

Transverse energy analysis of relativistic heavy ion collisions through the use of identified particles spectra

A Thesis Presented for the
Master of Science
Degree
The University of Tennessee, Knoxville

Biswas Sharma

May 2018

© by Biswas Sharma, 2018
All Rights Reserved.

Table of Contents

1	Introduction	1
2	Method	5
	Bibliography	8
	Appendices	34

List of Tables

List of Figures

1.1	Schematic of the QCD phase diagram [5].	2
-----	---	---

Chapter 1

Introduction

One of the main focuses of current experimental and theoretical nuclear physics research is the study of the phase diagram of nuclear matter at a range of temperatures and baryon chemical potentials. In experiments involving the collisions of heavy ions at high and low energies, different regions of the phase diagram can be probed by varying the collision energy [3]. For instance, the high-baryon chemical potential regime corresponds to lower beam energies and higher temperatures correspond to higher beam energies. The results of these experiments and model calculations can be used to study the nature of transitions in the phase diagram.

Quantum chromodynamics (QCD) – the gauge theory of strong interaction [11, 17] – predicts a phase transition, at energy densities above $0.2\text{-}1\text{ GeV/fm}^3$ [1] and around a critical temperature of about 200 MeV [12], of nuclear matter to a phase with quarks and gluons in thermal and chemical equilibrium representing the relevant degrees of freedom and behaving like an almost perfect quantum fluid [7]. This deconfined state of quarks and gluons, which is what the weakening of the strong interaction due to the polarization of the QCD vacuum is expected to lead to at high energies, is termed the quark-gluon plasma (QGP) in analogy to the quantum electrodynamical plasma phase of matter. The expectation of this phase transition also makes sense in terms of the chiral symmetry of the QCD Lagrangian, which is spontaneously broken at low temperatures, but restored at high temperatures, providing a sufficient condition for the deconfinement.

A schematic representing the QCD phase diagram on the temperature (T) and quark chemical potential (μ) plane is shown in Figure 1.1 [5]. A second-order transition

is predicted at low baryon chemical potentials (close to baryon-antibaryon symmetry) and high temperatures reminiscent of the early universe but within reach at modern facilities, specifically the Relativistic Heavy Ion Collider (RHIC) at the Brookhaven National Laboratory and the Large Hadron Collider (LHC) at CERN. At low temperatures and high chemical potentials, loose predictions have been made regarding the existence of exotic phases of high density matter, and programs, such as the Compressed Baryonic Matter experiment at the Facility for Antiproton and Ion Research in Germany, are being designed to study this region of the phase diagram.

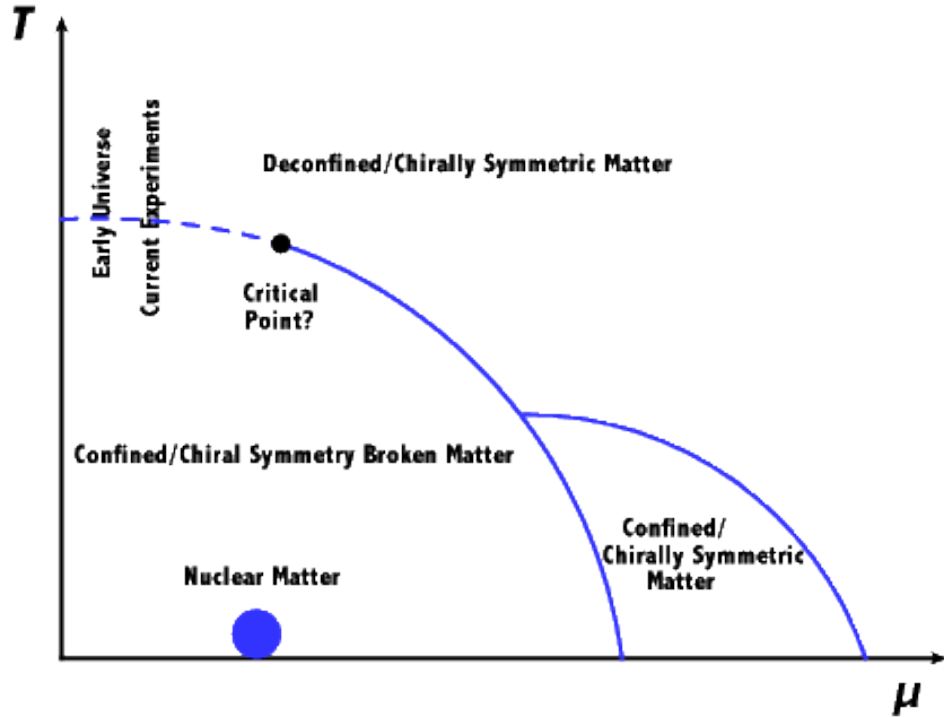


Figure 1.1: Schematic of the QCD phase diagram [5].

The existence and properties of the QGP in the aftermath of high-energy heavy-ion collisions can be probed using different techniques relevant to several theoretical characteristics of the phase. For instance, the interacting nuclei carry no net strangeness before colliding, and so a post-collision observation of strange and multi-strange particles can be a trigger for an antecedent existence of deconfined quarks and gluons [9]. This trigger,

when complemented with an observation of the suppression of J/ψ production, provides a strong hint of the formation of QGP. This can be further complemented with the estimate of the energy density and the temperature attained after the collision.

Analyses of experimental results have thus far provided signatures of the formation of matter with partonic degrees of freedom at the early stages of the collisions. Such signatures include a diminished multiplicity of high-transverse momentum p_T (transverse with respect to the beam axis) hadrons in heavy ion collisions as compared to scaled p-p collisions as well as the differences between the elliptic flows associated with baryons and mesons at intermediate p_T [2]. Experiments also reveal the initial energy density of this matter to be about two orders of magnitude larger than that of low energy nuclear matter – comfortably more than the deconfinement phase transition critical density predicted by lattice QCD [10].

The state of the colliding nuclei before the collision at LHC and top RHIC energies has indications of being a Color Glass Condensate – strongly interacting, weakly coupled highly coherent gluonic matter [13]. The characteristics of the initial states of these nuclei affect the partonic distributions within the nuclei and ultimately the products of the collision. The collision products are also affected by variables such as the initial energy and entropy densities of the partonic matter [10].

Different observables can be used to study different aspects of heavy ion collisions. The charged particle multiplicity, $\langle N_{ch} \rangle$, is a global variable that relates to the entropy production during the collision (analysis note). The transverse energy, E_T , a global variable related to $\langle N_{ch} \rangle$, provides information about the conversion of the initial beam-direction kinetic energy into energy flowing in the transverse direction after the collision. Together, the studies of the fluctuation of the $\langle N_{ch} \rangle$ and the E_T pseudorapidity [footnote] density with respect to the beam energy and the collision centrality [footnote] help probe the characteristics of the initial conditions at the time of the collision. One can study, for instance, the distinctions between models based on quark participants against those based on nucleon participants [analysis note]. These quantities can also lead to the rough estimate of the initial energy density through the use of the Bjorken formula [14]:

$$\epsilon \geq \frac{\frac{dE_T}{d\eta}}{\tau_0 \pi R^2} = \frac{3}{2} \left\langle \frac{E_T}{N} \right\rangle \frac{\frac{dN_{ch}}{d\eta}}{\tau_0 \pi R^2} \quad (1.1)$$

The transverse energy and the charged particle pseudorapidity densities have conventionally been calculated by using the transverse energy measurements obtained from calorimeters. This thesis details the use of particle spectra, reported as $\frac{d^2N}{dydp_T}$, from Au+Au collisions at RHIC to calculate the same global variables and serve as a method to cross check the ones involving calorimeters.

The organization of the thesis is as follows. Chapter II contains brief descriptions of different conventional methods used to estimate E_T as well as an elaboration of the method specific to this thesis.

Chapter 2

Method

In theory, E_T from a collision can be defined as the sum of the transverse masses, m_T , of all the particles produced in the collision, i.e.,

$$E_T \equiv \sum_i m_{T,i} \quad (2.1)$$

with

$$m_T \equiv \sqrt{p_T^2 + m^2} \quad (2.2)$$

where m is the rest mass of the particle and p_T is its transverse momentum. Using this definition to calculate the E_T requires perfect identification of all the particles. It has not been possible to do so in experiments, and so a more feasible, operational definition of E_T is fabricated. A commonly accepted definition in case of the feasibility of calorimetric measurements is [4, 13]:

$$E_T = \sum_i E_i \sin \theta_i, \quad (2.3)$$

$$\frac{dE_T}{d\eta} = \sin \theta \frac{dE}{d\eta}, \quad (2.4)$$

where the index i runs over all the particles going into a fixed solid angle for each event, θ is the polar angle, i.e, the angle with respect to the beam axis, η is the pseudorapidity defined as

$$\eta \equiv -\ln \tan \frac{\theta}{2}, \quad (2.5)$$

and E_i is the energy deposited in the calorimeter by the i^{th} particle. E_i is considered to be, by convention [4]???, the following

$$E_i = \begin{cases} E_i^{tot} - m_0 & \text{for baryons} \\ E_i^{tot} + m_0 & \text{for anti-baryons} \\ E_i^{tot} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2.6)$$

where E_i^{tot} is the total energy of the i^{th} particle defined canonically as

$$E^{tot} \equiv \sqrt{p^2 + m_0^2} \quad (2.7)$$

and m_0 is the particle's rest mass. In order to account for the particles that are not identified by the calorimeters, corrections are made based on GEANT simulations of the collision and detection physics using models of the nucleus such as the Glauber model. (Doesn't that mean we use the model to make corrections in the analysis and the result of the analysis to judge the model???)

Corrections to account for unidentified particles are made for the tracking detectors also, but these turn out to be less than those made in case of the calorimeters. Hence, if the tracking detectors are able to give any information that can be used to estimate the total E_T , then we should be able to get a better estimate of the total ET than we would if we used the calorimeters. In fact, the tracking detectors in experiments such as the STAR (Solenoidal Tracker At RHIC) experiment and ALICE (A Large Ion Collider Experiment) at CERN include Time Projection Chambers (TPCs) and Time-of-Flight (TOF) detectors that can give us the pT spectra, yields and particle ratios of the identified charged hadrons [16, 2]. The TPCs provide measurements of particle trajectories – that can be used to determine the momenta for low-momentum particles – and of their specific energy loss,

$$\frac{dE}{dx}, \quad (2.8)$$

which can be used with the trajectories to make particle identifications using the Bethe-Bloch formula [6]. TOF detectors, on the other hand, cover the high-momentum part of

the measurements. In ALICE, the combination of the measurements of the TPC with those of the Inner Tracking System (ITS) effectively adds the tracking length, thereby improving the resolution of the measured p_T spectrum. Details about the particle identification and momentum determination capabilities of the detectors in ALICE can be found in [8].

In the STAR experiment, the TPC is the primary tracking detector. It is 4.2 m long and it cylindrically enshrouds the beam pipe from its outside, with an inner diameter of 1 m and an outer diameter of 4 m [15]. !!!!!!!! more details about the TPC, then its limitation in high momentum resolution, then transition to TOF and some of its details !!!!!!!!

