

# wissenschaft und fortschritt

11 33816 EVP 1.-M  
1976

Herausgegeben von  
der Akademie  
der Wissenschaften  
der DDR



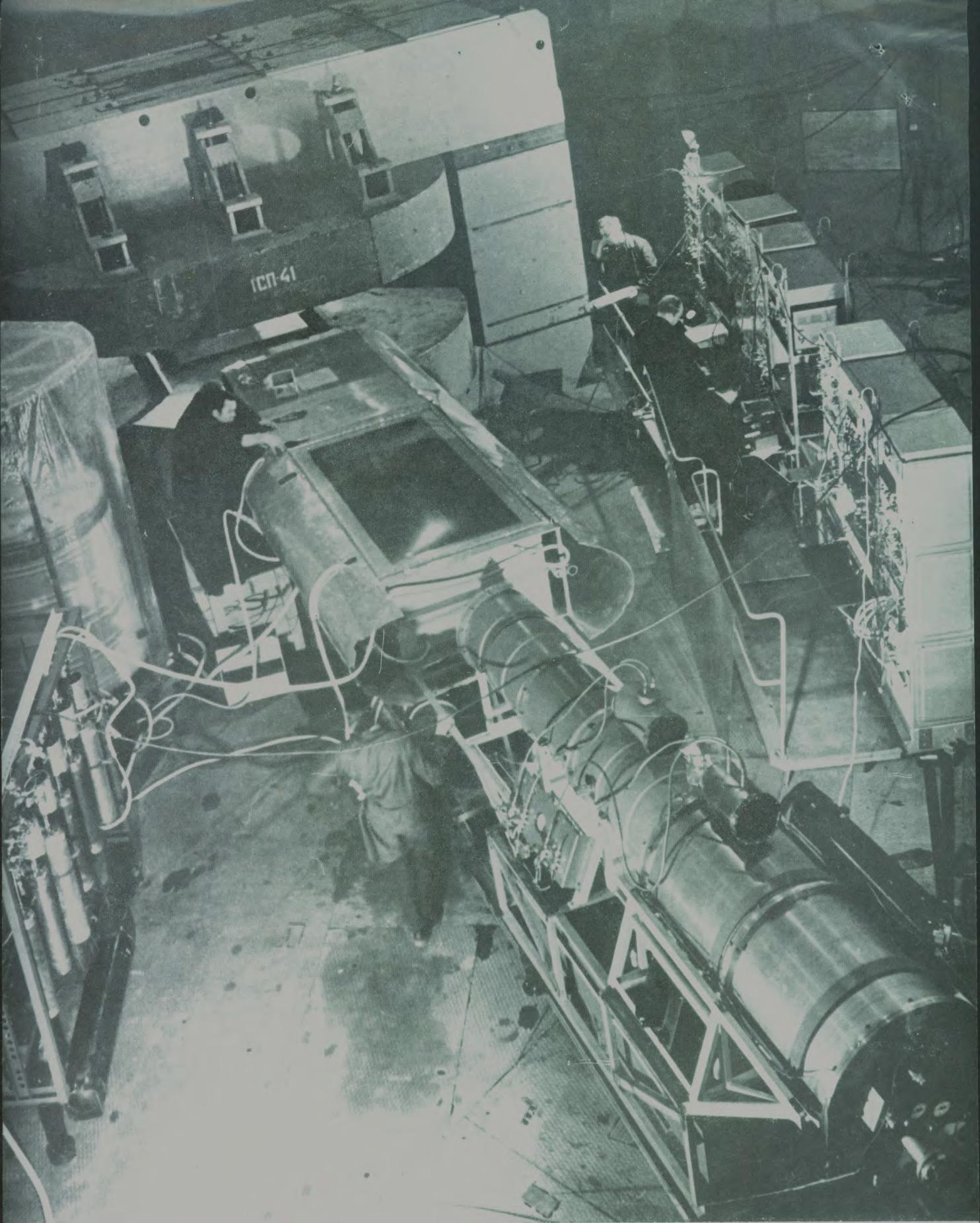
Akademie-Verlag  
Berlin



„Umweltkrieg“?

Forschungsprogramm MMKI

Nerven und Hormone



Um Wechselwirkungsprozesse der relativistischen Kernphysik untersuchen zu können, wurde in Dubna ein kompliziertes Detektorsystem entwickelt, dessen Kernstück eine sog. Streamerkammer ist. Diese Kammer befindet sich während des Experiments in einem Magnetfeld, so daß man gekrümmte Teilchenbahnen (Streamer) erhält. Der Elektromagnet ist im Hintergrund der Abb. zu sehen; die Streamerkammer ist hier herausgezogen. Links befindet sich das Gasfüllsystem für die Kammer, rechts die Elektronik für das gesamte Detektorsystem sowie für die Steuerung der Photoapparatur. In den Experimenten werden Stereoaufnahmen der hochenergetischen Kern-Kern-Wechselwirkungsprozesse erhalten, die auf entsprechenden Automaten mit direktem Rechneranschluß ausgewertet werden. — (Siehe unseren Beitrag auf S. 517.)

