

Anlage zum Antrag auf Gewährung einer Bundeszuwendung auf Ausgabenbasis
Förderperiode: Juli 2009 – Juni 2012

Spin-Management an Lepton-Beschleunigern:
Überprüfung der Genauigkeit von Laser-Compton-
Rückstreuungspolarimetern

Antragsteller: Priv.-Doz. Dr. Kurt Aulenbacher, Universität Mainz

I: Ziele

I.1. Zielsetzung

Die physikalische Effektivität von e^+e^- Kollidern wird durch die Verwendung von polarisierten Strahlen beider Teilchenarten bedeutend gesteigert. Da viele der Observablen proportional zum Spinpolarisationsgrad sind, tritt ein systematischer Fehler der Polarisationsmessung mehr oder weniger direkt in das Fehlerbudget ein, was bedingt, dass dieser Fehler im Sub-Prozentbereich angesiedelt sein muss. Die Polarimetrie-Methode der Wahl wird hierbei die Laser-Comptonpolarimetrie (LCP) sein, die die notwendigen Genauigkeiten eventuell für Strahlen beider Teilchensorten erreichen kann. Auf der Elektronenseite kann, wie unten gezeigt werden wird, eine Doppelstreuungsmethode (Doppelstreupolarimeter, DSP) eine ähnliche oder auch bessere Genauigkeit als ein LCP erzielen, dies allerdings bei einer niedrigen Energie, die der Extraktionsenergie aus der polarisierten Elektronenquelle entspricht. Somit wäre eine wechselseitige Stützung von LCP und DSP nur dann denkbar, wenn die Depolarisation und die Präzession des Spinvektors auf dem Transport zum Target genügend genau kontrolliert werden kann. Diese komplexe Thematik wird hier unter dem Schlagwort ‚Spin-Management‘ subsummiert.

Gelöscht: s

Das hier beantragte Projekt wird sich in diesem Zusammenhang folgenden Problemen widmen:

- **Inwieweit kann die Polarisationsbestimmung bei der Endenergie eines Kolliders durch eine unabhängige Methode gestützt werden?**
- **Ist die experimentelle Demonstration einer solchen Polarimeterkette auf dem Subprozentniveau möglich?**
- **Welche Mechanismen führen zu einer Reduktion des Spinpolarisationsgrades in einem Kollider, und inwieweit können diese Effekte in Computersimulationen zuverlässig berechnet werden?**
- **Haben solche Effekte eine Auswirkung auf das eben genannte Demonstrationsexperiment?**

I.2. Bezug des Vorhabens zum Förderprogramm , Struktur und Wechselwirkung fundamentaler Teilchen'

Leptonen-Kollider werden es erlauben, die in nächster Zukunft am LHC zu erwartenden Erkenntnisse zu erweitern. Zur Zeit wird der Aufbau solcher Kollider in internationalen Kollaborationen vorbereitet, das Resultat dieser weltweiten Anstrengung ist einem „Reference Technical design report“ (RDR) dokumentiert¹.

In vielen Kollider-Experimenten sind Polarisationsfreiheitsgrade von besonderer Bedeutung, bzw. essentiell. Der RDR betrachtet eine Genauigkeit der Polarisationsmessung von 0.1% als eine fundamentale Eingangsgröße für das experimentelle Programm²; beispielsweise wird die Sensitivität auf neue Eichbosonen mit Massen auf der 50-100-TeV-Scala durch die verbesserte Genauigkeit bedeutend erhöht^{3,4}. Eine erschöpfende Liste der mit e±-Polarisation erreichbaren Gewinnfaktoren für verschiedene Experimente an einem Kollider findet sich bei G. Moortgat-Pick et al.⁵

Formatiert: Nicht Hochgestellt/
Tiefgestellt

Gelöscht:

Dabei ist bemerkenswert, dass die im RDR eingeforderte Genauigkeit der Strahlenergiemessung von 100ppm von existierenden Beschleunigeranlagen erreicht wird, während der entsprechende Wert für die Polarisationsbestimmung jenseits auch der besten bis heute behaupteten Genauigkeiten liegt. Beim Vorhandensein einer Polarisation der Positronen

Gelöscht: an gleicher Stelle

$P_{e^+}=60\%$ zusätzlich zu der der Elektronen werden die Verhältnisse bei einigen Experimenten allerdings etwas günstiger, trotzdem müssen die jeweiligen Fehler $\Delta P_{e^+}/P_{e^+} < 0.5\%$ bleiben.

Formatiert: Tiefgestellt

Formatiert: Schriftart: Symbol

Formatiert: Tiefgestellt

Formatiert: Tiefgestellt

Die Stoßrichtung des hier beantragten Projekts ist es, die Genauigkeitsaussagen der Polarisimetrie am Kollider – die selbstverständlich kurz vor (und am besten auch nach) dem Interaktionspunkt realisiert werden muss - durch ein unabhängiges Messverfahren abzusichern⁶. Der spezielle Vorteil, der sich hier durch die Zusammenarbeit des Universitätskonsortiums mit den Großforschungsinstituten ergibt, besteht nicht zuletzt in der existierenden experimentellen Infrastruktur an den Universitäten. Die simultane Beherrschung von Polarisimetrie, Spinpräzision, und Modellierung der Dephasierung (Depolarisation) in Theorie und Experiment, die bei einem solchen Projekt zwingend erforderlich ist, wird dazu führen, dass sich das Gewicht der deutschen Beiträge zum internationalen Kolliderprojekt vergrößert.

Gelöscht: dynamik

I.3. Wissenschaftliche und technische Ziele des Förderprogramms

Das hier beantragte Teilprojekt des „Spin-management“ Konsortiums zielt darauf ab, einerseits die Laser-Compton-Polarimetrie (LCP) mit anderen Polarimetern und hier speziell der Doppelstreumethode zu vergleichen. Grundlage für einen solchen Vergleich ist andererseits eine möglichst perfekte Kontrolle der Spindynamik (Kohärente Bewegung des Ensembles und Dephasierung) unter allen relevanten Bedingungen zu erzielen. Dies gilt vor allem für die Durchführung des Vergleichsexperiments, das an der Universität Mainz durchgeführt werden soll. Das Vergleichsexperiment profitiert erheblich durch die Modifikation der in Mainz vorhanden Einfachstreu-Mott-polarimeter zu einem Doppelstreupolarimeter im Rahmen einer Dissertation. Laser Compton- und Möller-Polarimeter, die bei einer Strahlenergie von bis 1.5 GeV betrieben werden können sind in Mainz vorhanden. Die Genauigkeitsaussagen aller Polarimeter sollen zunächst festgelegt werden, worauf die drei Polarimeter in einem ,Blind-

test' Aussagen zur Strahlpolarisation machen werden, die dann innerhalb der behaupteten Genauigkeitsgrenzen übereinstimmen müssen⁷.

Ein an einem der Großforschungsinstitute stationierte(r) Nachwuchswissenschaftler/in soll sich anhand dieses experimentellen Programms konkret in die Spin-Management Thematik einarbeiten, um danach den Gesamtkomplex dieser Thematiken an Lepton-Kollidern zu beherrschen, bzw. die dort vorhandenen Problemstellungen angehen zu können.

