1. Allgemeine Angaben

Antrag auf Gewährung einer Sachbeihilfe. Neuantrag.

1.1 Antragsteller

Rainer Plaga, Dr.
21.7.1961, Deutsch
Max-Planck-Institut für Physik, (Werner-Heisenberg-Institut), experimentelle Abteilung
Föhringer Ring 6, 80805 München
089-32354-421
089-3226704
plaga@hegra1.mppmu.mpg.de
Viktoriastr. 8, 80805 München

1.2 Thema

GRAAL: Messung von sehr hochenergetischer Gammastrahlung über 70 GeV aus kosmischen Quellen an einem Solarkraftwerk.

1.3 Kennwort

GRAAL

1.4 Fachgebiet und Arbeitsrichtung

Fachgebiete: experimentelle Teilchen-Astrophysik, Hochenergie-Astrophysik.
wissenschaftliche Arbeitsrichtung: bodengebundener Nachweis von kosmischer Gammastrahlung

1.5 Voraussichtliche Gesamtdauer

- das Vorhaben läuft seit Mai 1996
- das Vorhaben wurde bisher noch nicht von der DFG gefördert
- das Vorhaben soll bis mindestends Ende 1999 laufen
-Förderung durch die DFG wird bis mindestends Ende 1999 nötig sein

1.6 Antragszeitraum

18 Monate

1.7 Beginn der Förderung

Juni 1998

1.8 Zusammenfassung

GRAAL ist ein Projekt um ein Solarkraftwerk nachts für den Nachweis hochenergetischer Gammastrahlung aus astrophysikalischen Quellen zu nutzen. Die Messung dieser Gammastrahlung (Energiebereich etwa 70-1000 GeV) erlaubt Rückschlüsse auf Prozesse im Universum, die Teilchen auf sehr hohe Energien beschleunigen. Wichtige aktuelle Fragen zu denen die geplanten Arbeiten beitragen sollen sind z.B.: Wo wird die auf der Erde nachgewiesene "kosmische Strahlung", die hauptsächlich aus energiereichen Atomkernen besteht, erzeugt? Wie weit kann sich sehr hochenergetische Strahlung im Universum ausbreiten? Senden die noch völlig unverstandenen "Gammastrahlungsausbrüche" (GRB's) auch Strahlung im Energiebereich des Experiments aus? Ein hochenergetisches kosmisches Teilchen erzeugt in der Erdatmosphähre einen sogenannten "Luftschauer", der auch Čerenkovlicht aussendet. Die an dem deutsch-spanischen Solarkraftwerk "Plataforma Solar" in Almeria bereits vorhandenen nachführbaren Sammelspiegel ("Heliostaten") werden verwendet um dieses Čerenkovlicht zu sammeln. Insgesamt sollen etwa 70 dieser Spiegel mit einer Gesamtfläche von ca. 2800 m^2 genutzt werden. Die Anlage soll in jeder Nacht mit geeigneten meteorologischen Bedingungen Daten nehmen.

2. Stand der Forschung, eigene Vorarbeiten

2.1 Stand der Forschung

Das Gebiet des bodengebundenen Nachweises kosmischer Gammastrahlung hat in den letzten Jahren einen raschen Aufschwung erfahren. Momentan sind etwa sieben Quellen durch bodengebundene Anlagen im Energiebereich überhalb etwa 250 GeV nachgewiesen worden. Jeder Nachweis (aber auch obere Grenzen für die Emission) von sehr hochenergetischer Gammastrahlung erlaubt wichtige Rückschlüße auf die Erzeugung und Ausbreitung hochenergetischer Teilchen im Kosmos. Die zur Zeit wichtigsten Themen sind dabei die Erzeugung relativistischer Teilchen in extragalaktischen Objekten ("Blazaren"), Neutronensternen ("Pulsaren") (Aharonian,1995) und Überresten von Supernovaexplosionen, die wahrscheinlich eine wichtige Rolle bei der Erzeugung der kosmischen Strahlung spielen (Völk,1997; Baring et al.,1997). Es gibt eine Reihe von potentiellen Quellen sehr hochenergetischer Gammastrahlung, die bisher wegen der begrenzten Anzahl von Beobachtungsmöglichkeiten noch nicht untersuchte werden konnten. Insbesondere existieren zur Zeit nur zwei Anlagen mit Energieschwellen von unter 500 GeV (Whipple und CAT, siehe unten). Das wissenschaftliche Ziel von GRAAL ist es, weitere kosmische Gammquellen insbesondere bei kleinen Gammaenergien zu entdecken und zu untersuchen.

Die bisher dominierende Technik in der bodengebundenen Gammastronomie war der Nachweis von durch Gammaphotonen ausgelöste Luftschauern in abbildenden Čerenkovteleskopen, die zuerst von der Whipple Kollaboration (Weekes, 1996; Cawley and Weekes, 1996) und danach von weiteren Gruppen (so z.B. CAT (Rivoal et al., 1997), CANGAROO(Sako et al.,1997), HEGRA(Daum et al,1997), Telesope Array(Aiso et al., 1997)) entwickelt wurde. Diese Methode sammelt das vom Luftschauer erzeugte Čerenkovlicht mit typischen Sammelflächen pro Teleskop von etwa 5-70 m^2. Die Teleskope bestehen üblicherweise aus Teilspiegeln die auf einer sphärischen oder parabelförmigen Oberfläche angeordnet sind, so daß ein Ausschnitt des Himmels (mit einigen Grad Durchmesser) mit einer Brennweite von einigen Metern auf eine Kameraebene abgebildet wird. In neueren "Kameras" diesen Typs bilden typischerweise etwa 100 - 500 Photomultiplier mit vorgesetzten Lichtsammlern die "Pixel" der Kameraebene. All Pixel werden seperat ausgelesen. Die Form des Schauerbildes erlaubt es Photonen von den wesentlich häufigeren Hadronen, die einen störenden Untergrund bilden zu unterscheiden. Allerdings "sieht" ein einzelnes Teleskop nur einen kleinen Ausschnitt der über eine Fläche von ca. 30000 m^2 ausgedehnten Lichtfront desSchauers. Informationen über die Intensitätsverteilung in diesem großen Lichtpool erhält man nicht. Als Fortentwicklung dieser Technik wurde von der HEGRA Kollaboration ein System von 6 Čerenkovteleskopen errichtet, das ein Schauerbild an 6 verschiedenen Orten aufnimmt.