# 20 Jahre Dubna

## Ergebnisse — Projekte — Ideen

Teil I

Dr. Siegfried Tesch

VIK Dubna / ZI für Kernforschung der AdW der DDR

Das internationale Forscherkollektiv der sozialistischen Länder im Vereinigten Institut für Kernforschung in Dubna hat mit originellen Ideen und klug durchdachten Meßapparaten an den Großgeräten des Instituts viele wissenschaftliche Spitzenleistungen erzielt, die international hohe Anerkennung fanden. Aus Anlaß des 20jährigen Bestehens des VIK wurden den Dubnaer Forschern hohe Ehrungen zuteil. Die Sowjetregierung verlieh dem Institut den Orden der Völkerfreundschaft. In der Begründung hierzu heißt es, daß das Institut ausgezeichnet wird „für die erreichten Erfolge in der Grundlagen- und angewandten Forschung auf den Gebieten Elementarteilchenphysik und Kernphysik, für den großen Beitrag bei der Heranbildung hochqualifizierter wissenschaftlicher Kader und bei der Entwicklung der wissenschaftlich-technischen Zusammenarbeit der sozialistischen Länder...“

Neue interessante Forschungsaufgaben sieht der vierte Fünfjahrplan des VIK vor, der dieses Jahr begann und im Zeichen sozialistischer Wissenschaftsintegration steht. Das 20jährige Bestehen des VIK Dubna soll uns Anlaß sein, einige wissenschaftliche Ergebnisse der jüngeren Vergangenheit zu erläutern sowie Entwicklungstendenzen anzudeuten.<sup>1)</sup>

Die Erfolge der Dubnaer Forscher basieren zu einem wesentlichen Teil auf den im VIK vorhandenen Großgeräten: dem Synchrophasotron des Laboratoriums für Hohe Energien, dem Synchrozyklotron des Laboratoriums für Kernprobleme, den Schwerionenzyklotrons des Laboratoriums für Kernreaktionen und dem Impulsreaktor des Laboratoriums für Neutronenphysik. Wenn wir einige Ergebnisse erläutern, beschränken wir uns ausschließlich auf diese Basiseinrichtungen. Darüber hinaus bestehen enge Kooperationsbeziehungen — insbesondere auf dem Gebiet der Hochenergiephysik — zu anderen nationalen und internationalen Forschungseinrichtungen.

### Laboratorium für Hohe Energien

Der in den 50er Jahren größte Protonenbeschleuniger der Welt, das Synchrophasotron, ist zu neuem Leben erwacht.

Durch entscheidende Änderungen des Beschleunigungsregimes, den Bau eines neuen Injektorbeschleunigers und eines Strahlausführungssystems sowie die Entwicklung neuartiger Ionenquellen gelang es, zum Beschleunigen von Atomkernen überzugehen. Damit sind hochenergetische schwere Ionen für Experimente verfügbar. Das Synchrophasotron des Laboratoriums für Hohe Energien ist gegenwärtig der einzige Beschleuniger in der Welt, der Kerne auf Energien bis zu 5 GeV pro Nukleon beschleunigen kann. Für Heliumkerne entspricht das einer Energie von 20 GeV (Abb. 1). Zahlreiche Experimente mit hochenergetischen Deuteronen und  $\alpha$ -Teilchen wurden bereits durchgeführt. Kürzlich gelang es auch, Kohlenstoffkerne zu beschleunigen. Beim Übergang zu immer schwereren Kernen wachsen die technischen Schwierigkeiten rasch an. Man braucht leistungsfähige Ionenquellen, um nackte, d. h. völlig ionisierte Kerne zu erzeugen. Im Beschleunigungstrakt ist ein extrem hohes Vakuum erforderlich, um die Intensitätsverluste während des Beschleunigungszyklus niedrig zu halten.

Die verfügbare Energie von 5 GeV/Nukleon bedeutet, daß man ein Verhältnis der Geschwindigkeit der beschleunigten Kerne zu der des Lichts  $v/c = 0,98$  erreicht. Das entspricht einem extrem relativistischen Fall. Die sich entwickelnde Forschungsrichtung mit hochenergetischen schweren Ionen nennt man daher auch relativistische Kernphysik.

Früher konnte man die Wechselwirkungsprozesse hochenergetischer Kerne mit Materie nur mit Hilfe der kosmischen Strahlung untersuchen. Bei den geringen Intensitäten der beobachteten Ereignisse waren diese Untersuchungen wenig effektiv, und viele astrophysikalische Fragen blieben daher bis auf den heutigen Tag unbeantwortet. Jetzt kann man diese Prozesse im Laboratorium studieren. Das wird sicherlich helfen, neue Erkenntnisse — z. B. über den Ursprung der kosmischen Strahlung — zu gewinnen.

Ein anderer, äußerst interessanter Aspekt ist das Verhalten von Kernen bei hohen Dichten und Temperaturen. Die relativistische Kernphysik macht es möglich, durch hochenergetische Kern-Kern-Stöße

Kompressionswellen in Kernen zu erzeugen. Welche neuen fundamentalen Informationen aus diesen Studien erhalten werden, ist heute noch nicht abzusehen.

Weitere Aufgaben für die relativistische Kernphysik sollen hier nicht diskutiert werden. An dieser Stelle sei jedoch die theoretische Vorhersage und darauf folgende experimentelle Bestätigung des sog. kumulativen Effekts genannt. Darunter versteht man folgenden Prozeß: Beim Zusammenstoß eines auf relativistische Geschwindigkeit gebrachten Kerns mit einem anderen Kern werden Elementarteilchen erzeugt, die eine wesentlich höhere Energie haben, als pro Nukleon des einfliegenden Geschößkerns eingebracht wird. Erste Analysen dieses Effekts führten bereits zu interessanten Aussagen über die lokalen Eigenschaften von Hadronenmaterie (Hadronen sind Elementarteilchen, die der starken Wechselwirkung unterliegen).