II Stand der Wissenschaft und Technik; bisherige Arbeiten.

II.1 Stand der Wissenschaft und Technik

II.1.1. Laser Compton Rückstreupolarimeter (LCP)

Praktisch alle hochenergetischen Polarimeter beruhen auf doppelpolarisierten Streuprozessen, z.B. pol. $e^+/\text{pol } e^-_{\text{Target}}$ (Möller/Bhaba-polarimeter), oder im Fall des LCP pol. $e^+/\text{pol } \gamma_{\text{Target}}$. Dies erfordert die genaue Bestimmung der Polarisation des Streupartners, was im Fall des Möller/Bhaba-Polarimeters⁸ die Genauigkeit limitiert. Für den LCP ist dies weniger problematisch, da sich die Laserphotonen praktisch vollständig zirkular polarisieren lassen. Weiter sind LCP in sehr hochenergetischen Regimes kinematisch vorteilhaft, da die sich die relative Energieänderung der beteiligten Elektronen und Photonen mit wachsender Energie vergrößert, was mehrere, teilweise redundante, Optionen des Reaktionsnachweises eröffnet. Auch die Berechnung der Analysierstärke des Compton-Prozesses ist mit hoher Genauigkeit möglich⁹. Für die z.B. bei TESLA gegebenen Strahlparameter und technisch realisierbare Lasersysteme erreicht man eine genügende hohe Luminosität, um statistische Fehler vernachlässigen zu können¹⁰. Allerdings müssen bei sehr hohen Genauigkeitsanforderungen die Aspekte helizitätskorrelierter Fluktuationen (z.B. helizitätskorrelierte Luminositätsschwankung) untersucht werden. Hierfür sind vermutlich die in Mainz zur Untersuchung der paritätsverletzenden Elektronenstreuung entwickelten Techniken vorteilhaft einsetzbar^{11,12}.

Gelöscht: pol

Gelöscht: pol

Gelöscht: wächst

Gelöscht: LCP

Gelöscht: a

Gelöscht: z.B.

Gelöscht: P

Die wesentlichen Fehlerquellen sind daher apparativer Art, hier speziell die Linearität des Detektionssystems. Am bisher höchstenergetischen LCP (bei 48 GeV am SLAC-SLC), wurde eine Genauigkeit von 0.5 Prozent konstatiert⁹. Kalibrations- und Überprüfungs-routinen, die bei einer behaupteten extremen Genauigkeit öfter durchgeführt werden müssten, sind natürlich umso aufwändiger, je größer die Anlage ist an der der LCP installiert wird, was den Wunsch nach einer unabhängigen und unaufwändigen hochpräzisen Methode an einem zukünftigen Linearkollider weiter erhöht. Unter diesen Umständen würde hauptsächlich die relative Konstanz des LCP im Bezug auf die Messergebnisse des „unaufwändigen Referenzpolarimeters“ gezeigt werden, d.h. der LCP würde auf ein „Polarimeter-Normal“ zurückgeführt.

Formatiert: Hochgestellt

Gelöscht: ⁵

II.1.2 Doppelstreupolarimeter (DSP)

Im Gegensatz zu den hochenergetischen Polarimetern wird bei der Mottpolarimetrie – Messung der durch die Spin-Bahn Kopplung entstehenden Asymmetrie in der elastischen Elektronenstreuung – eine Einzelspinasymmetrie gemessen; das Problem der Erzeugung und Messung der Polarisation des zweiten Streupartners entfällt. Die Analysierstärke der Mott-

Streuung trägt aus historischen Gründen den Namen „Sherman-Funktion“, abgekürzt S. Mott Polarimeter sind Geräte, die unaufwändig zu betreiben sind und eine sehr gute Reproduzierbarkeit aufweisen. Die Genauigkeit wird durch die Vielfachstreuereffekte in den Targets, die durch Spindiffusion zu einer nur mit endlicher Genauigkeit zu kontrollierenden Verringerung der Analysierstärke mit steigender Targetdicke führt, und auch durch die Genauigkeit der Berechnung der Analysierstärke selbst, begrenzt. Es muss – wie bei anderen Polarimetern auch – eine effektive Analysierstärke S_{eff} des gegebenen apparativen Aufbaus bestimmt werden. Die Problematik der Bestimmung von S_{eff} eines experimentellen Aufbaus in einem Mott-Einfachstreuexperiment wurde von Gay^{13,14} diskutiert. Es erscheint fraglich, ob die oben geforderte Genauigkeit von wenigen Promille für einen Leptonen Kollider auf diese Weise erreichbar ist. Die entscheidenden Probleme können aber bei einer Erweiterung eines solchen ‚klassischen‘ Polarimeters umgangen werden, wenn zusätzliche Messungen zu Asymmetrien in der Doppelstreuung gemacht werden¹⁵. Letztlich laufen solche Verfahren auf die Ausnutzung der Gleichheit von Analysierstärke und Polarisierungseffekt in der elastischen Streuung hinaus¹⁶, wobei z.B. in der Doppelstreuung zunächst unpolarisierter Strahlen gilt, dass die beobachtete experimentelle Asymmetrie

$$A_{\text{exp}} = S_{\text{eff}}^2 (*)$$

ist. Dies ist die einzige theoretische Annahme die eingeht, explizite Berechnungen sind nicht notwendig. Wenn S_{eff} eines Streuaufbaus bestimmt ist, ergibt sich bei gemessener experimenteller Asymmetrie A_{exp} die Polarisierung zu $P = A_{\text{exp}}/S_{\text{eff}}$. Die Methode ist im wesentlichen seit langem bekannt, litt jedoch unter der experimentellen Schwierigkeiten die Gleichheit der beiden elastischen Streuungen zu realisieren, was erst in den neunziger Jahren durch Arbeiten der Gruppe von Kessler^{17,18} überwunden werden konnte. In der ersten der beiden Arbeiten wurde gezeigt, dass sich die Beziehung (*) tatsächlich mit einem unpolarisierten Strahl mit einer Genauigkeit von 0.3% bestätigen lässt, in der zweiten wurde die von Hopster erdachte Hilfstargetmethode mit ähnlicher Genauigkeit verifiziert. Somit bestehen sogar zwei Optionen mit einer behaupteten Genauigkeit in der Bestimmung der Analysierstärke S_{eff} eines Streuaufbaus von etwa 0.3%, was sich in Anbetracht der inzwischen erfolgten technischen Möglichkeiten im Bereich der Datenerfassung, Experimentsteuerung und –analyse, aber auch durch die verringerte Messzeit wegen der verfügbaren höheren Polarisationsgrade vermutlich noch verbessern lässt.

