

# ОТКРЫТИЕ W БОЗОНА

Подготовил: Нуркенов А.А.

# ПРЕДПОСЫЛКИ

- Развитие КЭД и, как следствие, попытка описать слабое взаимодействие через калибровочные бозоны
- В 1968 году три Великих учёных: Шелдон Глэшоу, Стивен Вайнберг и Абдус Салам – выдвинули объединённую теорию электрослабого взаимодействия с введениями заряженных  $W$ -бозонов (объясняющих бета-распад) и нейтрального  $Z$ -бозона с массами  $\sim 80$  и  $\sim 90$  ГэВ соответственно



1. Шелдон Глэшоу
2. Абдус Салам
3. Стивен Вайнберг



Пузырьковая камера «Гаргамель»

# ПРЕДЛОЖЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА

В 1976 году был предложен эксперимент по обнаружению векторных бозонов на основе коллайдера SPS (Super Proton Synchrotron). Основными действующими лицами которого стали:

1. Симон ван дер Меер (отвечал за ускорительную часть, в частности, стохастическое охлаждение в AA)
2. Карло Руббиа (ответственный за детекторную часть UA1)
3. Пьер Дарриула (представитель детектора UA2)



## ЧТО ИСКАТЬ?

Нельзя непосредственно зарегистрировать векторные бозоны, значит, детектируем их продукты распада:

Для регистрации  $W$ -бозона был выбран распад:

- $W^- \rightarrow e^- + anti \nu_e$
- $W^+ \rightarrow e^+ + \nu_e$ ,

где  $E_e \approx 40$  ГэВ (смотрим по поперечной компоненте импульса  $p_T$  )

$\nu_e$  — missing energy (также  $\approx 40$  ГэВ)



# SUPER PROTON SYNCHROTRON

1. Газоразрядный источник ионов
2. Линейный ускоритель (до 50 МэВ)
3. Синхротрон (до 800 МэВ)
4.  $pp'$ -синхротрон PS (до 26 ГэВ)
5. Мишень (медная)
6. Накопитель  $p'$
7. SPS (до 270 ГэВ)

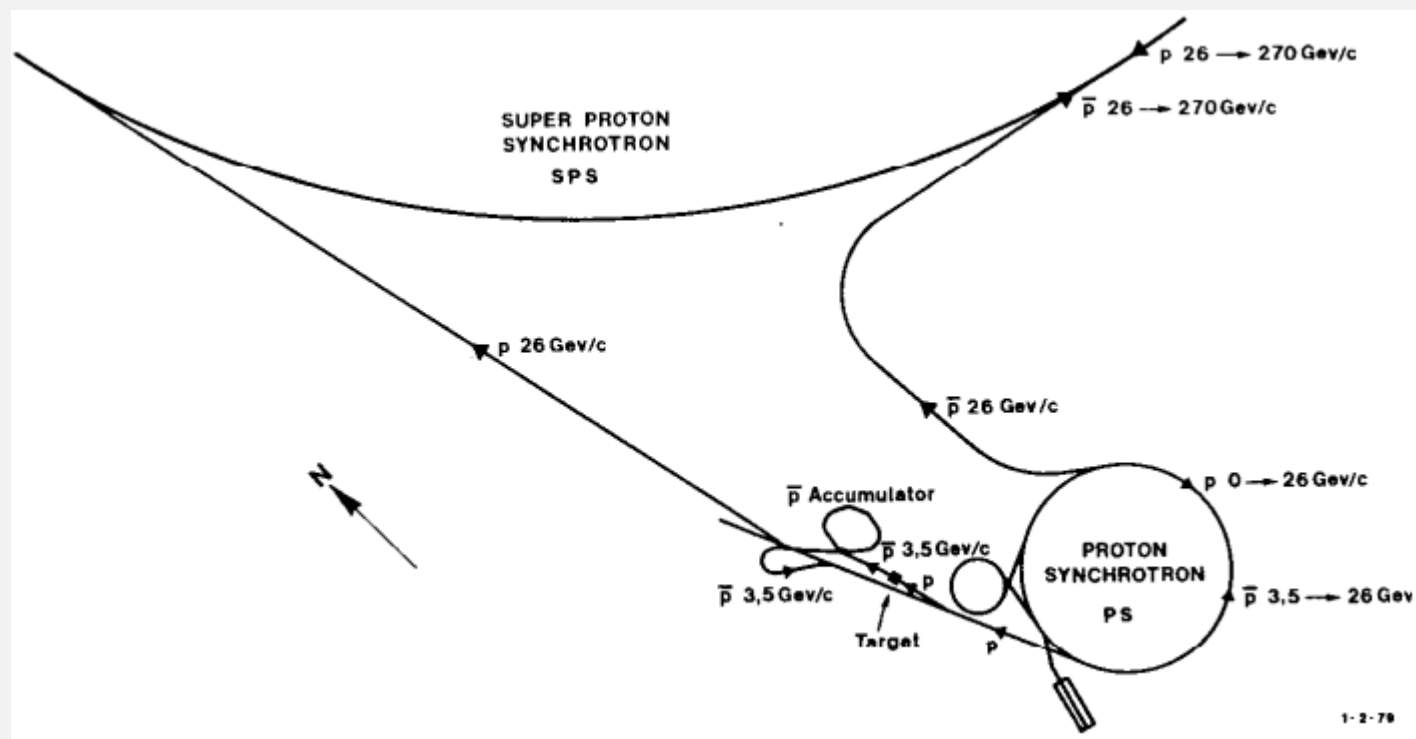
- $\sqrt{s} = 540$  ГэВ

- $R = 1.1$  km,  $L = 6.9$  km

- Светимость:

$$10^{30} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$$

(около 50 000 адронных событий в с.)