Ausführlich untersuchte das Dubnaer Forscherkollektiv beispielsweise den Erzeugungsprozeß von Pionen beim Beschluß von Atomkernen mit hochenergetischen Protonen (einige GeV). Das Schema der experimentellen Anordnung ist in Abb. 2 dargestellt. Das sich mit nahezu Lichtgeschwindigkeit bewegendes Proton durchdringt den Kern in der extrem kurzen Zeit von  $10^{-25}$  s. Bisher ging man davon aus, daß während dieser Zeit das Proton bestenfalls mit einem der im Kernverband vorhandenen Nukleonen (Protonen oder Neutronen) wechselwirkt. Berechnet man die Kinematik der Pionenerzeugung auf Grund der elementaren Nukleon-Nukleon-Wechselwirkung, so ergibt sich eine bestimmte Maximalenergie für das erzeugte Pion (beispielsweise 0,25 GeV unter einem Winkel von  $180^\circ$  für eine Einschußenergie der Protonen von 6 GeV). Aus dem Experiment ergab sich jedoch folgendes über-

<sup>1)</sup> Vergleiche z. B. D. Wrobel, H. Rudolph, „Dubna — Stadt der Wissenschaft“, Wiss. u. Fortschr., Teil I: 22 (1972) 12, S. 534; Teil II: 23 (1973) 1, S. 8; Teil III: 23 (1973) 2, S. 82; Teil IV: 23 (1973) 3, S. 132

G. Musiol, „Entwicklungstendenzen der kernphysikalischen Forschung — Einige Ergebnisse aus dem VIK Dubna“, Wiss. u. Fortschr.; Teil I: 22 (1972) 12, S. 544; Teil II: 23 (1973) 1, S. 19; Teil III: 23 (1973) 4, S. 163

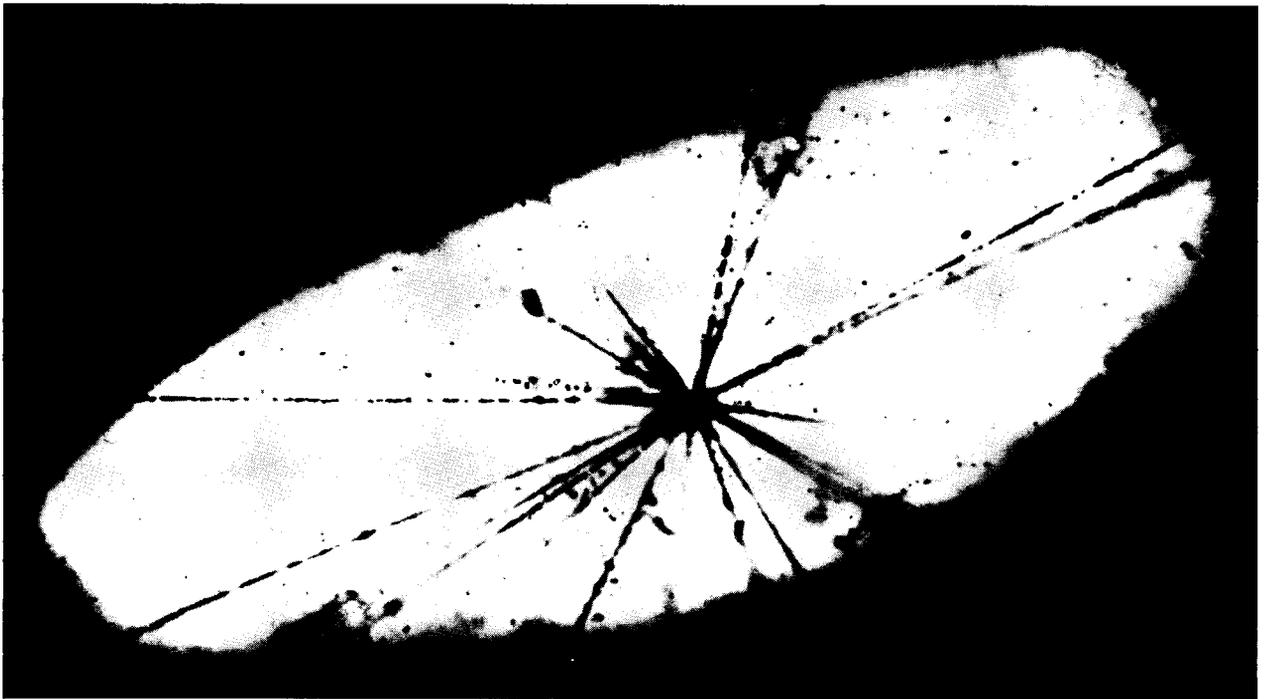


Abb. 1 Eines der ersten unter Laboratoriumsbedingungen registrierten Ereignisse des jungen Forschungsgebiets der relativistischen Kernphysik: Ein Heliumkern mit der Energie von 20 GeV zertrümmert einen Atomkern. Neben Protonen und Neutronen (letztere hinterlassen keine sichtbaren Spuren, da sie elektrisch neutral sind) entstehen auch schwere Kernfragmente. Darüber hinaus werden im Wechselwirkungsprozeß der Kerne weitere Elementarteilchen erzeugt.

raschendes Ergebnis: Entgegen dieser Annahme wurden Pionenenergien beobachtet, die die erwarteten Werte bis zum Vierfachen übersteigen. An der theoretischen Interpretation dieses Effekts wird intensiv gearbeitet.