II.1.3 Spindynamik in Linearbeschleunigern/Rezirkulatoren

Die Präzessionssbewegung des spinpolarisierten Ensembles gehorcht der Thomas -BMT Gleichung¹⁹. Aufgrund der endlichen Emittanz vollführen die Strahlteilchen variable Trajektorien im Raum, was zu einer Dephasierung (Depolarisation) des Ensembles führen kann. Dies gilt besonders bei Energien, bei denen die Spinpräzession und Impulspräzession (Zyklotronfrequenz) in Phase sind (‚ganzzahliger ‚Spin tune‘ oder auch ‚Spinresonanz‘). Bei genügend genauer Kenntnis der elektromagnetischen Felder lässt sich die resultierende Orientierung der einzelnen Spinvektoren der Strahlsubensembles und somit die Orientierung und Verkleinerung des Spinvektors mittels eines Trackingalgorithmus berechnen. Bei Linearbeschleunigern und Rezirkulatoren wie MAMI, sowie bei Strahltransportstrecken sind solche Effekte außerordentlich klein: Rechnungen für MAMI-B²⁰ fanden Depolarisationen von weniger als

Gelöscht: also

Gelöscht: der effektiven Analysierstärke

Gelöscht:

Gelöscht:

Formatiert: Hochgestellt

10^{-4} . Diese Rechnungen werden innerhalb dieses Projekts auch für die inzwischen fertig gestellte vierte Stufe (MAMI-C²¹) der Mainzer Beschleunigerkaskade durchgeführt werden, wobei Abschätzungen aber zeigen, dass hier – auch unter ungünstigsten Annahmen - Depolarisationen von maximal einigen Promille zu erwarten sind. Die Spinorientierung in einem Experimentierbereich am Hochenergieende des MAMI Rezirkulators ist empfindlich von der Energiebreite und –stabilität des Beschleunigers abhängig, solche Fluktuationen betragen bei MAMI-C aufgrund der sehr guten erzielten Parameter²² nur wenige Millirad. Eine gewünschte Spinorientierung am Experiment wird durch die Wahl eines entsprechenden Vorhaltungswinkels am Eingang des Beschleunigers gewährleistet²³. Für einen Rezirkulator wie MAMI ist also der Vergleich von Polarimetern, die am Anfang oder am Ende des Beschleunigers arbeiten, möglich, ohne dass wesentliche Unsicherheiten aufgrund des Beschleunigungsprozesses zwischen beiden Geräten entstehen.

Gelöscht: ,

II.1.4. Spindynamik in Dämpfungsringen

Die Luminositätsanforderungen von Leptonkollidern erfordern es, die Emittanz sowohl der Elektronen- als auch der Positronenstrahlen mit Hilfe von Synchrotronstrahlungsdämpfung in Speicherringen zu verkleinern. Der Dämpfungsring im Referenzdesign²⁴ weist bei einer Umlaufzeit von etwa 20µs transversale Dämpfungszeiten von etwa 25 Millisekunden (12.7 ms longitudinal) auf, daher wird das spinpolarisierte Ensemble mehreren tausend Umläufen ausgesetzt, wobei der Antrieb der Spindiffusion hauptsächlich durch die (hier durch die Dämpfungswiggler erzwungene!) Synchrotronstrahlung erfolgt. Auch in diesem Fall lässt sich die Depolarisation durch Monte-Carlo Tracking Rechnungen berechnen²⁵. Das Ergebnis bestätigt zunächst die Erwartungen, die man durch Vergleich mit den langen Polarisationslebensdauern in ähnlich großen Speicherringen hat: Die Depolarisation ist gering. Allerdings sind hierbei verschiedene Imperfektionen noch nicht berücksichtigt, wie zum Beispiel seismische Bewegungen, Justierfehler und Eingriffe der Feedbacksysteme. Auch ist das Intra-beamscattering, – hier wohl im Hinblick auf das CLIC Design - in der angegebenen Arbeit noch nicht berücksichtigt. Daher wird es bei einem Vergleich zwischen einem Hochenergie- und Niederenergie-Polarimeter an einem Kollider mit Sicherheit zusätzlich nötig sein, eine sorgfältige Analyse dieser Effekte durchzuführen. Hier sind heute Komplettsimulationen („start to end“) des gesamten Beschleunigungsprozesses von der Quelle bis zum Experiment denkbar, im Falle der Positronen natürlich auch mit den entsprechenden Wechselwirkungen in dichten Targets.

Gelöscht: Obwohl

Gelöscht: s

Formatiert: Schriftart: Fett

Gelöscht: lich

Gelöscht: geführt

Gelöscht: werden muss, wird also auch im Falle eines Kolliders keine wesentliche neue Unsicherheit durch den Beschleunigungsprozess erwartet, so dass die oben angeführten Argumente für die Verwendung eines Niederenergie Vergleichspolarimeters gültig bleiben.

II.1.5. Aspekte polarisierter Positronen

Longitudinalpolarisierte Positronen werden durch Paarbildung aus zirkularpolarisierter Gamma-Strahlung gewonnen.

Es gibt im wesentlichen zwei Methoden, genügend intensive Pulse zirkularpolarisierter Gammastrahlung zu erzeugen, nämlich erstens Undulatorstrahlung von Elektronen mit etwa 150 GeV in einem helikalen Magnetfeld zu erzeugen. Dies bietet relativ wenige technische Risiken, ist aber wegen der hohen Elektronenenergie aufwändig. Eine zweite Methode beruht auf der Compton-Rückstreuung hochintensiver Laserpulse an Elektronenpulsen mit Energie von lediglich einigen GeV, hierbei sind die technischen Möglichkeiten der Erzeugung der Puls-

zügen genügend intensiver Laserstrahlung noch nicht vollständig geklärt, so dass Entwicklungsarbeiten auf diesem Gebiet wünschenswert sind. Diese Option ist von besonderer Wichtigkeit für das CLIC Programm. Beide Methoden der γ -Strahlerzeugung haben bereits erfolgreich polarisierte Positronenpulse produziert^{27,28}.

In jedem Fall hat der auf diese Weise gewonnene Positronenstrahl eine vielfach schlechtere (normierte) Emittanz als der einer Elektronenquelle. Zum Polarisationserhalt im Dämpfering muss der Spin der Positronen zunächst durch einen geeigneten Spinmanipulator^{29,30} - typischerweise eine Kombination aus Ablenkmagnet und Solenoid - senkrecht gestellt werden; es wird zur Zeit vorgeschlagen dies aus Kostengründen bei 400 MeV Positronenenergie durchzuführen. Letzteres verlangt ebenfalls nach einer sorgfältigen Untersuchung von Depolarisationseffekten, weil bei der niedrigen Energie aufgrund der großen Emittanz die transversalen und longitudinalen Amplituden der Teilchenbewegung besonders groß werden. Falls hier Probleme erwartet werden, kann man solche großen Amplituden an einer der vorhandenen Anlagen unter Verwendung eines polarisierten Elektronenstrahls bewusst erzeugen und die erwarteten Effekte mit einem Polarimeter nachweisen. Über diese experimentellen Aspekte hinaus muss in jedem Fall eine „Start to end“ Simulation mit möglichst kleinen Modellunsicherheiten vorliegen^{31,32}.

Formatiert: Schriftart: Symbol

Gelöscht: , ein entsprechendes Prototypexperiment war am SLAC bereits erfolgreich

Gelöscht: ²⁶,

Formatiert: Hochgestellt

Gelöscht: D

Gelöscht: hat

Gelöscht:

Formatiert: Hochgestellt

Gelöscht:

II.2. Bisherige Arbeiten

Die Elektronenbeschleuniger MAMI und ELSA bieten ausgezeichnete Ausgangsbedingungen zur Untersuchung der meisten Fragestellungen des Spin-Managements, wie in den folgenden Unterpunkten dargestellt werden wird.

