

Interner Bericht
DESY H - 69/19
Oktober 1969

DESY-Bibliothek

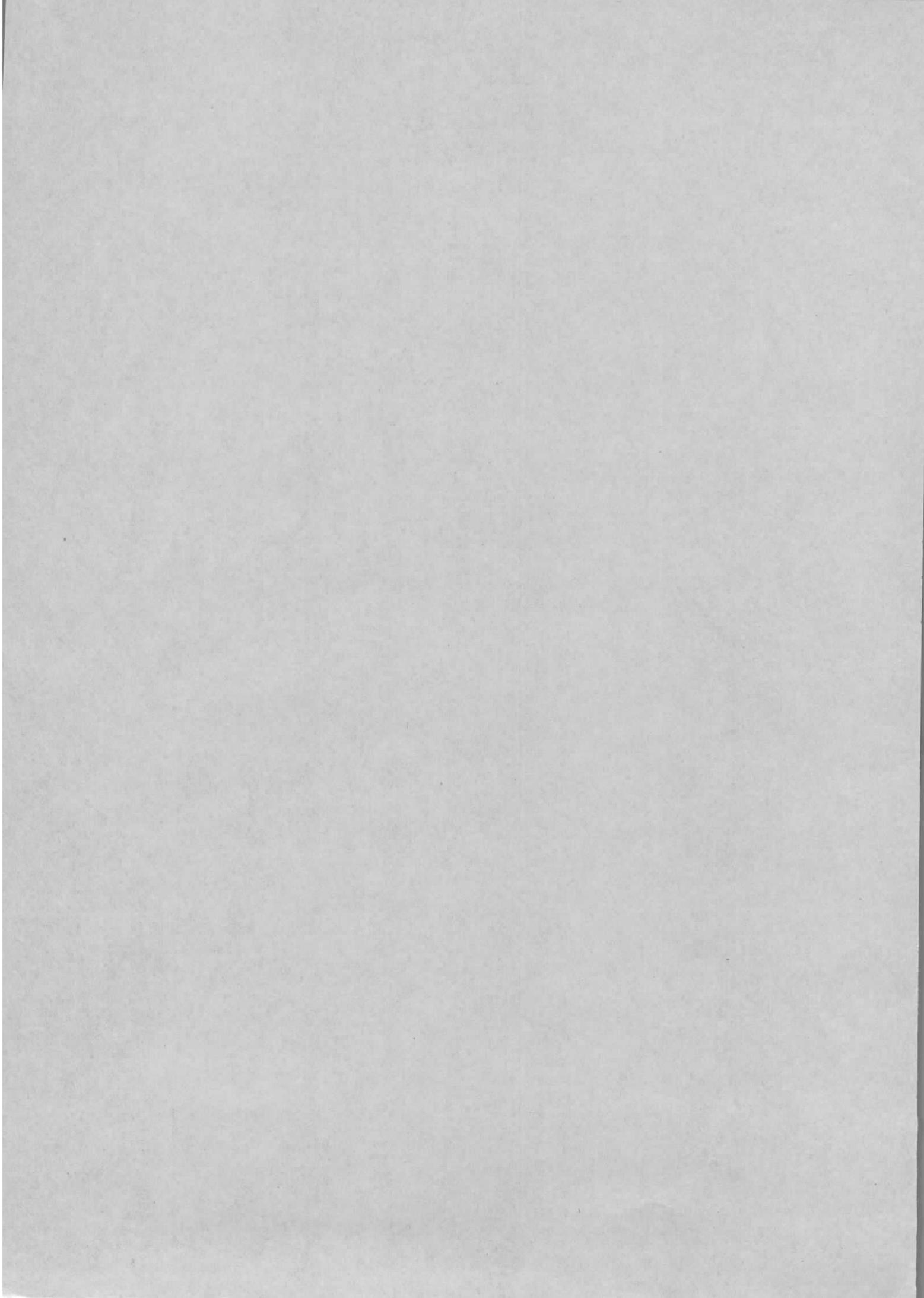
4. NOV. 1969

Stand der Arbeiten am
Elektronen-Positronen-Speicherring
von 3,5 GeV (VEPP-3)

von

G. I. Budker, I. Ya. Protopopov, A. N. Skrinskii
Institut für Kernphysik der Sib. Abt. d. Ak. d. Wiss. d. UdSSR

Aus dem Russischen übersetzt von Ingrid Schulz-Dahlen



Magnetsystem des Speicherringes: Kuznetsov, N.A., Levichev, B.V., Pupkov, Yu.A.
Vakuumsystem: Blinov, G.A., Malev, M.D.
Hochfrequenzsystem: Karliner, M.M., Petrov, V.M., Sedlyarov, I.K., Shekhtman, I.A.
Regel- und Meßsystem: Karliner, M.M., Medvedko, A.S., Prikhodko, V.P.
Überprüfung des Speicherringes mit Protonen: Popov, S.G., Sukhina, B.N.
Elektronen-optischer Kanal und Konversion: Vsevelozhskaya, T.A., Danilov, L.L.,
Pakin, V.N., Panov, A.P., Silvestrov, G.I., Trakhterberg, E.M.
Injektions- und Auslenksystem: Grishanov, B.I., Kiselev, A.V.
Injektor: Geltsel, M.Yu., Glagolev, G.B., Livshits, A.A., Mel'nikov, E.P.,
Nifontov, V.I., Ostreiko, G.N., Petrov, V.V., Yasnov, G.I.

Mit der Ausarbeitung des Projektes für den Bau eines Speicherringes mit gegeneinander laufenden Elektron-Positron-Strahlen von 3,5 GeV (VEPP-3) wurde im Jahre 1966 begonnen ⁽¹⁾.

Mit den Bauarbeiten für diese Anlage fing man 1967 an ⁽²⁾.

Die Anlage besteht aus einem Speicherring, einem Synchrotron-Injektor von 500 MeV (B-4), dem elektronen-optischen Kanal und einem System zur Umwandlung der Elektronen in Positronen.

Eine schematische Darstellung der Anlage findet man auf Abb.1.

Die gesamte Anlage ist in einem unterirdischen, abgeschirmten Gebäude untergebracht. Der Halbring des Speichers im Tunnel hat einen Querschnitt von $2,5 \times 3 \text{ m}^2$ und einen Radius von ungefähr 8 Metern. Die zwei geraden Stücke verlaufen durch eine $9 \times 25 \text{ m}^2$ große und ungefähr 6 Meter hohe Halle mit abnehmbarem Schutzdach.

In der Mitte dieser Halle steht der Injektor durch Bleiwände vom Speicherring getrennt.

In einem der geraden Stücke ist der Boden der Halle um 2 Meter vertieft, um die experimentellen Nachweisgeräte aufzunehmen.

Die Magnete des Speicherrings sind an der Tunneldecke aufgehängt; die Strahlachse verläuft 2,3 Meter über dem Boden. Die Kontrollgeräte, Hochfrequenzgeneratoren und die Energieversorgung für den Speicherring und den Injektor sind in einem Raume über dem Speicherring untergebracht (Abb.3).

Der Speicherring stellt ein stark fokussierendes System dar, das aus zwei Halbringen mit einem Radius von 802 cm besteht, die durch zwei gerade Abschnitte von 1200 Zentimeter Länge voneinander getrennt sind. Jeder Halbring besteht aus acht Magneten, die durch 18 cm lange Zwischenräume voneinander getrennt sind und Magnetperioden mit fokussierender Struktur darstellen. Jeder Magnet besteht aus vier Abschnitten: dem Fokussierungsmagneten, dem Ablenkmagneten, dem Defokussierungsmagneten und wieder Ablenkmagneten.

Die Kenndaten für die einzelnen Abschnitte findet man in der Tabelle.

Die Feldstärke der einzelnen Abschnitte ist unterschiedlich, was zur Strahldämpfung der radialen Betatronschwingungen dienen soll.

Konstruktiv besteht ein Magnet aus zwei Hälften mit der Trennfuge in der Mittelebene. In jeder Hälfte sind zur Erregung zwei Kupferschienen mit einem Querschnitt von 25 cm^2 angeordnet. Schnitte durch die Magnetapertur mit Wicklung in verschiedenen Abschnitten des Magneten sind auf Abb.4 zu sehen.