Diese Erscheinung ist nicht nur für die Grundlagenforschung überaus interessant, sondern auch von praktischem Wert, weil es prinzipiell möglich ist, sekundäre Teilchenstrahlen größerer Energien zu erzeugen, ohne daß die Primärenergie des Beschleunigers erhöht werden muß.

Zweifelloos eröffnen die Zusammenstöße relativistischer Kerne neue Perspektiven für den Test prinzipieller Gesetzmäßigkeiten in der Kern- und Elementarteilchenphysik. Damit wird zunehmend auch die bisherige Trennung dieser beiden Forschungsgebiete aufgehoben. Eine Apparatur zum Untersuchen hochenergetischer Kern-Kern-Stöße zeigt die Abb. auf der II. US.

Einen weiteren Aufschwung wird die relativistische Kernphysik mit schweren Ionen ohne Zweifel durch den Bau eines neuen Beschleunigers, des sog. Nuklotrons, nehmen. Ein entsprechendes Projekt wird gegenwärtig im Laboratorium für Hohe Energien entwickelt. Dieser Beschleuniger soll auf der Basis supraleitender Magnete arbeiten und intensive Protonenstrahlen einer Energie von 50 GeV sowie relativistische Kerne bis zum Calcium mit Energien von 20 GeV/Nukleon liefern.

#### Laboratorium für Kernreaktionen

Über die Physik mit schweren Ionen (Energien: einige MeV/Nukleon) und deren Einsatz in anderen Wissensgebieten ist bereits verschiedentlich berichtet worden.<sup>2)</sup> Mit den hier vorhandenen Schwerionenbeschleunigern U-200 und U-300 erzielten die Dubnaer Wissenschaftler in der Vergangenheit bedeutende wissenschaftliche Ergebnisse. Glanzvoller Höhepunkt des Jahres 1975 war ohne Zweifel die Synthese des Elements mit der Ordnungszahl  $Z = 107$ .<sup>3)</sup> Im Experiment wurde Wismut-209 mit Chrom-54 beschossen. Die achtfach geladenen Ionen hatten eine Energie von 290 MeV, wobei die Strahlintensität etwa  $2 \cdot 10^{12}$  Ionen/s betrug. Man registrierte 110 Ereignisse, in denen Kerne mit der Ladungszahl  $Z = 107$  und der Massenzahl  $A = 261$  entstanden waren. Die Halbwertszeit dieses erstmals erzeugten Transurankerns beträgt 2 ms.

Mit diesem Experiment wurde eine weitere Hürde beim Vordringen zu einer Insel relativer Kernstabilität genommen, die für den Bereich um die Ordnungszahl  $Z = 114$  theoretisch vorausgesagt wird. Sollte in den weiteren Experimenten dieses Gebiet mit relativ stabilen superschweren Kernen bestätigt werden, hätte das weitreichende Konsequenzen für viele Grundvorstellungen in der Kernphysik. Schwere Ionen scheinen die geeigneten Projektile zu sein, um weitere neue Transurane zu erzeugen und deren Eigenschaften zu studieren.

Neue superschwere Kerne sind jedoch nur ein, wenn auch ein überaus wichtiger Aspekt der Schwerionenforschung. Die kernphysikalische Grundlagenforschung mit schweren Ionen und deren Einsatz in anderen Forschungsgebieten entwickelt sich stürmisch. Bei der Wechselwirkung komplizierter Kerne miteinander lassen sich vielfältige und prinzipiell wichtige Erscheinungen untersuchen. Das kombinierte Auftreten von Kern-, Coulomb- und Zentrifugalkräften in Kern-Kern-Stößen führt zu komplizierten Wechselwirkungsmechanismen, die heute erst sehr grob verstanden werden. Hinzu kommen kollektive Kernanregungen und komplizierte Deformationen der Stoßpartner. Bei bestimmten Kernreaktionen verhalten sich die beteiligten Kerne ähnlich wie zähflüssige Tröpfchen. Daraus folgen gewisse Eigenschaften der Viskosität von Kernmaterie. Oder denken wir an die vielfältigen Erscheinungen bei der Kernspaltung oder an die Erzeugungsprozesse von Kernen mit großem Neutronen- oder Protonenüberschuß. Mit schweren Ionen in einem weiten Massen- und Energiebereich wird man in der Lage sein, immer weiter an

<sup>2)</sup> Siehe z. B. G. N. Flerov, V. S. Barašenkov, „Strahlen schwerer Ionen — Grundlagen und Einsatzmöglichkeiten“, Wiss. u. Fortschr.; Teil I: 25 (1975) 10, S. 460; Teil II: 25 (1975) 11, S. 512

<sup>3)</sup> Siehe z. B. „Das Element 106“, Wiss. u. Fortschr. 25 (1975) 9, S. 387

die Grenzen der Kernstabilität vorzudringen.