II.2.1 Spinpolarisierte Strahlen

Die Race Track Mikrotronkaskade MAMI-C (Mainz) und der Stretcherring ELSA³³ (Bonn) arbeiten seit vielen Jahren routinemäßig mit spinpolarisierten Elektronenstrahlen^{34,26}. Der polarisierte Strahlbetrieb erfolgt mit einer Verfügbarkeit nahe 100% und für jeweils mehrere tausend Stunden pro Jahr, Polarisationsgrade von 80% und mehr sind typisch.

II.2.2 Polarimetrie

An beiden Universitätsanlagen steht eine Kette von Polarimetern (Mott- Möller- und Laser-Comptonpolarimeter) zur Verfügung. An dieser Stelle erfolgt eine Diskussion des aktuellen Status der Polarimeter in Mainz im Hinblick auf ein Vergleichsexperiment.

Mottpolarimetrie:

In Mainz wurden Mottpolarimeter im Energiebereich zwischen 0.1 und 14 MeV erfolgreich eingesetzt^{35,36}. Die zur Zeit verwendete Standardenergie von 3.5 MeV³⁷ bietet verschiedene Vorteile, was die Berechnung der Analysierstärke angeht, weil weder der atomare noch der nukleare Formfaktor nennenswert zu Fehlern der Analysierstärke beitragen, und sich eine ab initio Berechnung der Spindiffusion im Target durchführen lässt^{38,39}. Weiter ist der Dynamikbereich besonders groß, es können mittlere Strahlströme von 0.01 bis 100 Mikroampere verarbeitet werden, wobei die Messzeit für 1% statistische Genauigkeit unter einer Stunde bleibt. Wir erwarten den absoluten Fehler von derzeit 4% mit Hilfe der neuen Rechnungen zur Spin-

Gelöscht: .

diffusion auf unter 2% zu senken. Die Reproduzierbarkeit sollte besser als 1% sein, wobei z.B. Driften der Asymmetrie von relativ 0.3% über 8 Stunden Strahlbetrieb zwar beobachtet worden sind, aber wohl von der Veränderung der Photokathodenpolarisation durch Alterungseffekte herrühren⁴⁰. Um diese Hypothese abzusichern, wird zur Zeit eine im Rahmen des SFB 443 geförderte Dissertation⁴¹ durchgeführt, bei der eine simultane Messung einer unabhängigen Observablen (Zirkularpolarisation der im Goldtarget des Mottpolarimeters entstehenden γ -Quanten) erlaubt, zwischen einer apparativen Drift und einer der Strahlpolarisation zu unterscheiden. Aufgrund des großen Dynamikbereichs und der guten Reproduzierbarkeit wird der 3.5 MeV Mottpolarimeter trotz seiner begrenzten absoluten Genauigkeit eine wesentliche Stütze des experimentellen Programms sein, denn es kann nicht von vorneherein garantiert werden, dass die Strahlpolarisation für alle angestrebten Strahlströme konstant bleibt. Dies kann aber durch den 3.5 MeV Polarimeter nachgewiesen bzw. korrigiert werden. Die anderen Polarimeter sind nämlich entweder auf besonders hohe Strahlintensitäten angewiesen (LCP) oder sind aus Gründen der Belastbarkeit der Targets auf Strahlströme von <1 Mikroampere beschränkt (Möller und DSP).

Gelöscht: r

Möllerpolarimeter:

Der Möllerpolarimeter in Mainz ist analog dem von Hauger et al. vorgeschlagenen⁸ Design – mit von einem supraleitenden Solenoid induzierter Magnetisierung des Targets entlang der Targetnormale – ausgestattet, was die höchste Genauigkeit im Bereich der Möllerpolarimetrie liefert. Die zur Zeit erwartete Absolutgenauigkeit liegt zwischen 1 und 2%.⁴² Eine Schwäche des Möllerpolarimeters ist, dass aufgrund der Erwärmung des Targets eine nicht völlig kontrollierbare Verringerung der Magnetisierung eintritt, die genannte Präzision ist also nur bei geringen Strahlströmen verfügbar.

Gelöscht: Vorge stellt en

Formatiert: Hochgestellt

Laser-Compton-Polarimeter (LCP):

Der Laser-Comptonpolarimeter wurde für das A4-Experiment entwickelt. Der LCP ist in einer eigenen Experimentierhalle aufgebaut und benutzt eine magnetische Schikane für die Laser/Elektron Kollision. Somit kann ein c.w. Laser in einer langen Wechselwirkungszone mit dem Elektronenstrahl zum Überlapp gebracht werden. Die Wechselwirkungszone liegt im Inneren des verlängerten Laserresonators eines Argon Lasers, was die Lichtintensität gegenüber einem einfachen Durchschuss des Lasers erhöht, es wurden schon über 100 Watt im Resonator erzielt.

Es werden sowohl Compton-gestreuete Photonen als auch die zugehörigen Elektronen detektiert: Die Elektronen mit einem Faserbündel am Ausgang der Schikane, die Photonen mit einem Gammadetektor, der in der Flugrichtung der Elektronen in der Wechselwirkungszone liegt. Die entsprechenden Koinzidenzmessungen führen zu der erwarteten Unterdrückung des Bremsstrahluntergrunds. Die beobachtete Ereignisrate im Energiebereich oberhalb etwa 50% der Comptonkante (>12.5 MeV Photonenergie bei 855 MeV Strahlenergie, Signal zu Untergrundverhältnis dort von > 9:1), betrug etwa 1kHz bei 20 Watt Intracavityleistung und einem Strahlstrom von 20 Mikroampere. Bei der angestrebten Intracavity Leistung von 100 Watt würde dies bei 855 MeV eine statistische Genauigkeit von besser als 1% in 24 Stunden erlauben⁴³. Bei den jetzt verfügbaren 1500 MeV - erste Messungen fanden im November

2008 statt - ist zu erwarten, dass sich die Messzeit aufgrund der typischerweise doppelt so hohen Asymmetrie um einen Faktor 3-4 verkürzt.

Der Aufbau und die Bestimmung der Genauigkeit des Polarimeters aus den vorliegenden Spektren im Energiebereich von 315 bis 1500 MeV wurden im Rahmen von 2 Dissertationen durchgeführt, die kurz vor dem Abschluss stehen.

Eine der Hauptschwierigkeiten ist die präzise Vermessung der Zirkularpolarisation des Laserlichts im Inneren des Laserresonators, der die Wechselwirkungszone umschließt. Für LCP's wie den des Kollider-Referenzdesigns rechnet damit, einen beinahe reinen Zirkularpolarisationszustand herstellen zu können, wobei für externe Laserstrahlen mehr als 99.8 % ohne Schwierigkeiten erreichbar sind, der systematische Fehler kann also weit unter 1% liegen. Im Inneren des viele Meter langen Resonators ist es aber bisher nicht gelungen, solch hohe Polarisationsgrade simultan für beide Helizitätszustände zu erzeugen und präzise zu vermessen⁴⁴. Speziell diese Studien, wie auch die Messungen am LCP selbst, werden zusätzlich durch die technische Anfälligkeit des veralteten Argon Lasers erschwert.