Bibliography

- [1] Adam, J., Adamova, D., Aggarwal, M. M., Aglieri Rinella, G., Agnello, M., Agrawal, N., Ahammed, Z., Ahmad, S., Ahn, S. U., Aiola, S., Akindinov, A., Alam, S. N., Silva De Albuquerque, D., Aleksandrov, D., Alessandro, B., Alexandre, D., Alfaro Molina, J. R., Alici, A., Alkin, A., Millan Almaraz, J. R., Alme, J., Alt, T., Altinpinar, S., Altsybeev, I., Alves Garcia Prado, C., Andrei, C., Andronic, A., Anguelov, V., Anticic, T., Antinori, F., Antonioli, P., Aphecetche, L. B., Appelshaeuser, H., Arcelli, S., Arnaldi, R., Arnold, O. W., Arsene, I. C., Arslanodok, M., Audurier, B., Augustinus, A., Averbek, R. P., Azmi, M. D., Badala, A., Baek, Y. W., Bagnasco, S., Bailhache, R. M., Bala, R., Balasubramanian, S., Baldisseri, A., Baral, R. C., Barbano, A. M., Barbera, R., Barile, F., Barnafoldi, G. G., Barnby, L. S., Ramillien Barret, V., Bartalini, P., Barth, K., Bartke, J. G., Bartsch, E., Basile, M., Bastid, N., Basu, S., Bathen, B., Batigne, G., Batista Camejo, A., Batyunya, B., Batzing, P. C., Bearden, I. G., Beck, H., Bedda, C., Behera, N. K., Belikov, I., Bellini, F., Bello Martinez, H., Bellwied, R., Belmont Iii, R. J., Belmont Moreno, E., Belyaev, V., Bencedi, G., Beole, S., Berceanu, I., Bercuci, A., Berdnikov, Y., Berenyi, D., Bertens, R. A., Berzano, D., Betev, L., Bhasin, A., Bhat, I. R., Bhati, A. K., Bhattacharjee, B., Bhom, J., Bianchi, L., Bianchi, N., Bianchin, C., Bielcik, J., Bielcikova, J., Bilandzic, A., Biro, G., Biswas, R., Biswas, S., Bjelogric, S., Blair, J. T., Blau, D., Blume, C., Bock, F., Bogdanov, A., Boggild, H., Boldizar, L., Bombara, M., Book, J. H., Borel, H., Borissov, A., Borri, M., Bossu, F., Botta, E., Bourjau, C., Braun-Munzinger, P., Bregant, M., Breitner, T. G., Broker, T. A., Browning, T. A., Broz, M., Brucken, E. J., Bruna, E., Bruno, G. E., Budnikov, D., Buesching, H., Bufalino, S., Buncic, P., Busch, O., Buthelezi, E. Z., Bashir Butt, J., Buxton, J. T., Cabala, J., Caffarri, D., Cai, X., Caines, H. L., Calero Diaz, L., Caliva, A., Calvo Villar, E., Camerini, P., Carena, F., Carena, W., Carnesecchi, F., Castillo Castellanos, J. E., Castro, A. J., Casula, E. A. R., Ceballos Sanchez, C., Cepila, J., Cerello, P., Cercala, J., Chang, B., Chapeland, S., Chartier, M., Charvet, J.-L. F., Chattopadhyay, S., Chattopadhyay, S., Chauvin, A., Chelnokov, V., Cherney, M. G., Cheshkov, C. V., Cheynis, B., Chibante Barroso, V. M., Dobrigkeit Chinellato, D., Cho, S., Chochula, P., Choi, K., Chojnacki, M., Choudhury, S., Christakoglou, P., Christensen, C. H., Christiansen, P., Chujo, T., Chung, S.-U., Cicalo, C., Cifarelli, L., Cindolo, F., Cleymans, J. W. A., Colamaria, F. F., Colella, D., Collu, A.,

Colocci, M., Conesa Balbastre, G., Conesa Del Valle, Z., Connors, M. E., Contreras Nuno, J. G., Cormier, T. M., Corrales Morales, Y., Cortes Maldonado, I., Cortese, P., Cosentino, M. R., Costa, F., Crochet, P., Cruz Albino, R., Cuautle Flores, E., Cunqueiro Mendez, L., Dahms, T., Dainese, A., Danisch, M. C., Danu, A., Das, D., Das, I., Das, S., Dash, A. K., Dash, S., De, S., De Caro, A., De Cataldo, G., De Conti, C., De Cuveland, J., De Falco, A., De Gruttola, D., De Marco, N., De Pasquale, S., Deisting, A., Deloff, A., Denes, E. S., Deplano, C., Dhankher, P., Di Bari, D., Di Mauro, A., Di Nezza, P., Diaz Corchero, M. A., Dietel, T., Dillenseger, P., Divia, R., Djuvsland, O., Dobrin, A. F., Domenicis Gimenez, D., Donigus, B., Dordic, O., Drozhzhova, T., Dubey, A. K., Dubla, A., Ducroux, L., Dupieux, P., Ehlers Iii, R. J., Elia, D., Endress, E., Engel, H., Epple, E., Erasmus, B. E., Erdemir, I., Erhardt, F., Espagnon, B., Estienne, M. D., Esumi, S., Eum, J., Evans, D., Evdokimov, S., Eyyubova, G., Fabbietti, L., Fabris, D., Faivre, J., Fantoni, A., Fasel, M., Feldkamp, L., Feliciello, A., Feofilov, G., Ferencei, J., Fernandez Tellez, A., Gonzalez Ferreiro, E., Ferretti, A., Festanti, A., Feuillard, V. J. G., Figiel, J., Araujo Silva Figueredo, M., Filchagin, S., Finogeev, D., Fionda, F., Fiore, E. M., Fleck, M. G., Floris, M., Foertsch, S. V., Foka, P., Fokin, S., Fragiaco, E., Francescon, A., Frankenfeld, U. M., Fronze, G. G., Fuchs, U., Furget, C., Furs, A., Fusco Girard, M., Gaardhoeje, J. J., Gagliardi, M., Gago Medina, A. M., Gallio, M., Gangadharan, D. R., Ganoti, P., Gao, C., Garabatos Cuadrado, J., Garcia-Solis, E. J., Gargiulo, C., Gasik, P. J., Gauger, E. F., Germain, M., Gheata, M., Ghosh, P., Ghosh, S. K., Gianotti, P., Giubellino, P., Giubilato, P., Gladysz-Dziadus, E., Glassel, P., Gomez Coral, D. M., Gomez Ramirez, A., Sanchez Gonzalez, A., Gonzalez, V., Gonzalez Zamora, P., Gorbunov, S., Gorlich, L. M., Gotovac, S., Grabski, V., Grachov, O. A., Graczykowski, L. K., Graham, K. L., Grelli, A., Grigoras, A. G., Grigoras, C., Grigoryev, V., Grigoryan, A., Grigoryan, S., Grynyov, B., Grion, N., Gronefeld, J. M., Grosse-Oetringhaus, J. F., Grosso, R., Guber, F., Guernane, R., Guerzoni, B., Gulbrandsen, K. H., Gunji, T., Gupta, A., Gupta, R., Haake, R., Haaland, O. S., Hadjidakis, C. M., Haiduc, M., Hamagaki, H., Hamar, G., Hamon, J. C., Harris, J. W., Harton, A. V., Hatzifotiadou, D., Hayashi, S., Heckel, S. T., Hellbar, E., Helstrup, H., Herghelegiu, A. I., Herrera Corral, G. A., Hess, B. A., Hetland, K. F., Hillemanns, H., Hippolyte, B., Horak, D., Hosokawa, R., Hristov, P. Z., Humanic,

T., Hussain, N., Hussain, T., Hutter, D., Hwang, D. S., Ilkaev, R., Inaba, M., Incani, E., Ippolitov, M., Irfan, M., Ivanov, M., Ivanov, V., Izucheev, V., Jacazio, N., Jacobs, P. M., Jadhav, M. B., Jadlovská, S., Jadlovsky, J., Jahnke, C., Jakubowska, M. J., Jang, H. J., Janik, M. A., Pahula Hewage, S., Jena, C., Jena, S., Jimenez Bustamante, R. T., Jones, P. G., Jusko, A., Kalinak, P., Kalweit, A. P., Kamin, J. A., Kang, J. H., Kaplin, V., Kar, S., Karasu Uysal, A., Karavichev, O., Karavicheva, T., Karayan, L., Karpechev, E., Kebschull, U. W., Keidel, R., Keijdenier, D. L., Keil, M., Khan, M. M., Khan, P., Khan, S. A., Khanzadeev, A., Kharlov, Y., Kileng, B., Kim, D. W., Kim, D. J., Kim, D., Kim, H., Kim, J., Kim, M., Kim, S. Y., Kim, T., Kirsch, S., Kisel, I., Kiselev, S., Kisiel, A. R., Kiss, G., Klay, J. L., Klein, C., Klein, J., Klein-Boesing, C., Klewin, S., Kluge, A., Knichel, M. L., Knospe, A. G., Kobdaj, C., Kofarago, M., Kollegger, T., Kolozhvari, A., Kondratev, V., Kondratyeva, N., Kondratyuk, E., Konevskikh, A., Kopcik, M., Kostarakis, P., Kour, M., Kouzinopoulos, C., Kovalenko, O., Kovalenko, V., Kowalski, M., Koyithatta Meethaleveedu, G., Kralik, I., Kravcakova, A., Krivda, M., Krizek, F., Kryshen, E., Krzewicki, M., Kubera, A. M., Kucera, V., Kuhn, C. C., Kuijer, P. G., Kumar, A., Kumar, J., Kumar, L., Kumar, S., Kurashvili, P., Kurepin, A., Kurepin, A., Kuryakin, A., Kweon, M. J., Kwon, Y., La Pointe, S. L., La Rocca, P., Ladron De Guevara, P., Lagana Fernandes, C., Lakomov, I., Langoy, R., Lapidus, K., Lara Martinez, C. E., Lardeux, A. X., Lattuca, A., Laudi, E., Lea, R., Leardini, L., Lee, G. R., Lee, S., Lehas, F., Lemmon, R. C., Lenti, V., Leogrande, E., Leon Monzon, I., Leon Vargas, H., Leoncino, M., Levai, P., Li, S., Li, X., Lien, J. A., Lietava, R., Lindal, S., Lindenstruth, V., Lippmann, C., Lisa, M. A., Ljunggren, H. M., Lodato, D. F., Lonne, P.-I., Loginov, V., Loizides, C., Lopez, X. B., Lopez Torres, E., Lowe, A. J., Luettig, P. J., Lunardon, M., Luparello, G., Lutz, T. H., Maevskaya, A., Mager, M., Mahajan, S., Mahmood, S. M., Maire, A., Majka, R. D., Malaev, M., Maldonado Cervantes, I. A., Malinina, L., Mal'Kevich, D., Malzacher, P., Mamonov, A., Manko, V., Manso, F., Manzari, V., Marchisone, M., Mares, J., Margagliotti, G. V., Margotti, A., Margutti, J., Marin, A. M., Markert, C., Marquard, M., Martin, N. A., Martin Blanco, J., Martinengo, P., Martinez Hernandez, M. I., Martinez-Garcia, G., Martinez Pedreira, M., Mas, A. J.-M., Masciocchi, S., Masera, M., Masoni, A., Mastroserio, A., Matyja, A. T., Mayer, C., Mazer, J. A., Mazzoni,

A. M., Mcdonald, D., Meddi, F., Melikyan, Y., Menchaca-Rocha, A. A., Meninno, E.,
 Mercado-Perez, J., Meres, M., Miake, Y., Mieskolainen, M. M., Mikhaylov, K., Milano,
 L., Milosevic, J., Mischke, A., Mishra, A. N., Miskowiec, D. C., Mitra, J., Mitu, C. M.,
 Mohammadi, N., Mohanty, B., Molnar, L., Montano Zetina, L. M., Montes Prado, E.,
 Moreira De Godoy, D. A., Perez Moreno, L. A., Moretto, S., Morreale, A., Morsch, A.,
 Muccifora, V., Mudnic, E., Muhlheim, D. M., Muhuri, S., Mukherjee, M., Mulligan, J. D.,
 Gameiro Munhoz, M., Munzer, R. H., Murakami, H., Murray, S., Musa, L., Musinsky,
 J., Naik, B., Nair, R., Nandi, B. K., Nania, R., Nappi, E., Naru, M. U., Ferreira Natal
 Da Luz, P. H., Nattrass, C., Rosado Navarro, S., Nayak, K., Nayak, R., Nayak, T. K.,
 Nazarenko, S., Nedosekin, A., Nellen, L., Ng, F., Nicassio, M., Niculescu, M., Niedziela,
 J., Nielsen, B. S., Nikolaev, S., Nikulin, S., Nikulin, V., Noferini, F., Nomokonov, P.,
 Nooren, G., Cabanillas Noris, J. C., Norman, J., Nyanin, A., Nystrand, J. I., Oeschler,
 H. O., Oh, S., Oh, S. K., Ohlson, A. E., Okatan, A., Okubo, T., Olah, L., Oleniacz,
 J., Oliveira Da Silva, A. C., Oliver, M. H., Onderwaater, J., Oppedisano, C., Orava, R.,
 Oravec, M., Ortiz Velasquez, A., Oskarsson, A. N. E., Otwinowski, J. T., Oyama, K.,
 Ozdemir, M., Pachmayer, Y. C., Pagano, D., Pagano, P., Paic, G., Pal, S. K., Pan, J.,
 Pandey, A. K., Papikyan, V., Pappalardo, G., Pareek, P., Park, W., Parmar, S., Passfeld,
 A., Paticchio, V., Patra, R. N., Paul, B., Pei, H., Peitzmann, T., Pereira Da Costa, H.
 D. A., Peresunko, D. Y., Perez Lara, C. E., Perez Lezama, E., Peskov, V., Pestov, Y.,
 Petracek, V., Petrov, V., Petrovici, M., Petta, C., Piano, S., Pikna, M., Pillot, P., Ozelin
 De Lima Pimentel, L., Pinazza, O., Pinsky, L., Piyaathana, D., Ploskon, M. A., Planinic,
 M., Pluta, J. M., Pochybova, S., Podesta Lerma, P. L. M., Poghosyan, M., Polishchuk,
 B., Poljak, N., Poonsawat, W., Pop, A., Porteboeuf, S. J., Porter, R. J., Pospisil, J.,
 Prasad, S. K., Preghenella, R., Prino, F., Pruneau, C. A., Pshenichnov, I., Puccio, M.,
 Puddu, G., Pujahari, P. R., Punin, V., Putschke, J. H., Qvigstad, H., Rachevski, A., Raha,
 S., Rajput, S., Rak, J., Rakotozafindrabe, A. M., Ramello, L., Rami, F., Raniwala, R.,
 Raniwala, S., Rasanen, S. S., Rascanu, B. T., Rathee, D., Read, K. F., Redlich, K., Reed,
 R. J., Rehman, A. U., Reichelt, P. S., Reidt, F., Ren, X., Renfordt, R. A. E., Reolon, A. R.,
 Reshetin, A., Reygers, K. J., Riabov, V., Ricci, R. A., Richert, T. O. H., Richter, M. R.,
 Riedler, P., Riegler, W., Riggi, F., Ristea, C.-L., Rocco, E., Rodriguez Cahuantzi, M.,

