

A. Denker, J. Bundesmann, T. Damerow, T. Faselow,
D. Hildebrand, U. Hiller, I. Kailouh, G. Kourkafas,
S. Ozierenski, J. Röhrich, C. Zimmer,

HZB Helmholtz
Zentrum Berlin

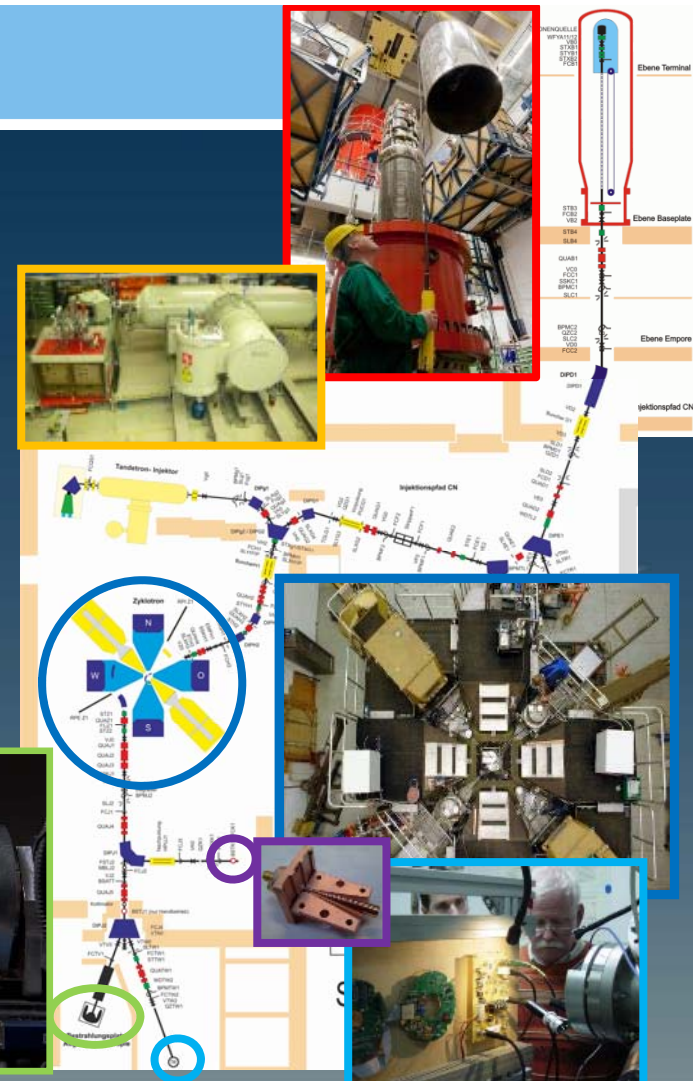
 BEUTH HOCHSCHULE FÜR TECHNIK BERLIN
University of Applied Sciences