Die Meßmethode von GRAAL unterscheidet sich entscheidend von der oben erläuterten "Standardmethode". Die Intensität des Čerenkovlichts wird an ca. 70 Punkten gemessen. Dies geschieht dadurch, daß das von ca. 70 Heliostaten fokussierte Licht in vier zentralen Detektoren nachgewiesen wird. Diese zentralen Detektoren bestehen aus jeweils einem großflächigen Photomultiplier mit nichtabbildender Optik und stehen in einem zentralen Turm 70 m über dem Heliostatenfeld. Da die Heliostaten unterschiedliche Abstände vom zentralen Turm haben, treffen die Lichtsignale eines Schauers zu unterschiedlichen Zeiten ein. Die Signale werden mit hoher Zeitauflösung (1 nsec/pixel) gemessen und können später den entsprechenden Heliostaten zugeordnet werden.

Aus Monte Carlo Simulationen ist bekannt, daß die Čerenkovlichtintensität innerhalb von hadronischen Schauern wesentlich unregelmäßiger ist als in elektromagnetischen Schauern. Dieser Unterschied ermöglicht es Gamma- und Hadronschauer zu unterscheiden, ohne die Winkelverteilung des Čerenkovlichts zu vermessen.

Der Hauptvorteil des Konzepts ist, daß mit relativ geringem Aufwand eine Spiegelfläche benutzt wird, die um ca. zwei Größenordnungen über der von Teleskop Experimenten liegt. Nachteile des geplanten Konzepts sind eine um etwa einen Faktor 3 schlechtere Winkelauflösung der Heliostatspiegel, das Fehlen einer bildhaften Schauerdarstellung und die Tatsache, daß mehrere Heliostaten ihr Licht auf eine Kamera fokussieren. Insbesondere die letztgenannte Eigenschaft führt dazu, daß der Absolutwert des vom Nachthimmelrestlicht erzeugte Rauschen pro Meßkanal höher ist als bei Teleskopen.
Insgesamt erlaubt die große Spiegelfläche aber eine um mindestends einen Faktor 2 geringere Energieschwelle als z.B. das Whipple Teleskop in seiner augenblicklichen Auslegung. Eine Unterscheidung von Photonen und Hadronen ist u.U. mit ähnlicher Effizienz wie bei abbildenden Systemen möglich, hier ist aber noch weitere Arbeit nötig.
Zwei weitere Gruppen in Frankreich und den U.S.A. benutzen Solarkraftwerke zu Zwecken der Gamma-Astrophysik CELESTE(Quebert et al.,1995,1997) und STACEE(Ong et al., 1996). Bei diesen Gruppen liegt das Schwergewicht auf einer größtmöglichen Senkung der Energieschwelle. Sie soll etwa einen Faktor 2-3 unter der von GRAAL liegen. Dafür wird jeder Heliostat auf einen einzelnen Photomultiplier abgebildet, was die Zahl der Photomultiplier und Datenkanäle gegenüber dem GRAAL Prinzip um ca. eine Größenordnung erhöht. Auch die für eine Einzelabbildung nötige abbildende Optik ist wesentlich aufwendiger also die einfachen “Winston Konusse”, die für GRAAL verwendent werden. Ein prinzipieller Unterschied ist, daß GRAAL die Lichtintensität in eng benachbarten Punkten mißt, während die genannten Projekte weiter entfernt liegende Heliostaten nutzen werden.
GRAAL wird ein im Vergleich zu Čerenkovteleskopen sowohl in bezug auf Investitions- als auch Betriebskosten außerordentlich kostengünstiger und in der Leistungsfähigkeit konkurrenzfähiger Detektor von kosmischer Gammastrahlung sein. Die Leistungsfähigkeit der aus zwei Konussen bestehenden, in den Vorversuchen verwendeten Anlage im Vergleich zu existierenden und geplanten Anlagen wird in Abb. 1 dargestellt. Mit einer weiteren Senkung der Schwelle mit dem geplanten Aufbau mit 4 Konussen eröffnen sich insbesondere im bisher unzugänglichen Bereich von ca. 70 - 250 GeV neue Möglichkeiten. Dies wird erreicht, indem die Plataforma Solar sowohl als Anlage als auch in ihrer Infrastruktur komplementär zu ihren anderen Aufgaben genutzt wird. In diesem Energiebereich gibt es zur Zeit praktisch keine Detektoren. Auf der anderen Seite gibt es eine Vielzahl von potentiellen Quellen. Bodengebundene Anlagen können zur Zeit nur eine kleine Himmelsregion zu einer bestimmten Zeit beobachten. GRAAL hat daher ein hohes Entdeckungspotential für neue Quellen von kosmischer Gammastrahlung, auch auch wenn in Zukunft leistungsfähigere Anlagen für diesen Energiebereich in Betrieb genommen werden. Es wird außerdem die Leistungsfähigkeit eines nichtabbildenden Prinzips als Alternative zur vorherrschenden abbildenden bezüglich der Gamma-Hadron Unterscheidung entwickeln und erproben.