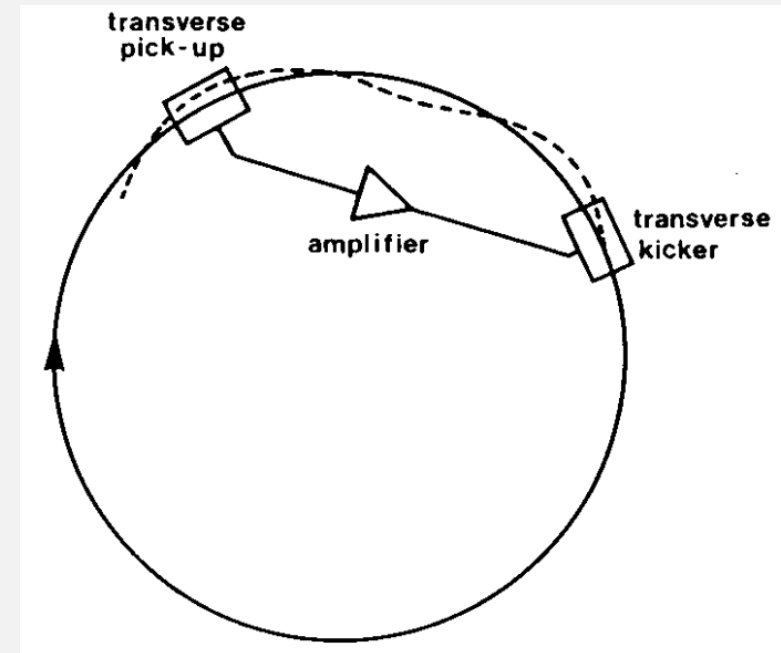
1-2-78

# P' STOCHASTIC COOLING

Принцип работы на примере бетатронных колебаний одной частицы:

- Частица имеет какой-то поперечный импульс и (т.е. отклонение от оси пучка)
- Pick-up считывает импульсный сигнал, пропорциональный отклонению частицы от центральной орбиты (амплитуда бетатронного колебания), при каждом прохождении частицы
- Сигнал проходит через усилитель и попадает на kicker, который производит корректировку частицы дополнительным магнитным воздействием

Если расстояние p-k содержит нечётное число четверти длины волны бетатронного излучения при правильно выбранном коэффициенте усиления, то все отклонения будут скорректированы



# P' STOCHASTIC COOLING

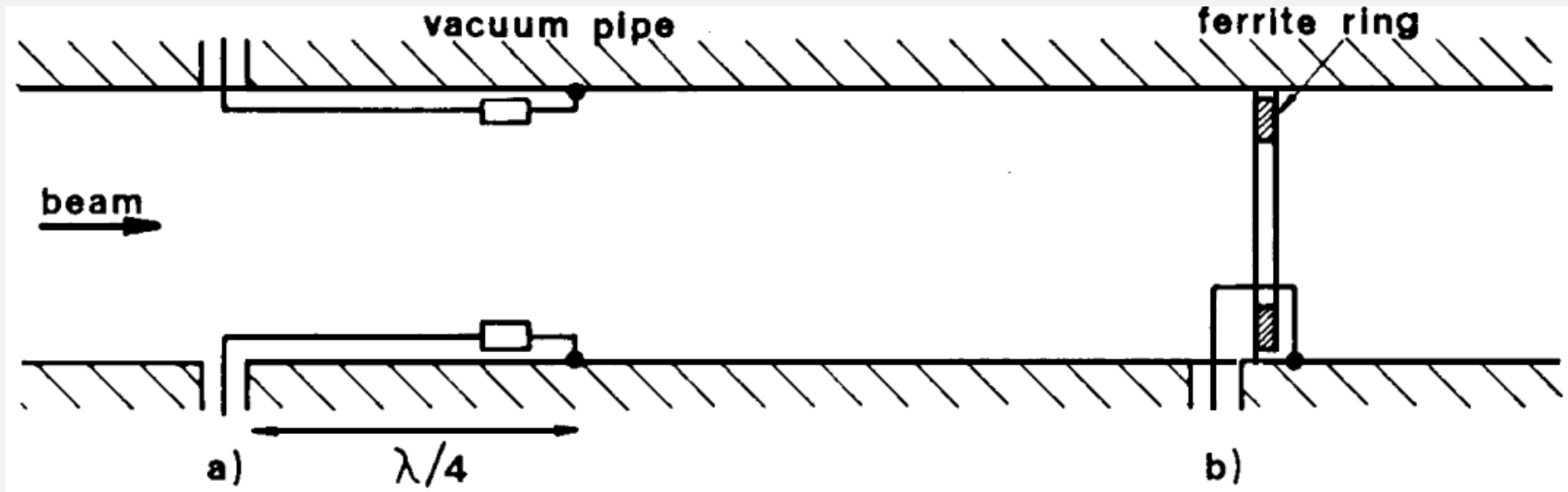
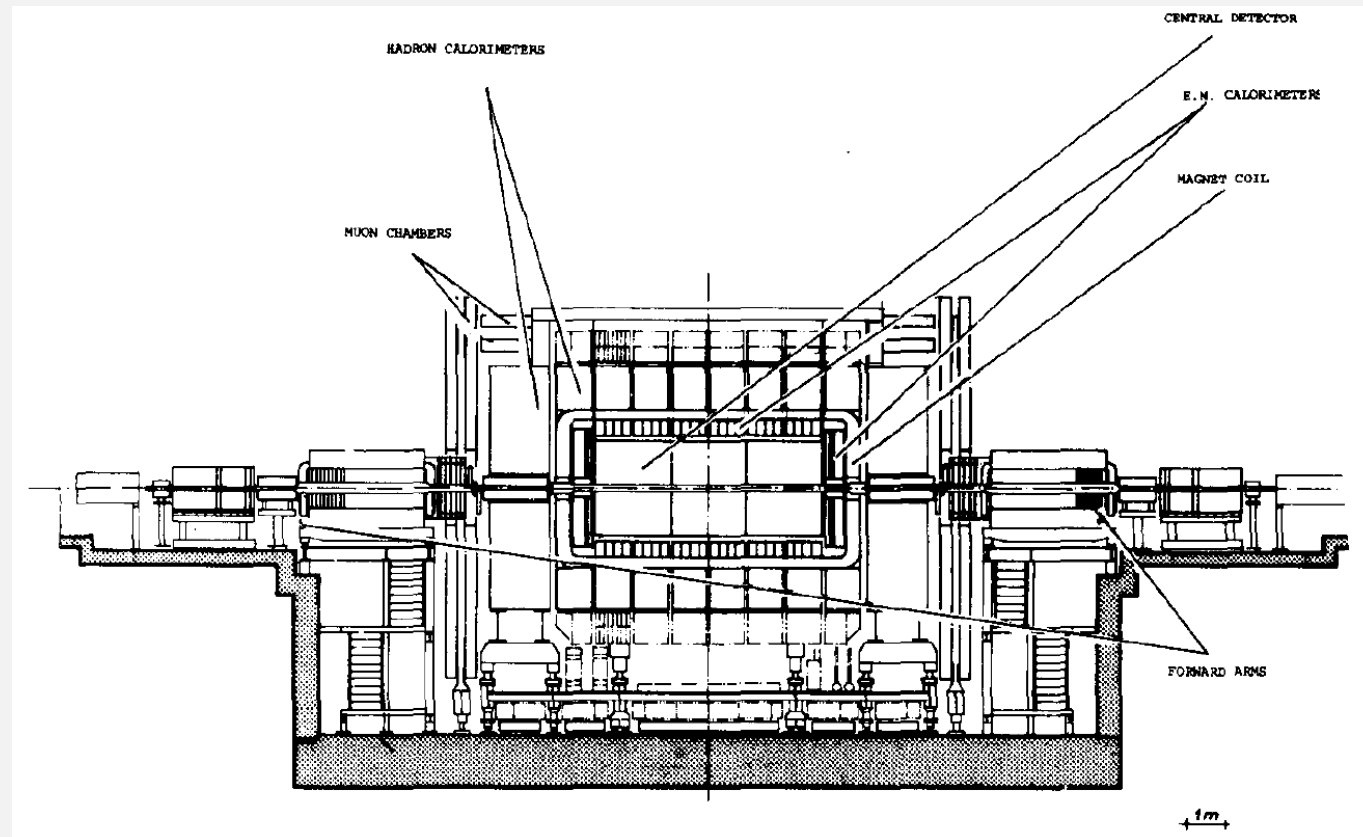