Rodriguez Manso, A., Roeed, K., Rogochaya, E., Rohr, D. M., Roehrich, D., Ronchetti, F., Ronflette, L., Rosnet, P., Rossi, A., Roukoutakis, F., Roy, A., Roy, C. S., Roy, P. K., Rubio Montero, A. J., Rui, R., Russo, R., Di Ruzza, B., Ryabinkin, E., Ryabov, Y., Rybicki, A., Saarinen, S., Sadhu, S., Sadovskiy, S., Safarik, K., Sahlmuller, B., Sahoo, P., Sahoo, R., Sahoo, S., Sahu, P. K., Saini, J., Sakai, S., Saleh, M. A., Salzwedel, J. S. N., Sambyal, S. S., Samsonov, V., Sandor, L., Sandoval, A., Sano, M., Sarkar, D., Sarkar, N., Sarma, P., Scapparone, E., Scarlassara, F., Schiaua, C. C., Schicker, R. M., Schmidt, C. J., Schmidt, H. R., Schuchmann, S., Schukraft, J., Schulc, M., Schutz, Y. R., Schwarz, K. E., Schweda, K. O., Scioli, G., Scomparin, E., Scott, R. M., Sefcik, M., Seger, J. E., Sekiguchi, Y., Sekihata, D., Selyuzhenkov, I., Senosi, K., Senyukov, S., Serradilla Rodriguez, E., Sevcenco, A., Shabanov, A., Shabetai, A., Shadura, O., Shahoyan, R., Shahzad, M. I., Shangaraev, A., Sharma, A., Sharma, M., Sharma, M., Sharma, N., Sheikh, A. I., Shigaki, K., Shou, Q., Shtejer Diaz, K., Sibiryak, Y., Siddhanta, S., Sielewicz, K. M., Siemiarczuk, T., Silvermyr, D. O. R., Silvestre, C. M., Simatovic, G., Simonetti, G., Singaraju, R. N., Singh, R., Singha, S., Singhal, V., Sinha, B., Sarkar Sinha, T., Sitar, B., Sitta, M., Skaali, B., Slupecki, M., Smirnov, N., Snellings, R., Snellman, T. W., Song, J., Song, M., Song, Z., Soramel, F., Sorensen, S. P., Derradi De Souza, R., Sozzi, F., Spacek, M., Spiriti, E., Sputowska, I. A., Spyropoulou-Stassinaki, M., Stachel, J., Stan, I., Stankus, P., Stenlund, E. A., Steyn, G. F., Stiller, J. H., Stocco, D., Strmen, P., Alarcon Do Passo Suaide, A., Sugitate, T., Suire, C. P., Suleymanov, M. K. O., Suljic, M., Sultanov, R., Sumbera, M., Sumowidagdo, S., Szabo, A., Szanto De Toledo, A., Szarka, I., Szczepankiewicz, A., Szymanski, M. P., Tabassam, U., Takahashi, J., Tambave, G. J., Tanaka, N., Tarhini, M., Tariq, M., Tarzila, M.-G., Tauro, A., Tejeda Munoz, G., Telesca, A., Terasaki, K., Terrevoli, C., Teyssier, B., Thaeder, J. M., Thakur, D., Thomas, D., Tieulent, R. N., Tikhonov, A., Timmins, A. R., Toia, A., Trogolo, S., Trombetta, G., Trubnikov, V., Trzaska, W. H., Tsuji, T., Tumkin, A., Turrisi, R., Tveter, T. S., Ullaland, K., Uras, A., Usai, G., Utrobicic, A., Vala, M., Valencia Palomo, L., Vallero, S., Van Der Maarel, J., Van Hoorne, J. W., Van Leeuwen, M., Vanat, T., Vande Vyvre, P., Varga, D., Diozcora Vargas Trevino, A., Vargyas, M., Varma, R., Vasileiou, M., Vasiliev, A., Vauthier, A., Vazquez Doce, O., Vechernin, V., Veen, A. M., Veldhoen, M., Velure, A., Vercellin, E.,

Vergara Limon, S., Vernet, R., Verweij, M., Vickovic, L., Viinikainen, J. S., Vilakazi, Z., Villalobos Baillie, O., Villatoro Tello, A., Vinogradov, A., Vinogradov, L., Vinogradov, Y., Virgili, T., Vislavicius, V., Viyogi, Y., Vodopyanov, A., Volkl, M. A., Voloshin, K., Voloshin, S., Volpe, G., Von Haller, B., Vorobyev, I., Vranic, D., Vrlakova, J., Vulpescu, B., Wagner, B., Wagner, J., Wang, H., Wang, M., Watanabe, D., Watanabe, Y., Weber, M., Weber, S. G., Weiser, D. F., Wessels, J. P., Westerhoff, U., Whitehead, A. M., Wiechula, J., Wikne, J., Wilk, G. A., Wilkinson, J. J., Williams, C., Windelband, B. S., Winn, M. A., Yang, P., Yano, S., Yasin, Z., Yin, Z., Yokoyama, H., Yoo, I.-K., Yoon, J. H., Yurchenko, V., Yushmanov, I., Zaborowska, A., Zaccolo, V., Zaman, A., Zampolli, C., Correia Zanolini, H. J., Zaporozhets, S., Zardoshti, N., Zarochentsev, A., Zavada, P., Zavyalov, N., Zbroszczyk, H. P., Zgura, S. I., Zhalov, M., Zhang, H., Zhang, X., Zhang, Y., Chunchui, Z., Zhang, Z., Zhao, C., Zhigareva, N., Zhou, D., Zhou, Y., Zhou, Z., Zhu, H., Zhu, J., Zichichi, A., Zimmermann, A., Zimmermann, M. B., Zinovjev, G., and Zyzak, M. (2016). Measurement of transverse energy at midrapidity in Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV. *Phys. Rev. C*, 94(CERN-EP-2016-071. CERN-EP-2016-071):034903. 30 p. 30 pages, 14 captioned figures, 2 tables, authors from page 25, published version, figures at <http://aliceinfo.cern.ch/ArtSubmission/node/2400>. 1

- [2] Adamczyk, L., Adkins, J. K., Agakishiev, G., Aggarwal, M. M., Ahammed, Z., Ajitanand, N. N., Alekseev, I., Anderson, D. M., Aoyama, R., Aparin, A., Arkhipkin, D., Aschenauer, E. C., Ashraf, M. U., Attri, A., Averichev, G. S., Bai, X., Bairathi, V., Behera, A., Bellwied, R., Bhasin, A., Bhati, A. K., Bhattarai, P., Bielcik, J., Bielcikova, J., Bland, L. C., Bordyuzhin, I. G., Bouchet, J., Brandenburg, J. D., Brandin, A. V., Brown, D., Bunzarov, I., Butterworth, J., Caines, H., Calderón de la Barca Sánchez, M., Campbell, J. M., Cebra, D., Chakaberia, I., Chaloupka, P., Chang, Z., Chankova-Bunzarova, N., Chatterjee, A., Chattopadhyay, S., Chen, X., Chen, J. H., Chen, X., Cheng, J., Cherney, M., Christie, W., Contin, G., Crawford, H. J., Das, S., De Silva, L. C., Debbe, R. R., Dedovich, T. G., Deng, J., Derevschikov, A. A., Didenko, L., Dilks, C., Dong, X., Drachenberg, J. L., Draper, J. E., Dunkelberger, L. E., Dunlop, J. C., Efimov, L. G., Elsey, N., Engelage, J., Eppley, G., Esha, R., Esumi, S., Evdokimov, O., Ewigleben,

J., Eyser, O., Fatemi, R., Fazio, S., Federic, P., Federicova, P., Fedorisin, J., Feng, Z., Filip, P., Finch, E., Fisyak, Y., Flores, C. E., Fulek, L., Gagliardi, C. A., Garand, D., Geurts, F., Gibson, A., Girard, M., Grosnick, D., Gunarathne, D. S., Guo, Y., Gupta, A., Gupta, S., Guryn, W., Hamad, A. I., Hamed, A., Harlenderova, A., Harris, J. W., He, L., Heppelmann, S., Heppelmann, S., Hirsch, A., Hoffmann, G. W., Horvat, S., Huang, T., Huang, B., Huang, X., Huang, H. Z., Humanic, T. J., Huo, P., Igo, G., Jacobs, W. W., Jentsch, A., Jia, J., Jiang, K., Jowzaee, S., Judd, E. G., Kabana, S., Kalinkin, D., Kang, K., Kauder, K., Ke, H. W., Keane, D., Kechechyan, A., Khan, Z., Kikoła, D. P., Kisel, I., Kisiel, A., Kochenda, L., Kocmanek, M., Kollegger, T., Kosarzewski, L. K., Kraishan, A. F., Kravtsov, P., Krueger, K., Kulathunga, N., Kumar, L., Kvapil, J., Kwasizur, J. H., Lacey, R., Landgraf, J. M., Landry, K. D., Lauret, J., Lebedev, A., Lednický, R., Lee, J. H., Li, X., Li, C., Li, W., Li, Y., Lidrych, J., Lin, T., Lisa, M. A., Liu, H., Liu, P., Liu, Y., Liu, F., Ljubicic, T., Llope, W. J., Lomnitz, M., Longacre, R. S., Luo, S., Luo, X., Ma, G. L., Ma, L., Ma, Y. G., Ma, R., Magdy, N., Majka, R., Mallick, D., Margetis, S., Markert, C., Matis, H. S., Meehan, K., Mei, J. C., Miller, Z. W., Minaev, N. G., Mioduszewski, S., Mishra, D., Mizuno, S., Mohanty, B., Mondal, M. M., Morozov, D. A., Mustafa, M. K., Nasim, M., Nayak, T. K., Nelson, J. M., Nie, M., Nigmatkulov, G., Niida, T., Nogach, L. V., Nonaka, T., Nurushev, S. B., Odyniec, G., Ogawa, A., Oh, K., Okorokov, V. A., Olvitt, D., Page, B. S., Pak, R., Pandit, Y., Panebratsev, Y., Pawlik, B., Pei, H., Perkins, C., Pile, P., Pluta, J., Poniatowska, K., Porter, J., Posik, M., Poskanzer, A. M., Pruthi, N. K., Przybycien, M., Putschke, J., Qiu, H., Quintero, A., Ramachandran, S., Ray, R. L., Reed, R., Rehbein, M. J., Ritter, H. G., Roberts, J. B., Rogachevskiy, O. V., Romero, J. L., Roth, J. D., Ruan, L., Rusnak, J., Rusnakova, O., Sahoo, N. R., Sahu, P. K., Salur, S., Sandweiss, J., Saur, M., Schambach, J., Schmäh, A. M., Schmidke, W. B., Schmitz, N., Schweid, B. R., Seger, J., Sergeeva, M., Seyboth, P., Shah, N., Shahaliev, E., Shanmuganathan, P. V., Shao, M., Sharma, A., Sharma, M. K., Shen, W. Q., Shi, Z., Shi, S. S., Shou, Q. Y., Sichtermann, E. P., Sikora, R., Simko, M., Singha, S., Skoby, M. J., Smirnov, N., Smirnov, D., Solyst, W., Song, L., Sorensen, P., Spinka, H. M., Srivastava, B., Stanislaus, T. D. S., Strikhanov, M., Stringfellow, B., Sugiura, T., Sumbera, M., Summa, B., Sun, Y., Sun, X. M., Sun, X., Surrow, B., Svirida,

D. N., Tang, A. H., Tang, Z., Taranenko, A., Tarnowsky, T., Tawfik, A., Thäder, J., Thomas, J. H., Timmins, A. R., Tlusty, D., Todoroki, T., Tokarev, M., Trentalange, S., Tribble, R. E., Tribedy, P., Tripathy, S. K., Trzeciak, B. A., Tsai, O. D., Ullrich, T., Underwood, D. G., Upsal, I., Van Buren, G., van Nieuwenhuizen, G., Vasiliev, A. N., Videbæk, F., Vokal, S., Voloshin, S. A., Vossen, A., Wang, G., Wang, Y., Wang, F., Wang, Y., Webb, J. C., Webb, G., Wen, L., Westfall, G. D., Wieman, H., Wissink, S. W., Witt, R., Wu, Y., Xiao, Z. G., Xie, W., Xie, G., Xu, J., Xu, N., Xu, Q. H., Xu, Y. F., Xu, Z., Yang, Y., Yang, Q., Yang, C., Yang, S., Ye, Z., Ye, Z., Yi, L., Yip, K., Yoo, I.-K., Yu, N., Zbroszczyk, H., Zha, W., Zhang, Z., Zhang, X. P., Zhang, J. B., Zhang, S., Zhang, J., Zhang, Y., Zhang, J., Zhang, S., Zhao, J., Zhong, C., Zhou, L., Zhou, C., Zhu, X., Zhu, Z., and Zyzak, M. (2017). Bulk properties of the medium produced in relativistic heavy-ion collisions from the beam energy scan program. *Phys. Rev. C*, 96:044904. 3, 6

- [3] Adare, A. et al. (2016). Transverse energy production and charged-particle multiplicity at midrapidity in various systems from $\sqrt{s_{NN}} = 7.7$ to 200 GeV. *Phys. Rev.*, C93(2):024901.