2.1 Eigene Vorarbeiten

Das Meßprinzip wurde in drei Meßperioden im Mai 1996, Dezember 1996 und März 1997 an der Plataforma Solar erprobt. Diese Testmessungen erfolgten mit einem vereinfachten Aufbau mit nur zwei statt vier Lichtdetekoren und einer Pulsaufzeicnung mit einem Speicheroszilloskop statt Flash-ADCs. Diese Methode ist für das eigentliche Experiment zu langsam, erlaubt aber eine Aufzeichnung der Signale mit guter Qualität. Die Ergebnisse sind in dem beigefgten Artikel “The Mini-GRAAL project” erläutert, und werden hier kurz zusammengefasst. Insgesamt kann gesagt werden, daß das Grundprinzip von GRAAL erfolgreich in allen Schritten demonstriert wurde.
1. Monte Carlo Simulation
Vom spanischen Kollaborationspartner (Madrid) wurde ein Monte Carlo Simulationsprogramm

Fig. 1: Flußempfindlichkeit in Einheiten von Photonen cm^{-2} sec^{-1} für verschiedene existierende und geplante Anlagen zum Nachweis kosmischer Gammastrahlung. Gezeigt wird die Empfindlichkeit bei verschiedenen Primärenergien bzw. an der jeweiligen Energieschwelle (Punkt). Die Angabe ist für ein Jahr Meßzeit für Satelliten (EGRET und der geplante GLAST) und das geplante MILAGRO (bodengebundene Anlage mit großem Gesichtfeld) und 50 Stunden Meßzeit für die Čerenkovteleskope mit ihrem relativ kleinen Gesichtsfeld. "Whipple" und "HEGRA 4CT" sind existierende Anlagen (siehe oben) mit etwas höheren Energieschwellen. VERITAS und MAGIC sind große zukünftige geplante Anlagen. Man erkennt die etwas schlechtere Sensitivität und kleinere Energieschwelle der anderen Solaranlagen (STACEE,CELESTE). Die gepunktete Linie ist eine typische Energieabhängigkeit für extragalaktische Gammaquellen. "Mrk 421" zeigt den Fluß einer aktiven Galaxie bei 100 MeV (gemessen von dem EGRET Satellitenexperiment) zu verschiedenen Zeiten.

entwickelt, das die geometrische Optik des Spiegelfeldes und der Detektoren einschließlich von Abbildungsfehlern simuliert. Diese Programm wurde auch für die Performance-Abschätzungen benutzt.

2. Optische Eigenschaften der Spiegel

Es wurden 27 Heliostatenspiegel fuer die Testmessungen eingesetzt. Die Sonnenbilder dieser Spiegel wurden regelmäßig fotografiert um die Qualität des "Cantens" (Einstellung der Teilspiegel relativ zueinander) und der Nachführung zu überprüfen. Schlecht eingestellte Spiegel wurden von Angestellten der PSA nachjustiert. Weiter wurden die Bilder heller Sterne mit dem Gesamtspiegelfeld vermessen. Dabei ergab sich eine mittlere Gesamtwinkelauflösung von 14 Heliostaten, die auf einen Lichtdetektor gerichtet sind, von 0.27 ^{o}, etwa 14 % schlechter als im Monte Carlo erwartet.

3. Nachführung der Heliostatenspiegel

In Zusammenarbeit mit einem spanischen Kollaborationspartner (Sevilla) wurde ein neues Nachführungsprogramm, das den besonderen Anforderungen des Experiments gerecht wird,

entwickelt, getested und verwendet.
4. Datennahme
Mit einer Triggerlogik, die weitgehend dem später vorgesehenen Aufbau gleicht, wurden ca. 73000 Schauerereignisse erkannt sowie die Ankunftszeit des Čerenkovlichts zeitlich hochauflösend aufgezeichnet. Dabei wurden verschiedene bekannte und potentielle Gammaquellpositionen beobachtet.
5. Arbeiten zur Datenanalyse
Es wurde ein Analyseprogramm entwickelt, welches:
a. mit hoher Effizienz (> 95 %) die Heliostaten aus der Zeitstruktur des aufgezeichneten Ereignis identifiziert
b. die Ankunftszeiten aus der Pulsstruktur ermittelt (Genauigkeit etwa 300 psec).
c. aus den Ankunsftszeiten die Einfallsrichtung des Schauers mit einer Genauigkeit von etwa $0.3\ ^o$ ermittelt.
Danach war es möglich sogenannte "α-plots" zu erstellen in denen die Anzahl der gemessen Schauer als Funktion des Abstands von der Quelle aufgetragen wird. Es konnte gezeigt werden, daß diese Messungen reproduzierbar sind, wenn sie im Abstand von 10 Minuten an derselben Himmelsregion wiederholt werden.
Ein Problem an dem noch gearbeitet wird, ist die Unterscheidung von Photonen und Hadronen auf Grund ihrer unterschiedlichen Lichtverteilung am Boden. Die bisher durchgeführten Untersuchungen, die noch nicht auf der vollen Detektorsimulation beruhen, lassen bereits für den Aufbau mit zwei lichtsammelnden Detektoren eine Unterdrückung des Hadron induzierten Untergrund um etwa einem Faktor 30 erwarten (bei einer Effizienz für Photonen von 50 %).

3. Ziele und Arbeitsprogramm

3.1 Ziele

Das wissenschaftliche Programm umfasst die folgenden Schritte:
1. Endgültige Festlegung der mit vier, für GRAAL optimalen Heliostatengruppen aufgrund der Ergebnisse der Monte Carlo Simulation. Mitteilung an die PSA, die diese Heliostaten dann speziell wartet.
2. Aufbau von 4 Lichtdetektoren auf dem 70 m Level des Zentralturms des CESA-1 Feldes, der Triggerelektronik und Datenspeichersystems. Durchführung von Kalibrationstests.
3. Datennahme und Erprobung eines Betriebs nur durch den Operator der PSA, ohne direktes Eingreifen der beteiligten Physiker
4. Danach Datennahme in jeder meteorologisch geeigneten Nacht. Die zu beobachtenden Objekte sind zunächst der Krebs-Nebel und die aktiven Galaxien Mrk 421 und 501, immer diese einen Zenithwinkel $< 40\ ^o$ aufweisen. Von diesen Objekten kann die erwartete Ereignisrate bereits aus anderen Beobachtungen relativ genau abgeschätzt werden. Die vorgenannten MEssungen werden durchgeführt, um den Nachweis von Gammaquellen mit dem GRAAL Prinzip zu demonstrieren. Das Schwergewicht der weiteren Beobachtungen liegt auf aktiven Galaxien und der von Röntgensatelliten genau lokalisierten Positionen von aktuellen Gammastrahlungsausbrüchen auf einer langen Zeitskala.
Die wissenschaftliche Zielsetzung ist primär die Entdeckung neuer Gammaquellen im Energiebereich des Experiments. GRAAL ist ein "Surveyteleskop", da es in Energie- und Winkelauflösung künftigen Anlagen unterlegen sein wird. Das Sekundärziel ist die Erprobung einer neuen Methode zum bodengebundenen Nachweis von Gammastrahlung bei geringen Energien. Diese Methode beruht auf der Bestimmung der Lateral- anstatt wie sonst üblich die Winkelverteilung

des Čerenkovlichts.