Gelöscht:

Um das Problem des systematischen Fehlers zu lösen und um die Planungssicherheit für die hier beantragten Projekte zu gewährleisten, sollte der vorhandene Resonator durch den Einzeldurchschuss eines genügend starken externen Lasers ersetzt werden. Im Einzellinienbetrieb erreichen Festkörperlaser heute mindestens die doppelte Leistung bei gleicher Strahlqualität wie Argon-Ionen-Laser. Trotzdem wird die maximale Luminosität gegenüber dem existierenden Resonator um einen Faktor 5 zurückgehen. Dies kann aber gegenüber den A4 Experimenten, die mit einem Strahlstrom von 20 Mikroampere (u. a. wegen der begrenzten Belastbarkeit des Wasserstofftargets) gefahren werden mussten durch eine Erhöhung des Strahlstroms auf 80 Mikroampere in etwa ausgeglichen werden. Diese 80 Mikroampere bei 1500 MeV wurden in einem Strahltest im Sommer 2008 bereits problemlos durch die Hallen des A4 Experiments transportiert. Die zu erwartende Messzeit bei 1500 MeV Strahlenergie beträgt dann etwa 12 Stunden für 1% statistische Genauigkeit, wenn man von der standardmäßig bei MAMI vorliegenden longitudinalen Elektronenstrahlpolarisation von 80% ausgeht.

Eine eventuelle Drift der Strahlpolarisation während dieser Zeit kann durch wiederholte Messungen mit dem schnell messenden 3.5MeV Mottpolarimeter aufgefangen werden.

Doppelstreupolarimeter (DSP):

Die Entwicklung des DSP wird hier beantragt, es wird bei einer Energie von 100keV arbeiten, die der Injektionsenergie in den MAMI Vorbeschleuniger entspricht. Die wesentlichen Komponenten (Goldtargets, Detektorsysteme, Vakuumkammern, Datenerfassung, Experimentsteuerung) werden aber nicht stark von den bis 1998 an MAMI genutzten 100keV Einzelstreuungs-Polarimetern abweichen, so dass die Entwicklungszeiten und -risiken überschaubar sind.

II.2.3 Spindynamik

Die RTM Kaskade MAMI-C ist ein rezirkulierender Linearbeschleuniger. Wie unter II.1.3 beschrieben lässt sich der Spintransport hier gut beherrschen, die Spinorientierung am Target

wird durch geeignete Vorwahl eines Spindrehwinkels mit einem Wienfilter in der Injektionsstrahlführung gewährleistet. Es gibt bislang keine Anzeichen für Depolarisation.

Gelöscht: 45

III. Ausführliche Beschreibung des Arbeitsplans

III.1 Beschreibung der Arbeitsprogramme

III.1.1: Doppelstreupolarimeter (DSP)

Diese Arbeiten sollen im Rahmen einer Dissertation durchgeführt werden.

Es soll ein DSP zur Erzielung höchster Genauigkeit am Injektionspunkt des MAMI-Beschleunigers aufgebaut werden (100 keV Strahlenergie). Dabei kann vom bewährten Design der vorhandenen Einfachstreupolarimeter ausgegangen werden. Auch steht eine eigene 100keV Elektronenquelle für einen Laboraufbau in der Erprobungsphase zur Verfügung, d.h. alle Test- und Kalibrationsmessungen können unabhängig vom übrigen Experimentierprogramm an MAMI durchgeführt werden. Die Streuapparatur muss danach in die Injektionsstrahlführung von MAMI integriert werden, was die Konstruktion einer Strahlauslenkung aus der Strahllinie erfordert; eine Aufgabe, die wegen der niedrigen Strahlenergie unaufwändig und durchführbar ist. Die Messdatenerfassung wird in das bestehende Polarisationsmesssystem des Beschleunigers integriert, entsprechende Messroutinen zur redundanten Bestimmung der effektiven Analysierstärke müssen entworfen werden. Besonders Vorteilhaft ist die Verfügbarkeit einer unpolarisierten (thermionischen) Elektronenquelle mit beinahe identischen Strahleigenschaften.

Gelöscht: e

Der Einfluss von Driften der Photokathodenpolarisation, der Variation des Primärstroms und anderer Effekte wird untersucht werden. Von besonderer Bedeutung ist die Untersuchung der Linearität und Stabilität des verwendeten Detektionssystems, speziell im Hinblick auf verschiedene Primärströme (Dynamikbereich). Besonders an dieser Stelle ergibt sich ein Überlapp mit der Arbeit des „Spin-managers“ für das Vergleichsexperiment.

Gelöscht: .

Gelöscht: Koordinators

Gelöscht:

Gelöscht: 3

III.1.2 Optimierung der Zuverlässigkeit und Genauigkeit des LCP's.

Diese Arbeiten müssen von einem in Polarimetrie- und/oder Beschleunigerphysik erfahrenen Experimentalphysiker durchgeführt werden, der für etwa 1,5 Jahre an diesem Projekt arbeiten wird. Dazu wird zunächst ein externes Lasersystem aufgebaut. Ziel ist es, mit diesem System eine hohe Betriebszuverlässigkeit und eine stabile Luminosität in der Wechselwirkungszone zu erzielen. Ein weiterer Arbeitsbereich ist die Verbesserung des Vakuums in der Wechselwirkungszone, was das Signal zu Untergrundverhältnis optimiert.

Noch wichtiger ist es aber, eine präzise Messung der Zirkularpolarisation in der Wechselwirkungszone zu demonstrieren. Weiterhin soll die beantragte Person den Experimentierbetrieb des LCP für das Vergleichsexperiment zur Gänze gewährleisten und dem Spin-Manager als Ansprechpartner dienen.

Gelöscht: 2

III.1.3: Vergleichsmessung

Diese Messung folgt in ihrer Stoßrichtung dem JLAB-„Spin dance“ Experiment; sie dient der Etablierung und Demonstration einer kalibrierten Polarimeterkette. Es sollte angemerkt

werden, dass ein solches Experiment vom reinen Strahlzeitbedarf her unaufwändig ist, es sollte sich innerhalb von 100h Strahlzeit durchführen lassen. Das Experiment soll von einem hier beantragten Wissenschaftler/in („Spin-Manager/in“) koordiniert und ausgewertet werden. Diese(r) Wissenschaftler/in wird an einer der Großforschungsanlagen stationiert sein und zunächst dort in die verschiedenen Aspekte der Spindynamik/Polarisationsmessung eingearbeitet. Er/Sie soll sich vor allem – zu etwa 1/2 der Arbeitszeit – um Kollider bezogene Spin-Management-Fragen kümmern, und ansonsten die in Mainz am LCP/DSP/Möller arbeitenden Physiker koordinieren bzw. unterstützen. Die Vergleichsmessung kann erstmals etwa Ende des Jahres 2010 stattfinden. Es ist nicht wahrscheinlich, dass zu dieser Zeit bereits belastbare Genauigkeiten von <1% vorliegen werden, speziell wird das DSP zu dieser Zeit noch nicht fertig entwickelt sein. Dieses Experiment dokumentiert daher zunächst die bis dahin erreichte Qualität der Messungen und wird es in jedem Fall erlauben eine kritische Analyse einzuleiten – dies natürlich insbesondere bei überraschenden Nichtübereinstimmungen.