1

- [4] Adler, S. S., Afanasiev, S., Aidala, C., Ajitanand, N. N., Akiba, Y., Al-Jamel, A., Alexander, J., Aoki, K., Aphecetche, L., Armendariz, R., Aronson, S. H., Auerbeck, R., Awes, T. C., Azmoun, B., Babintsev, V., Baldissieri, A., Barish, K. N., Barnes, P. D., Bassalleck, B., Bathe, S., Batsouli, S., Baublis, V., Bauer, F., Bazilevsky, A., Belikov, S., Bennett, R., Berdnikov, Y., Bjorndal, M. T., Boissevain, J. G., Borel, H., Boyle, K., Brooks, M. L., Brown, D. S., Bruner, N., Bucher, D., Buesching, H., Bumazhnov, V., Bunce, G., Burward-Hoy, J. M., Butsyk, S., Camard, X., Campbell, S., Chai, J.-S., Chand, P., Chang, W. C., Chernichenko, S., Chi, C. Y., Chiba, J., Chiu, M., Choi, I. J., Choudhury, R. K., Chujo, T., Cianciolo, V., Cleven, C. R., Cobigo, Y., Cole, B. A., Comets, M. P., Constantin, P., Csanád, M., Csörgő, T., Cussonneau, J. P., Dahms, T., Das, K., David, G., Deák, F., Delagrange, H., Denisov, A., d’Enterria, D., Deshpande, A., Desmond, E. J., Devismes, A., Dietzsch, O., Dion, A., Drachenberg, J. L., Drapier, O., Drees, A., Dubey, A. K., Durum, A., Dutta, D., Dzhordzhadze, V., Efremenko, Y. V., Egdemir, J., Enokizono, A., En’yo, H., Espagnon, B., Esumi, S., Fields, D. E., Finck,

C., Fleuret, F., Fokin, S. L., Forestier, B., Fox, B. D., Fraenkel, Z., Frantz, J. E., Franz, A., Frawley, A. D., Fukao, Y., Fung, S.-Y., Gadrat, S., Gastineau, F., Germain, M., Glenn, A., Gonin, M., Gosset, J., Goto, Y., Granier de Cassagnac, R., Grau, N., Greene, S. V., Grosse Perdekamp, M., Gunji, T., Gustafsson, H.-A., Hachiya, T., Hadj Henni, A., Haggerty, J. S., Hagiwara, M. N., Hamagaki, H., Hansen, A. G., Harada, H., Hartouni, E. P., Haruna, K., Harvey, M., Haslum, E., Hasuko, K., Hayano, R., He, X., Heffner, M., Hemmick, T. K., Heuser, J. M., Hidas, P., Hiejima, H., Hill, J. C., Hobbs, R., Holmes, M., Holzmann, W., Homma, K., Hong, B., Hoover, A., Horaguchi, T., Hur, M. G., Ichihara, T., Inuma, H., Ikonnikov, V. V., Imai, K., Inaba, M., Inuzuka, M., Isenhowe, D., Isenhowe, L., Ishihara, M., Isobe, T., Issah, M., Isupov, A., Jacak, B. V., Jia, J., Jin, J., Jinnouchi, O., Johnson, B. M., Johnson, S. C., Joo, K. S., Jouan, D., Kajihara, F., Kametani, S., Kamihara, N., Kaneta, M., Kang, J. H., Katou, K., Kawabata, T., Kawagishi, T., Kazantsev, A. V., Kelly, S., Khachaturov, B., Khanzadeev, A., Kikuchi, J., Kim, D. J., Kim, E., Kim, E. J., Kim, G.-B., Kim, H. J., Kim, Y.-S., Kinney, E., Kiss, A., Kistenev, E., Kiyomichi, A., Klein-Boesing, C., Kobayashi, H., Kochenda, L., Kochetkov, V., Kohara, R., Komkov, B., Konno, M., Kotchetkov, D., Kozlov, A., Kroon, P. J., Kuberg, C. H., Kunde, G. J., Kurihara, N., Kurita, K., Kweon, M. J., Kwon, Y., Kyle, G. S., Lacey, R., Lajoie, J. G., Lebedev, A., Le Bornec, Y., Leckey, S., Lee, D. M., Lee, M. K., Leitch, M. J., Leite, M. A. L., Li, X. H., Lim, H., Litvinenko, A., Liu, M. X., Maguire, C. F., Makdisi, Y. I., Malakhov, A., Malik, M. D., Manko, V. I., Mao, Y., Martinez, G., Masui, H., Matathias, F., Matsumoto, T., McCain, M. C., McGaughey, P. L., Miake, Y., Miller, T. E., Milov, A., Mioduszewski, S., Mishra, G. C., Mitchell, J. T., Mohanty, A. K., Morrison, D. P., Moss, J. M., Moukhanova, T. V., Mukhopadhyay, D., Muniruzzaman, M., Murata, J., Nagamiya, S., Nagata, Y., Nagle, J. L., Naglis, M., Nakamura, T., Newby, J., Nguyen, M., Norman, B. E., Nyanin, A. S., Nystrand, J., O'Brien, E., Ogilvie, C. A., Ohnishi, H., Ojha, I. D., Okada, K., Omiwade, O. O., Oskarsson, A., Otterlund, I., Oyama, K., Ozawa, K., Pal, D., Palounek, A. P. T., Pantuev, V., Papavassiliou, V., Park, J., Park, W. J., Pate, S. F., Pei, H., Penev, V., Peng, J.-C., Pereira, H., Peresedov, V., Peressouko, D., Pierson, A., Pinkenburg, C., Pisani, R. P., Purschke, M. L., Purwar, A. K., Qu, H., Qualls, J. M., Rak, J., Ravinovich, I., Read, K. F., Reuter, M., Reygers, K., Riabov,

V., Riabov, Y., Roche, G., Romana, A., Rosati, M., Rosendahl, S. S. E., Rosnet, P., Rukoyatkin, P., Rykov, V. L., Ryu, S. S., Sahlmueller, B., Saito, N., Sakaguchi, T., Sakai, S., Samsonov, V., Sanfratello, L., Santo, R., Sarsour, M., Sato, H. D., Sato, S., Sawada, S., Schutz, Y., Semenov, V., Seto, R., Sharma, D., Shea, T. K., Shein, I., Shibata, T.-A., Shigaki, K., Shimomura, M., Shohjoh, T., Shoji, K., Sickles, A., Silva, C. L., Silvermyr, D., Sim, K. S., Singh, C. P., Singh, V., Skutnik, S., Smith, W. C., Soldatov, A., Soltz, R. A., Sondheim, W. E., Sorensen, S. P., Sourikova, I. V., Staley, F., Stankus, P. W., Stenlund, E., Stepanov, M., Ster, A., Stoll, S. P., Sugitate, T., Suire, C., Sullivan, J. P., Sziklai, J., Tabaru, T., Takagi, S., Takagui, E. M., Taketani, A., Tanaka, K. H., Tanaka, Y., Tanida, K., Tannenbaum, M. J., Taranenko, A., Tarján, P., Thomas, T. L., Togawa, M., Tojo, J., Torii, H., Towell, R. S., Tram, V.-N., Tserruya, I., Tsuchimoto, Y., Tuli, S. K., Tydesjö, H., Tyurin, N., Uam, T. J., Vale, C., Valle, H., van Hecke, H. W., Velkovska, J., Velkovsky, M., Vértési, R., Veszprémi, V., Vinogradov, A. A., Volkov, M. A., Vznuzdaev, E., Wagner, M., Wang, X. R., Watanabe, Y., Wessels, J., White, S. N., Willis, N., Winter, D., Wohn, F. K., Woody, C. L., Wysocki, M., Xie, W., Yanovich, A., Yokkaichi, S., Young, G. R., Younus, I., Yushmanov, I. E., Zajc, W. A., Zaudtke, O., Zhang, C., Zhou, S., Zimányi, J., Zolin, L., and Zong, X. (2014). Transverse-energy distributions at midrapidity in $p + p$, $d + \text{Au}$, and $\text{Au} + \text{Au}$ collisions at $\sqrt{s_{\text{NN}}} = 62.4 \sim 200$ gev and implications for particle-production models. *Phys. Rev. C*, 89:044905. 5, 6

- [5] Ayala, A. (2016). Hadronic matter at the edge: A survey of some theoretical approaches to the physics of the qcd phase diagram. *Journal of Physics: Conference Series*, 761(1):012066. v, 1, 2
- [6] Bethe, H. A. and Ashkin, J. (1953). Passage of radiations through matter experimental nuclear physics vol 1 ed e segre. 6
- [7] Chatrchyan, S., Khachatryan, V., Sirunyan, A. M., Tumasyan, A., Adam, W., Bergauer, T., Dragicevic, M., Erö, J., Fabjan, C., Friedl, M., Frühwirth, R., Ghete, V. M., Hammer, J., Hörmann, N., Hrubec, J., Jeitler, M., Kiesenhofer, W., Knünz, V., Krammer, M., Liko, D., Mikulec, I., Pernicka, M., Rahbaran, B., Rohringer, C., Rohringer, H., Schöfbeck, R., Strauss, J., Taurok, A., Wagner, P., Waltenberger, W., Walzel, G., Widl, E., Wulz, C.-E.,