Bestrahlungsmöglichkeiten am HZB

- Protonen
- γ -Strahlung: Kobaltquelle

Protonen: Beschleunigeranlage

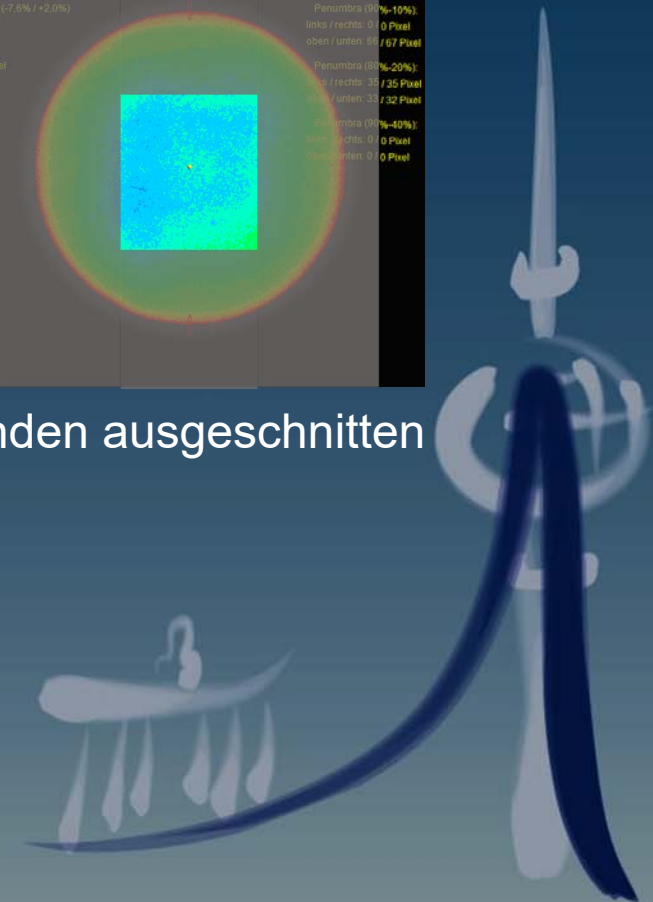
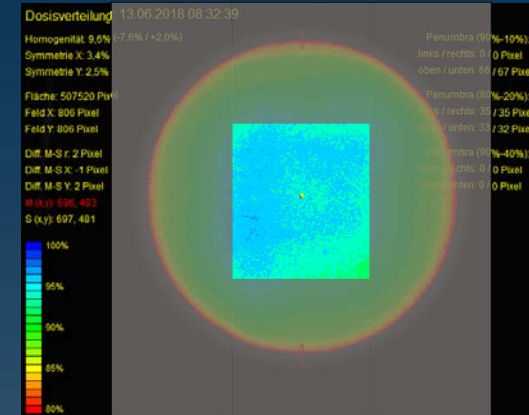
- Zwei Vorbeschleuniger
- Sektor-Zyklotron
 - Standard: Protonen 68 MeV \cong 21,60 mm in Si
 - (Helium 90 MeV \cong 2,96 mm in Si)
- Bestrahlungsplätze:
 - (Behandlungsplatz)
 - Bestrahlung an Luft (bei Bedarf: Vakuum) $(I_{\max}(\text{DC}) = 10 \text{ nA})$
 - Bestrahlung in Vakuum



- aus Beschleuniger: monoenergetische Protonen
 - $15 \text{ MeV} \leq E_{\text{Proton}} \leq 72 \text{ MeV}$
 - Änderung der Energie am Beschleuniger: ca. 6 h
- Standardenergie: 68 MeV (Therapiestrahl)
 - Energiebreite: $\sim 0,2 \text{ MeV}$
- geringere Energien durch Abbremsplatten
 - typisch: 30 MeV und 50 MeV
 - Energiebreite: $\sim 1 \text{ MeV}$
 - Änderung der Energie: 2 min.
 - gemessen mit Multi-Leaf-Faraday Cup



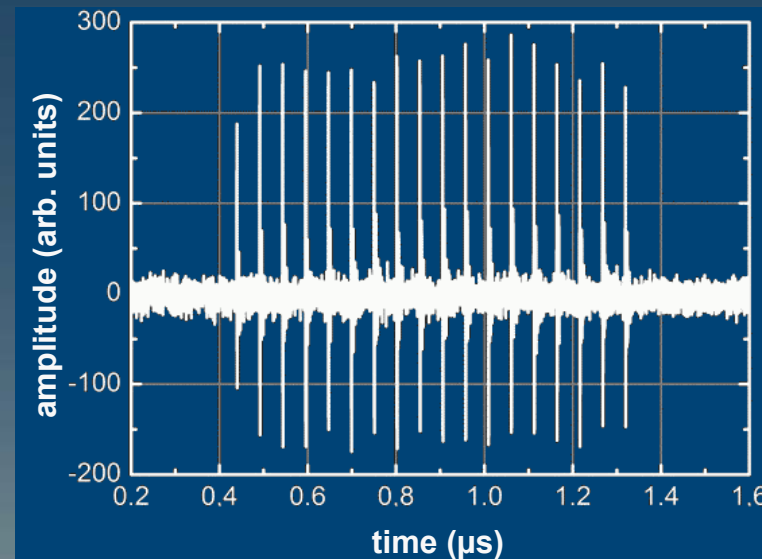
- aufgestreuter Strahl (Streusystem I) ~ 45 mm \varnothing
 - sehr homogen: $\pm 3\%$
 - max. $1 \cdot 10^8$ p/(cm²s)
- aufgestreuter Strahl (Streusystem II)
 - $\pm 10\%$ für 10 mm bzw. 20 mm \varnothing
 - max. $5 \cdot 10^9$ p/(cm²s)
- rotationssymmetrisch,
rechteckige bzw. quadratische Felder werden mit Blenden ausgeschnitten
- scharf fokussierter Strahl, Durchmesser ~ 1 mm \varnothing
 - max. $5 \cdot 10^{10}$ p/s
- gewedelter Strahl
 - bis 30 mm \cdot 30 mm
 - beliebige Formen möglich



