and Professor for tuning

## Minimum-Bias Tuning

- Minimum-bias: events collected with (ideally) totally inclusive trigger, in principle contains all types of interactions proportionally to their natural production rate
- Tuning of Pythia8 to minimum-bias data => needed for pile-up overlay
- A single tune can't describe both underlying event and minimum-bias data
- Complete minimum-bias retune to available data underway

## What is new?

- Included diffraction models not used before! (We tested PomFlux 2,3,4 and 5)
- Allow diffractive cross sections to float in order to better fit forward /backward ratios
- Hopefully modifying diffractive /non diffractive ratio might open things a bit
- Keep the total cross section unchanged
- It might give us more flexibility in the tunes, especially in things like the rapidity gap and transverse energy flow distributions
- Running the cross sections as tuning variables
- Varying 8 parameters (4 mpi, 2 diffractive, 2 xsections)
- Also MSTW2008 and CTEQ pdfs

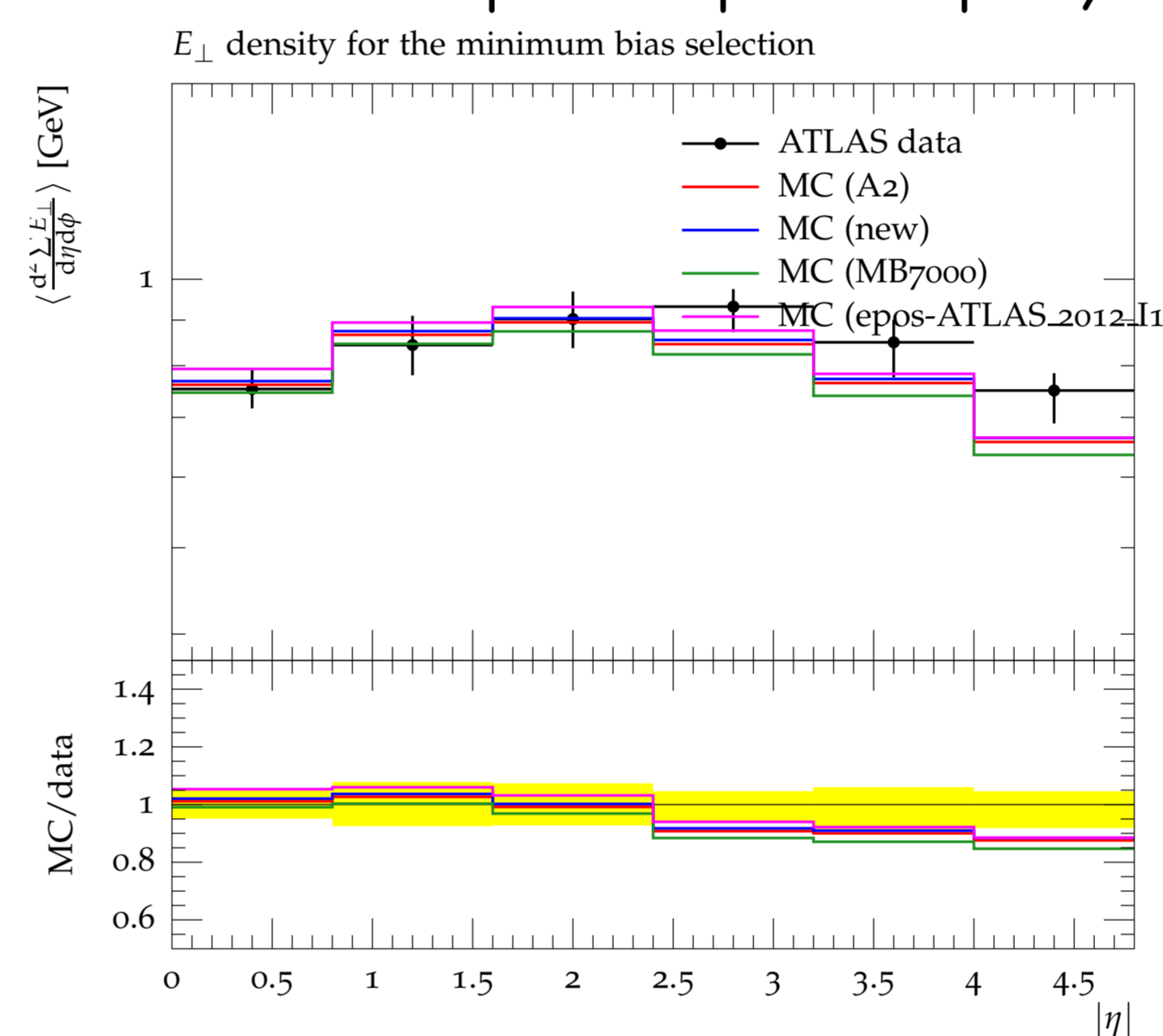


## Cross sections

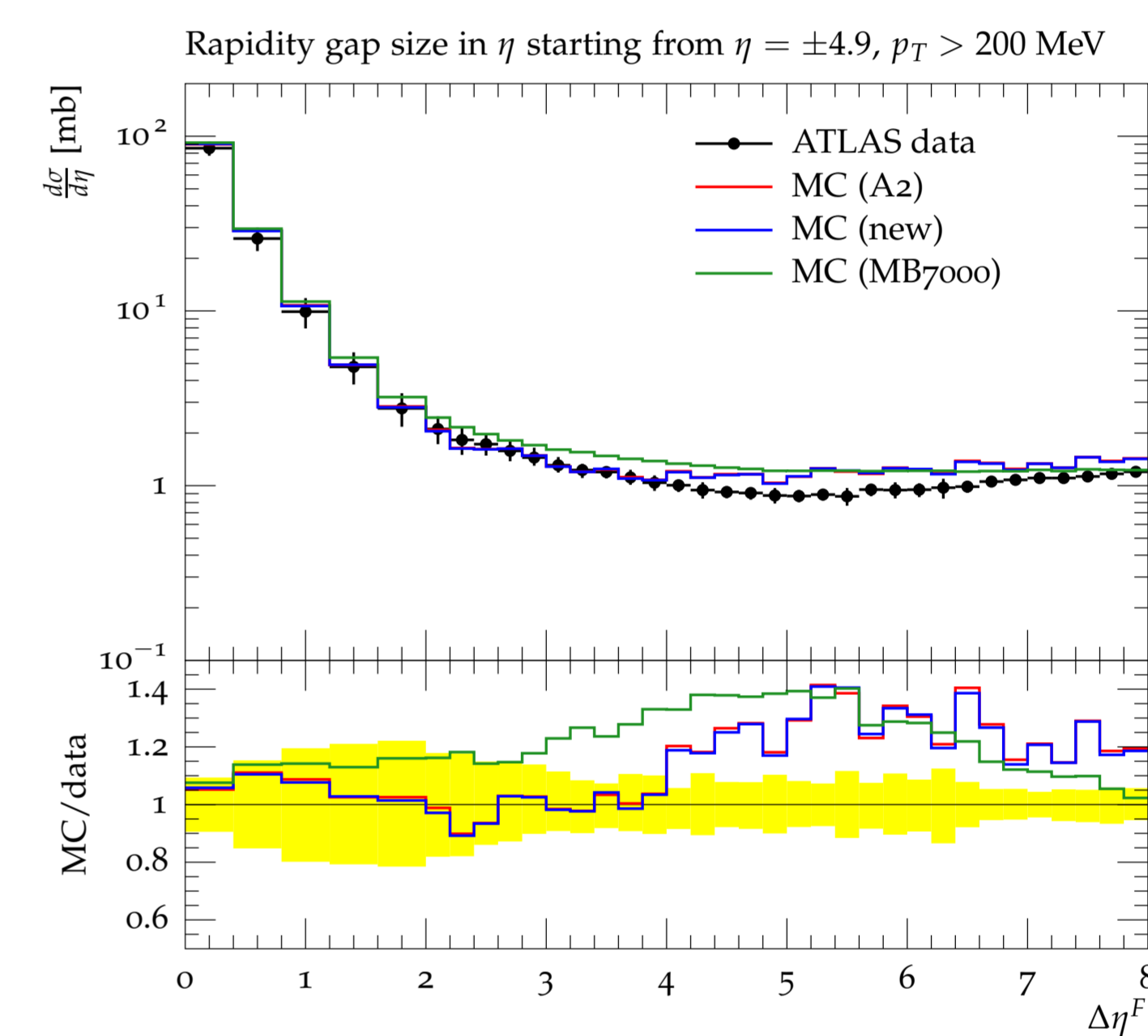
- Set values for the corresponding cross sections
- Set values for total, elastic and central diffractive cross section
- Let single diffractive cross sections (XB and AX) float but keep them the same : one parameter!
- Single diffractive cross section AX:  $A + B \rightarrow A + X$
- Single diffractive cross section XB:  $A + B \rightarrow X + B$
- The total cross section subtracted by the elastic and various diffractive ones gives the inelastic nondiffractive cross section, which therefore is not set separately.