Jede Stromschiene ist an die entsprechende Schiene des benachbarten Magneten durch eine lösbare Verbindung angeschlossen, die als biegsamer Leiter mit großem Querschnitt ausgeführt ist.

Die Magnetpole wurden auf der Hobelmaschine bearbeitet. Der fokussierende und der defokussierende Abschnitt wurden mit einem Profilstahl von der Breite des Poles im ganzen fertigbearbeitet.

Abb.5 zeigt die Aufnahme einer Magnethälfte während der Montage.

Die beiden langen geraden Strecken enthalten je vier Paar zu Dubletts vereinigte Quadrupollinsen. Der freie Abstand zwischen den Linsen beträgt in beiden Stücken 2,7 Meter und ist zur Durchführung der Experimente bestimmt.

In den übrigen Strecken sind die Resonatoren, Einschußsysteme und das Strahlführungssystem untergebracht.

Aufnahmen von einem geraden Stück mit eingebauten Linsen findet man auf Abb.6.

Die Frequenzen der horizontalen Betatronschwingungen des Speicherrings betragen 5,2 und der vertikalen 5,1. Mit Hilfe zusätzlicher in den Magneten angeordneter Wicklungen kann man den Arbeitspunkt bei voller Energie um $\pm 0,5$ verschieben.

Die Korrekturspulen, die in den Magneten und Linsen vorgesehen sind, gestatten es, die Lage der Mittelebene, das Feld, die Gradienten, die quadratische und die kubische Nichtlinearität in jedem Bauteil unabhängig zu korrigieren.

Jeder Magnet des Speicherrings ist an der Decke an drei verstellbaren Aufhängungen aufgehängt und mit der Innenwand des Tunnels durch zwei verstellbare Stützen verbunden.

Zur horizontalen Vermessung der Magnete ist an der Tunneldecke ein geodätisches Netz vorgesehen, das mit einer Genauigkeit von 0,1 mm ausgerichtet ist.

Jeder Magnet besitzt zwei horizontale und zwei vertikale Vermessungsmarken, mit denen er zum Netz orientiert wird.

Die Linsen in dem geraden Stück sind an Kragarmen aufgehängt, die an die Wände des Tunnels und der Halle montiert sind.

Die Vakuumkammer in den Magneten besteht aus Segmenten einer Röhre aus nichtrostendem Stahl von 1 mm Dicke und einem Querschnitt von $80 \times 29 \text{ mm}^2$.

Zwischen den Magneten sind die Kammern über Faltenbälge mit einem nichtrostenden Kasten verschweißt.

Auf dem Außenradius der Kammer ist ein Strahlungsabsorber angebracht: ein vergoldetes, wassergekühltes Kupferrohr. Der Strahlungsauffänger ist nach dem Profil der Vakuumkammer geformt und nimmt in radialer Richtung 7 mm ein. Mit seiner Hilfe kann man 0,5 MW Synchrotronstrahlung abführen.

Auf dem Innenradius der Kammer ist eine Ionengetter-Zerstäuberpumpe vorgesehen, die mit dem Eigenmagnetfeld des Speicherrings arbeitet. Die Getterpumpe garantiert eine Pumpgeschwindigkeit von 1,5 l/sec auf 1 cm Länge bis zu einem Druck von 10^{-10} Torr und einer Magnetfeldstärke von 10 kOe. Das Elektrodensystem der Pumpe wird gegen Erwärmung durch reflektierte Synchrotronstrahlung mit Wasserkühlrohren geschützt. Die radiale Gesamtgröße der Pumpe beträgt 15 mm.

Der Querschnitt durch die Vakuumkammer ist auf Abb.9 schematisch dargestellt.

Die Wasserdurchführungen und die Versorgung der

Ionengetter -Zerstäuberpumpe sind in dem Kasten zwischen den Magneten untergebracht. Innerhalb des Kastens liegen die Pickup-Elektroden zur Strom- und Lagemessung.

An denselben Kasten ist eine Ionen-Zerstäuberpumpe mit einer Pumpgeschwindigkeit von 100 l/sec angeschweißt.

Jedes Teilstück der Vakuumkammer, das aus der Röhre und dem an sie angeschweißten Kasten besteht, wurde nach der Fertigstellung ausgepumpt, 30 Stunden lang bei einer Temperatur von 400° C entgast und in den Magneten eingebaut. Nach der Aufstellung des Magneten im Tunnel wurde das Stück unmittelbar vor dem Anschweißen an das Nachbarsegment geöffnet und sofort erneut ausgepumpt. In den beiden Stücken herrschte nach 24 Pumpstunden ein Druck von $2 \cdot 10^{-9}$ Torr.

Es ist bei einem umlaufenden Strom von 0,5 A und bei maximaler Energie ein effektiver Druck von $5 \cdot 10^{-9}$ Torr im Speicherring zu erwarten, was eine Lebensdauer des Strahls von mehr als 4 Stunden ergibt.

Das Hochfrequenzsystem arbeitet auf der 19. Harmonischen der Umlauffrequenz ($f \approx 75$ MHz). Zur Zeit kann mit dem Resonator, welcher nach dem Resonator für die Maschine VEPP-2 gebaut wurde, eine Spannung bis zu 600 kV mit einem Generator von 150 kW erzielt werden. Das ermöglicht eine Energie von 2 GeV. Wird eine Leistungs-Verstärkungsstufe (bis 1 MW) angefügt und der Resonator ausgetauscht, so wird eine Grenzenergie von 3,5 GeV möglich sein.

Außerdem ist ein zusätzliches Hochfrequenzsystem geringer Leistung vorgesehen, das auf der ersten Harmonischen der Umlauffrequenz arbeitet. Mit diesem System können die Positronen nach ihrer Speicherung in einen bunch überführt werden.

Das Synchrotron B-4, das eine modernisierte Variante des Synchrotrons B-3M ⁽³⁾ darstellt, wird als Injektor für den Speicherring verwendet.

Die technischen Verbesserungen gestatten konstruktiv eine Erhöhung der Elektronenenergie auf 500 MeV bei einem Radius der Sollbahn von 100 cm. Als Vorinjektor dient ein gepulster Beschleuniger des ELIT-Typs mit einer Energie bis zu 3 MeV und einer Stromstärke bis zu 3 A pro Puls, bei einer Pulslänge von 1 msec.⁽⁴⁾.

Zur Überwindung der Kohärenzeffekte bei der Injektion wurde eine spirale Elektronenspeicherung mit anschließender Betatronbeschleunigung auf 10 MeV eingeführt.

Diese Abänderungen sollen den beschleunigten Strom um einige Male größer machen als den Strom des Synchrotrons B-3M. (Der beschleunigte Strom von B-3M beträgt 1 Ampère).

Die weitere Synchrotronbeschleunigung erfolgt auf der zweiten Harmonischen der Umlauffrequenz. Die Ejektion über einem Umlauf geschieht vertikal mit vorheriger Ablenkung des Strahls in den Auslenkmagneten. Der Auslenkmagnet besitzt eine Wand von 2 mm und lenkt den Strahl bei einem Feld bis zu 35 kGauss in vertikaler Ebene um 23° ab. Eine Aufnahme von B-4 während der Montage findet man auf der Abb.10.

Der Transport der Elektronen (Abb.1) für die Einlenkung in den Speicherring erfolgt mit zwei Quadrupol-Dubletts und einem Magneten mit einem Ablenkwinkel von 90° . Der Magnet ist so ausgeführt, daß seine Energiedispersion den Einfang von Elektronen mit einer Energiestreuung bis zu $\pm 0,5\%$ nicht behindert.

Die Konversion der Elektronen in Positronen geschieht in einem äußeren Wolfram-Target. Zur Fokussierung auf den Konverter wird der Elektronenstrahl von zwei Magneten mit einem Ablenkwinkel von 63° in horizontaler Ebene um drei Meter parallel verschoben. Die Verschiebung erfolgt achromatisch mit Hilfe der zwei Quadrupol-Tripletts zwischen den Magneten.

Der zweite der beiden Magneten mit einem Radius von 12,5 cm fokussiert den Elektronenstrahl auf den Konverter. Ein Magnet mit einem Radius von 7,5 cm und einem Ablenkwinkel von 45° sammelt die Positronen vom Konverter. Beide Magnete des Konversionsblocks sind eisenfreie Systeme mit einer Windung, $n = 0,5$ und Feldern bis zu 130 kGauss.