Das Experiment wird nach Jahresfrist (Ende 2011) mit den dann optimierten Polarimetern wiederholt. Auf diese Weise werden erzielte Verbesserungen manifest oder aber es wird zumindest die Reproduzierbarkeit der verwendeten Anlagen demonstriert. Eine entsprechende Veröffentlichung, die die erzielten Verbesserungen gegenüber den JLAB Experiment herausstellt, ist zum Ende der Förderungsperiode anzustreben.

Die erzielbaren Genauigkeiten von DSP und LCP können bei idealem Verlauf im Bereich ~0.5% erwartet werden, was im Falle des Kolliders mit Polarisation beider Strahlen bereits den Anforderungen genügt (siehe oben: I.2). Ein erfolgreiches Experiment wird es des Weiteren erlauben, auf die zu erwartenden Unsicherheiten eines solchen Vergleichsexperiments an einen Kollider zu extrapolieren; speziell sollte bedacht werden, dass ein LCP am Kollider zumindest was die Messgeschwindigkeit angeht, gegenüber MAMI um mehrere Größenordnungen schneller sein wird. Diese Extrapolation muss durch den folgenden Arbeitsaspekt weiter gestützt werden.

III.1.4: Spin-Dynamik Modellierung am Kollider

Die Extrapolation der Genauigkeit im Mainzer Vergleichsexperiment im Hinblick auf die zu erwartenden Verhältnisse bei einem Kollider erfordern es, die spindynamische Modellierung des Kolliders weiter voranzutreiben. Wie oben dargestellt (II.1.4), sind die zu erwartenden Depolarisationseffekte keinesfalls umfassend aufgeklärt. Die Modellabhängigkeit des Polarisationsverlusts muss also belastbar abgeschätzt werden. Die hierzu notwendigen Techniken und Kompetenzen sind an den Universitäten nicht in genügendem Maße vorhanden, so dass die, unter III.1.3. genannte Person an einem der Großforschungszentren stationiert sein muss, wo sie in die bereits existierenden Gruppen eingebunden sein wird.

III.2 Zeitplanung

III 2. 1. Arbeitsplan Dissertation:

Juli 2009-Januar 2010

Gelösch: III.1.3 Optimierung der Zuverlässigkeit und Genauigkeit des LCP's.¶

Diese Arbeiten müssen von einem in Polarimetrie- und/oder Beschleunigerphysik erfahrenen Experimentalphysiker durchgeführt werden, der für etwa 1,5 Jahre an diesem Projekt arbeiten wird. Dazu wird zunächst ein externes Lasersystem aufgebaut. Ziel ist es, mit diesem System eine hohe Betriebszuverlässigkeit und eine stabile Luminosität in der Wechselwirkungszone zu erzielen. Ein weiterer Arbeitsbereich ist die Verbesserung des Vakuums in der Wechselwirkungszone, was das Signal zu Untergrundverhältnis optimiert. ¶
Noch wichtiger ist es aber, eine präzise Messung der Zirkularpolarisation in der Wechselwirkungszone zu demonstrieren. Weiterhin soll die beantragte Person den Experimentierbetrieb des LCP für das Vergleichsexperiment zur Gänze gewährleisten und dem Spin-Manager als Ansprechpartner dienen.

Gelösch: ¶

Gelösch: Experimentelle Unterstützung der

Gelösch: Die unter 1.2. erwähnte Person wird nach einer Einarbeitungsphase in der Lage sein, die experimentellen Möglichkeiten an den deutschen Universitäten im Bezug auf spindynamische Fragestellungen zu bewerten. Dabei wird sie/er in die Lage versetzt, zu beurteilen, wie das Spin Programm für einen Kollider durch Experimente an den Universitäten unterstützt werden kann. Hier wäre z.B. an Tests der verwendeten Computermodelle zu denken, z.B. könnte die ELISA-Anlage zur Untersuchungen der Depolarisationseffekte im Dämpfungsring verwendet werden. Auch kann erwoogen werden, den externen Strahl in MAMI einen Teilumlauf mit einer Energie vollführen zu lassen, die einem ganzzahligen Spintune entspricht (Spinresonanz z.B. bei ~ 1320 MeV). Dabei kann in Mainz sowohl mit zur Ablenkebene senkrechter Polarisation (stabile Spinrichtung) als auch mit horizontaler Polarisation gearbeitet werden.

Gelösch:

Gelösch: so

Gelösch: , dass die unter III.1.3. erwähnte Extrapolation der Genauigkeit auf realistische Weise durchgeführt werden kann

Gelösch: er

Einarbeitung, Testmessungen mit den verschiedenen vorhandenen Mottpolarimetern (3.5 und 0.1 MeV)

Januar 2010-Dezember 2010

Konzeption des DSP, speziell: Vakuumkammern, Mechanik, Detektion, Datenerfassung und Steuerung, Goldtargets, Kalibrationsmessungen Goldtargets, Konzeption einer Extraktionsbeamline.

Teilnahme am ersten Polarimetervergleichsexperiment (Betrieb des 3.5 MeV Polarimeters)

Aufbau des DSP im Labor. Inbetriebnahme und Kalibrationsmessungen

Juni 2010-September 2011

Einbau des DSP am Injektionspunkt von MAMI. Test und Datenerfassungsstrahlzeiten, Untergrundbestimmung, Konsistenzprüfungen, Drift- und Reproduzierbarkeitsuntersuchungen.

Oktober 2011 Teilnahme am 2. Vergleichsexperiment.

November 2011-Juni 2012 Abschluss der Dissertation.

III.2.2. Arbeitsplan Promovierte(r) Wissenschaftler/in mit Standort an einem Großforschungszentrum („Spin-manager/in“)

Juli 2009-Januar 2010

Einarbeitung in die Aspekte der Spindynamik in Rezirkulatoren/Speicherringen. Arbeiten mit Simulationssoftwares steigender Komplexität bis hin zu umfassenden Codes wie dem am DESY genutzten „PLACET“

Gelöscht: z.B. von dem in Mainz genutzten POLTRACE zu SLICKTRAC

Gelöscht: K

Januar-September 2010

Vorbereitung des ersten Vergleichsexperiments an MAMI. Einarbeitung in die verschiedenen Polarimeterkonzeptionen. Koordination der Mott/Möller und Comptonexperimentatoren in Mainz. Untersuchung der systematischen Fehler, die durch die verwendeten Detektionsprinzipien (Linearität, Pile-up, etc) bei der Polarimeterkette entstehen. Von Vorteil ist hier eine Unterstützung durch die in dieser Hinsicht erfahrene LC- Polarimetergruppe.

Anwendung der Computermodellierung auf realistische Linear-Kolliderkonzepte

Oktober 2010

Gelöscht: Erarbeitung von Konzepten für Spindynamik Messungen an ELSA und MAMI. ¶

Leitung /Durchführung des ersten Polarimeter-Vergleichsexperiments.

Gelöscht: ¶

November 2010-September 2011

Auswertung des Vergleichsexperiments, Analyse der systematischen Schwächen aller Polarimeter. Unterstützung der jeweiligen Experimentatoren in Mainz bei der systematischen Verbesserung.