## Important distributions we try to get right

The measurement of the sum of the transverse energy of particles as a function of the particle pseudorapidity

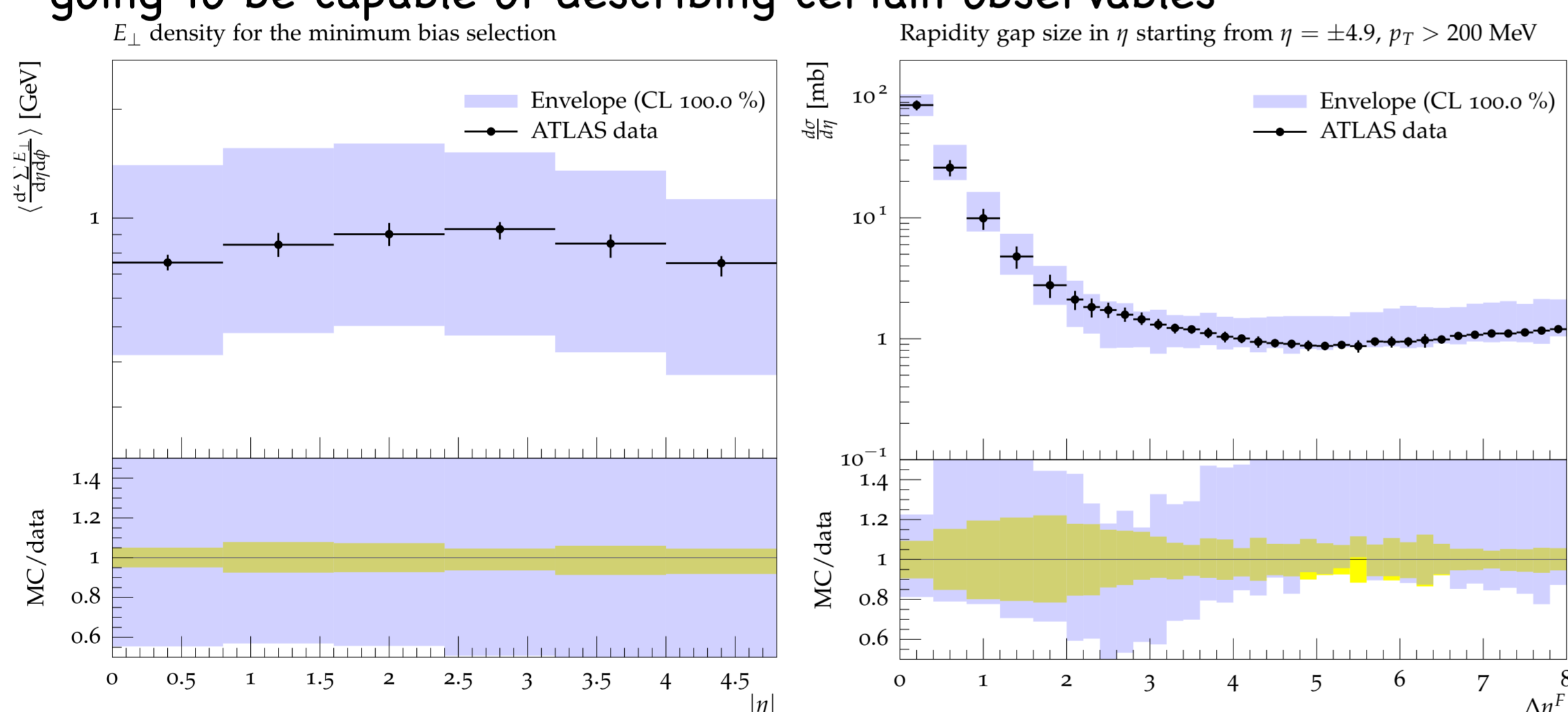


Pseudorapidity gap distributions