Die Positronen wurden vom Konversionsblock bis zum Eingang in den Speicherring von einem Quadrupol-Triplett und einem Magneten mit Ablenkwinkel von 45° fokussiert. Hierbei wird in radialer Ebene des Speicherrings eine Energiekorrelation der Teilchen erreicht, die mit den Werten der Ψ -Funktion des Speicherrings und ihres Differentialquotienten am Ort der Injektion übereinstimmt, wodurch Teilchen beliebiger Energie ohne Anregung zusätzlicher Betatronschwingungen eingelenkt werden können.

Die Injektion in den Speicherring (Abb.13) erfolgt vertikal nahe dem Maximum der vertikalen Floquetschen Funktion.

Die Wände der Injektionsmagneten sind 2 mm dick.

Um eine große Amplitude bei der Aufschaukelung des gespeicherten Strahls während der Injektion über einen Umlauf zu vermeiden, sind gepulste Ablenkplatten eine Viertel Betatronwellenlänge von der Einschußstelle entfernt angeordnet, die den gespeicherten Strahl zur Wand des Einlenkmagneten hin führen. Der Inflektor wendet ihn auf die Sollbahn gleichzeitig mit dem injizierten Strahl. Die vertikale Akzeptanz ist hierbei gleich $8,5 \text{ mrad} \cdot \text{cm}$, wenn die Amplitude der restlichen Schwingungen des Hauptstrahls nicht über 0,3 der Kammerausdehnung beträgt. Die erfaßbare Energiestreuung beträgt $\pm 2\%$.

Die Speicherung der Positronen erfolgt bei zukzessiver Ausfüllung der Separatrizen der 19. Harmonischen der Umlauffrequenz, wodurch viele Injektionszyklen in der Dämpfungszeit durchgeführt werden können. Die geplante Speicherzeit beträgt $5 \cdot 10^8$ Positronen pro Sekunde (0,5 mA/sec).

Nach der Speicherung des erforderlichen Stroms mit Hilfe eines zusätzlichen Hohlraumresonators, der auf der ersten Harmonischen der Umlauffrequenz arbeitet, wird der Positronenstrahl in eine der Separatrizen der 19. Harmonischen überführt.

Die Elektroneninjektion erfolgt bei maximaler Injektor-energie; die Elektronen werden in eine der Separatrizen gebracht, damit das Aufeinandertreffen in den Wechselwirkungspunkten stattfindet.

Um die Wechselwirkungseffekte bei der Elektronenspeicherung zu verringern, wird Spannung an Spezialplatten in den langen Stücken gelegt und die Elektronen- und Positronenbahn verschoben; die Frequenzen der Betatronschwingungen werden nach verschiedenen Seiten verschoben. Nach der Speicherung der Elektronen wird die Energie auf die für das betreffende Experiment erforderliche Energie eingestellt und die Strahlen zusammengeführt.

Die Luminosität, welche durch Wechselwirkungseffekte beschränkt wird, beträgt bei maximaler Energie $10^{35} \text{ cm}^{-2} \text{ Tage}^{-1}$, was zehn registrierbare Myonenpaare in 24 Stunden ergibt.

Es wird die Möglichkeit erwogen, die Teilstücke der Vakuumkammer an der Kreuzungsstelle durch Spezialstücke mit einem Vakuum besser als 10^{-11} Torr zu ersetzen.

Eine abgewandelte Art der Fokussierung in den langen Stücken mit bedeutend verkleinertem Strahlquerschnitt im Wechselwirkungspunkt ist in Vorbereitung.

Gegenwärtig sind die Hauptsysteme der Anlage hergestellt, an Ort und Stelle montiert und werden eingeregelt. Der Speicherring wurde mit Protonen von 1,5 MeV ausprobiert. Mit den Arbeiten zur Elektronenspeicherung in den B-4 hat man bereits begonnen.

TABELLE DER WICHTIGSTEN PARAMETER FÜR DEN SPEICHERRING

Maximalenergie		3,5 GeV
Radius eines Halbringes		802 cm
Länge eines geraden Stückes		1200 cm
Zahl der Betronschwingungen pro Umlauf:		
	radial	5,28
	vertikal	5,11
Magnetanordnung (FMDMO) ⁸ (I) (FMDMO) ⁸ (I)		
Momentum Compaction Factor		0,065
Struktur einer Magnetperiode :		
	Fokussierender Sektor:	
	Länge	48 cm
	Feld	6,9 kGauss
	Abst.bis zur Asymptote	3,5 cm
	Ablenksektor:	
	Länge	105 cm
	Feld	18,9 kGauss
	Defokussierender Sektor:	
	Länge	52 cm
	Feld	11,8 kGauss
	Abst.bis zur Asymptote	6,2 cm
	Ablenksektor:	
	Länge	95 cm
	Feld	18,9 kGauss
	Feldfreies Stück:	
	Länge	15 cm
Außenmaß der Vakuumkammer		8x2,9 cm ²
Nutzbare Apertur		5,5x2,7 cm ²
HF-Leistung :	1. Ausbaustufe	150 kW
	2. Ausbaustufe	1 MW
Harmonischenzahl		19
Zahl der Hohlraumresonatoren		1

Energieverlust pro Umlauf	2 MeV
Bunchlänge ungefähr	30 cm
Radiale Strahlausdehnung	0,8 cm
Leistung der Magnetstromversorgung	1,7 MW
Stromstärke der Magnetversorgung	25 kA
Eisengewicht	50 t
Kupfergewicht	4 t
Einschußenergie für Positronen	250 MeV
Einschußenergie für Elektronen	500 MeV

L i t e r a t u r

1. Internat. Symposium für Elektron-Positron-Speicherringe. Saclé, 1966.
2. Internat. Konferenz für Hochenergie-Beschleuniger. Cambridge, 1967.
3. Internat. Beschleuniger-Konferenz. Dubna, 1963.
4. VII. Hochschulkonferenz für Elektronenbeschleuniger. Tomsk, 1968.

Text zu den Abbildungen :

- Abb.1. Gesamtdarstellung der VEPP-3
- Abb.3. Energieversorgungssystem
- Abb.4. Magnetschnitte. I. radial-fokussierender Sektor; II. Ablenk-Sektor; III. Defokussierender Sektor.
- Abb.5. Geöffneter Speicherringmagnet.
- Abb.6. Gerades Stück des Speicherringmagneten.
- Abb.8. Speicherring-Magnet im Tunnel. (Man sieht die Marken des geodätischen Netzes).
- Abb.9. Schnitt durch die Vakuumkammer.
- Abb.10. B-4 während der Montage.
- Abb.13. Einschußstelle in den Speicherring.
- Abb.14. Ansicht des 700 MeV e^-e^+ -Speicherringes VEPP-2.