3.2. Arbeitsprogramm

Versuchsplan

A.Aufbau

Die bereits vorhandenen 2 Winston Konusse und die zwei weiteren die noch gebaut werden sollen, werden zunächst auf dem 70 m Level installiert und auf vier Zielpunkte am Boden ausgerichtet. Zwei Zielpunkte sind dieselben wie im Vorversuch, zwei weitere werden weiter nördlich bzw. östlich und westlich zu den bisherigen Zielpunkten liegen. Die genauen Positionen werden nach weiteren Monte Carlo Simulationen festgelegt werden. Ein möglicher Zielpunkt in einer Monte Carlo Simulation ist in Abb. 2 dargestellt.

Fig. 2: Monte Carlo simuliertes Bild einer möglichen Ausrichtungsposition des dritten Winston Konus. Dargestellt sind die von einer das Feld gleichmässig ausleuchtenden Lichtquelle von den Heliostaten (pepunktete Quadrate) in den Konus reflektierten Photonen. Je dunkler die Punktierung desto mehr Licht sammelt ein gegebener Heliostat. Die Ergebnisse dieser Simulation werden benutzt um zu entscheiden welche Heliostate sinnvoll genutzt werden können. Die Einheiten an den Achsen sind in Meter, und geben den Abstand vom zentralen Turm an, in dem sich die Konusse befinden.

Für den Trigger wird zunächst die von 2 auf 4 Kanäle erweiterte Version des Vorversuchs beibehalten.

Abb. 3 zeigt den Aufbau für zwei Kanäle. Die im Vorversuch verwendete Elektronik ist alt und unzuverlässig und muß Ersetzt werden. Die in Abschnitt 4 angegebene NIM Elektronik wird benötigt um diesen Trigger für 4 Kanäle zu verwirklichen. Die Datennahme wird in folgender Form aufgebaut: Der α-AXP Controller liest bei einem Trigger vier DL 515-2 Flash-ADCs aus. Diese sind mit einer 1 GHz sampling Rate aufgesetzt, d.h. jeder Lichtdetektor wird von einem

Fig. 3: Schemabild der geplanten Triggerelektronik für zwei Konusse. Die Symbole stehen für die Positionen in Liste Abschnitt 4.2. Der gepante Aufbau für vier Konusse entspricht praktisch einer Verdopplung des hier dargestellten Aufbaus.

Flash ADC ausgelesen (daher 4 Flash-ADCs). Diese sampling Rate ist bei einer Bandbreite 300 MHZ der Flash ADC sinnvoll. Die 32 Kanäle des geplanten VME Zählers dienen dazu die Einzelzählraten(4), die individuellen Koinzidenzraten der einzelnen Kanäle mit und ohne Ladungstrigger (8) und die Gesamtkoinzidenzrate zu überwachen und aufzuzeichnen. Diese Raten dienen in der späteren Auswertung zur Kontrolle der Beobachtungsbedingungen. Der α-AXP-Controller dient auch dazu, die Daten auf EXABYTE zu schreiben. Eine Festplatte dient der Zwischenspeicherung und als Speichermedium der Steuerprogramme. Wir erwarten eine höhere totale Triggerraten von maximal etwa 13 Hz verglichen zum Vorversuch (2.3 Hz). Die daraus resultierende Datenrate von etwa 20 kbyte/sec ist zu hoch für eine einfache GPIB-Auslese eines Oszilloskops wie im Vorversuch. Andrerseits läßt das geplante VME System eine Ausleserate von etwa 1 Mbyte/sec zu.
Weitere Versuche dienen dazu, zu ermittlen, bei welchen vom Vorversuch abweichenden Triggerbedingungen eine niedrigere Energieschwelle erreicht werden kann. Es liegen zur Zeit weder Monte Carlo noch Messungen mit vier Lichtsammelkonussen vor.
B. Kalibrationsversuche