Wenden wir uns etwas ausführlicher einer Erscheinung zu, die uns in das Forschungsgebiet der Atomphysik führt: Eine Gruppe von Kernphysikern aus der DDR untersuchte in den vergangenen Jahren eingehend die bei der Wechselwirkung schwerer Ionen mit Atomen auftretende Röntgenstrahlung. Der Stoßprozeß mit Ionen der Energie von etwa 1 MeV/Nukleon dauert genügend lange, so daß sich die Elektronenbahnen der Stoßpartner — ähnlich wie bei Molekülen — auf ein gemeinsames elektromagnetisches Feld zweier Zentren (die des Geschoß- und des Targetkerns) einstellen können. Man spricht von sog. Quasimolekülen, die durch die beim Stoßprozeß auftretende Röntgenstrahlung nachgewiesen werden. Außer der charakteristischen Strahlung der beteiligten Stoßpartner wird ein kontinuierliches Röntgenspektrum beobachtet, das bis zur entsprechenden Energie der vereinigten Atomkerne reicht. Durch detaillierte theoretische Analyse der Quasimolekülstrahlung, die u. a. gegenwärtig auch im Zentralinstitut für Kernforschung der AdW der DDR in Rossendorf erfolgt, erhält man Auskunft über die Spezifik des Stoßprozesses. Durch entsprechende Wahl der Stoßpartner und der Ionenenergie kann man die Lebens- und die Schwingungsdauer der erzeugten Quasimoleküle in weiten Grenzen variieren.

Daß diese Arbeiten prinzipiell wichtig sind, soll hier nochmals betont werden.

Mit Hilfe der Quasimoleküle kann man ferner elektromagnetische Wechselwirkungsprozesse in starken Feldern stu-

**Tabelle 1 Einige Hauptparameter des im Bau befindlichen Beschleunigers U-400 für schwere Ionen**

Energiebereich der beschleunigten Ionen	6 ... 12 MeV/Nukleon
Beispiele für Intensitäten:	
Neon	$4 \cdot 10^{14}$ Teilchen/s
Chrom	$3 \cdot 10^{13}$ Teilchen/s
Xenon	$1 \cdot 10^{14}$ Teilchen/s
Magnetfeld	20 kG
Polshuhdurchmesser	400 cm
Gewicht d. Magneten	2200 t
Leistung des HF-Generators	100 kW
Vakuum	$2 \cdot 10^{-7}$ Torr

dieren. Als Maß für die Stärke der elektromagnetischen Wechselwirkung dient die sog. Sommerfeldsche Feinstrukturkonstante  $\alpha = 1/137$  — eine charakteristische Größe in der Diracschen Theorie des Elektrons. Wegen der Kleinheit der Feinstrukturkonstanten kann man in der Quantenelektrodynamik die sog. Störungstheorie anwenden. Die auf dieser Grundlage errechneten Größen stimmen hervorragend mit experimentellen Werten überein. Was geschieht aber in Systemen mit  $Z\alpha > 1$ , d. h. in Systemen mit Ladungszentren  $Z > 137$ ? Durch Untersuchungen an Kernen mit extrem hohen Ladungszahlen lassen sich also die Grenzen von quantenelektrodynamischen Gesetzmäßigkeiten testen. Bestimmte überkritische Zustände werden im Gebiet um  $Z = 170$  theoretisch erwartet.

Damit erklärt sich u. a. auch das Streben der Experimentatoren nach immer schwereren Ionen als Geschoßteilchen. Bei Beschuß von Urankernen mit Uranionen ergäbe sich bei einer Verschmel-

zung beider Stoßpartner ein supergeladener Kern mit  $Z = 184$ ! Ein weiterer Vorstoß im Gebiet superschwerer und supergeladener Systeme wird erfolgen, wenn in Dubna ein neuer Schwerionenbeschleuniger verfügbar ist. Mit großem Enthusiasmus wird im Laboratorium für Kernreaktionen am Aufbau des Zyklotrons U-400 gearbeitet (siehe Tabelle 1). Die Inbetriebnahme dieses Beschleunigers ist für 1977 vorgesehen.