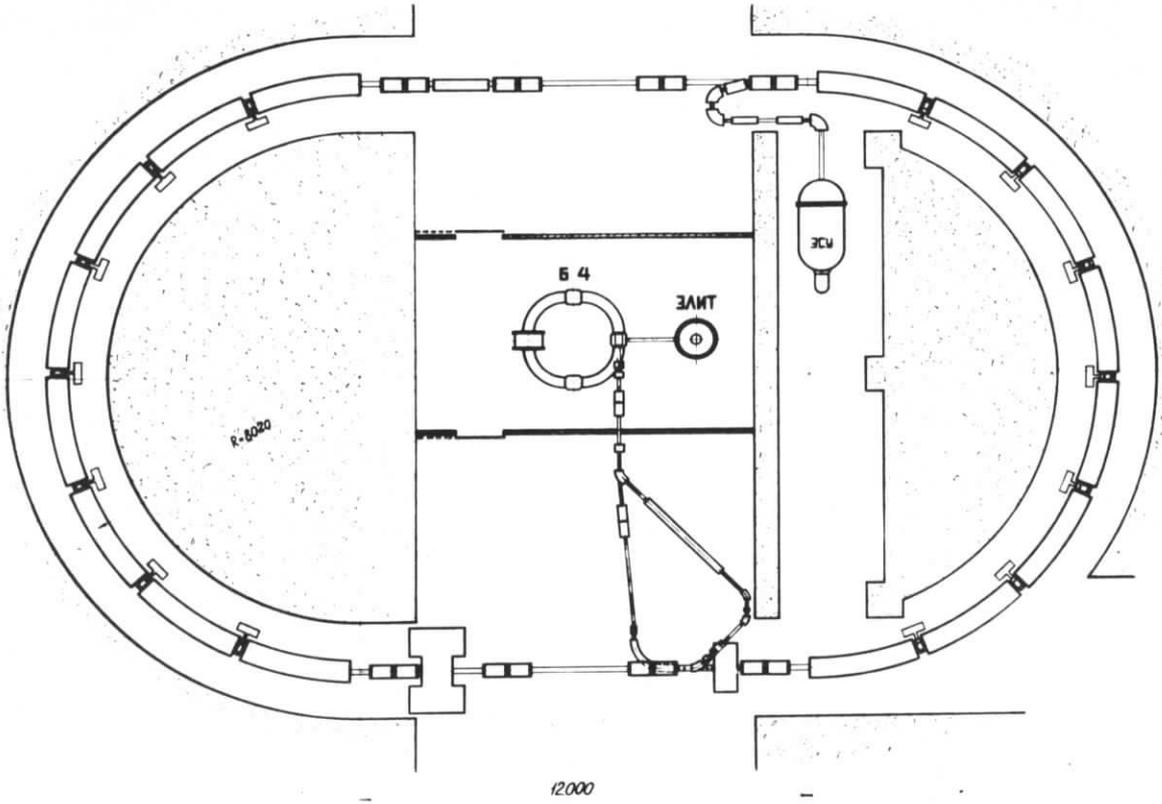


Abb.1

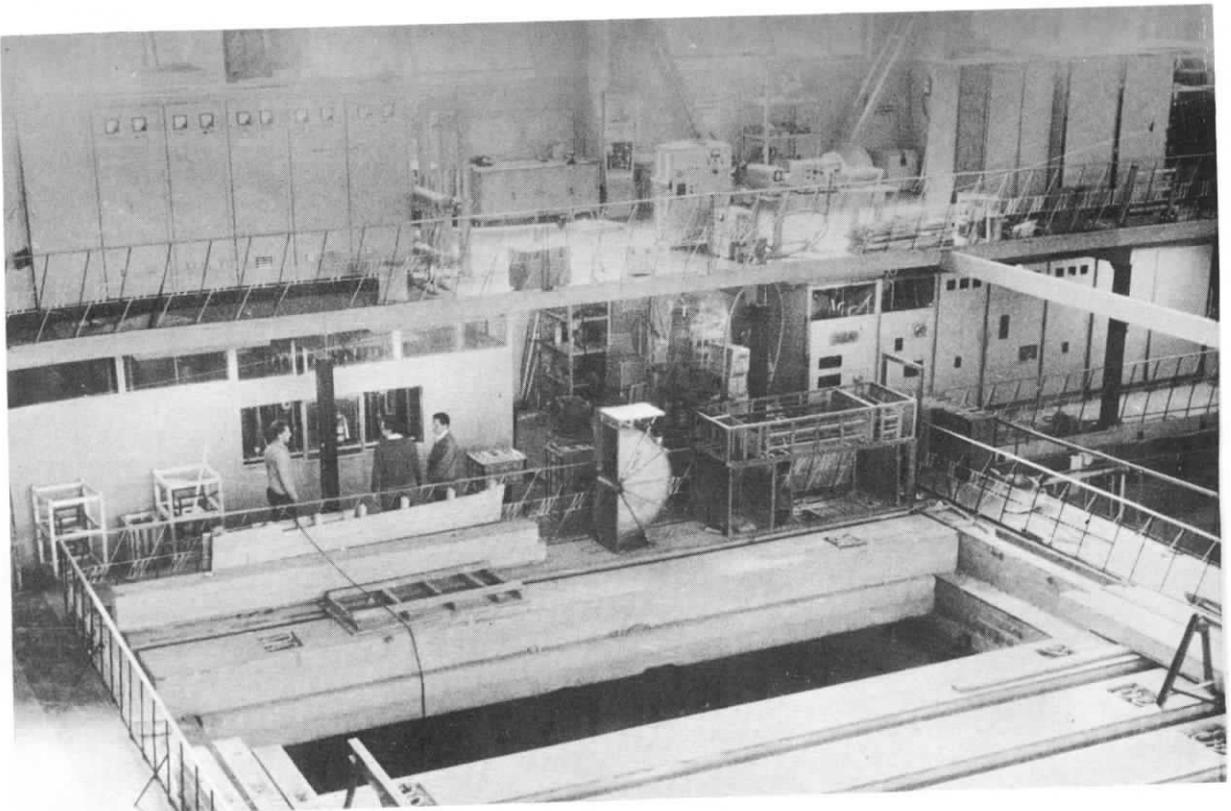
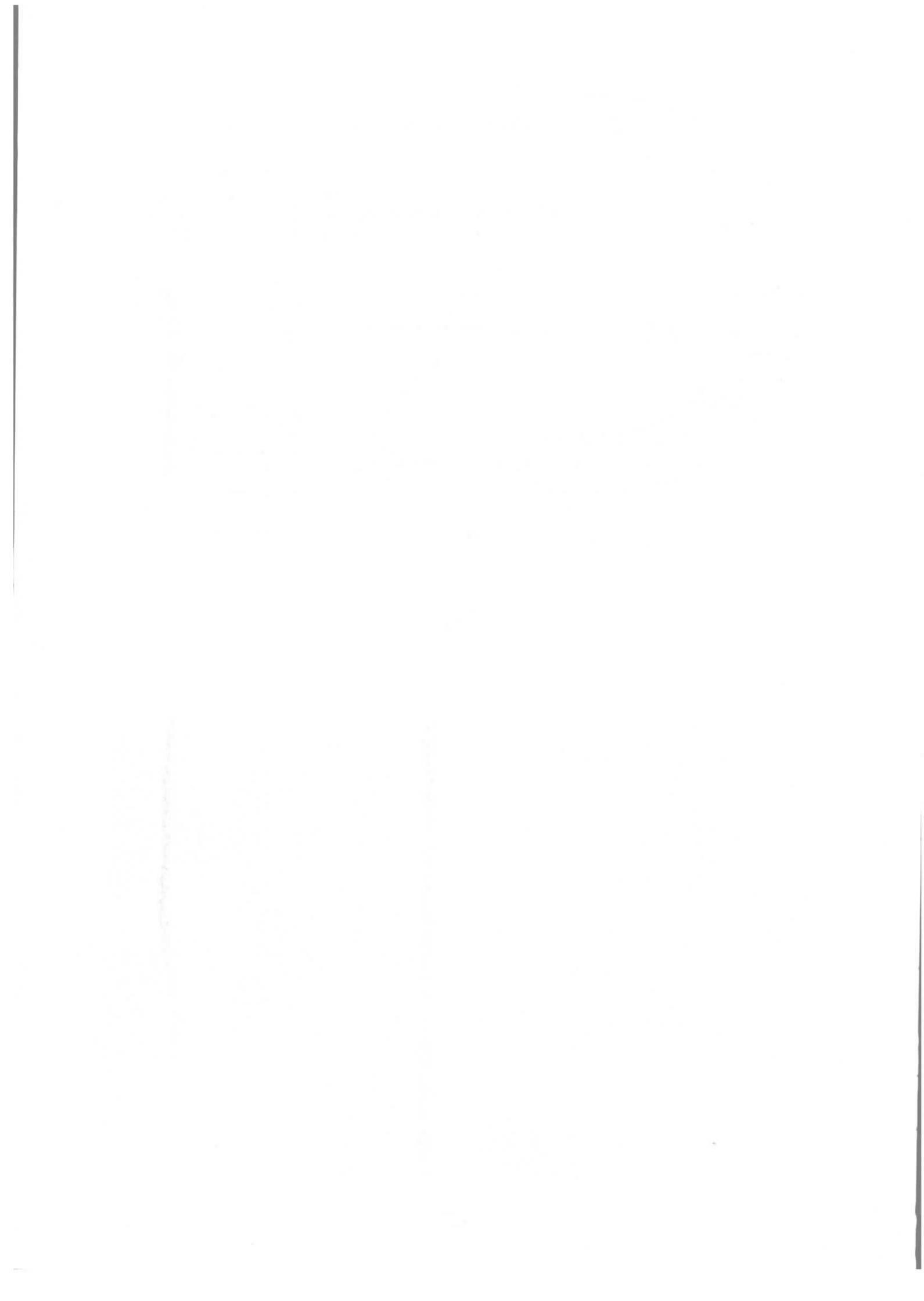