Fig. 9. Loop-type and ferrite ring-type pick-ups (or kickers). Note that for loop-type kickers the beam direction should be inverted.

# UAI

1. Vacuum beam pipe
2. Трековый детектор (дрейфовая камера)
3. Электромагнитный калориметр  
En. res. for a 40GeV electron is  $\pm 2.5\%$
4. Адронный калориметр и ретёрн йоке
5. Магнит
6. Мюонные камеры





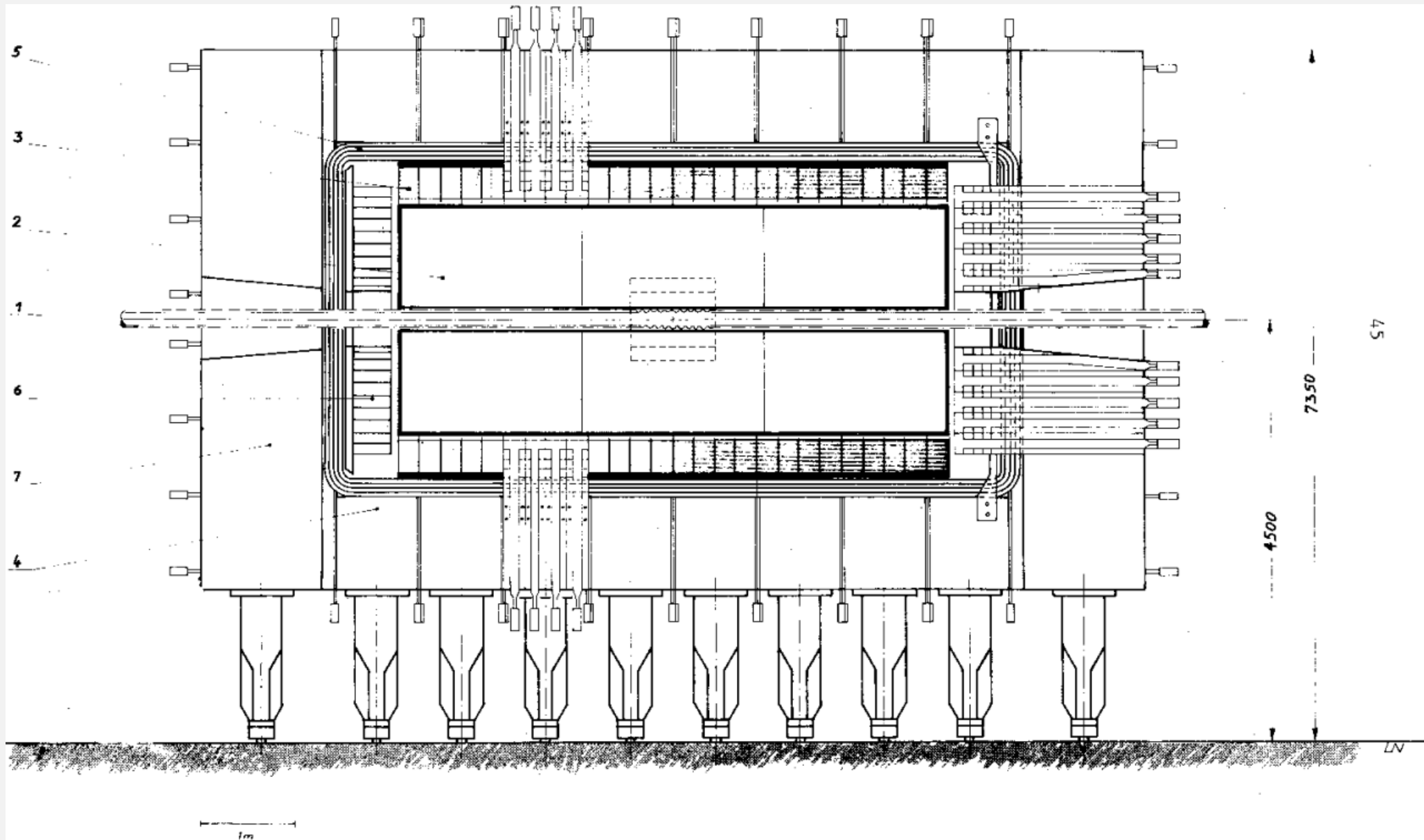
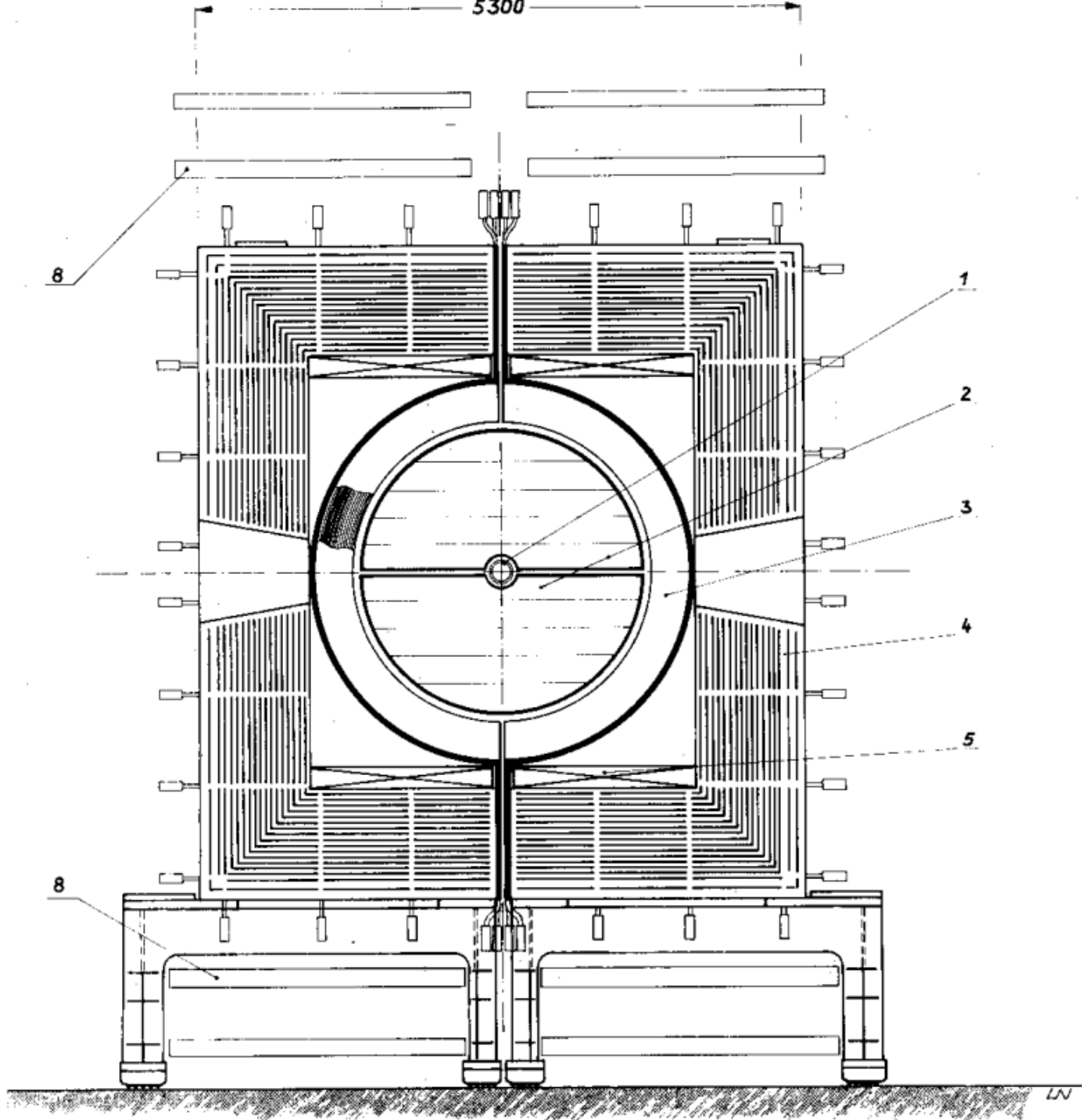
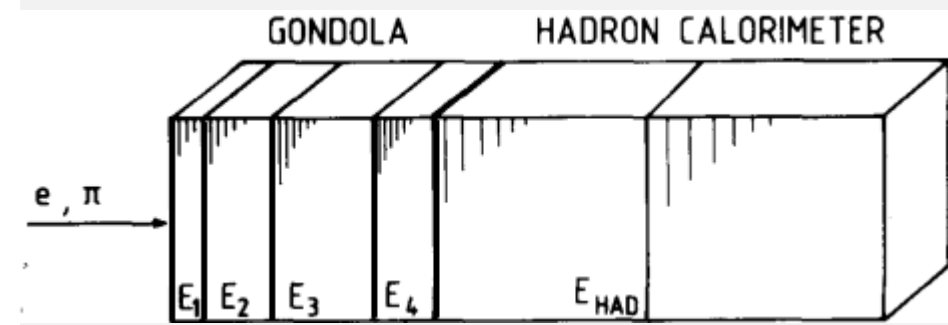
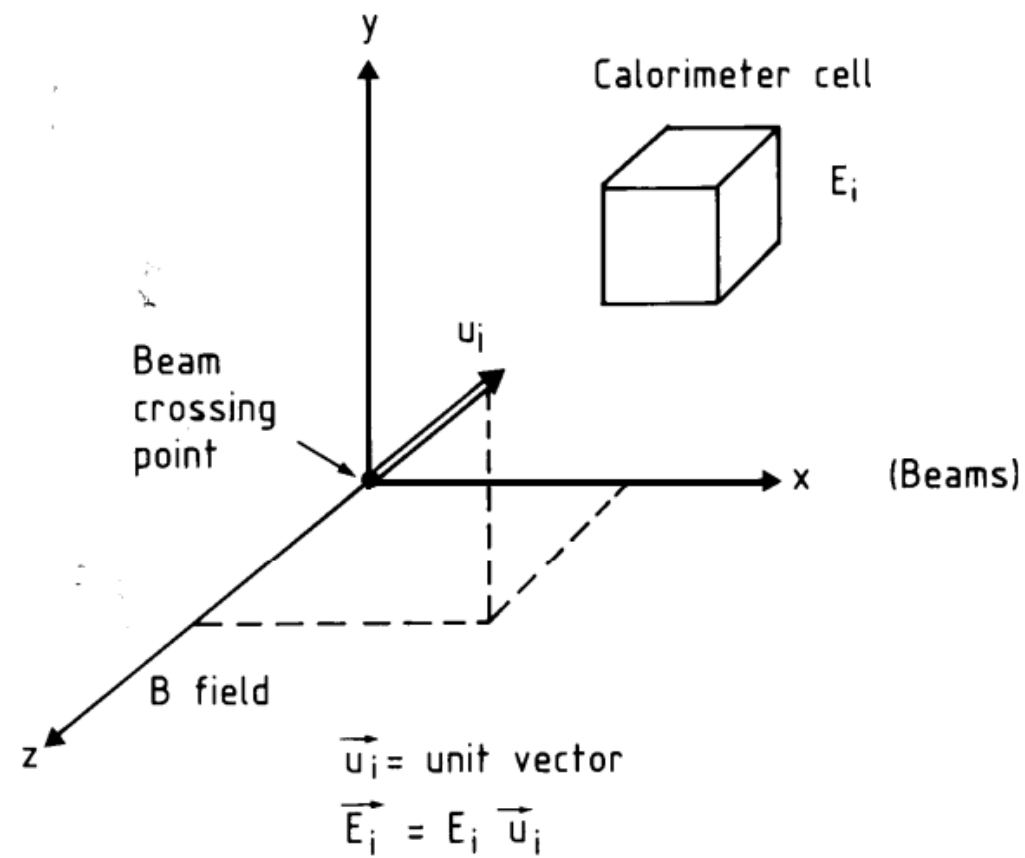