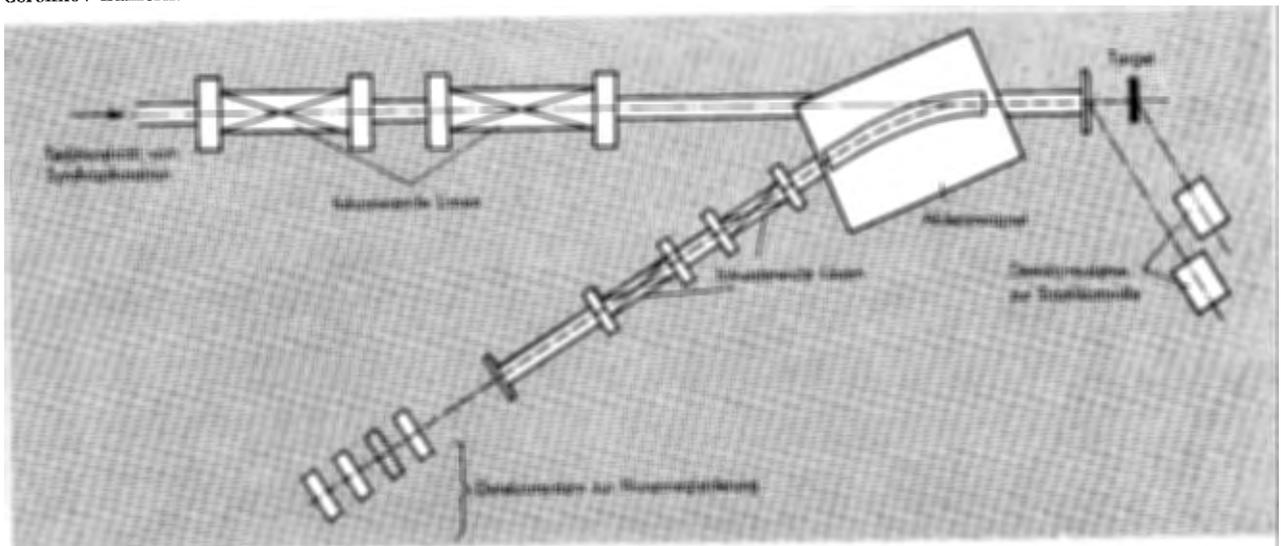
**Laboratorium für Neutronenphysik**

In diesem Laboratorium des VIK Dubna werden Neutronen benutzt, um wichtige Gesetzmäßigkeiten der Elementarteilchenphysik, der Kern- und der Festkörperphysik zu studieren. Da das Neutron keine Ladung hat, vermag es mit beliebig kleiner Energie auch in die schwersten Kerne einzudringen. Das magnetische Moment des Neutrons macht es zu einer unikalnen Sonde, um die magnetischen Eigenschaften, die Struktur und Dynamik kondensierter Materie zu untersuchen. Demzufolge ist das Forschungsprogramm des Laboratoriums durch drei Hauptrichtungen charakterisiert:

1. Man untersucht die fundamentalen Eigenschaften des Neutrons als Elementarteilchen,
2. betreibt verschiedene Richtungen der Keraspektroskopie mit Neutronen und
3. untersucht die Eigenschaften von Festkörpern und Flüssigkeiten mit Hilfe der Neutronenstreuung und der Mößbauerspektroskopie.

Die für dieses Programm benötigten Neutronen werden in einem Hochfluß-

**Abb. 2 Schema der experimentellen Anordnung zum Erforschen des kumulativen Effekts. Diese Erscheinung wurde von Prof. A. Baldin, Direktor des Laboratoriums für Hohe Energien, theoretisch vorausgesagt und durch ein Forscherkollektiv unter Leitung von Dr. V. Stavinskij experimentell bestätigt. Ein Teilchenstrahl hochenergetischer Protonen oder Kerne trifft auf ein Target — z. B. Blei. Die in Rückwärtsrichtung erzeugten Teilchen — z. B. Pionen — werden durch einen Magneten aus dem Strahlengang herausgelenkt und registriert. Dazu dient eine Kombination von Detektoren, bestehend aus Szintillations- und Cerenkov-Zählern.**



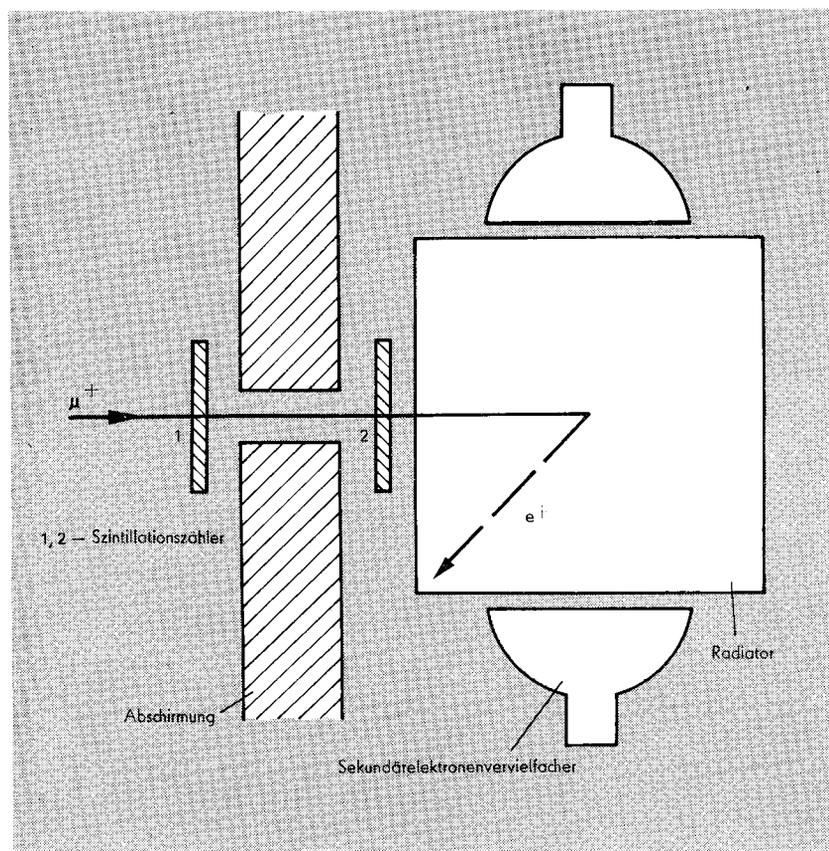


Abb. 3 Schema der experimentellen Anordnung zum Bestimmen der Lebensdauer des positiven Müons. Durch die Szintillationszähler 1 und 2 werden der Einflug des Müons und der Zeitnullpunkt registriert. Im Radiator eines Čerenkov-Zählers kommt das Müon zur Ruhe und zerfällt. Ein Zerfallsprodukt, das Positron, wird nachgewiesen.

Abb. 4 Die prinzipiell neuen experimentellen Möglichkeiten, die sich durch die Mesonenfabriken mit ihren intensiven Pionen- und Müonenstrahlen ergeben, erfordern neue Apparaturen, die diesen Aufgaben adäquat sind. Ein breites Programm fundamentaler Untersuchungen wird ein Spektrometer (ein sog. Analysator seltener Ereignisse) ermöglichen, das im Laboratorium für Kernprobleme aufgebaut wird. Mit diesem Spektrometer sollen in erster Linie seltene Zerfälle von Pionen und Müonen untersucht werden. Die Apparatur enthält ein kompliziertes, zylindrisch angeordnetes System von Szintillationsdetektoren und Proportionalkammern zum Nachweis der beim Zerfall auftretenden Teilchen und Gamma-Quanten. Die Detektoren befinden sich in einem Magnetfeld bis zu 18 kG. Eine Vorauswahl (Filterierung) der Zerfallsprozesse erfolgt über eine komplizierte elektronische Anordnung mit Hilfe eines Zwischenrechners (z. B. ES-1010) sowie einer Rechenanlage vom Typ ES-1040. Die Abbildung zeigt einen Teil des Detektorsystems sowie den verantwortlichen Leiter für den Aufbau des Spektrometers, Dr. S. Korenchenko.