Abb.3



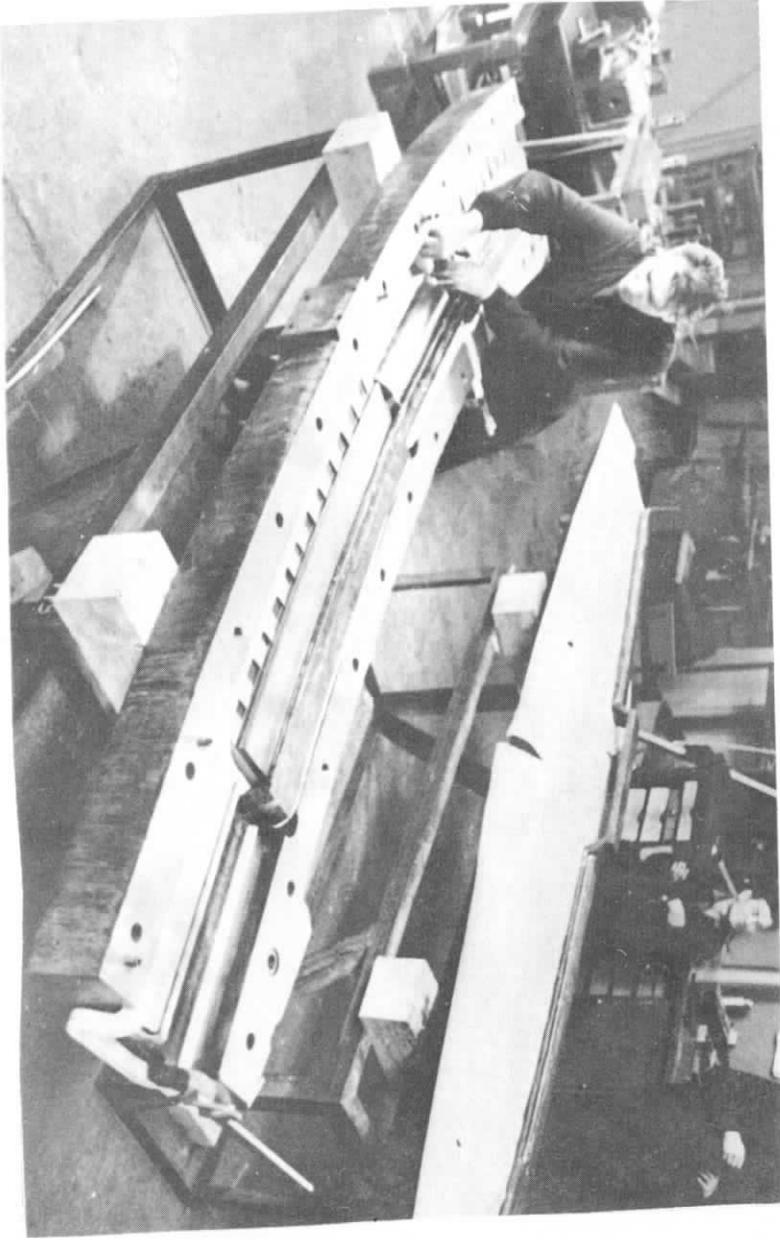


Abb. 5

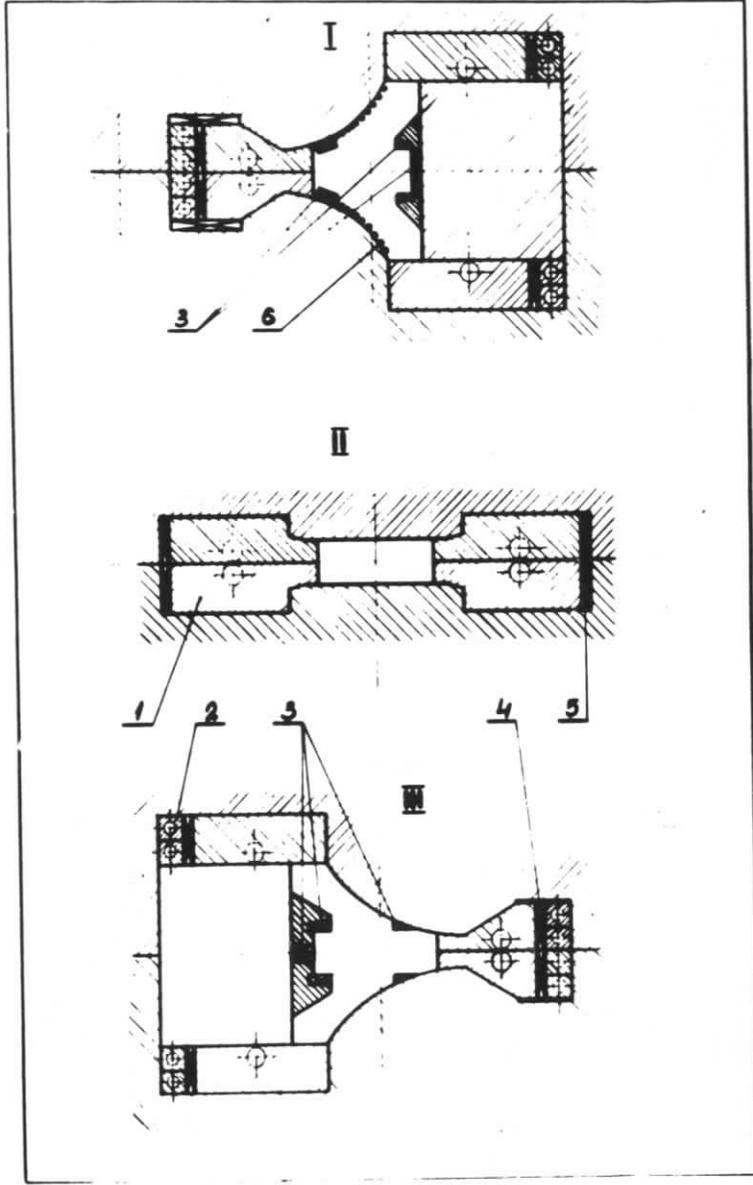


Abb. 4