Figure 3.1. Side view of the detector. Legend: |1| vacuum chamber; |2| vertex chambers; |3| electromagnetic (e.m.) detectors; |4| hadron calorimeters and return yoke; |5| Al coil; |6| forward e.m. detectors; |7| end caps.



# CONSTRUCTION OF ENERGY VECTORS



Momentum conservation  $\rightarrow \sum_i \vec{E}_i = 0$   
 (ideal detector)

$$\Delta \vec{E}_m = \sum \vec{E}_i$$

$$\sum |E_T| = \text{event "temperature"}$$

Fig. 7. Principal diagram for constructing energy vectors and the missing energy of the event

## ОТБОР W

1. Триггерной системой было отобрано около  $10^6$  событий, в которых вылетающие частицы имели большие ( $>10$  ГэВ) импульсы в поперечном направлении
2. Были оставлены 140 000 событий, содержащих электрон (он идентифицировался по характеру ливня в электромагнитном калориметре)
3. При offline анализе выбрали 28 000 случаев, отвечающих появлению в электромагнитном калориметре ливня с  $p_T > 15$  ГэВ/c
4. Оставили 2125 событий, в которых ливни в электромагнитном калориметре являлись продолжением чёткого одиночного трека заряженной частицы в центральном детекторе с  $p_T > 7$  ГэВ