- Zyklotron bedingt gepulsten Strahl:
 - max. Breite eines Pulses = 5 ns
 - Wiederholrate = Zyklotron-Hochfrequenz f , $10 \text{ MHz} < f < 20 \text{ MHz}$
Zeit zwischen den Pulsen: 100 ns bis 50 ns

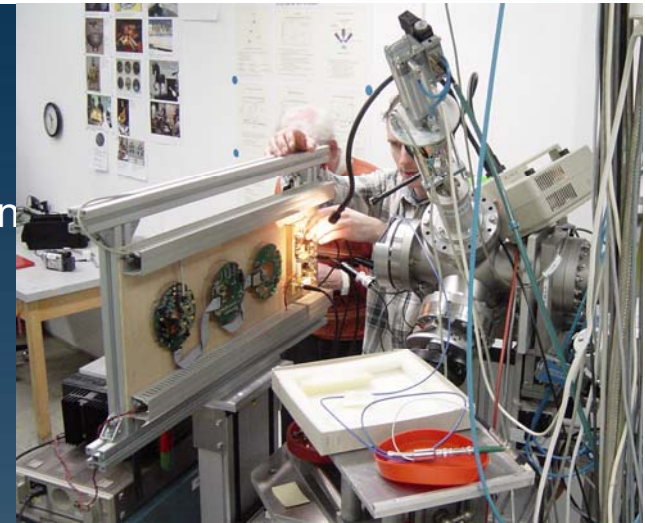
→ quasi-DC

- Zeitstrukturen
 - Pulszüge,
z.B. $1 \mu\text{s}$, Wiederholrate 100 Hz
 - Einzelpulse,
max. Wiederholrate 2,4 MHz



Protonen: Strahlplatz an Luft

- Bestrahlungen an Luft:
 - On-line Messung der Protonenzahl via Ionisationskammer und automatischer Abschaltung des Strahls
 - Festlegung des Bestrahlungsfeldes mit Blenden oder Schlitzen
 - Überprüfen der Feldgröße via Röntgenfilm
 - Proben und/oder Messgeräte per Kamera überwachbar
 - Proben können während der Bestrahlung betrieben werden
 - Proben auf xy-Tisch mit 0,1 mm Positionierpräzision
 - Verfahrweg: 50 cm in x und y
 - Positionierung mit Laserkreuz überprüfbar
 - max. Gewicht der Proben für Tisch: 50 kg
- mit Umbau: Bestrahlungen im Vakuum möglich



Protonen: mögliche Bestrahlungszeiten

- Bestrahlungszeiten werden im Herbst für das kommende Jahr festgelegt
 - Zurzeit: 12 Bestrahlungswochen/Jahr für die Augentumorthherapie (Mo - Fr)
 - Freitag - Sonntag vor der Therapie: Experimente möglich
 - im Regelfall: von 8:00 bis 21:00

- Proben müssen nach der Bestrahlung vor Versand oder Mitnahme vom Strahlenschutz freigemessen werden