Mossolov, V., Shumeiko, N., Suarez Gonzalez, J., Bansal, S., Cornelis, T., De Wolf, E. A., Janssen, X., Luyckx, S., Maes, T., Mucibello, L., Ochesanu, S., Roland, B., Rougny, R., Selvaggi, M., Staykova, Z., Van Haeevermaet, H., Van Mechelen, P., Van Remortel, N., Van Spilbeeck, A., Blekman, F., Blyweert, S., D'Hondt, J., Gonzalez Suarez, R., Kalogeropoulos, A., Maes, M., Olbrechts, A., Van Doninck, W., Van Mulders, P., Van Onsem, G. P., Villella, I., Clerbaux, B., De Lentdecker, G., Dero, V., Gay, A. P. R., Hreus, T., Léonard, A., Marage, P. E., Reis, T., Thomas, L., Vander Velde, C., Vanlaer, P., Wang, J., Adler, V., Beernaert, K., Cimmino, A., Costantini, S., Garcia, G., Grunewald, M., Klein, B., Lellouch, J., Marinov, A., McCartin, J., Ocampo Rios, A. A., Ryckbosch, D., Strobbe, N., Thyssen, F., Tytgat, M., Verwilligen, P., Walsh, S., Yazgan, E., Zaganidis, N., Basegmez, S., Bruno, G., Castello, R., Ceard, L., Delaere, C., du Pree, T., Favart, D., Forthomme, L., Giammanco, A., Hollar, J., Lemaitre, V., Liao, J., Militaru, O., Nuttens, C., Pagano, D., Pin, A., Piotrkowski, K., Schul, N., Vizán García, J. M., Beliy, N., Caebegs, T., Daubie, E., Hammad, G. H., Alves, G. A., Correa Martins Junior, M., De Jesus Damiao, D., Martins, T., Pol, M. E., Souza, M. H. G., Aldá Júnior, W. L., Carvalho, W., Custódio, A., Da Costa, E. M., De Oliveira Martins, C., Fonseca De Souza, S., Matos Figueiredo, D., Mundim, L., Nogima, H., Oguri, V., Prado Da Silva, W. L., Santoro, A., Soares Jorge, L., Sznajder, A., Bernardes, C. A., Dias, F. A., Fernandez Perez Tomei, T. R., Gregores, E. M., Lagana, C., Marinho, F., Mercadante, P. G., Novaes, S. F., Padula, S. S., Genchev, V., Iaydjiev, P., Piperov, S., Rodozov, M., Stoykova, S., Sultanov, G., Tcholakov, V., Trayanov, R., Vutova, M., Dimitrov, A., Hadjiiska, R., Kozhuharov, V., Litov, L., Pavlov, B., Petkov, P., Bian, J. G., Chen, G. M., Chen, H. S., Jiang, C. H., Liang, D., Liang, S., Meng, X., Tao, J., Wang, J., Wang, X., Wang, Z., Xiao, H., Xu, M., Zang, J., Zhang, Z., Asawatangtrakuldee, C., Ban, Y., Guo, S., Guo, Y., Li, W., Liu, S., Mao, Y., Qian, S. J., Teng, H., Wang, S., Zhu, B., Zou, W., Avila, C., Gomez, J. P., Gomez Moreno, B., Osorio Oliveros, A. F., Sanabria, J. C., Godinovic, N., Lelas, D., Plestina, R., Polic, D., Puljak, I., Antunovic, Z., Kovac, M., Brigljevic, V., Duric, S., Kadija, K., Luetic, J., Morovic, S., Attikis, A., Galanti, M., Mavromanolakis, G., Mousa, J., Nicolaou, C., Ptochos, F., Razis, P. A., Finger, M., Finger, M., Assran, Y., Elgammal, S., Ellithi Kamel, A., Khalil, S., Mahmoud, M. A., Radi, A., Kadastik,

M., Müntel, M., Raidal, M., Rebane, L., Tiko, A., Azzolini, V., Eerola, P., Fedi, G.,
 Voutilainen, M., Härkönen, J., Heikkinen, A., Karimäki, V., Kinnunen, R., Kortelainen,
 M. J., Lampén, T., Lassila-Perini, K., Lehti, S., Lindén, T., Luukka, P., Mäenpää, T.,
 Peltola, T., Tuominen, E., Tuominiemi, J., Tuovinen, E., Ungaro, D., Wendland, L.,
 Banzuzi, K., Karjalainen, A., Korpela, A., Tuuva, T., Besancon, M., Choudhury, S.,
 Dejjardin, M., Denegri, D., Fabbro, B., Faure, J. L., Ferri, F., Ganjour, S., Givernaud,
 A., Gras, P., Hamel de Monchenault, G., Jarry, P., Locci, E., Malcles, J., Millischer, L.,
 Nayak, A., Rander, J., Rosowsky, A., Shreyber, I., Titov, M., Baffioni, S., Beaudette,
 F., Benhabib, L., Bianchini, L., Bluj, M., Broutin, C., Busson, P., Charlot, C., Daci,
 N., Dahms, T., Dobrzynski, L., Granier de Cassagnac, R., Haguenaue, M., Miné, P.,
 Mironov, C., Nguyen, M., Ochando, C., Paganini, P., Sabes, D., Salerno, R., Sirois, Y.,
 Veelken, C., Zabi, A., Agram, J.-L., Andrea, J., Bloch, D., Bodin, D., Brom, J.-M.,
 Cardaci, M., Chabert, E. C., Collard, C., Conte, E., Drouhin, F., Ferro, C., Fontaine, J.-
 C., Gelé, D., Goerlach, U., Juillot, P., Le Bihan, A.-C., Van Hove, P., Fassi, F., Mercier,
 D., Beauceron, S., Beaupere, N., Bondu, O., Boudoul, G., Chasserat, J., Chierici, R.,
 Contardo, D., Depasse, P., El Mamouni, H., Fay, J., Gascon, S., Gouzevitch, M., Ille,
 B., Kurca, T., Lethuillier, M., Mirabito, L., Perries, S., Sordini, V., Tosi, S., Tschudi,
 Y., Verdier, P., Viret, S., Tsamalaidze, Z., Anagnostou, G., Beranek, S., Edelhoff, M.,
 Feld, L., Heracleous, N., Hindrichs, O., Jussen, R., Klein, K., Merz, J., Ostapchuk, A.,
 Perieanu, A., Raupach, F., Sammet, J., Schael, S., Sprenger, D., Weber, H., Wittmer,
 B., Zhukov, V., Ata, M., Caudron, J., Dietz-Laursonn, E., Erdmann, M., Güth, A.,
 Hebbeker, T., Heidemann, C., Hoepfner, K., Klingebiel, D., Kreuzer, P., Lingemann,
 J., Magass, C., Merschmeyer, M., Meyer, A., Olschewski, M., Papacz, P., Pieta, H.,
 Reithler, H., Schmitz, S. A., Sonnenschein, L., Steggemann, J., Teyssier, D., Weber, M.,
 Bontenackels, M., Cherepanov, V., Flügge, G., Geenen, H., Geisler, M., Haj Ahmad, W.,
 Hoehle, F., Kargoll, B., Kress, T., Kuessel, Y., Nowack, A., Perchalla, L., Pooth, O.,
 Rennefeld, J., Sauerland, P., Stahl, A., Aldaya Martin, M., Behr, J., Behrenhoff, W.,
 Behrens, U., Bergholz, M., Bethani, A., Borrás, K., Burgmeier, A., Cakir, A., Calligaris,
 L., Campbell, A., Castro, E., Costanza, F., Dammann, D., Diez Pardos, C., Eckerlin, G.,
 Eckstein, D., Flucke, G., Geiser, A., Glushkov, I., Gunnellini, P., Habib, S., Hauk, J.,

Jung, H., Kasemann, M., Katsas, P., Kleinwort, C., Kluge, H., Knutsson, A., Krämer, M., Krücker, D., Kuznetsova, E., Lange, W., Lohmann, W., Lutz, B., Mankel, R., Marfin, I., Marienfeld, M., Melzer-Pellmann, I.-A., Meyer, A. B., Mnich, J., Mussgiller, A., Naumann-Emme, S., Olzem, J., Perrey, H., Petrukhin, A., Pitzl, D., Raspereza, A., Ribeiro Cipriano, P. M., Riedl, C., Ron, E., Rosin, M., Salfeld-Nebgen, J., Schmidt, R., Schoerner-Sadenius, T., Sen, N., Spiridonov, A., Stein, M., Walsh, R., Wissing, C., Autermann, C., Blobel, V., Draeger, J., Enderle, H., Erfle, J., Gebbert, U., Görner, M., Hermanns, T., Höing, R. S., Kaschube, K., Kaussen, G., Kirschenmann, H., Klanner, R., Lange, J., Mura, B., Nowak, F., Peiffer, T., Pietsch, N., Sander, C., Schettler, H., Schleper, P., Schlieckau, E., Schmidt, A., Schröder, M., Schum, T., Sola, V., Stadie, H., Steinbrück, G., Thomsen, J., Vanelderen, L., Barth, C., Berger, J., Chwalek, T., De Boer, W., Dierlamm, A., Feindt, M., Guthoff, M., Hackstein, C., Hartmann, F., Heinrich, M., Held, H., Hoffmann, K. H., Honc, S., Katkov, I., Komaragiri, J. R., Lobelle Pardo, P., Martschei, D., Mueller, S., Müller, T., Niegel, M., Nürnberg, A., Oberst, O., Oehler, A., Ott, J., Quast, G., Rabbertz, K., Ratnikov, F., Ratnikova, N., Röcker, S., Scheurer, A., Schilling, F.-P., Schott, G., Simonis, H. J., Stober, F. M., Troendle, D., Ulrich, R., Wagner-Kuhr, J., Weiler, T., Zeise, M., Daskalakis, G., Gerasis, T., Kesisoglou, S., Kyriakis, A., Loukas, D., Manolakos, I., Markou, A., Markou, C., Mavrommatis, C., Ntomari, E., Gouskos, L., Mertzimekis, T. J., Panagiotou, A., Saoulidou, N., Evangelou, I., Foudas, C., Kokkas, P., Manthos, N., Papadopoulos, I., Patras, V., Bencze, G., Hajdu, C., Hidas, P., Horvath, D., Sikler, F., Veszpremi, V., Vesztergombi, G., Beni, N., Czellar, S., Molnar, J., Palinkas, J., Szillasi, Z., Karancsi, J., Raics, P., Trocsanyi, Z. L., Ujvari, B., Beri, S. B., Bhatnagar, V., Dhingra, N., Gupta, R., Jindal, M., Kaur, M., Mehta, M. Z., Nishu, N., Saini, L. K., Sharma, A., Singh, J., Ahuja, S., Bhardwaj, A., Choudhary, B. C., Kumar, A., Kumar, A., Malhotra, S., Naimuddin, M., Ranjan, K., Sharma, V., Shivpuri, R. K., Banerjee, S., Bhattacharya, S., Dutta, S., Gomber, B., Jain, S., Jain, S., Khurana, R., Sarkar, S., Sharan, M., Abdulsalam, A., Choudhury, R. K., Dutta, D., Kailas, S., Kumar, V., Mehta, P., Mohanty, A. K., Pant, L. M., Shukla, P., Aziz, T., Ganguly, S., Guchait, M., Maity, M., Majumder, G., Mazumdar, K., Mohanty, G. B., Parida, B., Sudhakar, K., Wickramage, N., Banerjee, S., Dugad, S., Arfaei, H., Bakhshiansohi, H., Etesami, S. M.,

Fahim, A., Hashemi, M., Hesari, H., Jafari, A., Khakzad, M., Mohammadi Najafabadi, M., Paktinat Mehdiabadi, S., Safarzadeh, B., Zeinali, M., Abbrescia, M., Barbone, L., Calabria, C., Chhibra, S. S., Colaleo, A., Creanza, D., De Filippis, N., De Palma, M., Fiore, L., Iaselli, G., Lusito, L., Maggi, G., Maggi, M., Marangelli, B., My, S., Nuzzo, S., Pacifico, N., Pompili, A., Pugliese, G., Selvaggi, G., Silvestris, L., Singh, G., Zito, G., Abbiendi, G., Benvenuti, A. C., Bonacorsi, D., Braibant-Giacomelli, S., Brigliadori, L., Capiluppi, P., Castro, A., Cavallo, F. R., Cuffiani, M., Dallavalle, G. M., Fabbri, F., Fanfani, A., Fasanella, D., Giacomelli, P., Grandi, C., Guiducci, L., Marcellini, S., Masetti, G., Meneghelli, M., Montanari, A., Navarria, F. L., Odorici, F., Perrotta, A., Primavera, F., Rossi, A. M., Rovelli, T., Siroli, G., Travaglini, R., Albergo, S., Cappello, G., Chiorboli, M., Costa, S., Potenza, R., Tricomi, A., Tuve, C., Barbagli, G., Ciulli, V., Civinini, C., D'Alessandro, R., Focardi, E., Frosali, S., Gallo, E., Gonzi, S., Meschini, M., Paoletti, S., Sguazzoni, G., Tropiano, A., Benussi, L., Bianco, S., Colafranceschi, S., Fabbri, F., Piccolo, D., Fabbriatore, P., Musenich, R., Benaglia, A., De Guio, F., Di Matteo, L., Fiorendi, S., Gennai, S., Ghezzi, A., Malvezzi, S., Manzoni, R. A., Martelli, A., Massironi, A., Menasce, D., Moroni, L., Paganoni, M., Pedrini, D., Ragazzi, S., Redaelli, N., Sala, S., Tabarelli de Fatis, T., Buontempo, S., Carrillo Montoya, C. A., Cavallo, N., De Cosa, A., Dogangun, O., Fabozzi, F., Iorio, A. O. M., Lista, L., Meola, S., Merola, M., Paolucci, P., Azzi, P., Bacchetta, N., Bellan, P., Bisello, D., Branca, A., Carlin, R., Checchia, P., Dorigo, T., Dosselli, U., Gasparini, F., Gasparini, U., Gozzelino, A., Kanishchev, K., Lacaprara, S., Lazzizzera, I., Margoni, M., Meneguzzo, A. T., Nespolo, M., Ronchese, P., Simonetto, F., Torassa, E., Vanini, S., Zotto, P., Zumerle, G., Gabusi, M., Ratti, S. P., Riccardi, C., Torre, P., Vitulo, P., Biasini, M., Bilei, G. M., Fanò, L., Lariccia, P., Lucaroni, A., Mantovani, G., Menichelli, M., Nappi, A., Romeo, F., Saha, A., Santocchia, A., Taroni, S., Azzurri, P., Bagliesi, G., Boccali, T., Broccolo, G., Castaldi, R., D'Agnolo, R. T., Dell'Orso, R., Fiori, F., Foà, L., Giassi, A., Kraan, A., Ligabue, F., Lomtadze, T., Martini, L., Messineo, A., Palla, F., Rizzi, A., Serban, A. T., Spagnolo, P., Squillacioti, P., Tenchini, R., Tonelli, G., Venturi, A., Verdini, P. G., Barone, L., Cavallari, F., Del Re, D., Diemoz, M., Grassi, M., Longo, E., Meridiani, P., Micheli, F., Nourbakhsh, S., Organtini, G., Paramatti, R., Rahatlou, S., Sigamani, M., Soffi, L., Amapane, N., Arcidiacono, R.,