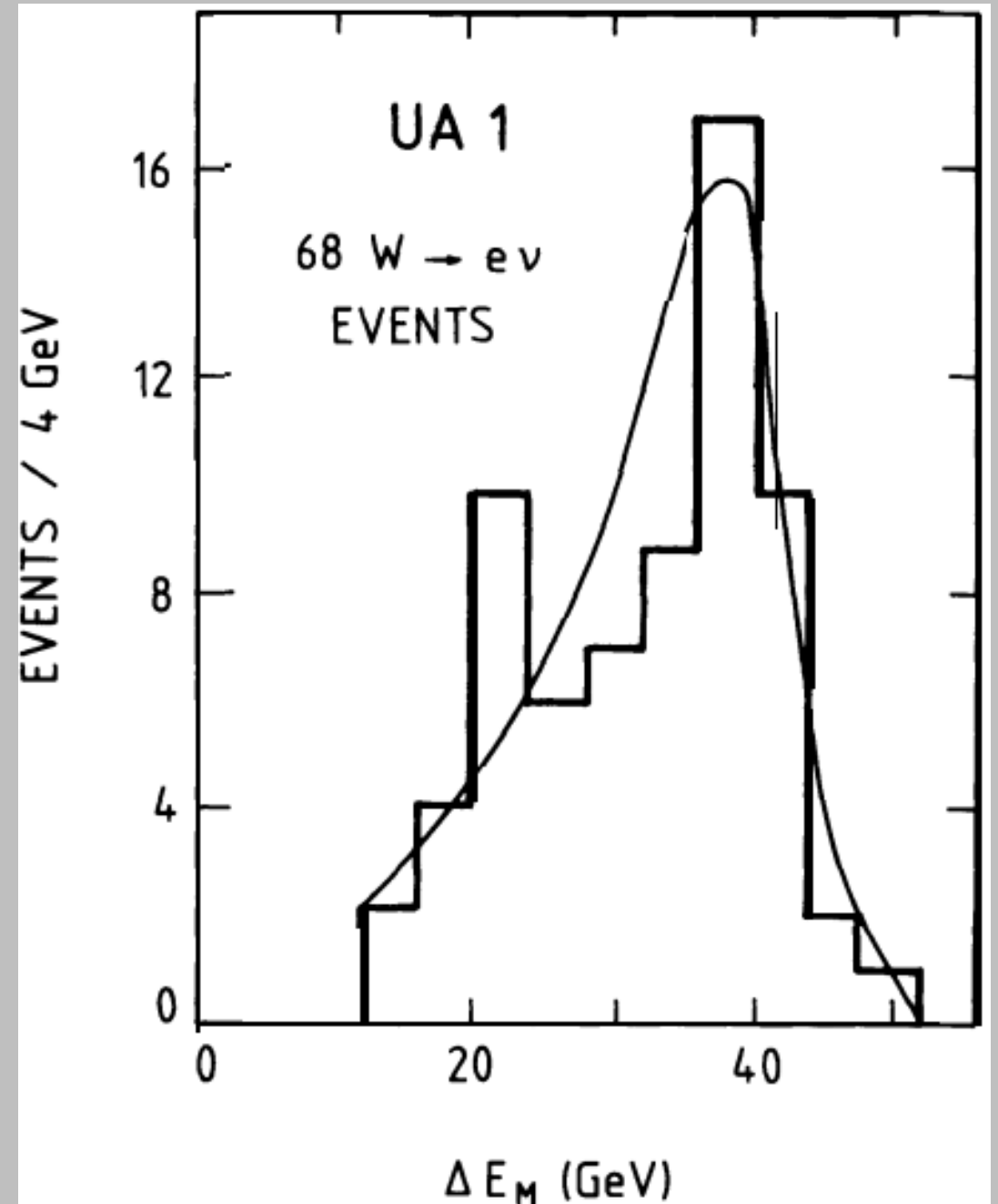
Затем совокупностью требований на:

1. Ограничение максимального энерговыделения в адронном калориметре  $< 800$  МэВ
2. Отсутствие струй, моделирующих изолированный электрон
3. Отсутствие наложений от заряженных треков и  $\pi^0$  от струй
4. Ограничение положения трека внутри э/м калориметра

Получили 43 события

## РАСПРЕДЕЛЕНИЕ “MISSING ENERGY”

Распределение незарегистрированной поперечной энергии для событий, в которых наблюдается изолированный электрон с  $p_T > 15$  GeV и отсутствует копланарная струя



## ОТБОР $W$ (2 СПОСОБ)

- Возвращаемся к 2125 событиям
- Оставляем лишь те, в которых наблюдались большие (10-40 ГэВ/с) недостающие поперечные импульсы, уносимые нерегистрируемыми частицами

Показано на следующем слайде, где отображены все события с энергиями, превышающими  $4\sigma$