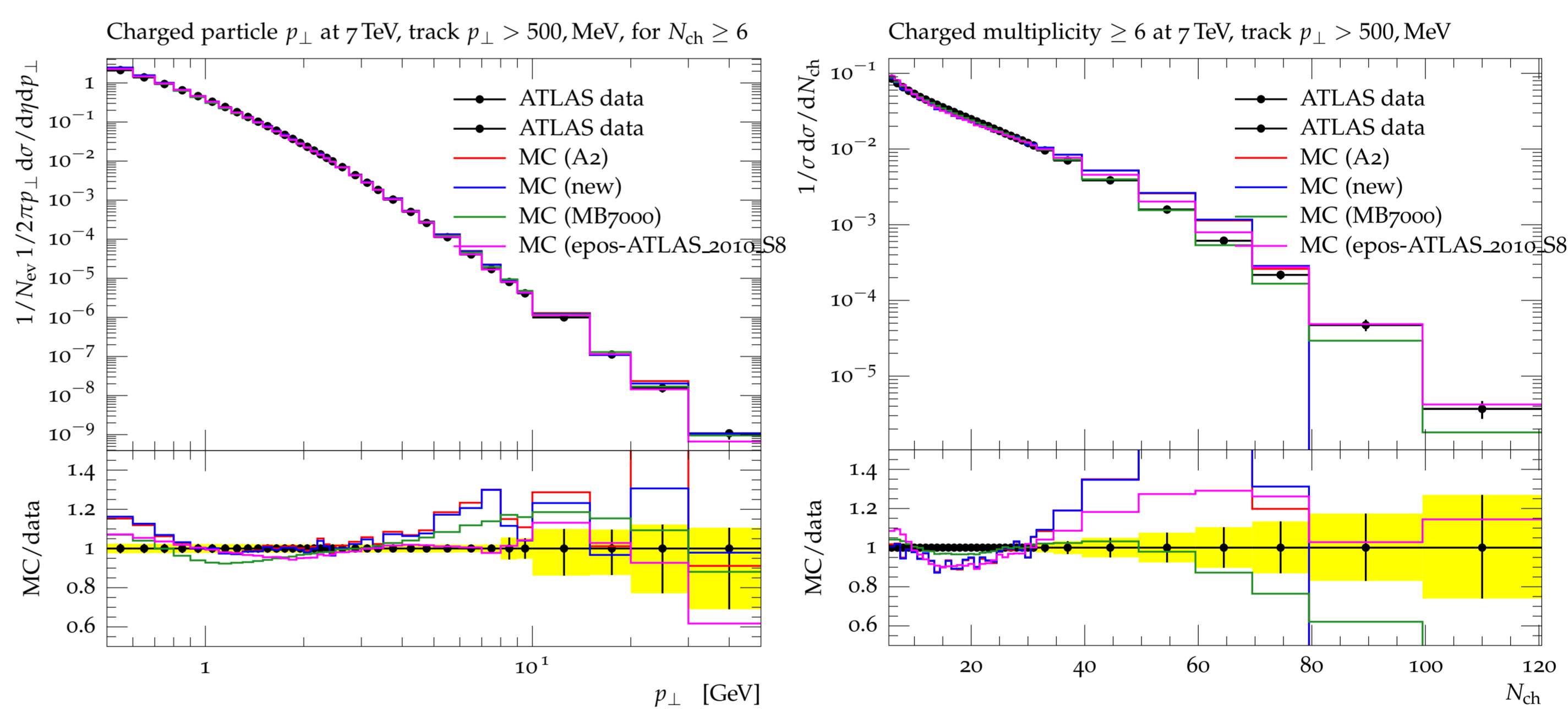


## Envelopes

- Show the range of variation available on observable histograms
- It is important to know whether the sampled MC parameter space is ever going to be capable of describing certain observables