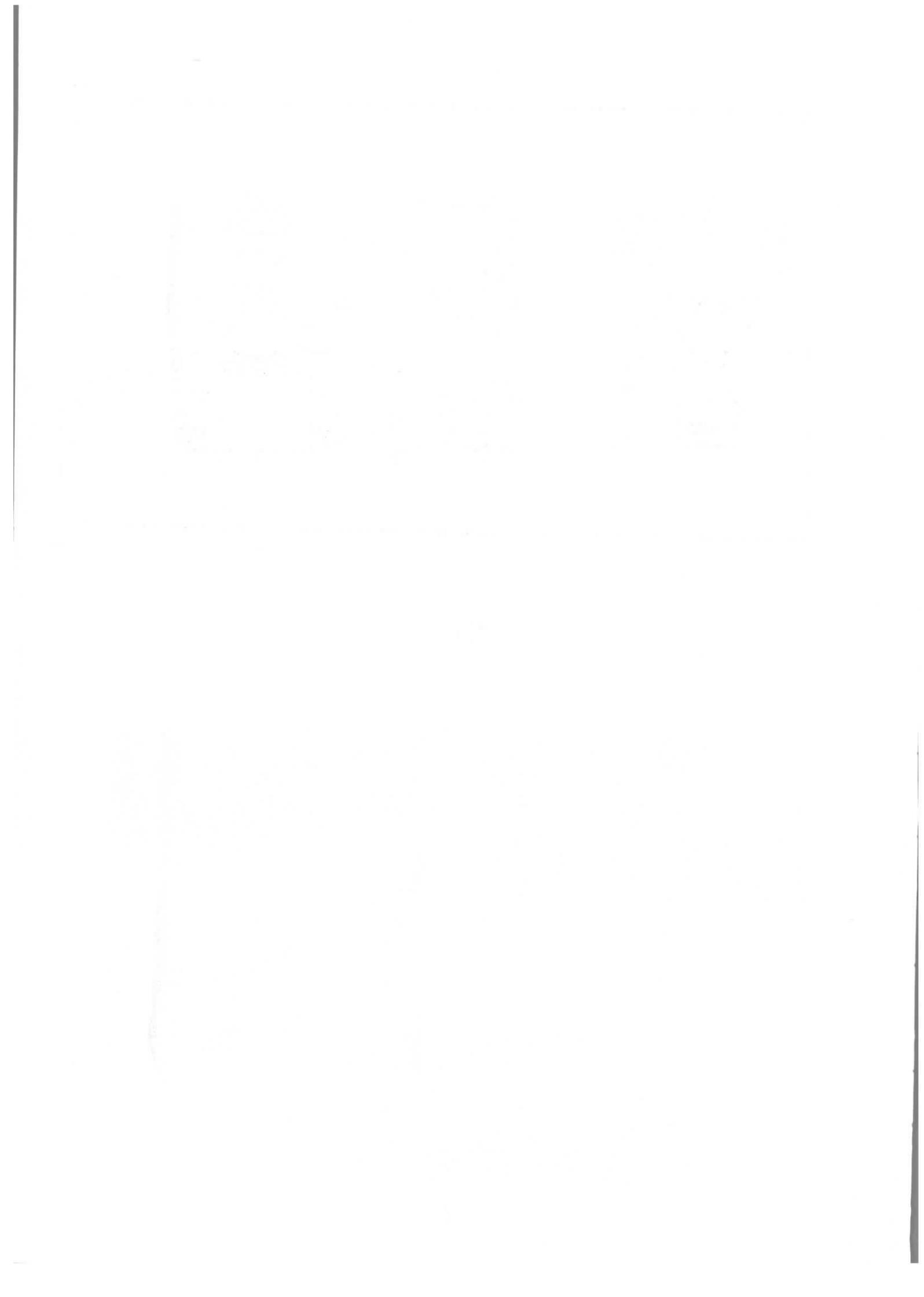


Abb.6

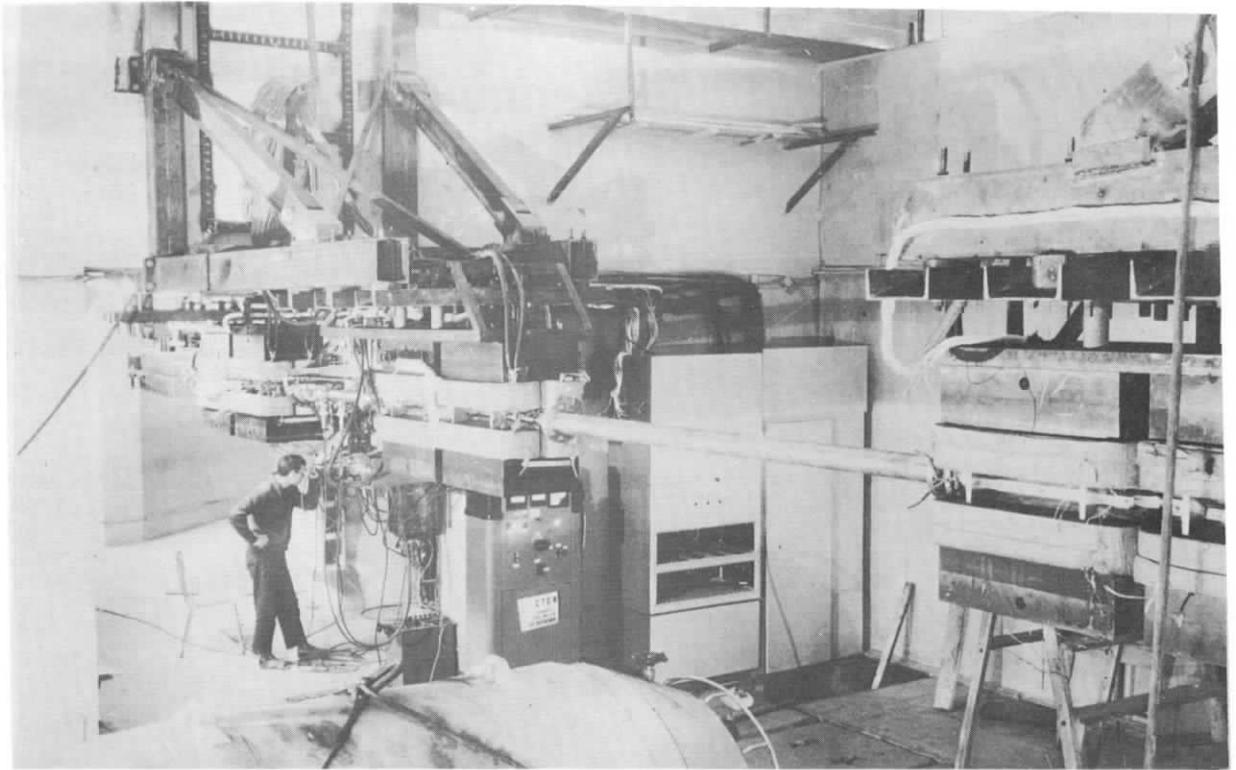
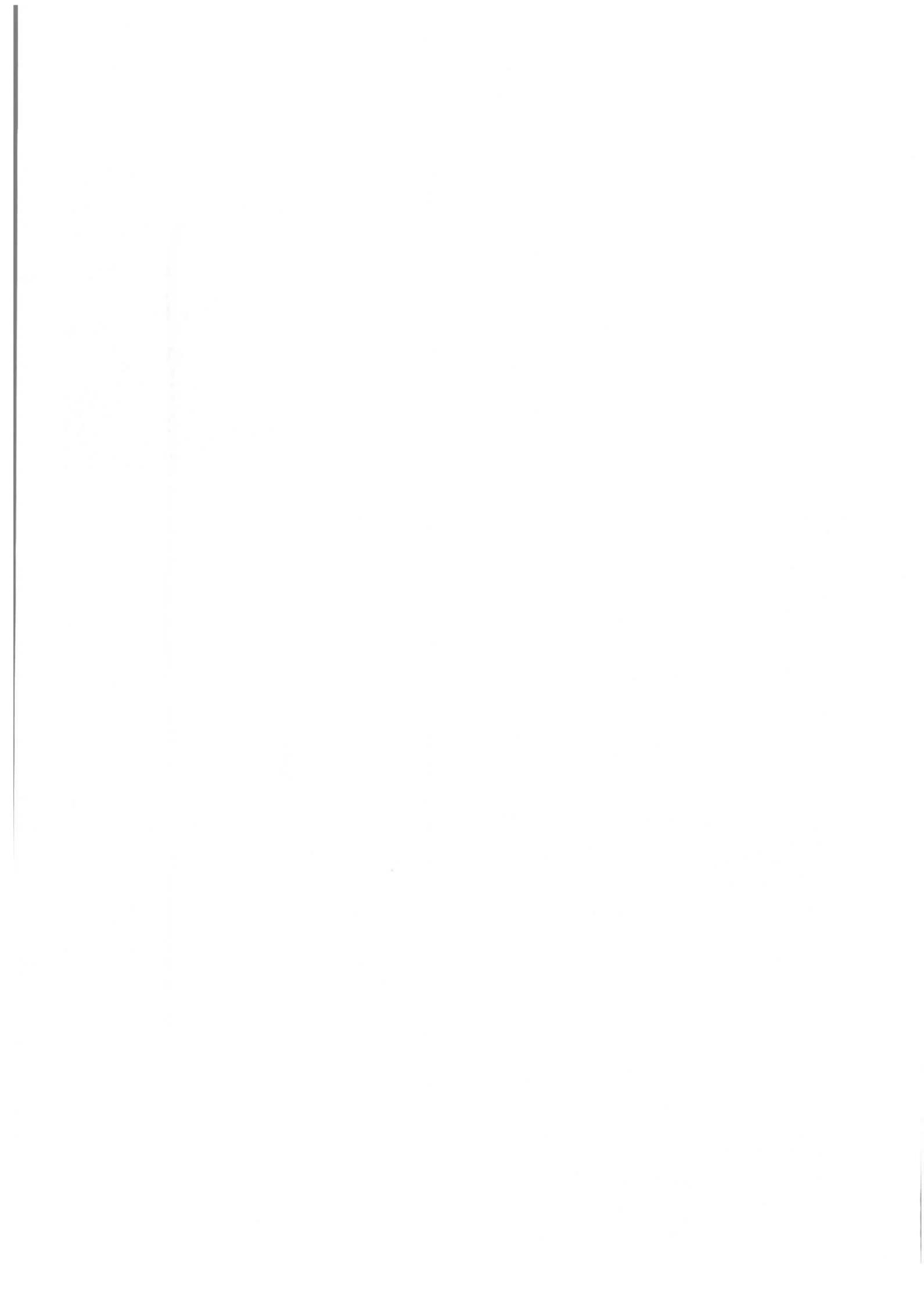