Impulsreaktor erzeugt. Dieser liefert Neutronenimpulse von etwa 60  $\mu$ s Länge, wobei sich der Reaktor im Moment des Impulses mit einer Leistung von 150 MW im überkritischen Zustand befindet. Die mittlere Wärmeleistung beträgt jedoch nur 25 kW bei einer Frequenz von 4 Impulsen/s. Um noch wesentlich kürzere Neutronenimpulse für Arbeiten mit hoher zeitlicher Auflösung zu erzeugen, wird der Reaktor zusammen mit einem Injektor-Linearbeschleuniger betrieben, der Elektronen von 40 MeV liefert. Die Experimente sind an acht evakuierte, bis zu 1 km lange Neutronen-Kanäle angeschlossen, in denen man die Neutronenenergien mit Hilfe der Flugzeittechnik messen kann.

Aus dem breiten Spektrum kernphysikalischer Untersuchungen wollen wir hier ein Beispiel auswählen: Wertvolle Informationen über Kerneigenschaften erhält man mit Hilfe sog. Resonanzneutronen, deren Energien zwischen 1 und 10 000 eV liegen. Erstmals überhaupt wurden im Laboratorium für Neutronenphysik Neutronen dieses Energiegebiets polarisiert. Dadurch sind einmalige Chancen

zur Untersuchung von Neutronenresonanzen (hochangeregte Kernzustände) gegeben.

Wie ist dieses Experiment aufgebaut? Die vom Impulsreaktor ankommenden Neutronen haben zunächst alle möglichen Spinorientierungen. In 30 m Abstand von der aktiven Reaktorzone treffen sie auf einen Monokristall mit hohem Wasserstoffanteil. Dieser Kristall befindet sich in einem Magnetfeld von etwa 20 kG und wird auf 1 K gekühlt. Mit Hilfe der dynamischen Kernpolarisation erreicht man, daß sich die Protonen in Richtung des Magnetfeldes ausrichten. Die Spinabhängigkeit der Wechselwirkung von Neutronen mit Materie wirkt jetzt wie ein Filter — und zwar so, daß in Richtung des Strahls Neutronen mit ihrem Spin parallel zum Protonenspin des Polarisators angereichert werden.

So verfügt man über einen polarisierten Neutronenstrahl für kernspektroskopische Studien. Damit konnten die Experimentatoren des Laboratoriums beispielsweise die Wechselwirkung polarisierter Neutronen mit polarisierten Kernen untersuchen. Zu diesem Zweck kühlte man die Targetsubstanzen — Seltenerdmetalle — ebenfalls in einem Kryostaten auf der Basis eines  $^3\text{He}-^4\text{He}$ -Verflüssigers auf einige  $10^{-2}$  K. Die Neutronen wurden nach dem Wechselwirkungsprozeß mit Hilfe der Flugzeittechnik über 100 m von der kryogenen Apparatur entfernt registriert.

Wenden wir uns den elementaren Eigenschaften des Neutrons zu: Seit vielen Jahren beschäftigt man sich im Laboratorium für Neutronenphysik erfolgreich theoretisch und experimentell mit dem Verhalten von Neutronen mit Energien kleiner als  $10^{-4}$  eV. Diese sog. ultrakalten Neutronen haben eine sehr bemerkenswerte Eigenschaft. Infolge ihrer großen Wellenlänge werden sie bei beliebigem Auftreffwinkel an den Gefäßwänden totalreflektiert und können daher in geschlossenen Gefäßen als Neutronengas angesammelt werden. Verluste treten dann im wesentlichen nur infolge des Beta-Zerfalls der Neutronen auf. Die für den Zerfallprozeß charakteristische Halbwertszeit (etwa 1000 s) ist wiederum eine fundamentale Größe in der Theorie der schwachen Wechselwirkung.

Eine weitere wichtige Aufgabe in diesem Zusammenhang ist die Suche nach dem elektrischen Dipolmoment des Neutrons. Eine Sensation war die Entdeckung der Verletzung der sog. CPT-Invarianz beim neutralen, K-Meson im Jahre 1964 (K-Mesonen sind Elementarteilchen, die in der starken Wechselwirkung erzeugt werden und über die schwache Wechselwirkung zerfallen). Trotz intensiver Suche hat man in anderen Elementarprozessen eine Verletzung des Prinzips von der Invarianz gegenüber einer

Zeitumkehr nicht beobachten können. Der Nachweis eines elektrischen Dipolmoments beim Neutron wäre solch eine Beobachtung. Mit ultrakalten Neutronen könnte man die bisher erreichte Nachweispflichtigkeit um mindestens 4 Größenordnungen erhöhen.