Argiro, S., Arneodo, M., Biino, C., Cartiglia, N., Costa, M., Demaria, N., Graziano, A., Mariotti, C., Maselli, S., Migliore, E., Monaco, V., Musich, M., Obertino, M. M., Pastrone, N., Pelliccioni, M., Potenza, A., Romero, A., Ruspa, M., Sacchi, R., Solano, A., Staiano, A., Vilela Pereira, A., Belforte, S., Candelise, V., Cossutti, F., Della Ricca, G., Gobbo, B., Marone, M., Montanino, D., Penzo, A., Schizzi, A., Heo, S. G., Kim, T. Y., Nam, S. K., Chang, S., Kim, D. H., Kim, G. N., Kong, D. J., Park, H., Ro, S. R., Son, D. C., Son, T., Kim, J. Y., Kim, Z. J., Song, S., Choi, S., Gyun, D., Hong, B., Jo, M., Kim, H., Kim, T. J., Lee, K. S., Moon, D. H., Park, S. K., Choi, M., Kim, J. H., Park, C., Park, I. C., Park, S., Ryu, G., Cho, Y., Choi, Y., Choi, Y. K., Goh, J., Kim, M. S., Kwon, E., Lee, B., Lee, J., Lee, S., Seo, H., Yu, I., Bilinskas, M. J., Grigelionis, I., Janulis, M., Juodagalvis, A., Castilla-Valdez, H., De La Cruz-Burelo, E., Heredia-de La Cruz, I., Lopez-Fernandez, R., Magaña Villalba, R., Martínez-Ortega, J., Sánchez-Hernández, A., Villasenor-Cendejas, L. M., Carrillo Moreno, S., Vazquez Valencia, F., Salazar Ibarguen, H. A., Casimiro Linares, E., Morelos Pineda, A., Reyes-Santos, M. A., Krofcheck, D., Bell, A. J., Butler, P. H., Doesburg, R., Reucroft, S., Silverwood, H., Ahmad, M., Asghar, M. I., Hoorani, H. R., Khalid, S., Khan, W. A., Khurshid, T., Qazi, S., Shah, M. A., Shoaib, M., Bialkowska, H., Boimska, B., Frueboes, T., Gokieli, R., Górski, M., Kazana, M., Nawrocki, K., Romanowska-Rybinska, K., Szleper, M., Wrochna, G., Zalewski, P., Brona, G., Bunkowski, K., Cwiok, M., Dominik, W., Doroba, K., Kalinowski, A., Konecki, M., Krolikowski, J., Almeida, N., Bargassa, P., David, A., Faccioli, P., Ferreira Parracho, P. G., Gallinaro, M., Seixas, J., Varela, J., Vischia, P., Belotelov, I., Bunin, P., Gavrilenko, M., Golutvin, I., Gorbunov, I., Kamenev, A., Karjavin, V., Kozlov, G., Lanev, A., Malakhov, A., Moisenz, P., Palichik, V., Perelygin, V., Shmatov, S., Smirnov, V., Volodko, A., Zarubin, A., Evstyukhin, S., Golovtsov, V., Ivanov, Y., Kim, V., Levchenko, P., Murzin, V., Oreshkin, V., Smirnov, I., Sulimov, V., Uvarov, L., Vavilov, S., Vorobyev, A., Vorobyev, A., Andreev, Y., Dermenev, A., Gninenko, S., Golubev, N., Kirsanov, M., Krasnikov, N., Matveev, V., Pashenkov, A., Tlisov, D., Toropin, A., Epshteyn, V., Erofeeva, M., Gavrilov, V., Kossov, M., Lychkovskaya, N., Popov, V., Safronov, G., Semenov, S., Stolin, V., Vlasov, E., Zhokin, A., Belyaev, A., Boos, E., Ershov, A., Gribushin, A., Klyukhin, V., Kodolova, O., Korotkikh, V., Lokhtin,

I., Markina, A., Obraztsov, S., Perfilov, M., Petrushanko, S., Popov, A., Sarycheva, L., Savrin, V., Snigirev, A., Vardanyan, I., Andreev, V., Azarkin, M., Dremine, I., Kirakosyan, M., Leonidov, A., Mesyats, G., Rusakov, S. V., Vinogradov, A., Azhgirey, I., Bayshev, I., Bitioukov, S., Grishin, V., Kachanov, V., Konstantinov, D., Korablev, A., Krychkine, V., Petrov, V., Ryutin, R., Sobol, A., Tourtchanovitch, L., Troshin, S., Tyurin, N., Uzunian, A., Volkov, A., Adzic, P., Djordjevic, M., Ekmedzic, M., Krpic, D., Milosevic, J., Aguilar-Benitez, M., Alcaraz Maestre, J., Arce, P., Battilana, C., Calvo, E., Cerrada, M., Chamizo Llatas, M., Colino, N., De La Cruz, B., Delgado Peris, A., Domínguez Vázquez, D., Fernandez Bedoya, C., Fernández Ramos, J. P., Ferrando, A., Flix, J., Fouz, M. C., Garcia-Abia, P., Gonzalez Lopez, O., Goy Lopez, S., Hernandez, J. M., Josa, M. I., Merino, G., Puerta Pelayo, J., Quintario Olmeda, A., Redondo, I., Romero, L., Santaolalla, J., Soares, M. S., Willmott, C., Albajar, C., Codispoti, G., de Trocóniz, J. F., Brun, H., Cuevas, J., Fernandez Menendez, J., Folgueras, S., Gonzalez Caballero, I., Lloret Iglesias, L., Piedra Gomez, J., Brochero Cifuentes, J. A., Cabrillo, I. J., Calderon, A., Chuang, S. H., Duarte Campderros, J., Felcini, M., Fernandez, M., Gomez, G., Gonzalez Sanchez, J., Jorda, C., Lopez Virto, A., Marco, J., Marco, R., Martinez Rivero, C., Matorras, F., Munoz Sanchez, F. J., Rodrigo, T., Rodríguez-Marrero, A. Y., Ruiz-Jimeno, A., Scodellaro, L., Sobron Sanudo, M., Vila, I., Vilar Cortabitarte, R., Abbaneo, D., Auffray, E., Auzinger, G., Baillon, P., Ball, A. H., Barney, D., Benitez, J. F., Bernet, C., Bianchi, G., Bloch, P., Bocci, A., Bonato, A., Botta, C., Breuker, H., Camporesi, T., Cerminara, G., Christiansen, T., Coarasa Perez, J. A., D'Enterria, D., Dabrowski, A., De Roeck, A., Di Guida, S., Dobson, M., Dupont-Sagorin, N., Elliott-Peisert, A., Frisch, B., Funk, W., Georgiou, G., Giffels, M., Gigi, D., Gill, K., Giordano, D., Giunta, M., Glege, F., Gomez-Reino Garrido, R., Govoni, P., Gowdy, S., Guida, R., Hansen, M., Harris, P., Hartl, C., Harvey, J., Hegner, B., Hinzmann, A., Innocente, V., Janot, P., Kaadze, K., Karavakis, E., Kousouris, K., Lecoq, P., Lee, Y.-J., Lenzi, P., Lourenço, C., Mäki, T., Malberti, M., Malgeri, L., Mannelli, M., Masetti, L., Meijers, F., Mersi, S., Meschi, E., Moser, R., Mozer, M. U., Mulders, M., Musella, P., Nesvold, E., Orimoto, T., Orsini, L., Palencia Cortezon, E., Perez, E., Perrozzi, L., Petrilli, A., Pfeiffer, A., Pierini, M., Pimiä, M., Piparo, D., Polese, G., Quertenmont, L., Racz, A., Reece, W., Rodrigues Antunes, J.,

Rolandi, G., Rommerskirchen, T., Rovelli, C., Rovere, M., Sakulin, H., Santanastasio, F., Schäfer, C., Schwick, C., Segoni, I., Sekmen, S., Sharma, A., Siegrist, P., Silva, P., Simon, M., Sphicas, P., Spiga, D., Spiropulu, M., Tsirou, A., Veres, G. I., Vlimant, J. R., Wöhri, H. K., Worm, S. D., Zeuner, W. D., Bertl, W., Deiters, K., Erdmann, W., Gabathuler, K., Horisberger, R., Ingram, Q., Kaestli, H. C., König, S., Kotlinski, D., Langenegger, U., Meier, F., Renker, D., Rohe, T., Sibille, J., Bäni, L., Bortignon, P., Buchmann, M. A., Casal, B., Chanon, N., Deisher, A., Dissertori, G., Dittmar, M., Dünser, M., Eugster, J., Freudenreich, K., Grab, C., Hits, D., Lecomte, P., Lustermann, W., Martinez Ruiz del Arbol, P., Mohr, N., Moortgat, F., Nägeli, C., Nef, P., Nessi-Tedaldi, F., Pandolfi, F., Pape, L., Pauss, F., Peruzzi, M., Ronga, F. J., Rossini, M., Sala, L., Sanchez, A. K., Starodumov, A., Stieger, B., Takahashi, M., Tauscher, L., Thea, A., Theofilatos, K., Treille, D., Urscheler, C., Wallny, R., Weber, H. A., Wehrli, L., Aguilo, E., Amsler, C., Chiochia, V., De Visscher, S., Favaro, C., Ivova Rikova, M., Millan Mejias, B., Otiougova, P., Robmann, P., Snoek, H., Tupputi, S., Verzetti, M., Chang, Y. H., Chen, K. H., Kuo, C. M., Li, S. W., Lin, W., Liu, Z. K., Lu, Y. J., Mekterovic, D., Singh, A. P., Volpe, R., Yu, S. S., Bartalini, P., Chang, P., Chang, Y. H., Chang, Y. W., Chao, Y., Chen, K. F., Dietz, C., Grundler, U., Hou, W.-S., Hsiung, Y., Kao, K. Y., Lei, Y. J., Lu, R.-S., Majumder, D., Petrakou, E., Shi, X., Shiu, J. G., Tzeng, Y. M., Wan, X., Wang, M., Adiguzel, A., Bakirci, M. N., Cerci, S., Dozen, C., Dumanoglu, I., Eskut, E., Girgis, S., Gokbulut, G., Gurpinar, E., Hos, I., Kangal, E. E., Karapinar, G., Kayis Topaksu, A., Onengut, G., Ozdemir, K., Ozturk, S., Polatoz, A., Sogut, K., Sunar Cerci, D., Tali, B., Topakli, H., Vergili, L. N., Vergili, M., Akin, I. V., Aliev, T., Bilin, B., Bilmis, S., Deniz, M., Gamsizkan, H., Guler, A. M., Ocalan, K., Ozpineci, A., Serin, M., Sever, R., Surat, U. E., Yalvac, M., Yildirim, E., Zeyrek, M., Gülmez, E., Isildak, B., Kaya, M., Kaya, O., Ozkorucuklu, S., Sonmez, N., Cankocak, K., Levchuk, L., Bostock, F., Brooke, J. J., Clement, E., Cussans, D., Flacher, H., Frazier, R., Goldstein, J., Grimes, M., Heath, G. P., Heath, H. F., Kreczko, L., Metson, S., Newbold, D. M., Nirunpong, K., Poll, A., Senkin, S., Smith, V. J., Williams, T., Basso, L., Bell, K. W., Belyaev, A., Brew, C., Brown, R. M., Cockerill, D. J. A., Coughlan, J. A., Harder, K., Harper, S., Jackson, J., Kennedy, B. W., Olaiya, E., Petyt, D., Radburn-Smith, B. C., Shepherd-Themistocleous, C. H., Tomalin, I. R., Womersley,