Die grundlegenden Ziele der Kalibrationsversuche sind:
1. Verifizierung, daß die nachgewiesenen Luftschauer ohne Bias aus der vorgegebenen Richtung einfallen. Es ist bei dem kleinen Gesichtsfeld der hier verwendeten Methode unabdingbar dieses mit verschiedenen unabhängige Methoden zu überprüfen.
2. Bestimmung der Primärenergie der nachgewiesenen Schauer unter der Annahme, sie seien von Photonen ausgelöst. Das Hauptproblem ist hier eine absolute Bestimmung der Pulshöhe im Flash-ADC für eine gegebene Čerenkov-Lichtintensität.
1A. Nachdem die Operatoren am Vortag die Heliostatensteuerungs "offsets" mit Hilfe von Sonnenbildern justiert haben (dies ist die Standardmethode um die Korrektheit der Spiegelausrichtung täglich zu prüfen) wird nachts hellen Sternen nachgefahren. Es wird verifiziert, daß der durch das Sternenlicht verursachte PMt-Strom und die Einzelzählraten maximal sind, wenn die Spiegel sich in Sollposition befinden. Der Abfall von Strom und Raten bei Verlassen der Sollposition wird aufgezeichnet und erlaubt bei Vergleich mit Monte Carlo-Simulationen das Winkelauflösungsvermögen der Heliostatenspiegel zu überprüfen. Solche Messungen wurden bereits im Vorversuch bereits durchgeführt und mit Monte-Carlo Ergebnissen verglichen. Dieses Verfahren soll in größeren Zeitabständen wiederholt und auch mit einzelnen Heliostaten durchgefhrt werden.
1B. Aus den aufgezeichneten Schauern kann nach Rekonstruktion die Einfallsrichtung aus den Laufzeitunterschieden ermittelt werden. Für eine große Zahl von Schauern muß die mittlere Einfallsrichtung identisch mit der vorgegebenen Richtung sein. Diese Methode wurde bereits in den Vorversuchen erprobt. Es ist beabsichtigt, bei zukünftigen Messungen genauer zu untersuchen welche Heliostaten systematisch zu geringe mittlere Signalamplituden liefern.
1C. Laserkalibration. Die in 2B. genauer erläuterte Laserkalibration dient auch als Kontrolle der Geometrie. Die räumliche Position der Pulse ist genau bekannt und muß durch die vorgegebene Ausrichtung der Heliostaten bestätigt werden.
2A. Die bei den Vorversuchen angewandte "indirekte" Methodik zur Lichtkalibration soll wiederholt und verbessert werden. Zunächst wird für alle Lichtdetektoren im endgültigen Aufbau die Pulshöhenverteilung eines einzelnen Photoelektrons ("single-photoelectron peak") bestimmt. Außderdem wird der statistische Fehler für verschiedene Signalgrößen mit jeweils unbekannter aber konstanter Photonenzahl gemessen. Daraus kann unter gewissen Annahmen über Eigenschaften des PMT der mittlere Wert für die Photoelektronenzahl bestimmt werden. Die Reflektivität aller Heliostatenspiegel wird mit regelmäßig mit einem Reflektometer bestimmt. Danach ist es möglich, mit Hilfe der bekannten Geometrie des Aufbaus, die Anzahl der gemessenen Photoelektronen mit einer primären Photonendichte in Beziehung zu setzen.
2B. Direkte Kalibration, Laserkalibration. Ein vorhandener kalibrierter Stickstofflaser (Leistung 10 mW) soll benutzt werden, um einige km von der PSA entfernt, Lichtpulse senkrecht nach oben auszusenden. Das durch "Rayleigh Streuung" in Richtung des Detektors abgelenkte Licht (Wellenlänge 532 nm) wird analog zum Čerenkovlicht von Luftschauern durch den Versuchsaufbau nachgewiesen. Eine Monte Carlo Simulation dieser Situation ist ohne freie Parameter möglich und erlaubt eine Gesamtkalibration des Systems. Diese Verfahren wurde bereits in den Vorversuchen erprobt. Allerdings ist insbesondere für die hochpräzise Winkelausrichtung des Lasers und bezüglich einer kontrollierten Lichtabschwächung noch Entwicklungsarbeit nötig.
Bei den während der Vorversuche durchgeführten Kalibrierungsmessungen stimmten die aus den Anodenstromwerten gewonnenen PM-Verstärkungen nicht mit den aus Einzelpulshöhen erhaltenen Werten überein. Eine Aufklärung dieses bisher unverstandenen Effekts ist wichtig, um im Experiment eine kontinuierliche Bestimmung des Absolutwerts des Nachthimmelhintergrundes zu erlauben. Dazu soll eine Pulslichtquelle mit definiert einstellbaren Photonenzahlen gebaut werden.
Darüber hinaus werden Strom und Raten als Funktion des Zenitwinkels und der Entfernung

des “Konvergenzpunkts” aufgezeichnet. Dieser “Konvergenzpunkt” ist derjenige Punkt in der Atmosphäre auf den die Heliostaten in der Betriebsart “divergent view” gerichtet sind. Die Achsen der Heliostaten sind dann nicht auf die praktisch unendlich entfernte Gamma-Quelle gerichtet, sondern auf die Erwartungsposition des Maximums des vom Gamma Photon ausgelösten Luftschauers. Durch diese Tests erhält man zusätzliche Daten für Vergleiche mit Monte-Carlo simulationen.
und “divergent view” Winkels (Winkel der festlegt auf welchen Punkt in der Atmosphäre die Spiegel ausgerichtet werden) aufgezeichnet um Vergleichswerte mit Monte Carlo Simulationen zu erhalten. Derartige Messungen wurden bisher noch nicht durchgef̈hrt.
C. Einrichtung des routinemässigen Meßbetriebs durch einen Operator der PSA
Die geringe Komplexität des Aufbaus soll es erlauben, in jeder meteorologisch geeigneten Nacht Daten zu nehmen, auch ohne Anwesenheit eines Physikers der Kollaboration. Dies wird möglich durch den festen Aufbau des Experiments auf dem 70 m Niveau des Zentralturms (keine beweglichen Teile) und die geringe Anzahl von Datenkanälen (4), die eine geringe Ausfallquote erwarten lassen. Zu diesem Zweck muß die Anlage bei Einschalten des Stroms automatisch in einen “Meßmodus” schalten. Da die Richtung der Schauer aus den Daten selbst bestimmbar ist (siehe Punkt B. 1B oben) kann folgender Dauerbetrieb erprobt werden:
Der Operator steuert das Heliostatenfeld so, daß in einer Nacht eine vorgegebene Liste von “on/off” runs für verschiedene Positionen am Himmel durchgeführt wird. Ein Starten und Stoppen von zeitlich begrenzten “runs” entfällt, die Datennnahme läuft kontinuierlich. Die Einteilung der Daten in verschiedene “Runs” auf bestimmte Positionen erfolgt “off line”. Dazu werden die vorgegebenen Zeit und die ermittelte Schauereinfallsrichtungen benutzt.
Die korrekte Orientierung der benutzten Heliostaten sollte möglichst täglich mittags an Hand von Messungen mit der Sonne überprüft werden. Kleine Abweichungen von der Sollausrichtung können mit einer Softwarekorrektur ausgeglichen werden. Damit diese Richtungsüberprüfung schnell durchgeführt werden kann (da tagsüber Solarexperimente stattfinden) muß sie automatisiert werden. Die dafür notwendige Methodik wurde bereits weitgehend von einem spanischen Kollaborationspartner entwickelt (Sevilla) und muß aber noch auf die endgültigen Bedingungen angepaßt werden.
Die Entscheidung ob das Wetter für einen Meßbetrieb geeignet ist, muß durch einen anwesenden Ingenieur am Abend entschieden werden. Die hier anzulegenden genauen Kriterien (Wolkenbedeckung, Luftfeuchte/ Temperatur wegen Beschlagen der Heliostaten, maximale Mondphase) muß durch Versuche in der Anfangsphase festgelegt werden.
D. Messprogramm
Zunächst werden die folgenden Quellen beobachtet, vorausgesetzt der Zenithwinkel ist $< 40^o$ Grad, haben, das Wetter ist geeignet und der Mond befindet sich unter dem Horizont: Krebs-Nebel, Markarian 421, Markarian 501. Diese Quellen sind bereits als relativ starke Quellen hochenergetischer Gammastrahlung bekannt. Aus den Daten sollen Fluß und Spektrum in Abhängigkeit von der Zeit (Mrk 421 und 501 sind zeitlich stark veränderlich) bestimmt werden.
Wenn keine dieser Quellen unter einem Zenithwinkel $< 50^o$ Grad steht, werden Objekte beobachtet, von denen bisher keine sehr hochenergetische Strahlung bekannt ist, die aber aussichtreiche “Kandidaten” für einen solchen Nachweis sind. Die Priorität wird dabei hauptsächlich von der “Qualität” der Beobachtungsposition (Zenithwinkel zwischen 20 und 50 ^{o}) bestimmt. Das Ziel ist hier signifikante Gammastrahlung nachzuweisen. Diese Objekte sind:
1. ein heller “Gamma-Ray-Burst” der in anderen Wellenlängenbereichen (z.B. Röntgenbereich (BeppoSAX,XTE) oder mit optischen Teleskopen) mit einem “Nachleuchten” nachgewiesen wurde und am Experimentierort nachts Zenithwinkel < 40 Grad erreicht. In diesem Fall ist die Winkelposition am Himmel genau bekannt und es besteht Aussicht, daß der Ausbruch nah genug stattfand, so daß interglaktische Absorption nicht alle hochenergetischen Photonen