Den Arbeiten mit ultrakalten Neutronen und den anderen vielfältigen Aufgaben in der Grundlagen- und angewandten Forschung wird ein neuer mächtiger Impulsreaktor dienen, der in den nächsten Monaten in Betrieb geht. Er wird mit seiner mittleren Wärmeleistung von 4 MW die Leistung des jetzigen Impulsreaktors um mehr als das 150fache übertreffen. Mit ihm will man Neutronenflüsse bis zu  $10^{17}$  Neutronen/cm $^2$  · s erzeugen. Dazu wird ein neuer leistungsstarker Linearbeschleuniger aus 1400 Beschleunigungselementen aufgebaut, der Elektronenenergien von 30 MeV erreicht. Die Elektronenimpulse werden sehr steile Flanken haben und nur Bruchteile von Mikrosekunden lang sein. Im Impuls wird die Stromstärke bis zu 250 A betragen.

Laboratorium für Kernprobleme

Den Forschern dieses Laboratoriums steht für ihre Experimente das Synchrozyklotron mit seinen Protonen-, Pionen- und Müonenstrahlen zur Verfügung (Primärenergie des Protonenstrahls: 650 MeV). Hieraus ergibt sich ein breites Spektrum der experimentellen Forschung auf den Gebieten Kern- und Elementarteilchenphysik. Die Wissenschaftler gehen bereits daran, deren spezifische Arbeitsmethoden in anderen Wissensgebieten einzusetzen. Man untersucht Eigenschaften und seltene Zerfälle von Elementarteilchen, den Wechselwirkungsmechanismus von Protonen und Pionen mit Atomkernen, beschäftigt sich mit Problemen der Mesoatom- und Mesomolekülphysik und betreibt biomedizinische Forschungen, um nur einige Aufgaben zu nennen.

Einem Kollektiv unter Leitung von Dr. V. Sinov gelang es, die Lebensdauer des positiven Müons  $\mu^+$  extrem genau zu messen. Die Größe ist sehr wichtig für die Physik der sog. schwachen Wechselwirkung — einer Kraft, die neben der starken und der elektromagnetischen Wechselwirkung von fundamentalem Charakter ist für die in der Mikrowelt der Elementarteilchen ablaufenden Prozesse.

Für das positive Müon ist der folgende Zerfallsprozeß charakteristisch:

$$\mu^+ \rightarrow e^+ + \nu_\mu + \bar{\nu}_e \quad (1)$$

Hierbei entstehen also ein Positron und ein Neutrino-Antineutrino-Paar. Aus diesem Zerfall wird die Lebensdauer des Müons bestimmt, indem man das Positron registriert. Alle früheren Experi-

mente hatten den Nachteil, daß das Positron nur in einem kleinen Raumwinkel erfaßt werden konnte.

Dadurch wurde nur eine schlechte Statistik erreicht; viele störende Nebenprozesse und Untergrundeffekte erschweren die Auswertung, so daß die Lebensdauer des Müons nur entsprechend ungenau zu bestimmen war.

Die Grundidee der Dubnaer Physiker bestand nun darin, die Positronen mit Hilfe eines Čerenkov-Zählers in  $4\pi$ -Geometrie (voller Raumwinkel) zu registrieren. Das Blockschema der Versuchsanordnung ist in Abb. 3 dargestellt: Die Müonen bestimmter Energie durchqueren die Szintillationszähler 1 und 2 und gelangen in den Radiator des Čerenkov-Zählers. Hier werden die Müonen abgebremst und zerfallen. Die von den Positronen des Zerfallsprozesses ausgelöste Čerenkov-Strahlung wird von 2 Sekundärelektronenvervielfachern registriert.

Die Meßergebnisse lieferten für die Lebensdauer des positiven Müons den Wert  $2,19711 \pm 0,00008 \mu\text{s}$ . Damit konnte der experimentelle Fehler beim Bestimmen der Lebensdauer gegenüber anderen neuesten Messungen um den Faktor 4 verringert werden.

Die Zerfälle von Müonen und Pionen enthalten wichtige Informationen über allgemeine Symmetrieprinzipien und Erhaltungssätze in der Elementarteilchenphysik. Mögliche Verletzungen dieser fundamentalen Prinzipien lassen sich testen, wenn man seltene Zerfälle dieser Elementarteilchen untersucht. Auf diesem traditionellen Forschungsgebiet des Laboratoriums für Kernprobleme erzielte ein Kollektiv unter Leitung von Dr. S. Korenchenko zahlreiche sehr bedeutende Ergebnisse.

Verbleiben wir beim Müon. Neben dem Zerfall gemäß (1) wäre der folgende Zerfallsprozeß denkbar:

$$\mu^+ \rightarrow e^+ + e^+ + e^- \quad (2)$$

Hier entstünden also zwei Positronen und ein Elektron, aber keine Neutrinos. Aus anderen Experimenten folgte eine wichtige Gesetzmäßigkeit, verbunden mit einer neuen Quantenzahl: der Erhaltungssatz von der müonischen Leptonenladung (unter der Bezeichnung Leptonen sind die Positronen, Elektronen, positive und negative Müonen sowie die Neutrinos zusammengefaßt). Wenn dieser Zerfallsprozeß (2) tatsächlich existiert, so würde das bedeuten, daß der genannte Erhaltungssatz verletzt wird.

Ein Zerfall gemäß (2) wurde aber in den Dubnaer Experimenten bisher nicht beobachtet. Die obere Grenze der Wahrscheinlichkeit für diesen Zerfall (2) im Vergleich zu (1) wurde zu  $1,9 \cdot 10^{-9}$  bestimmt. Mit einer neuen Apparatur, die gegenwärtig aufgebaut wird, kann man diese obere Grenze zu mindestens zwei weitere Größenordnungen herabsetzen (siehe auch Abb. 4).