Abb.8



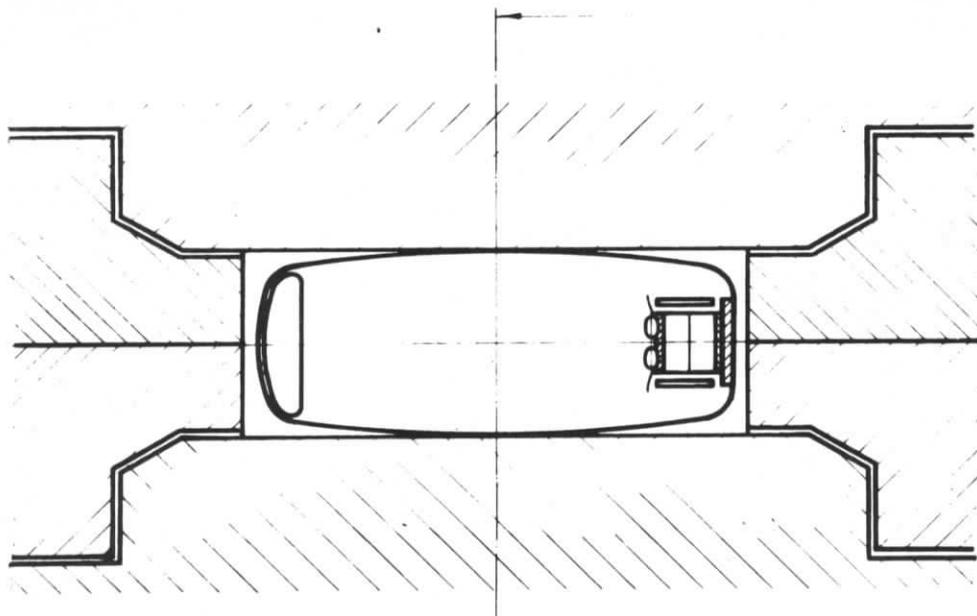


Abb.9

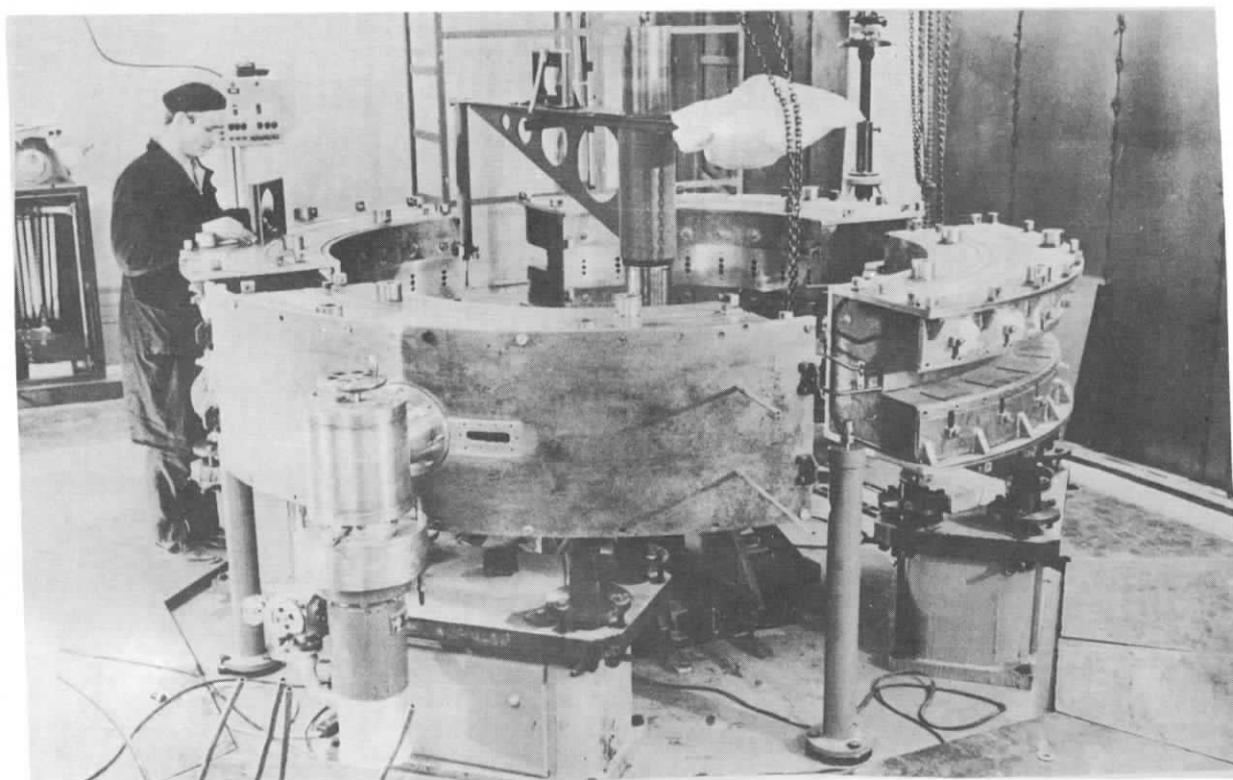


Abb.10