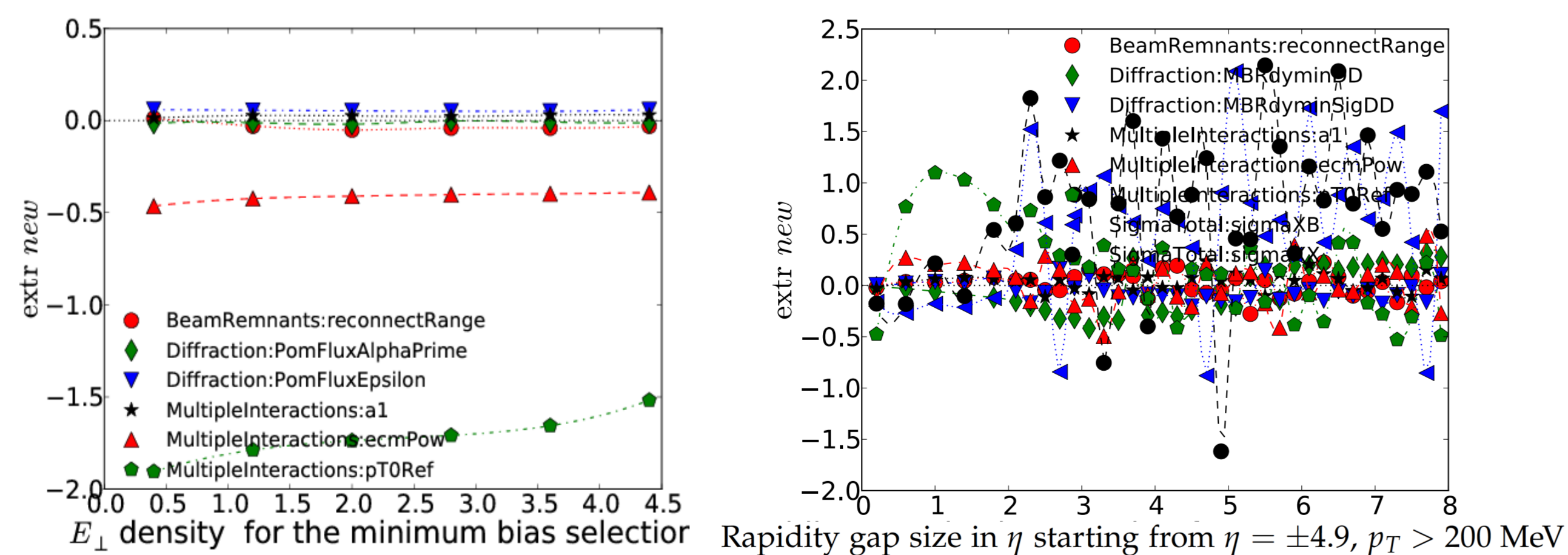


## Events collected using a minimum-bias trigger



## Sensitivities

- Help you decide which observables should be included in the tune
- Show the sensitivity of a data bin to the model parameters
- Can help you to identify parameters that are less important and might be excluded in a tune and to identify observables that can be used to constrain parameters



### Fixed parameters

SoftQCD:minBias	on
SoftQCD:singleDiffractive	on
SoftQCD:doubleDiffractive	on
Tune:pp	8
SigmaDiffractive:dampen	off
Diffraction:PomFlux	5
SigmaTotal:setOwn	on
SigmaTotal:sigmaTot	98.30
SigmaTotal:sigmaEI	27.20
SigmaTotal:sigmaAXB	0.80

### Varied parameters

MultipleInteractions:a1	0.0	0.4
MultipleInteractions:pT0Ref	1.3	2.8
MultipleInteractions:ecmPow	0.13	0.32
BeamRemnants:reconnectRange	1	10
Diffraction:MBRdyminDD	0.0	5.0
Diffraction:MBRdyminSigDD	0.001	5.0
SigmaTotal:sigmaXB =	4.72	5.77
SigmaTotal:sigmaXX	7.93	9.70

## Conclusion and outlook

- The new diffractive model makes quite a difference to the rapidity gap measurement, but otherwise it is hard to see a difference between the tunes
- Revisit the minimum-bias plots where diffraction plays a significant role => continue to improve the tune
- Next steps => try with different pdfs

## ПОТРАГА ЗА СКВАРКОВИМА И ГЛУИНИМА НА АТЛАС ДЕТЕКТОРУ У ПРОТОН-ПРОТОН СУДАРИМА НА ЕНЕРГИЈИ ЦЕНТРА МАСЕ ОД $\sqrt{s} = 8$ TEV

М. Марјановић<sup>1,2\*</sup>, Д. Поповић<sup>1†</sup>, М. Врањеш Милосављевић<sup>3‡</sup>