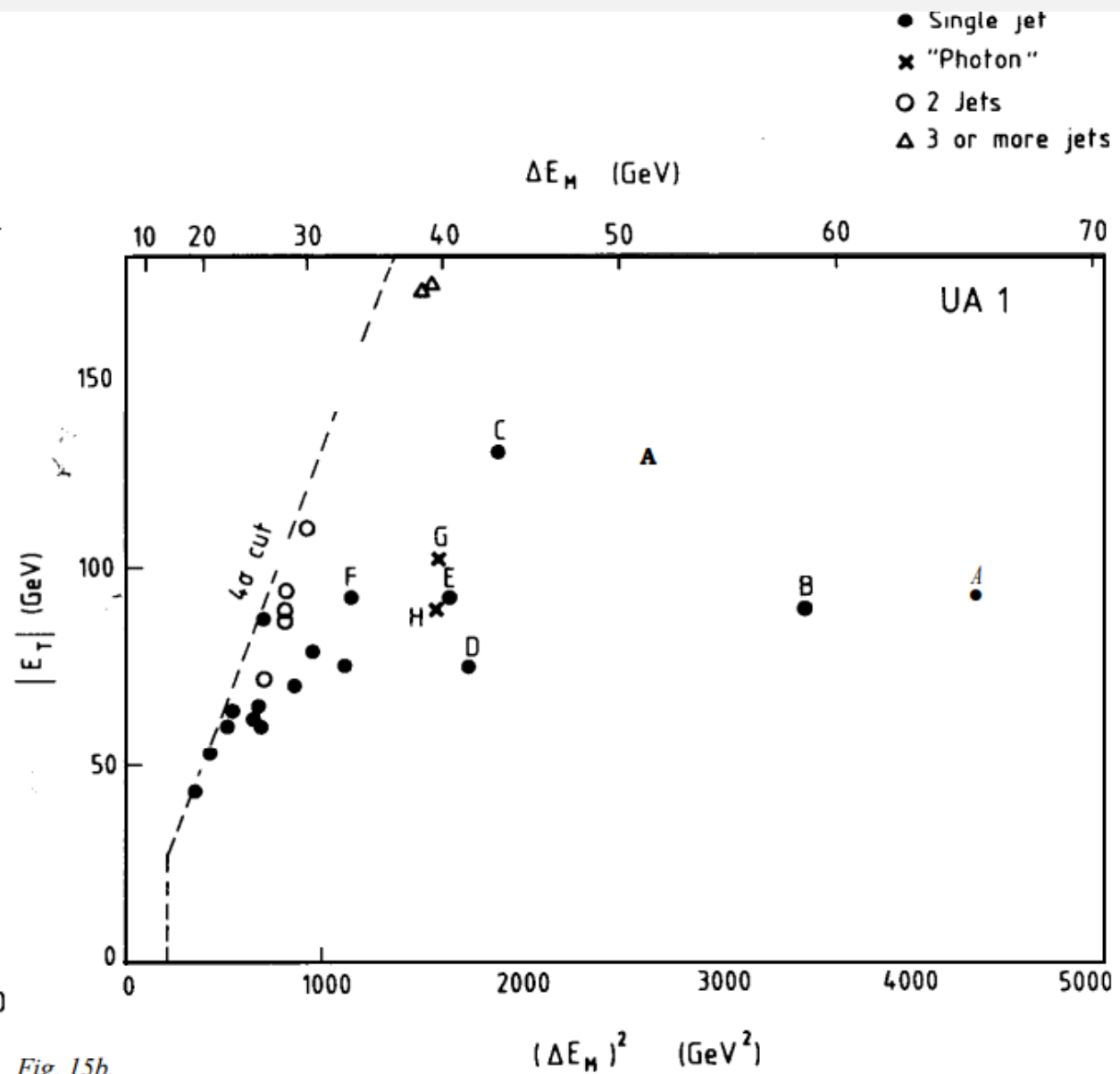
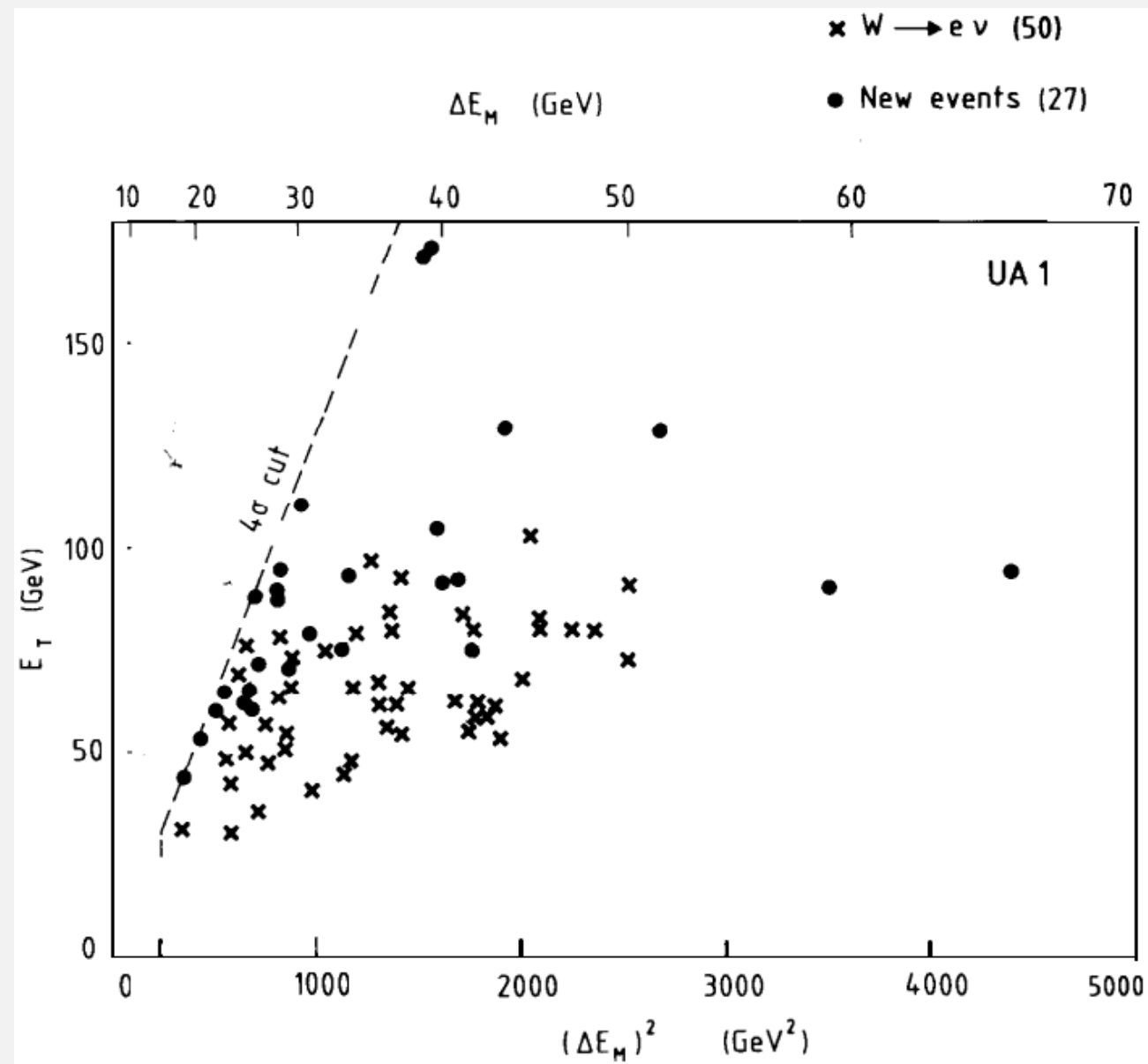


Fig. 15b.

1. Были отобраны  $\sim 50$  событий, в которых явно наблюдаются лишь электрон и нейтрино
2. Событий много, потому что сюда включаются и события с несколькими нейтрино (т.е. не только распад  $W$ )
3. Основная вещь, которая портит нам жизнь:  
 $W \rightarrow \tau + \nu_\tau, \quad \tau \rightarrow jet + \nu'_\tau \quad (\text{tau} \Leftrightarrow \text{mu})$   
 $X \rightarrow ev\nu$

