

35. Herbstschule für Hochenergiephysik Maria Laach 2003

Bianca Keilhauer

Forschungszentrum Karlsruhe, Institut für Kernphysik

Untersuchung der atmosphärischen Einflüsse auf die Entwicklung ausgedehnter Luftschauer und deren Detektion mit dem Pierre Auger Observatorium

Das Pierre Auger Observatorium ist ein sogenannter Hybrid Detektor, mit dem ausgedehnten Luftschauer einerseits über die am Erdboden ankommenden Sekundärteilchen und andererseits über das emittierte Fluoreszenzlicht im longitudinalen Verhalten registriert werden. Die "Surface Detektoren" können 24 Stunden am Tag messen, die Fluoreszenz-Teleskope hingegen nur in mondlosen Nächten. Die Atmosphäre wirkt sich dabei direkt auf die Schauerentwicklung, aber auch auf die Beobachtung mittels der Fluoreszenz-Detektoren aus. Im Rahmen dieser Untersuchung wurden die Einzeleffekte anhand von standardisierten Atmosphärenmodellen quantifiziert. Es zeigte sich die Signifikanz besonders zwischen den Jahreszeiten, woraufhin mehrere Messkampagnen in der Pampa Amarilla, Argentinien, dem Standort des Auger Detektors, durchgeführt wurden.

Zur Untersuchung ausgedehnter Luftschauer benötigt man Monte Carlo Simulationen, um nicht nur gemittelte Angaben über die Teilchenzahlen und Energieverluste an jeder Stelle in der Schauerentwicklung zu erhalten, sondern auch die intrinsischen Fluktuationen. In der hier vorgestellten Arbeit wird das Programm CORSIKA¹ verwendet, welches die Option bietet, verschiedene Atmosphärenmodelle zu implementieren.

Zunächst wird die longitudinale Schauerentwicklung anhand des lokalen Energiedeposits in der Atmosphäre betrachtet. Der lokale Energiedeposit ist besonders wichtig, da er proportional zum "Fluorescence Yield" ist. Die Kaskadenbildung stellt ein Wechselspiel zwischen Teilchenkollisionen und Zerfällen dar. Der Luftschauer entwickelt sich entsprechend der durchlaufenen Materie. Betrachtet man die Luftschauer in verschiedenen Atmosphären, so muss die Verteilung der Luftdichte berücksichtigt werden. Bei einer Darstellung der Schauerprofile gegenüber der atmosphärischen Tiefe, welche das Integral über die Luftdichte ist, zeigen verschiedene atmosphärische Bedingungen kaum Wirkung. Für die Beobachtung der Luftschauer mit den Fluoreszenz-Teleskopen des Auger Projekts muss man allerdings beachten, dass die Teleskope stets in feste geometrische Höhen schauen und nicht in festgelegte atmosphärische Tiefen. Bei der Transformation in geometrische Höhen geht nun die lokale Luftdichte entlang des Luftschauers ein, welche eine starke Verzerrung der Schauerprofile in verschiedenen Atmosphären zur Folge hat. Dieser Effekt wird deutlicher für geneigte Schauer. Beispielsweise erreicht ein Eisen-induzierter Schauer mit 10^{19} eV Primärenergie und 60° Neigung in der US Standard Atmosphäre 1976²

¹COsmic Ray SIMulations for KAscade

²Es handelt sich hierbei um das üblicherweise angewandte Atmosphärenmodell, welches eine Mittlung über alle Jahreszeiten in den mittleren Breiten darstellt.

sein Maximum bzgl. des Energiedeposits in 8.36 km. Der gleiche Schauer würde aber im Winter sein Maximum erst in 7.92 km erreichen und im Sommer bereits in 8.67 km Höhe. Da von der Position des Schauermaximums auf die Art des Primärteilchens geschlossen werden soll, ist diese Beobachtungsgrösse von ausschlaggebender Bedeutung. Es kommt aber nicht einfach zu einer Parallelverschiebung der Schauer, sondern zu einer unterschiedlichen Entwicklung. Die relativen Differenzen im Energiedeposit von Sommer- bzw. Winter-Schauern zur US Standard Atmosphäre können bis zu $\pm 35\%$ betragen.

Weitere Einflüsse durch die Atmosphäre zeigen sich bei der Fluoreszenzlichtemission, welche von der Temperatur und dem Druck, sowie der Dichte entlang des Luftschauers abhängt. Das Fluoreszenzlicht wird von den angeregten Stickstoffmolekülen in der Luft emittiert und zwar im Wellenlängenbereich von 300 bis 400 nm. Die Effizienz der Fluoreszenzlichtemission hängt von Temperatur und Druck ab, da die Rate durch Kollisionen zwischen den Molekülen mit strahlungsloser Abregung reduziert wird, und diese Kollisionswahrscheinlichkeit kann durch die kinetische Gastheorie beschrieben werden. Das "Fluorescence Yield" ist dann proportional zur Luftdichte (liefert die Anzahl der zur Verfügung stehenden Stickstoffmoleküle), der Fluoreszenz Effizienz und dem Energiedeposit. Dies führt zu weiteren Variationen um 5%, die im "Fluorescence Yield" Profil beobachtet werden können.

Abschliessend muss noch die Transmission des Lichtes vom Emissionsort zum Teleskop untersucht werden. Auf dem Weg kommt es zu Absorptions- und Streuprozessen. Abhängig von den atmosphärischen Gegebenheiten ist hierbei die Rayleigh-Streuung (Streuung an den Molekülen). Es treten Unterschiede zwischen Sommer und Winter im Bereich einiger Prozent auf.

Bei den verwandten Sommer und Winter Atmosphären handelte es sich um gemessene Profile in Süddeutschland. Nachdem nun auch in Argentinien Radiosondenmessungen zur Erfassung der Profile von Temperatur, Druck, relative Feuchte und Windrichtung, sowie -geschwindigkeit durchgeführt wurden, können die obigen Berechnungen auch in realistischen Atmosphären für das Auger Experiment durchgeführt werden. Es zeigten sich dabei ähnlich grosse Schwankungen zwischen den Jahreszeiten. Besonders im Herbst und Frühling zeigten sich auch grosse Schwankungen von Nacht zu Nacht.