1) Институт за физику, Универзитет у Београду

2) Универзитет Париз-Суд 11 (ЛАЛ), Париз

3) Национални институт за субатомску физику (НИКХЕФ), Амстердам

e-mail: \* marjanovic@ipb.ac.rs

† popovic@ipb.ac.rs

‡ marijam@nikhef.nl

**Апстракт.** У овом раду су представљени резултати потраге за продукцијом суперсиметричних честица, скваркова и глуина, у финалним стањима са џетовима, недостајућим трансверзалним импулсом и без високоенергетских електрона и миона. Подаци су прикупљени помоћу АТЛАС детектора у протон-протон сударима на енергији центра масе од  $\sqrt{s} = 8$  TeV на Великом хадронском сударачу (LHC) у ЦЕРН-у. Резултати су добијени коришћењем  $5.8 \text{ fb}^{-1}$  података прикупљених током 2012. године. Није уочено неслагање са предвиђањима Стандардног модела. Под претпоставком да је неутрално безмасена честица, постојање глуина масе мање од 1100 GeV је искључено са нивоом поверења од 95% у поједностављеном моделу који садржи само глуине и најлакши неутрално. У минималном моделу супергравитације, mSUGRA/cMSSM са  $\tan \beta = 10$ ,  $A_0 = 0$  and  $\mu > 0$ , искључено је постојање скваркова и глуина једнаких маса испод 1500 GeV. Ове границе представљају значајан помак у односу на претходна мерења на АТЛАС детектору.

### 1. УВОД

Многа проширења Стандардног модела (SM) укључују тешке честице, од којих би неке могле бити доступне на енергијама Великог хадронског сударача. Скваркови и глуини које предвиђају теорије суперсиметрије (SUSY) [1] су неке од тих честица. Овај рад описује потрагу за скварковима и глуинима на АТЛАС детектору у финалним стањима која се састоје само од џетова и великог недостајућег трансверзалног импулса. Интересовање за ово финално стање је мотивисано великим бројем модела који претпостављају очување P-парности у којима скваркови и глуини могу бити произведени само у паровима и могу да се распадне у слабоинтерагујуће неутралине који пролазе кроз детектор без интеракција. Анализа у овом раду базирана је на искључиво на хадронским финалним стањима. Догађаји са реконструисаним електронима и мионима нису разматрани. Стратегија потраге је оптимизирана за максимални домет открића за велики спектар модела. Иако су интерпретирани у оквиру SUSY модела, добијени резултати су релевантни за ограничавање било ког модела нове физике који предвиђа продукцију џетова у пратњи недостајућег трансверзалног импулса.

2. ДЕФИНИЦИЈЕ СИГНАЛНИХ И КОНТРОЛНИХ РЕГИОНА

Ова анализа има за циљ потрагу за тешким SUSY честицама које се распадају на цетове и неутрине, слабоинтерагујуће суперсиметричне честице о чијем присуству у догађају закључујемо кроз велики недостајући импулс. Основна варијабла коришћена за разликовање SUSY сигнала од фонских SM процеса је „ефективна маса“,  $m_{eff}$ . Ова варијабла је дефинисана као скаларна сума трансверзалних импулса најенергичнијих цетова у догађају и недостајуће трансверзалне енергије. У случају присуства тешких SUSY честица, вредност  $m_{eff}$  је знатно већа од вредности која би се очекивала само од произведених честица SM-а. Поред ове основне варијабле, за потискивање фонских процеса користе се однос недостајућег импулса и ефективне масе,  $E_T^{miss}/m_{eff}$ , као и азимутални угао између правца водећа три цета и недостајућег импулса. Ове варијабле су нарочито дизајниране за потискивање догађаја који потичу из директне мулти-цет продукције. У зависности од тога да ли је у догађају произведен пар SUSY скваркова или глуина, као и од начина на који се распадају ове честице, очекивани број високоенергетских цетова у финалном стању се разликује. Из тог разлога дефинисано је пет инклузивних канала, означених са А до Е, и одређених повећањем броја цетова од два до шест, као што је показано у Табели 1.

ТАБЕЛА 1. Селекциони критеријуми који одређују канале анализе

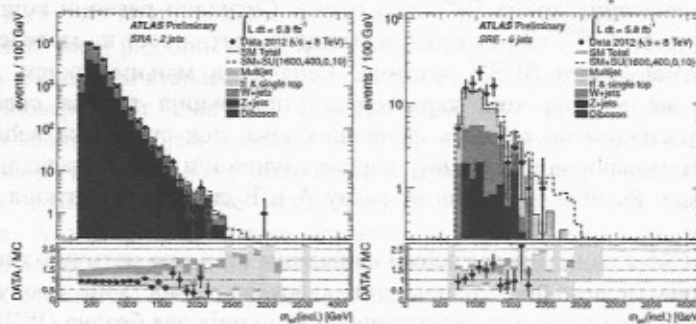
услов	канал				
	А (2 цета)	Б (3 цета)	Ц (4 цета)	Д (5 цетова)	Е (6 цетова)
$E_T^{miss} [GeV] >$	160				
$p_T(\text{цет}_1) [GeV] >$	130				
$p_T(\text{цет}_{2-6}) [GeV] >$	60	60	60	60	60
$\Delta\phi(\text{цет}_i, E_T^{miss})_{\text{min}} [\text{rad}] >$	0.4 ( $i = \{1,2,3\}$ ), 0.2 ( $p_T > 40 \text{ GeV}$ )				
$E_T^{miss}/m_{eff} >$	0.3/0.4/0.4	0.25/0.3/-	0.25/0.3/0.3	0.15	0.15/0.25/0.3
$m_{eff} [GeV] >$	1900/1300/1000	1900/1300/-	1900/1300/1000	1700/-/-	1400/1300/1000