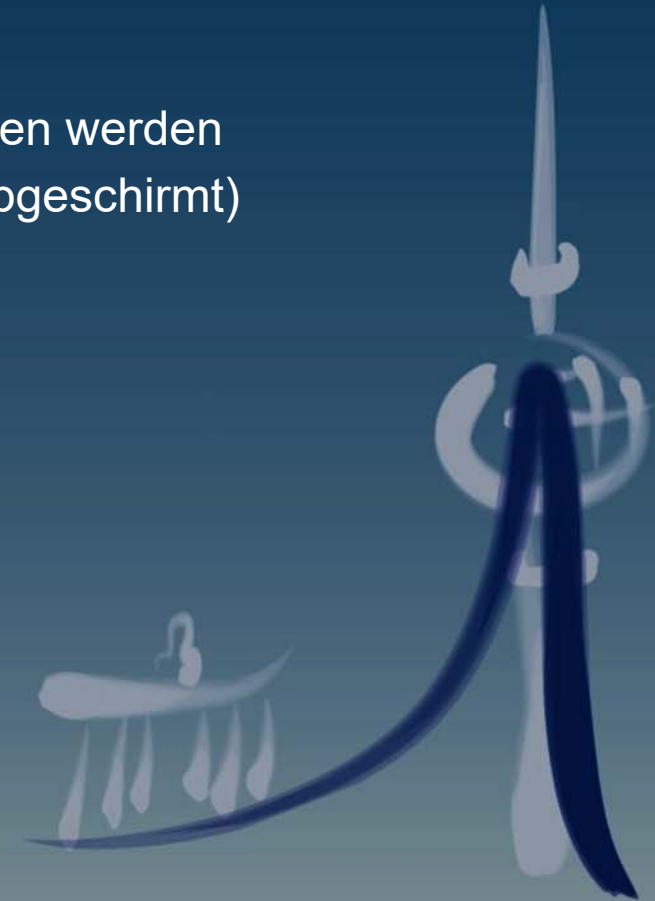
Apr. 20		Betriebsplanung		
Cave A	Beschleuni			
kein Zutritt	gerbetrieb			
PT-Betrieb	Wartung			
Feiertage	F S N			
Mi 1.				
Do 2.				
Fr 3.				
Sa 4.				
So 5.				
Mo 6.				
Di 7.				
Mi 8.				
Do 9.				
Fr 10.				
Sa 11.				
So 12.				
Mo 13.				
Di 14.				
Mi 15.				
Do 16.				
Fr 17.				
Sa 18.				
So 19.				
Mo 20.				
Di 21.				
Mi 22.				
Do 23.				
Fr 24.				
Sa 25.				
So 26.				
Mo 27.				
Di 28.				
Mi 29.				
Do 30.				

Mai. 20		Betriebsplanung		
Cave A	Beschleuni			
kein Zutritt	gerbetrieb			
PT-Betrieb	Wartung			
Feiertage	F S N			
Fr 1.				
Sa 2.				
So 3.				
Mo 4.				
Di 5.				
Mi 6.				
Do 7.				
Fr 8.				
Sa 9.				
So 10.				
Mo 11.				
Di 12.				
Mi 13.				
Do 14.				
Fr 15.				
Sa 16.				
So 17.				
Mo 18.				
Di 19.				
Mi 20.				
Do 21.				
Fr 22.				
Sa 23.				
So 24.				
Mo 25.				
Di 26.				
Mi 27.				
Do 28.				
Fr 29.				
Sa 30.				
So 31.				

Jun. 20		Betriebsplanung		
Cave A	Beschleuni			
kein Zutritt	gerbetrieb			
PT-Betrieb	Wartung			
Feiertage	F S N			
Mo 1.				
Di 2.				
Mi 3.				
Do 4.				
Fr 5.				
Sa 6.				
So 7.				
Mo 8.				
Di 9.				
Mi 10.				
Do 11.				
Fr 12.				
Sa 13.				
So 14.				
Mo 15.				
Di 16.				
Mi 17.				
Do 18.				
Fr 19.				
Sa 20.				
So 21.				
Mo 22.				
Di 23.				
Mi 24.				
Do 25.				
Fr 26.				
Sa 27.				
So 28.				
Mo 29.				
Di 30.				