absobiert. Die Burstposition soll möglichst 50 Stunden beobachtet werden (d.h. für einige Wochen). Dieses Meßprogramm ist relativ "risikoreich", da es keine spezifischen theoretischen Vorhersagen für sehr hochenergetische Gammstrahlung von den "Überresten" von Gamma-Ray-Bursts gibt. (Weder positiv noch negativ, der Ursprung der Bursts ist noch unverstanden). Unter Berücksichtigung der Tatsache, daß von Satelliten zeitverzögert ein 18 GeV Photon von einem Burst nachgewiesen wurde, scheint einen solcher Versuch für ein "Survey" Instrument wie GRAAL lohnend.
2. 8 "XBLs" (x-ray selected BL Lac objects). Von den ausgewählten Objekten (aus einer Liste aus (Stecker,deJager und Salamon, 1996) wurde bisher noch keine Gammastrahlung beobachtet, aber man erwartet einen relativen großen, allerdings stark variablen GammaflußḊie Rotverschiebungen der ausgewählten Objekte liegen im Bereich bis etwa z=0.15. Bei diesen Rotverschiebungen sollte die intergalaktische Absorption bei etwa 200 GeV moderat bis vernachlässigbar sein (Stecker, De Jager, 1997), während sie bei höhren Energien stark ist. Aus diesen Gründen scheinen sie für GRAAL lohnend.
1. 1ES0145+138(z=0.125),2. 1ES0229+200(z=0.139),
3. 1ES0927+500(z=0.188), 4. 1ES1118+424(z=0.124),
5. 1ES1255+244(z=0.141),6. 1ES1440+122(z=0162),
7. 1ES1741+196(z=0.083),8. 1ES2321+419(z=0.059)

4. Beantragte Mittel

4.1 Personalbedarf

1 wissenschaftlicher Mitarbeiter (promoviert), Dauer der Mitarbeit: Juni 1998 - Dezember 1999, Vergütungsgruppe: BAT-IIb, Bezahlung aus DFG Mitteln während dieser Zeit, Vergütungsgruppe: BAT-IIb.
Aufgaben: Aufbau und Programmierung der Datennahme, Durchführung von Kalibrationsmessungen, Vorbereitung des unabhängigen Betriebs mit PSA Operator
1 wissenschaftliche Hilfskraft (Doktorand), Dauer der Mitarbeit: Juni 1998 - Dezember 2000 (Doktorarbeit), Bezahlung aus DFG Mitteln während dieser Zeit, Vergütungsgruppe: BAT-IIa/2
Aufgaben: Mithilfe vor Ort bei Aufbau und Testen des Aufbaus, Weiterentwicklung der Auswerteprogramme und wissenschaftliche Auswertung der genommenen Daten
4.2 wissenschaftliche Geräte

Position A1-A3 sind die im Vorversuch bewährten Photomultiplier samt Zubehör (HV Versorgung) der für den vorgesehenen Einsatz (großflächiger PMT für schnelle Pulse bei hohem Hintergrundlicht) praktisch konkurrenzlos ist. A4,A5,A8 werden für den Operatoreinsatz ohne anwesende Physiker benötigt. Der Operator muß aus Sicherheitsgründen in der Lage sein das Experiment aus dem Hauptkontrollraum zu starten und stoppen. A7 ist ein Speicheroszilloskop das für die Kontrolle der Einzelpulse nötig ist. Für diesen Gerätetyp liegt bereits umfangreiche Software aus den Vorversuchen vor.
Die NIM Elektronik unter B ist notwendig um den Trigger aufzubauen (siehe die genauere Spezifikation in fig. 3). Da die vorgesehene Austauschelektronik fast ausschliesslich aus Modulen der Firma Le Croy und EG+G besteht ist es vorteilhaft identische Elektronik anzuschaffen.
Die Datennahmeelektronik unter C. hat die notwendige Bandbreite um die Signalpulse voll aufzulösen (siehe Abschnitt 3.2). Die Lösung mit einem α Computer in einem VME überrahmen

wurde gewählt, da die vorgeshenen Auswerterechner auch α Workstations sind. Weiter handlet es hier um die modernste Architektur, die sehr hohe Datenraten zulässt, und daher auch eine Verwendung in spätern Experimenten erlauben wird. Alternative Lösungen z.B. im dem älteren CAMAC Standard wie im Vorversuch, hätten einen ziemlich ähnlichen Preis. Die Positionen C7-C9 dienen zur Speicherung und Versendung der aufgenommenen Daten.