Сваки канал се користи за конструисање између једног и три сигнална региона „tight“, „medium“ и „loose“ који се разликују по захтевима које задовољава селекција према  $E_T^{miss}/m_{eff}$  и  $m_{eff}$ . Сигнални региони који захтевају велике вредности  $E_T^{miss}/m_{eff}$  су оптимизовани за осетљивост на моделе са малом разликом између маса SUSY честица. Канали са мањим бројем цетова су фокусирани на моделе које карактеришу продукција парова скваркова са директним распадом на тражена финална стања, док су они са већим бројем цетова оптимизовани за продукцију парова глуина и/или дуге каскадне распаде SUSY честица. Расподела  $m_{eff}$  на примеру А и Е сигналних региона дата је на Слици 1.

Процеси SM-а са истим траженим финалним стањима потичу од продукције W и Z бозона са цетовима, парова топ кваркова, самосталне продукције топ кварка и директне мулти-цет продукције. Продукција два бозона (WW, WZ, ZZ) је занемарива компонента. Већина фонских процеса у распадима W бозона потиче од  $W \rightarrow \tau + \nu$ , или од  $W \rightarrow e(\mu) + \nu$  код којих електрон или мион није

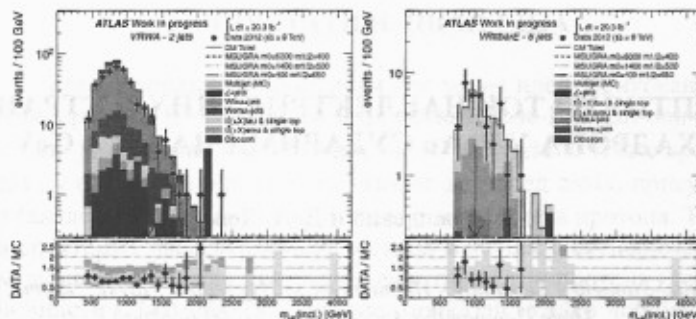
реконструисан. Највећи део догађаја који долазе од  $Z$  бозона потиче од процеса у којима се  $Z$  распада на пар неутрина, који генеришу велику недостајућу трансверзалну енергију. Продукција парова топ кваркова праћена семилептонским распадом  $W$  бозона, може такође генерисати велику недостајућу трансверзалну енергију и проћи све захтеве који су наметнути на џетове и лептоне у незанемаривом броју. Мулти-џет продукција у сигналним регионима потиче од непрецизно измерене енергије џетова у калориметру што доводи до привидне недостајуће трансверзалне енергије, као и због продукције неутрина у семилептонским распадима тешких кваркова.

Детаљна процена броја фонских догађаја очекиваних у сигналним регионима добијена је из догађаја присутних у контролним регионима дефинисаним за сваки доминантан  $SM$  процес и Монте Карло симулацијама. Контролни региони за доминантне фонске процесе дефинисани су за сваки сигнални регион и засновани на кинематичкој селекцији сличној селекцији догађаја у сигналним регионима. Догађаји са једним лептоном ( $e$  или  $\mu$ ), где је потом лептон третиран као џет у селекцији догађаја коришћени су за процену фона који потиче из продукције  $W$  бозона са џетовима, као и за процену догађаја из парова топ кваркова са пропратним семилептонским распадом  $W$  бозона. Догађаји са фотонима и џетовима у финалном стању, у којима је фотон третиран као недетектабилна честица (недостајући трансверзални импулс) коришћени су за процену фона који потиче из продукције  $Z$  бозона са џетовима. Детаљнији опис селекције објеката у контролним регионима дат је у референци [2]. Додатне провере су рађене и у више валидационих региона који су одабрани тако да се минимално преклапају са контролним регионима. Један од додатака анализи су и валидациони региони у којима доминирају тау лептони из распада  $W$  бозона или из распада парова топ кваркова. Потреба за овако одређеним кинематичким регионима је уочена пошто је претходно показано да су тау лептони најчешће преостале честице у сигналним регионима после примене комплетне селекције у трагању за  $SUSY$  сигналом. Новоуведени региони (Слика 2) коришћени су за процену и ограничење фона који потиче од продукције  $W$  бозона и парова топ кваркова.