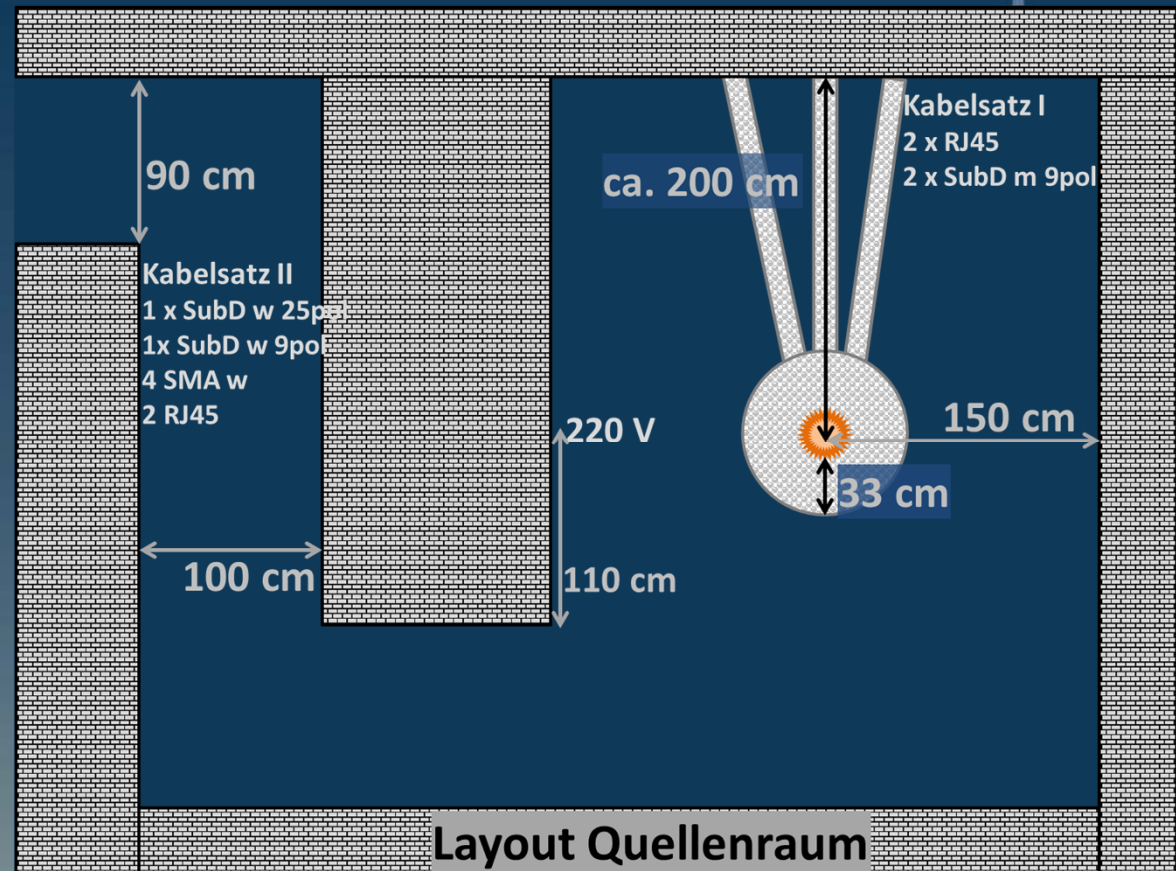
γ -Strahlung: Kobaltquelle

- ^{60}Co Stäbe, ~ 20 cm hoch
- Energie: 1,17 MeV und 1,33 MeV
→ Proben können nach der Bestrahlung mitgenommen werden
- reine γ -Strahlung (β -Strahlung durch Edelstahlrohr abgeschirmt)