Pos.	Anzahl	Gerätetyp	Hersteller	Preis(DM)	Preis ges.(DM)
A. Diverse Hardware					
A1	4	Photomultiplier EMI 9352 KB	EMI	2450	9800
A2	4	HV-Versorgung für PMTs		250	1000
A3	1	Netzgerät		1500	1500
A4	1	Überwachungselektronik (Alarm und Interlock)		3000	3000
A5	1	Funkgesteuerter Garagenmotor	–	2000	2000
A6	80	Koaxialkabel mit Steckern	Lemosa	16	1280
A7	1	Digitales OszilloskopTDS 620B	Tektronix	16500	16500
A8	1	Kontrollkamera/monitor auf 70 m	DBS	2500	2500
B. NIM Elektronik					
B1	4	NIM-Überrahmen		5200	20800
B2	3	Octal Discriminator 150 MHz	Le Croy	3220	9660
B3	3	Linear Fan Out	Le Croy	1990	5970
B4	4	Quad 2-fold Logic Unit	Le Croy	2480	9920
B5	3	Triple-4 fold Coincidence	Le Croy	2980	8940
B6	4	Fast filter Amplifier	EG & G Ortec	5990	23960
C. Datennahme Elektronik (VME und Computer)					
C1	1	VME-Überrahmen CERN standard	WES	8750	8750
C2	1	ALPHA-AXPvme computer	EBV	5625	5625
C3	1	32 MB memory für AXPvme	EBV	1955	1955
C4	4	Flash-ADC DL STR7515 250 MHz	Struck	12100	48400
C5	1	32 ch 100 MHz Zähler STR7200	Struck	5350	6000
C6	1	HMX X-Window Terminal	Transtec	4710	4710
C7	1	DNN4500T 4 Gbyte SCSI Disk	Transtec	2010	2010
C8	1	DT8-14-T Exabyte Laufwerk	Transtec	3440	3440
C9	1	LTX-5 Transceiver	Transtec	320	320
				Summe	198040

4.4 Reisen

Die Reisekosten sind angesetzt für je drei Reisen a 1 Monat für die drei Hauptteilnehmer auf deutscher Seite zur PSA, Almeria, wo das Experiment stattfindet. Die erste Reise ist zum Aufbau gedacht, die zweite zur Inbetriebnahme und Start des Routinebetriebes mit Operator der PSA, und die dritte zur Behebung von Problemen beim Betrieb. Darueber hinaus sind drei Reisen nach Madrid/Sevilla vorgesehen zur Zusammenarbeit mit den Kollaborationspartnern. Dabei werden in Madrid hautsächlich Fragen der Datenauswertung besprochen und in Sevilla Fragen der Programmsteuerung des Heliostatenfelds. Die Transportkosten sind angesetzt für den An- und Abstransport der Geräte mit einem Speditionsunternehmen.

Pos	Anzahl	Dauer	Reiseziel	Tagegeld	Flug (DM)	Summe (DM)

1	9	28 Tage	PSA,Almeria	37800	5400	43200
2	3	14 Tage	Madrid/Sevilla	10500	1800	12300
3	2	Transport	PSA,Almeria	2000	2000	4000
					Summe	59500

4.5 sonstige Kosten

Auftrag an auswärtige spanische Firma, für die Konstruktion einer Meßhütte auf dem 70 m-Niveau des zentralen Turms des Heliostatenfelds. Das Experiment soll auf dieser Plattform stattfinden. Es gibt zur Zeit keinen anderen Ort für das Experiment. Das 60 m-Niveau auf dem die Vorversuche stattfanden, wird für ein neues Solarexperiment (REFOS) benötigt. Die Plattform wird für die ausschliessliche Benutzung durch GRAAL zur Verfügung stehen.
Die Benutzungsgebühren des Heliostatenfeldes (die wesenlich unter denen für kommerzielle Anwender z.B. die ESA liegen) umfassen die Anwesenheit eines Operateurs der das Heliostatenfeld laut Beobachtungsplan die Nacht über betreibt.Weiter umfasst sie normale Betriebsmittel (Strom,Telefon) etc. Die Benutzungsgebühr fällt nur an wenn beobachtet wird (meteorologische Bedingungen ausreichend). Es wurde eine Anzahl von 80 Nächten pro Jahr zu Grunde gelegt. Dies ist ein Schätzwert, es liegen noch nicht genügend Erfahrungen z.B. mit Beobachtungen bei Mondlicht vor.
Diesem Antrag ist als Anlage ein Schreiben der Leitung der PSA angefügt in dem bestätigt wird, daß eine vertragliche Regelung unter diesen Bedingungen bei Bewilligung der Mittel wahrscheinlich bis zum Jahre 200 möglich sein wird. Ab 1998 wird die DLR auf Projektbasis an der PSA tätig sein. Die für das Projekt notwendige vor-Ort-Unterstützung durch einen Projektingenieur führt ab dann zu einer um 300 DM erhöhten Gebühr pro Messnacht. Für diese Zeit nach 1998 sind die Einzelheiten der deutsch/spanischen Finanzierung der PSA z.Zt. noch nicht vertraglich geregelt. Die endgültige Mittelfreigabe für GRAAL könnte vorbehaltlich des Abschluß eines rechtlich bindenden Vertrags zwischen dem Max-Planck-Instituts und der PSA unter den hier genannten Bedingungen erfolgen.