W. J., Bainbridge, R., Ball, G., Beuselinck, R., Buchmuller, O., Colling, D., Cripps, N., Cutajar, M., Dauncey, P., Davies, G., Della Negra, M., Ferguson, W., Fulcher, J., Futyan, D., Gilbert, A., Guneratne Bryer, A., Hall, G., Hatherell, Z., Hays, J., Iles, G., Jarvis, M., Karapostoli, G., Lyons, L., Magnan, A.-M., Marrouche, J., Mathias, B., Nandi, R., Nash, J., Nikitenko, A., Papageorgiou, A., Pela, J., Pesaresi, M., Petridis, K., Pioppi, M., Raymond, D. M., Rogerson, S., Rose, A., Ryan, M. J., Seez, C., Sharp, P., Sparrow, A., Stoye, M., Tapper, A., Vazquez Acosta, M., Virdee, T., Wakefield, S., Wardle, N., Whyntie, T., Chadwick, M., Cole, J. E., Hobson, P. R., Khan, A., Kyberd, P., Leslie, D., Martin, W., Reid, I. D., Symonds, P., Teodorescu, L., Turner, M., Hatakeyama, K., Liu, H., Scarborough, T., Charaf, O., Henderson, C., Rumerio, P., Avetisyan, A., Bose, T., Fantasia, C., Heiste (2012). Measurement of the pseudorapidity and centrality dependence of the transverse energy density in pb-pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV. *Phys. Rev. Lett.*, 109:152303. 1

- [8] Collaboration, T. A., Aamodt, K., Quintana, A. A., Achenbach, R., Acounis, S., Adamov, D., Adler, C., Aggarwal, M., Agnese, F., Rinella, G. A., Ahammed, Z., Ahmad, A., Ahmad, N., Ahmad, S., Akindinov, A., Akishin, P., Aleksandrov, D., Alessandro, B., Alfaro, R., Alfarone, G., Alici, A., Alme, J., Alt, T., Altinpinar, S., Amend, W., Andrei, C., Andres, Y., Andronic, A., Anelli, G., Anfreville, M., Angelov, V., Anzo, A., Anson, C., Antici, T., Antonenko, V., Antonczyk, D., Antinori, F., Antinori, S., Antonioli, P., Aphecetche, L., Appelshuser, H., Aprodu, V., Arba, M., Arcelli, S., Argentieri, A., Armesto, N., Arnaldi, R., Arefiev, A., Arsene, I., Asryan, A., Augustinus, A., Awes, T. C., ysto, J., Azmi, M. D., Bablock, S., Badal, A., Badyal, S. K., Baechler, J., Bagnasco, S., Bailhache, R., Bala, R., Baldisseri, A., Baldit, A., Bn, J., Barbera, R., Barberis, P.-L., Barbet, J. M., Barnfoldi, G., Barret, V., Bartke, J., Bartos, D., Basile, M., Basmanov, V., Bastid, N., Batigne, G., Batyunya, B., Baudot, J., Baumann, C., Bearden, I., Becker, B., Belikov, J., Bellwied, R., Belmont-Moreno, E., Belogianni, A., Belyaev, S., Benato, A., Beney, J. L., Benhabib, L., Benotto, F., Beol, S., Berceanu, I., Bercuci, A., Berdermann, E., Berdnikov, Y., Bernard, C., Berny, R., Berst, J. D., Bertelsen, H., Betev, L., Bhasin, A., Baskar, P., Bhati, A., Bianchi, N., Bielik, J., Bielikov, J., Bimbot, L., Blanchard, G.,

Blanco, F., Blanco, F., Blau, D., Blume, C., Blyth, S., Boccioli, M., Bogdanov, A., Bggild, H., Bogolyubsky, M., Boldizsr, L., Bombara, M., Bombonati, C., Bondila, M., Bonnet, D., Bonvicini, V., Borel, H., Borotto, F., Borshchov, V., Bortoli, Y., Borysov, O., Bose, S., Bosisio, L., Botje, M., Bttger, S., Bourdaud, G., Bourrion, O., Bouvier, S., Braem, A., Braun, M., Braun-Munzinger, P., Bravina, L., Bregant, M., Bruckner, G., Brun, R., Bruna, E., Brunasso, O., Bruno, G. E., Bucher, D., Budilov, V., Budnikov, D., Buesching, H., Buncic, P., Burns, M., Burachas, S., Busch, O., Bushop, J., Cai, X., Caines, H., Calaon, F., Caldognio, M., Cali, I., Camerini, P., Campagnolo, R., Campbell, M., Cao, X., Capitani, G. P., Romeo, G. C., Cardenas-Montes, M., Carduner, H., Carena, F., Carena, W., Cariola, P., Carminati, F., Casado, J., Diaz, A. C., Caselle, M., Castellanos, J. C., Castor, J., Catanescu, V., Cattaruzza, E., Cavazza, D., Cerello, P., Ceresa, S., ern, V., Chambert, V., Chapeland, S., Charpy, A., Charrier, D., Chartoire, M., Charvet, J. L., Chattopadhyay, S., Chattopadhyay, S., Chepurnov, V., Chernenko, S., Cherney, M., Cheshkov, C., Cheynis, B., Chochula, P., Chiavassa, E., Barroso, V. C., Choi, J., Christakoglou, P., Christiansen, P., Christensen, C., Chykalov, O. A., Cicalo, C., Cifarelli-Strolin, L., Ciobanu, M., Cindolo, F., Cirstoiu, C., Clausse, O., Cleymans, J., Cobanoglu, O., Coffin, J.-P., Coli, S., Colla, A., Colledani, C., Combaret, C., Combet, M., Comets, M., Balbastre, G. C., del Valle, Z. C., Contin, G., Contreras, J., Cormier, T., Corsi, F., Cortese, P., Costa, F., Crescio, E., Crochet, P., Cuautle, E., Cussonneau, J., Dahlinger, M., Dainese, A., Dalsgaard, H. H., Daniel, L., Das, I., Das, T., Dash, A., Silva, R. D., Davenport, M., Daues, H., Caro, A. D., de Cataldo, G., Cuveland, J. D., Falco, A. D., de Gaspari, M., de Girolamo, P., de Groot, J., Gruttola, D. D., Haas, A. D., Marco, N. D., Pasquale, S. D., Remigis, P. D., de Vaux, D., Decock, G., Delagrange, H., Franco, M. D., Dellacasa, G., Dell'Olio, C., Dell'Olio, D., Deloff, A., Demanov, V., Dnes, E., D'Erasmus, G., Derkach, D., Devaux, A., Bari, D. D., Bartolomeo, A. D., Giglio, C. D., Liberto, S. D., Mauro, A. D., Nezza, P. D., Dialinas, M., Diaz, L., Valdes, R. D., Dietel, T., Dima, R., Ding, H., Dinca, C., Divi, R., Dobretsov, V., Dobrin, A., Doenigus, B., Dobrowolski, T., Domnguez, I., Dorn, M., Drouet, S., Dubey, A. E., Ducroux, L., Dumitrache, F., Dumonteil, E., Dupieux, P., Duta, V., Majumdar, A. D., Majumdar, M. D., Dyhre, T., Efimov, L., Efremov, A., Elia, D., Emschermann, D., Engster, C., Enokizono, A.,

Espagnon, B., Estienne, M., Evangelista, A., Evans, D., Evrard, S., Fabjan, C. W.,
 Fabris, D., Faivre, J., Falchieri, D., Fantoni, A., Farano, R., Fearick, R., Fedorov, O.,
 Fekete, V., Felea, D., Feofilov, G., Tllez, A. F., Ferretti, A., Fichera, F., Filchagin, S.,
 Filoni, E., Finck, C., Fini, R., Fiore, E. M., Flierl, D., Floris, M., Fodor, Z., Foka, Y.,
 Fokin, S., Force, P., Formenti, F., Fragiaco, E., Fragkiadakis, M., Fraissard, D., Franco,
 A., Franco, M., Frankenfeld, U., Fratino, U., Fresneau, S., Frolov, A., Fuchs, U., Fujita, J.,
 Furget, C., Furini, M., Girard, M. F., Gaardhje, J.-J., Gabrielli, A., Gadrat, S., Gagliardi,
 M., Gago, A., Gaido, L., Torreira, A. G., Gallio, M., Gandolfi, E., Ganoti, P., Ganti, M.,
 Garabatos, J., Lopez, A. G., Garizzo, L., Gaudichet, L., Gemme, R., Germain, M., Gheata,
 A., Gheata, M., Ghidini, B., Ghosh, P., Giolu, G., Giraudo, G., Giubellino, P., Glasow,
 R., Glssel, P., Ferreira, E. G., Gutierrez, C. G., Gonzales-Trueba, L. H., Gorbunov, S.,
 Gorbunov, Y., Gos, H., Gosset, J., Gotovac, S., Gottschlag, H., Gottschalk, D., Grabski,
 V., Grassi, T., Gray, H., Grebenyuk, O., Grebieszko, K., Gregory, C., Grigoras, C.,
 Grion, N., Grigoriev, V., Grigoryan, A., Grigoryan, C., Grigoryan, S., Grishuk, Y., Gros,
 P., Grosse-Oetringhaus, J., Grossiord, J.-Y., Grosso, R., Grynyov, B., Guarnaccia, C.,
 Guber, F., Guerin, F., Guernane, R., Guerzoni, M., Guichard, A., Guida, M., Guilloux,
 G., Gulkanyan, H., Gulbrandsen, K., Gunji, T., Gupta, A., Gupta, V., Gustafsson, H.-
 A., Gutbrod, H., Hadjidakis, C., Haiduc, M., Hamar, G., Hamagaki, H., Hamblen, J.,
 Hansen, J. C., Hardy, P., Hatzifotiadou, D., Harris, J. W., Hartig, M., Harutyunyan, A.,
 Hayrapetyan, A., Hasch, D., Hasegan, D., Hehner, J., Heine, N., Heinz, M., Helstrup, H.,
 Herghelegiu, A., Herlant, S., Corral, G. H., Herrmann, N., Hetland, K., Hille, P., Hinke,
 H., Hippolyte, B., Hoch, M., Hoebbel, H., Hoedlmoser, H., Horaguchi, T., Horner, M.,
 Hristov, P., Hivnov, I., Hu, S., Guo, C. H., Humanic, T., Hurtado, A., Hwang, D. S.,
 Ianigro, J. C., Idzik, M., Igoikin, S., Ilkaev, R., Ilkiv, I., Imhoff, M., Innocenti, P. G.,
 Ionescu, E., Ippolitov, M., Irfan, M., Insa, C., Inuzuka, M., Ivan, C., Ivanov, A., Ivanov,
 M., Ivanov, V., Jacobs, P., Jacholkowski, A., Janurov, L., Janik, R., Jasper, M., Jena, C.,
 Jiriden, L., Johnson, D. P., Jones, G. T., Jorgensen, C., Jouve, F., Jovanovi, P., Junique,
 A., Jusko, A., Jung, H., Jung, W., Kadija, K., Kamal, A., Kamermans, R., Kapusta, S.,
 Kaidalov, A., Kakoyan, V., Kalcher, S., Kang, E., Kapitan, J., Kaplin, V., Karadzhev, K.,
 Karavichev, O., Karavicheva, T., Karpechev, E., Karpio, K., Kazantsev, A., Kebschull,