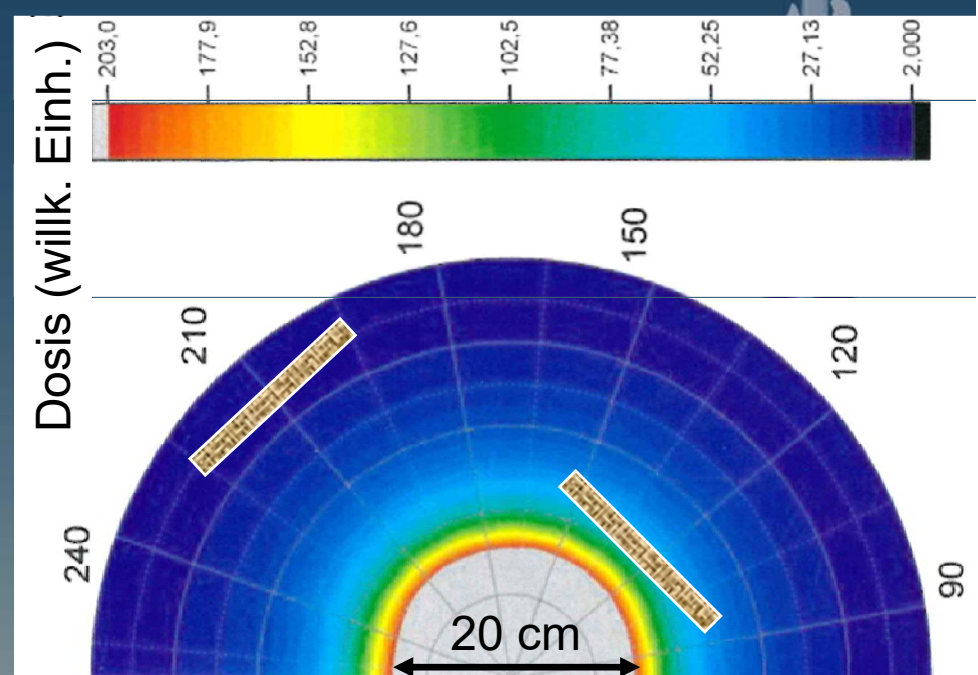
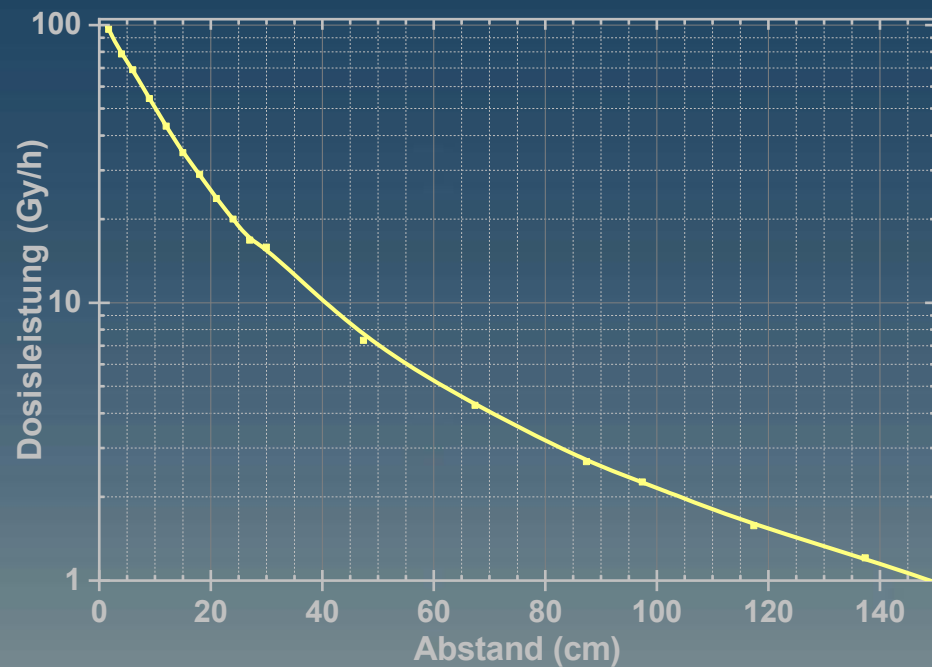
Kobaltquelle: Bestrahlungsraum

- großer Bestrahlungsraum:
ca. 3 m · 4m
- verschiedene Kabelsätze zum
Anschließen von Prüflingen
vorhanden
- empfindliche Messelektronik
kann außerhalb des
Bestrahlungsraums installiert
werden



Kobaltquelle: Dosisrate

- Messung der Dosis mit kalibriertem Dosisleistungsmessgerät
- Dosisrate 2020: zwischen 1 Gy/h und 100 Gy/h (0,1 krad/h bis 10 krad/h)
- $T_{1/2} = 5,2$ Jahre
- Abnahme der Dosisrate mit zunehmenden Abstand zum Edelstahlrohr



Kobaltquelle: mögliche Bestrahlungszeiten

- Kobaltquelle steht das ganze Jahr für Bestrahlungen zur Verfügung (24/7)
- im Regelfall Zugang zur Kobaltquelle für Umbauten o.ä.: Montag-Freitag zwischen 8:00 und 17:00
- 6 RJ45 Verbindungen zu Messraum
- Messraum mit Tageslicht, Internet und Telefonanbindung



Zusammenfassung

- flexible Bestrahlungseinrichtungen für Protonen und γ -Strahlung
- erste Protonentherapieanlage in Deutschland, über 3700 Patienten seit 1998
- → viel Erfahrung in zuverlässigem Beschleunigerbetrieb
- aktives Forschungsprogramm für Dosimetrie und Strahlanlieferung

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