Pos	Anzahl	Gegenstand	an	Preis (DM)	Summe (DM)
1	1	Meßhütte auf 70m Niveau		42000	42000
2	120	Benutzungsgebühr/Nacht, 1.5 Jahre PSA		1000/1300(ab 1999)	144000
				Summe	186000

5. Voraussetzungen für die Durchführung des Vorhabens

5.1 Zusammensetzung der Arbeitsgruppe

J.Gebauer, technischer Angestellter am Max-Planck-Institut für Physik

5.2 Zusammenarbeit mit anderen Wissenschaftlern

-Prof. F.Arqueros
Facultad de Ciencias Fisicas
Universidad Complutense
E-28040 Madrid
-Dr Manuel Berenguel
Dpto. de Ingenieria de Sistemas y Automatica

Escuela Superior de Ingenieros
Universidad de Sevilla
Camino de Los Descubrimientos s/n
41092 Sevilla (SPAIN)

5.3 Auslandsbezug

Die eigentlichen Messungen für dieses Vorhaben sollen an der Plataforma Solar de Almeria in Spanien stattfinden. Es wurden bereits Vorversuche an dieser Anlage durchgeführt (siehe Abschnitt 2.2) und es besteht eine Absprache, daß bei Bewilligung der nötigen Mittel ein Nutzungsvertrag bis zum Jahr 2000 einschließlich abgeschlossen wird (siehe Anlage 2). Die Art der Nutzung und die Nutzungsgebühren (siehe Abschnitt 4.5) sind in dieser Absprache festgelegt.

5.4 Apparative Ausstattung

Für das Vorhaben sollen folgende, vor Ort vorhandene Anlagen der PSA benutzt werden:
1. CESA-1 Heliostaten Feld (ca. 70 je 40 m^2 große Heliostaten) gesteuert in Hauptkontrollraum.
2. Zentralturm mit Aufzug, Beobachtungsplattform auf 70 m Höhe

5.5 Laufende Mittel für Sachausgaben

1. MPI Werkstattkapazität für die Konstruktion zweier Winston-Konusse (ca. 6 Mann-Wochen Kunstoffwerkstatt)
2. Fertigung der dazugehörigen Rahmenteile und Halterungen (zwei Mann Wochen Schloßerei)
3. Herstellung diverser Spezialelektronik, Modifikation und Reperatur von Geräten (3 Mannwochen Elektronik-Werkstatt).
Insgesamt geschätzte Kosten für Material und Werkzeuge: ca. 5000 DM.
4.Computernutzung, 1 DEC-α mit EXABYTE Nutzung ca. 2 Monate CPU (für asuwertung etc.)
5. Nutzung der für die Vorversuche gebrauchten zur Zeit nicht andersweitig benötigten Elektronik, als Austauschmodule für beantragte Elektronik

6. Erklärungen

6.1

Eine loser thematischer Zusammenhang des Vorhabens zum Sonderforschungsbereich Astropartikelphysik, München bsteht. Eine Stellungsnahme zur Möglichkeit einer Aufnahme des Vorhabens in den SFB Teilchen-Astrophysik, München, von Prof. Dr. von Feilitsch ist beigefügt.

6.2

Ein Antrag auf Finanzierung dieses Vorhabens wurde bei keiner anderen Stelle eingereicht. Wenn ich einen solchen Antrag stelle, werde ich die Deutsche Forschungsgemeinschaft unverzüglich benachrichtigen.
Der spanische Kollaborationspartner beabsichtigt einen Antrag auf Mittel zur instrumentellen Verbesserung der Steuerung und Heliostatenqualität des CESA-1 Felds an die Europäische Union zu richten. Dieser Antrag wird mit deinem Nutzen für das GRAAL Vorhaben begründet werden. Er wird aber keine Mittel die in diesem Antrag genannt sind beantragen.

6.4

Die Generalverwaltung der Max-Planck-Gesellschaft wurde von dieser Antragstellung unterrichtet.

7. Unterschriften

8. Verzeichnis Anlagen

1. gesammelte Veröffentlichungsmanuskripte zu Abschnitt 2.2. 2. schriftliche Erklärung der Leitung der Plataforma Solar über einen Nutzungsvertrag bis Ende zum Ende des Jahres 2000 (siehe Abschnitt 5.3), 3. Stellungsnahme zur Möglichkeit einer Aufnahme des Vorhabens in den SFB Teilchen-Astrophysik, München, Prof. Dr. Feilitsch.

REFERENCES

F.Aharonian, Proc. Workshop "Towards a Major Atmospheric Cherenkov Detector IV", Padova,ed. M.Cresti, 1,(1995).

M.Baring,D.C.Ellison,S.P.Reynolds,I.A.Grenier,P.Goret, submitted to Proceedings "Towards a Major Atmospheric Cherenkov Detector V", Kruger National Park; astro-ph/9711257.

S.Aiso et al., Proc. 25th ICRC(Durban),5,373 (1997).

A.Daum et al., Proc. 25th ICRC(Durban),5,117 (1997).

R.Ong et al., Atropart.Phys. 5,353 (1996).

J.Quebert et al.,"Towards a Large Atmospheric Cerenkov Detector IV",Padova,ed. M.Cresti,248 (1995); J.Quebert et al., Proc. 25th ICRC(Durban),5,89 (1997).

M.Rivoal et al., Proc. 25th ICRC(Durban),5,145 (1997).

T.S.Sako et al.,Proc. 25th ICRC(Durban),3,193 (1997).

F.W.Stecker, O. C. De Jager, M. H. Salamon, Astrophys.J. 473 L75-L78 (1996).

F.W.Stecker, O.C.DeJager, astro-ph/9710145 (1997).

H.Völk, preprint MPI-H-V39 (1997),submitted to Proceedings "Towards a Major Atmospheric Cherenkov Detector V", Kruger National Park.

T.C.Weekes,Space Science Rev. 75,1 (1996); M.F. Cawley, T.C.Weekes, Exp. Astr. 6,7 (1996).