Ausarbeitung der Unterschiede im Bezug auf die Polarisationsverluste an einem Rezirkulator in Vergleich zu einem realistischen Kolliderdesign.

Vorbereitung von weiterführenden Spindynamik Untersuchungen an ELSA/MAMI

Oktober 2011

Leitung /Durchführung des zweiten Polarimeter-Vergleichsexperiments.

November 2011-Juni2012

Auswertung Zusammenfassung und Publikation. Durchführung der Extrapolation der Resultate im Hinblick auf entsprechende Vergleichsmessungen an einem Kollider. Dabei konsequente Anwendung der avanciertesten Modellierungssoftware.

Gelöscht: Durchführung der weiteren Spindynamik Messungen an ELSA/MAMI.

IV. Verwertungsplan

Eine planbare wirtschaftliche Verwertung ist in diesem Grundlagenforschungsprojekt wohl nicht möglich, obwohl wirklich innovative Technologien – wie z.B. Spindynamik/Spindiffusion in Festkörpern (Spintronic) – hier durchaus in Korrespondenz zu den bearbeiteten Thematiken stehen. Der wahre Wert dieser Untersuchungen liegt hingegen in der Steigerung des Gewichts der beteiligten deutschen Forschergruppen bei den Planungen für einen linearen Kollider. Die in diesem Projekt notwendige enge Anbindung der Universitätsgruppen an die Großforschungsanlagen wird die Forschungseffektivität überproportional zu den eingesetzten Mitteln erhöhen. Jungen Wissenschaftlern am Beginn ihrer Karriere wird des Weiteren eine exzellente Möglichkeit zur Erweiterung ihres Wissensgebietes gegeben und ihre Integration in die deutsche Hochenergiephysik Community befördert.

V. Zusammenarbeit mit Dritten

Dieses Projekt wird von einem Konsortium getragen, das neben Mainz und DESY/CERN die Universitäten Bonn und Hamburg umfasst. Aufgrund der relativen räumlichen Nähe sind neben den heute üblichen Internet/Audio/Video-Kontakten auch persönliche Treffen der Arbeitsgruppen unaufwändig zu organisieren. Wegen der Vielfalt der zu bearbeitenden Themen gibt es auch enge Kontakte zu Spezialisten anderer Labore, wie z.B. Desmond Barber vom DESY in Fragen der Spindynamik. Auf dem Gebiet der Mottpolarimetrie bestehen gute Kontakte zu Tim Gay (Universität Nebraska), der einer der besten Experten auf diesem Gebiet ist. Weiter ist das Institut für Kernphysik – schon allein wegen der weitgehend parallelen Forschungsinteressen - in engem Kontakt mit Jefferson Laboratorium in Newport News (USA), wo ebenfalls große Erfahrungen im Bereich der Polarimetrie/Spindynamik bestehen. Der Erfahrungsaustausch findet meist auf den jährlich stattfindenden Konferenzen zu Problematiken der spinpolarisierten Strahlen statt. Die mit der Positronenquelle und der Polarisationsmessung befassten Gruppen an DESY und und in Zeuthen sind selbstverständlich weltweit vernetzt (wie es natürlich auch am CERN/CLIC der Fall ist). Hier sind z.B. Zusammenarbeiten mit den US-Labors Stanford (SLAC), und Argonne und Einrichtungen im Vereinigten Königreich (Daresbury, U-Liverpool, U-Durham)

Gelöscht: gesamten

Gelöscht: h

Für die hier beantragten Wissenschaftler sollten Reisemittel zu den erwähnten Konferenzen vorgesehen werden.

VI. Notwendigkeit der Zuwendung

VI.1 Personalkosten

Die oben beschriebenen Experimente erfordern erhebliche Ressourcen, die von der Infrastruktur in Mainz durch Einsatz der Grundausrüstung sowie von Mitteln aus dem DFG SFB 443 für den Betrieb der Beschleuniger und der Polarimeter gestellt werden. Die hier beantragten Forschungen müssen zusätzlich erbracht und finanziert werden.

Daher werden beantragt:

i) 1.0 Mitarbeiter-Stellen EG13, TVL über 3 Jahre

Promovierte(r) Wissenschaftler/in (,Spin manager/in' Standort an einem Großforschungszentrum):

Gelösch: @

Arbeitsbeschreibung: siehe oben.

ii) 1.0 Mitarbeiter-Stellen EG13, TVL über 3/2 Jahre

Gelösch: 53.575€/ a = 160.725€ für drei Jahre¶

Promovierte(r) Experimentalphysiker/in mit Erfahrung in Polarimetrie und/oder Beschleunigerphysik: Standort in Mainz

Gelösch: @

Diese Stelle wird für einen in der Polarimetrie erfahrenen Wissenschaftler benötigt, der das Laser Compton Polarimeter in Mainz nach Ausscheiden der beiden Doktoranden betreuen, und unter anderem die Installation des neuen Lasersystems übernehmen wird. Diese Person wird dem Spin-Manager in allen Belangen der systematischen Verbesserung der Laser-Compton Polarimetrie unterstützen und die theoretisch erarbeiteten Vorschläge in Mainz in die Praxis umsetzen.

iii) ¾ Mitarbeiter-Stellen EG13, TVL über 3 Jahre

Gelösch: 53.575€/ a = 80362.5 € für 3/2 Jahre¶

Doktorand/in, Standort in Mainz

Arbeitsbeschreibung: siehe oben.

Gelösch: ¾*53.575€/ a = 120543.75 € für 3 Jahre

Total Personalkosten, laut EASY-AZA: 363934,00 €

Gelösch: 1631,25

VI.2 Investitionen

Die oben beschriebenen Experimentiervorhaben sind ressourcenaufwändig, werden aber größtenteils aus der Grundausrüstung finanziert werden können. Dies gilt auch für das Doppelstreupolarimeter. Lediglich im Bereich des Laser Compton Polarimeters wird eine Investition benötigt, da dort zur Zeit ein überalterter und daher entsprechend unzuverlässiger Argon Ionen Laser eingesetzt wird, der nur durch intensiven Personaleinsatz der beiden dort eingesetzten Doktoranden in Betrieb gehalten werden kann. Des Weiteren ist die Einzellinienintensität des Lasers weitaus geringer als die eines modernen Festkörperlasers, was die Luminosität in einem Arbeitsmodus, der hochpräzise Zirkularpolarisationsmessung erlaubt, erheblich

absenkt. Diese Nachteile würden den Erfolg des Vergleichsexperiments in hohem Masse gefährden. Es wird daher beantragt den Argon Ionen Laser des Laser Compton Polarimeters durch einen modernen Scheibenlaser zu ersetzen.

Gelöscht: e

Investition: 20Watt Scheibenlaser, Fa. SLT Modell Monodisk Gemini 20

Gelöscht: 2*

127000Euro(+MWST)=151130€

Total Investitionen: 151130 Euro

VI.3 Reisemittel

Wie oben angegeben ist eine gewisse Reisetätigkeit zur Koordination zwischen den Instituti-
onen und der Universität Mainz notwendig, das gilt speziell für die Person des Spin-
Managers, welche mindestens viermal pro Jahr nach Mainz reisen sollte und insgesamt etwa
12 Wochen in Mainz verbringen muss.