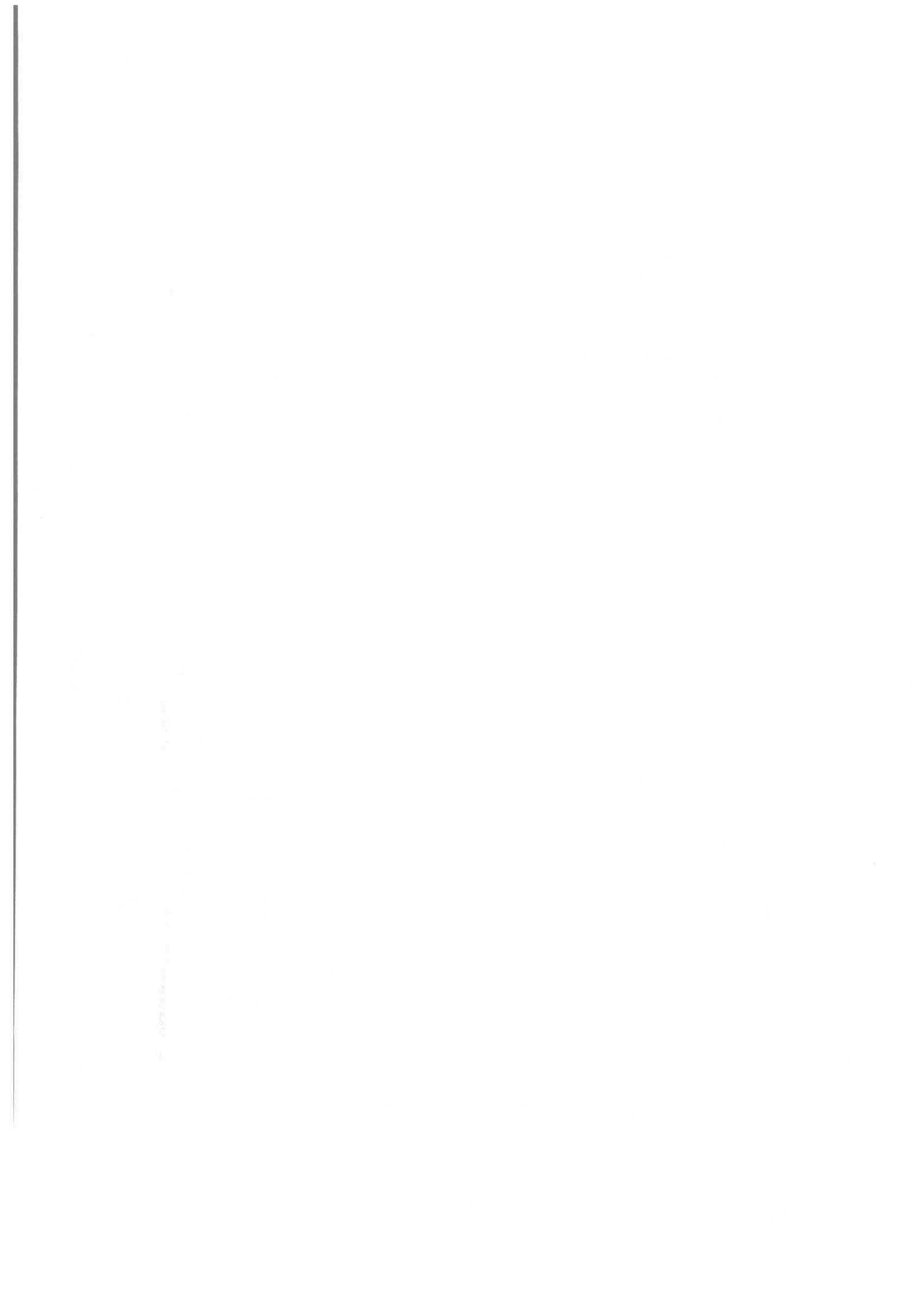


Abb.13

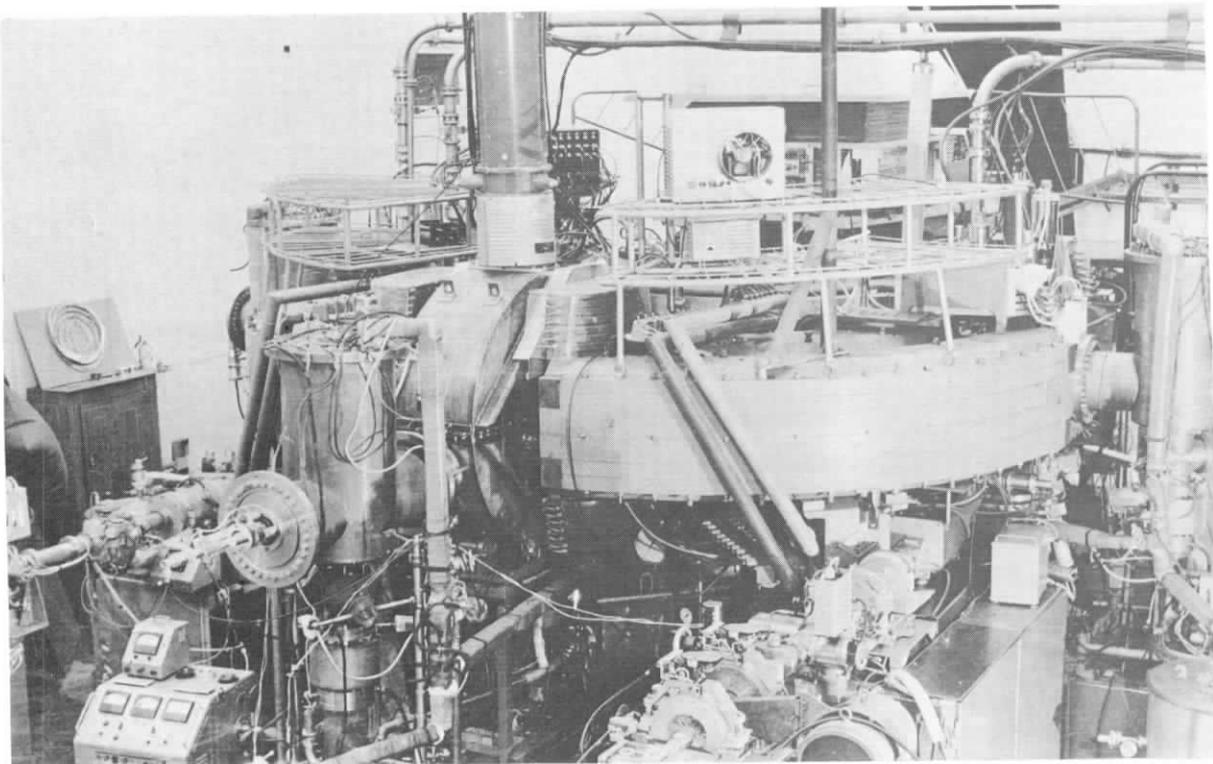
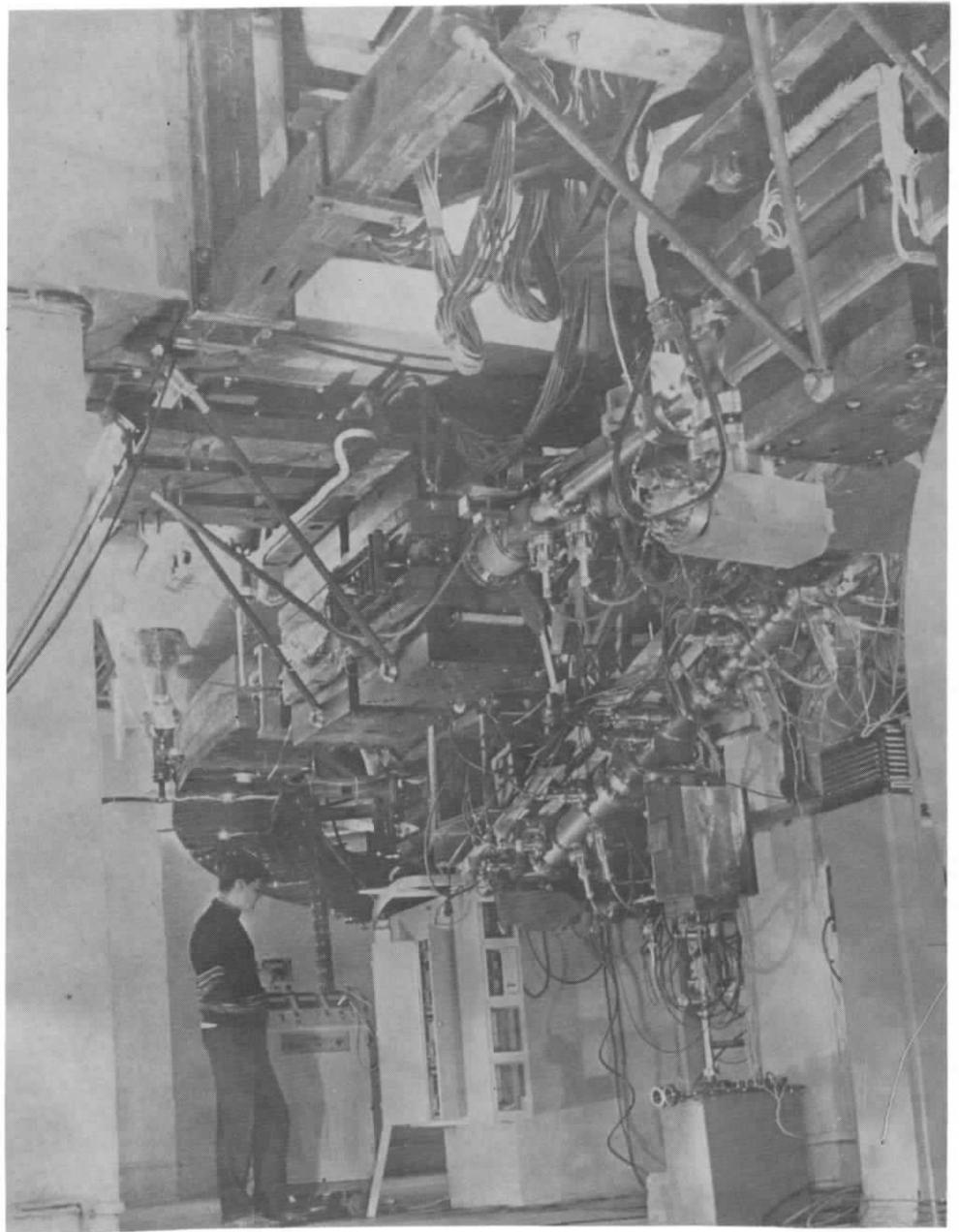


Abb.14