СЛИКА 1. Распдела ефективне масе у сигналним регионима са 2 и 6 џетова [2].

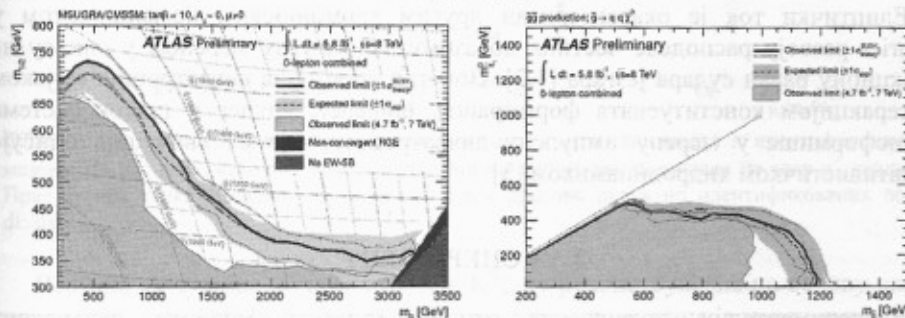




СЛИКА 2. Распредела ефективне масе у валидационим регионима са 2 и 6 џетова [2].

### 3. РЕЗУЛТАТИ И ЗАКЉУЧАК

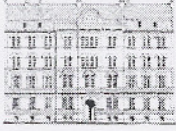
У посматраним каналима није уочено одступање броја догађаја од предвиђеног СМ-ом. Постављене су границе на параметре више SUSY модела. У mSUGRA моделу вредности  $m_{1/2} < 350$  GeV су искључене са нивоом поверења од 95% за све вредности  $m_0$ , и  $m_{1/2} < 740$  GeV за мале  $m_0$ . Једнаке масе скваркова и глуина су искључене испод 1500 GeV. Када је неутралино безмасен, масе глуина испод 1100 GeV су такође искључене са нивоом поверења од 95% у моделу који садржи само глуине и најлакши неутралино. За поједностављен модел који предвиђа продукцију скваркова прве две генерације масе скваркова испод 630 GeV су искључене [2]. Све границе су значајно померене у односу на претходне које су поставили АТЛАС [3] и други експерименти.



СЛИКА 3. Области искључења на примеру mSUGRA/cMSSM модела (лево) и модела који садржи само глуине и најлакши неутралино (десно) [2].

### ЛИТЕРАТУРА

[1] P. Fayet, Phys. Lett. B 69 (1977) 489, Phys. Lett. B 76 (1978) 575, Phys. Lett. B 84 (1979) 416, Phys. Lett. B 64 (1976) 159.  
 [2] ATLAS Collaboration, Search for squarks and gluinos using final states with jets and missing transverse momentum at  $\sqrt{s} = 8$  TeV, ATLAS-CONF-2012-109 (2012).  
 [3] ATLAS Collaboration, Search for squarks and gluinos with the ATLAS detector in final states with jets and missing transverse momentum using 4.7 fb<sup>-1</sup> of  $\sqrt{s} = 7$  TeV proton-proton collision data, Phys. Rev. D 87, 012008 (2013), arXiv:1208.0949 [hep-ex].



Република Србија  
Универзитет у Београду  
Физички факултет  
Д.Бр.2011/8027  
Датум: 09.07.2014. године

На основу члана 161 Закона о општем управном поступку и службене евиденције издаје се

### УВЕРЕЊЕ

**Марјановић (Драган) Марија**, бр. индекса 2011/8027, рођена 27.11.1984. године, Београд, Београд-Савски Венац, Република Србија, уписана школске 2013/2014. године, у статусу: финансирање из буџета; тип студија: докторске академске студије; студијски програм: Физика.

Према Статуту факултета студије трају (број година): null.  
Рок за завршетак студија: у двоструком трајању студија.

Ово се уверење може употребити за регулисање војне обавезе, издавање визе, права на дечији додатак, породичне пензије, инвалидског додатка, добијања здравствене књижице, легитимације за повлашћену возњу и стипендије.



Овлашћено лице факултета