12 Dienstreisen nach Mainz mit insgesamt 12 Wochen Aufenthalt: 10500 Euro

Gelöscht: 8

Gelöscht: 0

Weiterhin sollte der Doktorand 2*Pro Jahr an Koordinierungstreffen der an den Großfor-
schungsanlagen arbeitenden Gruppen teilnehmen, d.h. vermutlich zum CERN oder zu DESY
reisen

Gelöscht: Weiter sollten die beteiligten Wissenschaftler (Post Doc und Doctorand) jeweil

Gelöscht: s

6 Dienstreisen a 500 Euro, insgesamt 3000 Euro,

Gelöscht: einmal pro Jahr die Gelegenheit erhalten an den international besetzten Spinphysik oder Polarimetrieworkshops teilzunehmen und dort die erzielten Resultate vorzutragen.

Total Reisekosten: 13500 €

Gelöscht: Dienstreisen zu internationalen Konferenzen a 2000

Gelöscht: Euro: 12000 Euro

Gelöscht: 20000

Gelöscht: :

Formatiert: Schriftart: Fett, Unterstrichen

Gelöscht: 32761,25

Damit: Gesamtantragssumme laut EASY-AZA 528564,00 €

¹ J. Brau et al. (ed's) International Linear Collider : Reference Technical Design Report Vol. 1 executive summary (2007) <http://www.linearcollider.org/cms/>

² J. Brau et al. (ed's) International Linear Collider : Reference Technical Design Report Vol. 1 executive summary (2007) <http://www.linearcollider.org/cms/> p. I-5

³ A. Diouadi et al. (ed's) International Linear Collider : Reference Technical Design Report Vol. 2 : Physics at the ILC (2007) <http://www.linearcollider.org/cms/> p.40

⁴ S. Riemann: <http://www-flc.desy.de/lcnotes/notes/> LC-TH-2001-007

Formatiert: Englisch (Großbritannien)

Feldfunktion geändert

⁵ G. Moortgat-Pick et al. Phys. Rep. 460 p.131 (2008)

Formatiert: Englisch (Großbritannien)

Formatiert: Deutsch (Deutschland)

⁶ Die Wichtigkeit dieser Absicherung wird zum Beispiel betont in: B. Aurand et al: Executive summary of workshop on Polarization and beam energy measurements at the ILC. ILC note 2008-047.

Formatiert: Deutsch (Deutschland)

Formatiert: Englisch (Großbritannien)

⁷ Ein derartiges Experiment wurde am Jefferson Lab durchgeführt: J. Grames et al. PRST/AB 7 042802 (2004). Die beteiligten Polarimeter waren keineswegs im Rahmen ihrer behaupteten Genauigkeit in Übereinstimmung, Zitat: „Statistically significant disagreements among the values of the beam polarization calculated from the asymmetry measurements made with each polarimeter reveal either errors in the value of the analyzing power or failure to correctly include all systematic effects.“

⁸ M. Hauger et al.: NIM A 462 382 (2001)

-
- ⁹ ALEPH, DELPHI, L3, OPAL, SLD Collaboration, LEP and SLD electroweak working groups: Physics reports **427** 257 (2006)
- ¹⁰ V. Gharibyan et al.: <http://www-flc.desy.de/lcnotes/notes/> LC-DET-2001-047
- ¹¹ K. Aulenbacher: EPJ **A32** 543 (2007)
- ¹² F. E. Maas et al.: PRL **94** 152001 (2005)
- ¹³ T. J. Gay and F.B. Dunning: Rev. Sci. Instrum. **63** 1653 (1992)
- ¹⁴ T. J. Gay et al.: Rev. Sci. Instrum. **63** 114 (1992)
- ¹⁵ H. Hopster and D.L. Abraham: Rev. Sci. Instrum. **59** 49 (1991)
- ¹⁶ J. Kessler: Polarized Electrons, 2nd ed. Springer 1986 p. 42.
- ¹⁷ A. Gellrich and J. Kessler: Phys Rev. **A43** 204 (1991)
- ¹⁸ S. Mayer et al.: Rev. Sci. Instrum. **64** 952 (1993)
- ¹⁹ T. Roser in: A. W. Chao and M. Tigner (ed's): Handbook of Accelerator physics and engineering, World Scientific, Singapore (1999) p. 148
- ²⁰ M. Steigerwald: Dissertation, Institut für Kernphysik der Universität Mainz (1998)
- ²¹ K. H. Kaiser et al.: NIM **A 593** 159 (2008)
- ²² A. Jankowiak: EPJ **A 28** s01, 149-160 (2006)
- ²³ V. Tioukine and K. Aulenbacher: NIM **A 568** 537 (2006)
- ²⁴ N. Phinney et al. (ed's): International Linear Collider : Reference Technical Design Report Vol. 3: Accelerator (2007) <http://www.linearcollider.org/cms/> p.55
- ²⁵ L. I. Malysheva et al.: Depolarization effects at the ILC, Cockcroft report 06/87 (2006) <http://www.cockcroft.ac.uk/research/papers2006.htm#year2006>
- ²⁷ G. Alexander et al: PRL 106 210801 (2008)
- ²⁸ [T. Omori et al. PRL 96 114801 \(2006\)](#)
- ²⁹ [P. Schmid, EUROTEV-REPORT-2005-024; P. Schmid and N.J. walker EUROTEV-REPORT-2006-068,](#)
- ³⁰ [K. Moffeit et al: IPBI-TN-2005-2; K. Moffeit et al. IPBI-TN 2008_1](#)
- ³¹ [J. Smith Proceedings PAC07 Albuquerque, New Mexico, pp.1955](#)
- ³² [F. Zhou et al. SLAC-PUB-12239; F. Zhou et al. SLAC-PUB-12240](#)
- ³³ W. Hillert: EPJ **A28**, s01 139 (2006)
- ³⁴ K. Aulenbacher et al.: NIM **A391**, 498 (1998)
- ³⁵ K. H. Steffens et al: NIM **A 325** 378 (1993)

³⁶ J. Sromicki et al. : PRL **82** 57 (1999)

³⁷ K. Aulenbacher: Habilitationsschrift, Shaker Verlag Aachen ISBN 978-3-8322-6429-1(2006)

³⁸ K. Aulenbacher: Vortrag beim Satellitenworkshop PESP2008 des 18-ten Internationalen Spin-physics symposiums SPIN-2008. Veröffentlichung der Proceedings in Vorbereitung.

³⁹ M. A. Khakoo et al: Phys. Rev. **A 64** 052713

⁴⁰ Y. Yashin: in K. Hatanaka et al (ed's) Proceedings Spin 2000, AIP Conference Proceedings Vol. 570 p.920

⁴¹ F. Nillius: Dissertation, Uni Mainz, (in Vorbereitung)

⁴² P. Bartsch et al.: PRL **88** 142001 (2002)

⁴³ J. Diefenbach et al. : EPJ **A32** 555 (2007)

⁴⁴ Y. Imai: in: K. de Jager et al. (ed's): Proceedings PAVI 2006., Springer Verlag, p.269 (2006)