U., Keidel, R., Khan, M. M., Khanzadeev, A., Kharlov, Y., Kikola, D., Kileng, B., Kim, D., Kim, D. S., Kim, D. W., Kim, H. N., Kim, J. S., Kim, S., Kinson, J. B., Kiprich, S. K., Kisel, I., Kiselev, S., Kisiel, A., Kiss, T., Kiworra, V., Klay, J., Bsing, C. K., Kliemant, M., Klimov, A., Klovning, A., Kluge, A., Kluit, R., Kniege, S., Kolevaton, R., Kollegger, T., Kolojvari, A., Kondratiev, V., Kornas, E., Koshurnikov, E., Kotov, I., Kour, R., Kowalski, M., Kox, S., Kozlov, K., Krlik, I., Kramer, F., Kraus, I., Kravkov, A., Krawutschke, T., Krivda, M., Kryshen, E., Kucheriaev, Y., Kugler, A., Kuhn, C., Kuijer, P., Kumar, L., Kumar, N., Kumpumaeki, P., Kurepin, A., Kurepin, A. N., Kushpil, S., Kushpil, V., Kutovsky, M., Kvaerno, H., Kweon, M., Labb, J.-C., Lackner, F., de Guevara, P. L., Lafage, V., Rocca, P. L., Lamont, M., Lara, C., Larsen, D. T., Laurenti, G., Lazzeroni, C., Bornec, Y. L., Bris, N. L., Gailliard, C. L., Lebedev, V., Lecoq, J., Lee, K. S., Lee, S. C., Lefvre, F., Legrand, I., Lehmann, T., Leistam, L., Lenoir, P., Lenti, V., Leon, H., Monzon, I. L., Lvai, P., Li, Q., Li, X., Librizzi, F., Lietava, R., Lindegaard, N., Lindenstruth, V., Lippmann, C., Lisa, M., Listratenko, O. M., Littel, F., Liu, Y., Lo, J., Lobanov, V., Loginov, V., Noriega, M. L., Lpez-Ramrez, R., Torres, E. L., Lorenzo, P. M., Lvhidden, G., Lu, S., Ludolphs, W., Lunardon, M., Luquin, L., Lusso, S., Lutz, J.-R., Luvisetto, M., Lyapin, V., Maevskaya, A., Magureanu, C., Mahajan, A., Majahan, S., Mahmoud, T., Mairani, A., Mahapatra, D., Makarov, A., Makhlyueva, I., Malek, M., Malkiewicz, T., Mal'Kevich, D., Malzacher, P., Mamonov, A., Manea, C., Mangotra, L. K., Maniero, D., Manko, V., Manso, F., Manzari, V., Mao, Y., Marcel, A., Marchini, S., Mare, J., Margagliotti, G. V., Margotti, A., Marin, A., Marin, J.-C., Marras, D., Martinengo, P., Martnez, M. I., Martinez-Davalos, A., Garcia, G. M., Martini, S., Chiesa, A. M., Marzocca, C., Masciocchi, S., Masera, M., Masetti, M., Maslov, N. I., Masoni, A., Massera, F., Mast, M., Mastroserio, A., Matthews, Z. L., Mayer, B., Mazza, G., Mazzaro, M. D., Mazzoni, A., Meddi, F., Meleshko, E., Menchaca-Rocha, A., Meneghini, S., Meoni, M., Perez, J. M., Mereu, P., Meunier, O., Miake, Y., Michalon, A., Michinelli, R., Miftakhov, N., Mignone, M., Mikhailov, K., Milosevic, J., Minaev, Y., Minafra, F., Mischke, A., Mikowiec, D., Mitsyn, V., Mitu, C., Mohanty, B., Moisa, D., Molnar, L., Mondal, M., Mondal, N., Zetina, L. M., Monteno, M., Morando, M., Morel, M., Moretto, S., Morhardt, T., Morsch, A., Moukhanova, T., Mucchi, M., Muccifora, V., Mudnic, E., Miller, H., Miller, W., Munoz,

J., Mura, D., Musa, L., Muraz, J. F., Musso, A., Nania, R., Nandi, B., Nappi, E., Navach, F., Navin, S., Nayak, T., Nazarenko, S., Nazarov, G., Nellen, L., Nendaz, F., Nianine, A., Nicassio, M., Nielsen, B. S., Nikolaev, S., Nikolic, V., Nikulin, S., Nikulin, V., Nilsen, B., Nitti, M., Noferini, F., Nomokonov, P., Nooren, G., Noto, F., Nouais, D., Nyiri, A., Nystrand, J., Odyniec, G., Oeschler, H., Oinonen, M., Oldenburg, M., Oleks, I., Olsen, E. K., Onuchin, V., Oppedisano, C., Orsini, F., Ortiz-Velzquez, A., Oskamp, C., Oskarsson, A., Osmic, F., sberman, L., Otterlund, I., Ovrebekk, G., Oyama, K., Pachr, M., Pagano, P., Pai, G., Pajares, C., Pal, S., Pal, S., Plla, G., Palmeri, A., Pancaldi, G., Panse, R., Pantaleo, A., Pappalardo, G. S., Pastirk, B., Pastore, C., Patarakin, O., Paticchio, V., Patimo, G., Pavlinov, A., Pawlak, T., Peitzmann, T., Pnichot, Y., Pepato, A., Pereira, H., Peresunko, D., Perez, C., Griffio, J. P., Perini, D., Perrino, D., Peryt, W., Pesci, A., Peskov, V., Pestov, Y., Peters, A. J., Petrek, V., Petridis, A., Petris, M., Petrov, V., Petrov, V., Petrovici, M., Peyr, J., Piano, S., Piccotti, A., Pichot, P., Piemonte, C., Pikna, M., Pilastrini, R., Pillot, P., Pinazza, O., Pini, B., Pinsky, L., Morais, V. P., Pismennaya, V., Piuz, F., Platt, R., Ploskon, M., Plumeri, S., Pluta, J., Pocheptsov, T., Podesta, P., Poggio, F., Poghosyan, M., Poghosyan, T., Polk, K., Polichtchouk, B., Polozov, P., Polyakov, V., Pommeresch, B., Pompei, F., Pop, A., Popescu, S., Posa, F., Pospil, V., Potukuchi, B., Pouthas, J., Prasad, S., Preghenella, R., Prino, F., Prodan, L., Prono, G., Protsenko, M. A., Pruneau, C. A., Przybyla, A., Pshenichnov, I., Puddu, G., Pujahari, P., Pulvirenti, A., Punin, A., Punin, V., Putschke, J., Quartieri, J., Quercigh, E., Rachevskaya, I., Rachevski, A., Rademakers, A., Radomski, S., Radu, A., Rak, J., Ramello, L., Raniwala, R., Raniwala, S., Rasmussen, O. B., Rasson, J., Razin, V., Read, K., Real, J., Redlich, K., Reichling, C., Renard, C., Renault, G., Renfordt, R., Reolon, A. R., Reshetin, A., Revol, J.-P., Reygers, K., Ricaud, H., Riccati, L., Ricci, R. A., Richter, M., Riedler, P., Rigalleau, L. M., Riggi, F., Riegler, W., Rindel, E., Riso, J., Rivetti, A., Rizzi, M., Rizzi, V., Cahuantzi, M. R., Red, K., Rhrich, D., Romn-Lpez, S., Romanato, M., Romita, R., Ronchetti, F., Rosinsky, P., Rosnet, P., Rossegger, S., Rossi, A., Rostchin, V., Rotondo, F., Roukoutakis, F., Rousseau, S., Roy, C., Roy, D., Roy, P., Royer, L., Rubin, G., Rubio, A., Rui, R., Rusanov, I., Russo, G., Ruuskanen, V., Ryabinkin, E., Rybicki, A., Sadovsky, S., afak, K., Sahoo, R., Saini, J., Saiz, P., Salur, S., Sambyal,

S., Samsonov, V., ndor, L., Sandoval, A., Sann, H., Santiard, J.-C., Santo, R., Santoro, R., Sargsyan, G., Saturnini, P., Scapparone, E., Scarlassara, F., Schackert, B., Schiaua, C., Schicker, R., Schioler, T., Schippers, J. D., Schmidt, C., Schmidt, H., Schneider, R., Schossmaier, K., Schukraft, J., Schutz, Y., Schwarz, K., Schweda, K., Schyns, E., Scioli, G., Scomparin, E., Snow, H., Sedykh, S., Segato, G., Sellitto, S., Semeria, F., Senyukov, S., Seppnen, H., Serici, S., Serkin, L., Serra, S., Sesselmann, T., Sevcenco, A., Sgura, I., Shabratova, G., Shahoyan, R., Sharkov, E., Sharma, S., Shigaki, K., Shileev, K., Shukla, P., Shurygin, A., Shurygina, M., Sibiriak, Y., Siddi, E., Siemiarczuk, T., Sigward, M. H., Silenzi, A., Silvermyr, D., Silvestri, R., Simili, E., Simion, V., Simon, R., Simonetti, L., Singaraju, R., Singhal, V., Sinha, B., Sinha, T., Siska, M., Sitr, B., Sitta, M., Skaali, B., Skowronski, P., Slodkowski, M., Smirnov, N., Smykov, L., Snellings, R., Snoeys, W., Soegaard, C., Soerensen, J., Sokolov, O., Soldatov, A., Soloviev, A., Soltveit, H., Soltz, R., Sommer, W., Soos, C., Soramel, F., Sorensen, S., Soyk, D., Spyropoulou-Stassinaki, M., Stachel, J., Staley, F., Stan, I., Stavinskiy, A., Steckert, J., Stefanini, G., Stefanek, G., Steinbeck, T., Stelzer, H., Stenlund, E., Stocco, D., Stockmeier, M., Stoicea, G., Stolpovsky, P., Strme, P., Stutzmann, J. S., Su, G., Sugitate, T., umbera, M., Suire, C., Susa, T., Kumar, K. S., Swoboda, D., Symons, J., Szarka, I., Szostak, A., Szuba, M., Szymanski, P., Tadel, M., Tagridis, C., Tan, L., Takaki, D. T., Taureg, H., Tauro, A., Tavlet, M., Munoz, G. T., Thder, J., Tieulent, R., Timmer, P., Tolyhy, T., Topilskaya, N., de Matos, C. T., Torii, H., Toscano, L., Tosello, F., Tournaire, A., Traczyk, T., Trger, G., Tromeur, W., Truesdale, D., Trzaska, W., Tsiledakis, G., Tsilis, E., Tsvetkov, A., Turcato, M., Turrisi, R., Tuveri, M., Tveter, T., Tydesjo, H., Tykarski, L., Tywoniuk, K., Ugolini, E., Ullaland, K., Urbn, J., Urciuoli, G. M., Usai, G. L., Usseglio, M., Vacchi, A., Vala, M., Valiev, F., Vyvre, P. V., Brink, A. V. D., Eijndhoven, N. V., Kolk, N. V. D., van Leeuwen, M., Vannucci, L., Vanzetto, S., Vanuxem, J.-P., Vargas, M. A., Varma, R., Vascotto, A., Vasiliev, A., Vassiliou, M., Vasta, P., Vechernin, V., Venaruzzo, M., Vercellin, E., Vergara, S., Verhoeven, W., Veronese, F., Vetlitskiy, I., Vernet, R., Victorov, V., Vidak, L., Viesti, G., Vikhlyantsev, O., Vilakazi, Z., Baillie, O. V., Vinogradov, A., Vinogradov, L., Vinogradov, Y., Virgili, T., Viyogi, Y., Vodopianov, A., Volpe, G., Vranic, D., Vrlkov, J., Vulpescu, B., Wabnitz, C., Wagner, V., Wallet, L., Wan, R., Wang, Y.,

- Wang, Y., Wheadon, R., Weis, R., Wen, Q., Wessels, J., Westergaard, J., Wiechula, J., Wiesenaecker, A., Wikne, J., Wilk, A., Wilk, G., Williams, C., Willis, N., Windelband, B., Witt, R., Woehri, H., Wyllie, K., Xu, C., Yang, C., Yang, H., Yermia, F., Yin, Z., Yin, Z., Ky, B. Y., Yushmanov, I., Yuting, B., Zabrodin, E., Zagato, S., Zagreev, B., Zaharia, P., Zalite, A., Zampa, G., Zampolli, C., Zanevskiy, Y., Zarochentsev, A., Zaudtke, O., Zvada, P., Zbroszczyk, H., Zepeda, A., Zeter, V., Zgura, I., Zhalov, M., Zhou, D., Zhou, S., Zhu, G., Zichichi, A., Zinchenko, A., Zinovjev, G., Zoccarato, Y., Zubarev, A., Zucchini, A., and Zuffa, M. (2008). The alice experiment at the cern lhc. *Journal of Instrumentation*, 3(08):S08002. 7
- [9] Elia, D. and the ALICE Collaboration (2013). Strangeness production in alice. *Journal of Physics: Conference Series*, 455(1):012005. 2
- [10] Jacobs, P. and Wang, X.-N. (2005). Matter in extremis: ultrarelativistic nuclear collisions at RHIC. *Progress in Particle and Nuclear Physics*, 54:443–534. 3
- [11] Kapusta, J. I. (1979). Quantum chromodynamics at high temperature. *Nuclear Physics B*, 148(3):461 – 498. 1
- [12] Martinez, G. (2013). Advances in Quark Gluon Plasma. *ArXiv e-prints*. 1
- [13] McLerran, L. (2013). The color glass condensate, glasma and the quark gluon plasma in the context of recent ppb results from lhc. *Journal of Physics: Conference Series*, 458(1):012024. 3, 5
- [14] Müller, B., Schukraft, J., and Wysłouch, B. (2012). First Results from Pb+Pb Collisions at the LHC. *Annual Review of Nuclear and Particle Science*, 62:361–386. 3
- [15] Nattrass, C. (2009). *System, energy, and flavor dependence of jets through di-hadron correlations in heavy ion collisions*. PhD thesis, Yale University.
- [16] Preghenella, R. (2011). Transverse momentum spectra of identified charged hadrons with the ALICE detector in Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV. *PoS, EPS-HEP2011:118*. 6

- [17] Shuryak, E. V. (1988). The qcd vacuum and quark-gluon plasma. *Zeitschrift für Physik C Particles and Fields*, 38(1):141–145. 1

Appendices