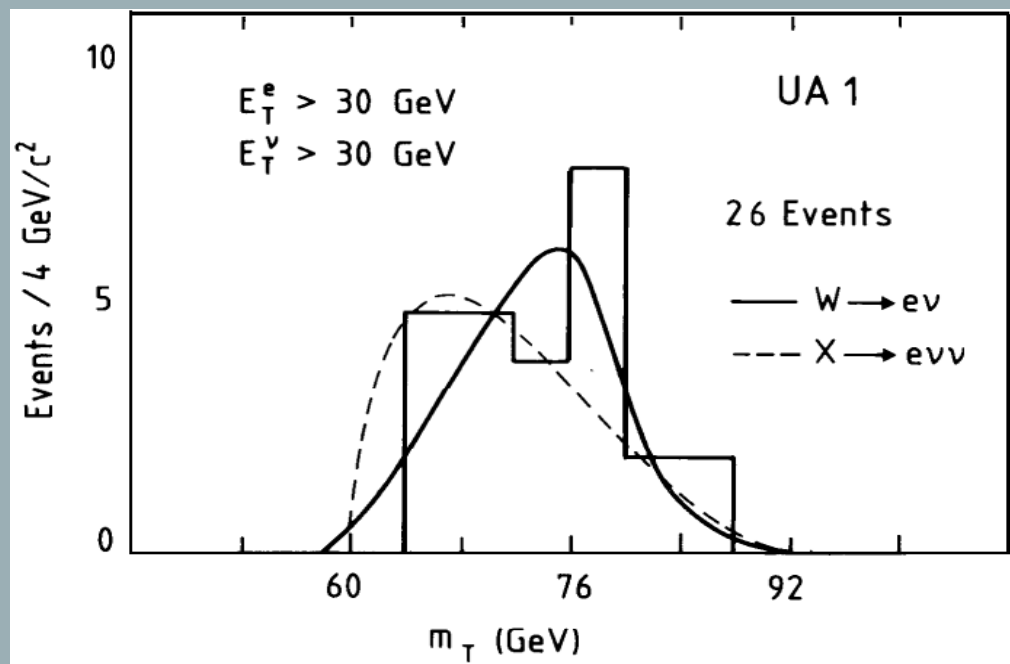
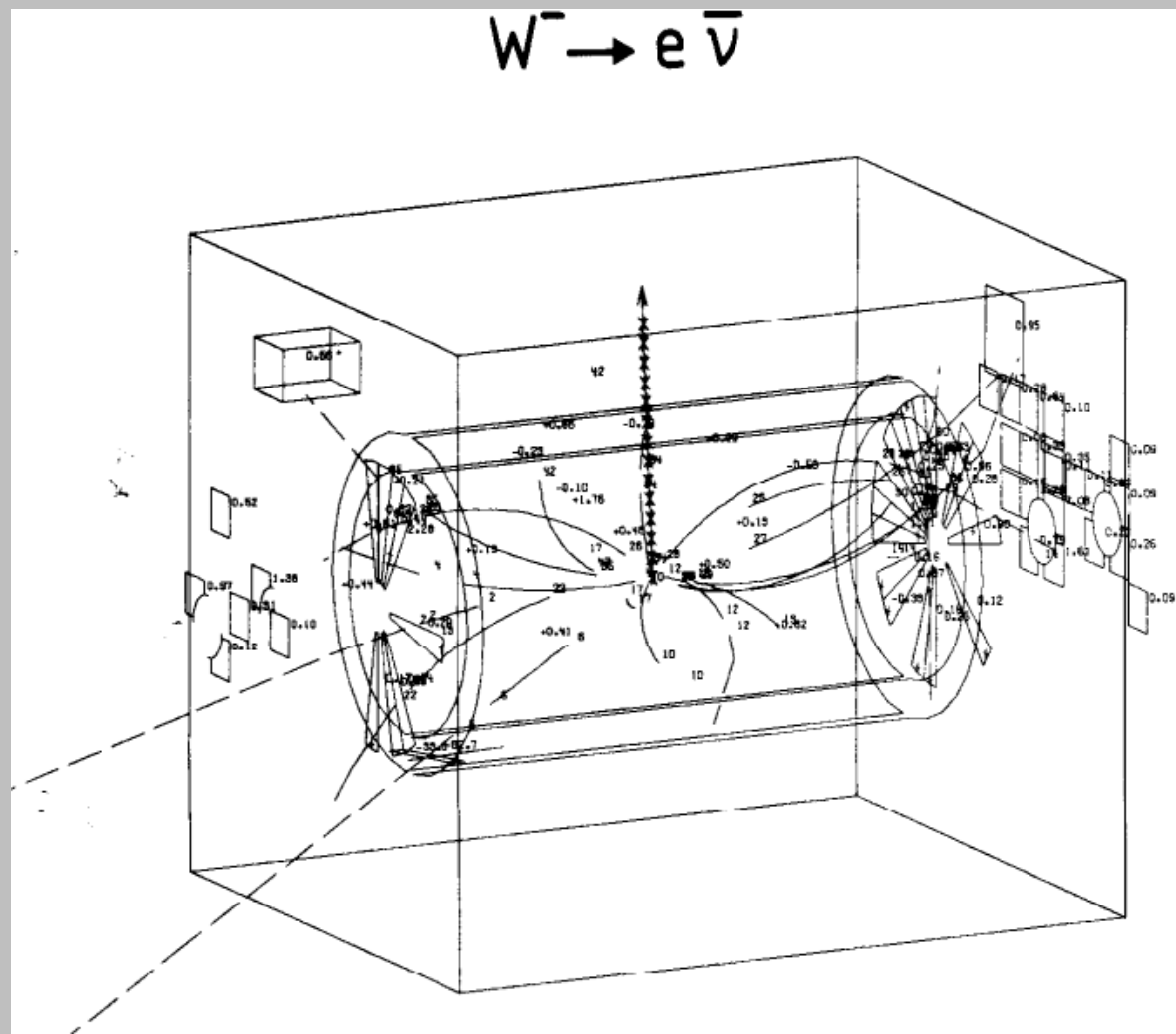


Fig. 19c. The enhanced electron-neutrino transverse mass distribution (see text). The two curves show the results of a fit to the hypotheses  $W \rightarrow e + \nu$  and  $X \rightarrow e + \nu + \nu$ .

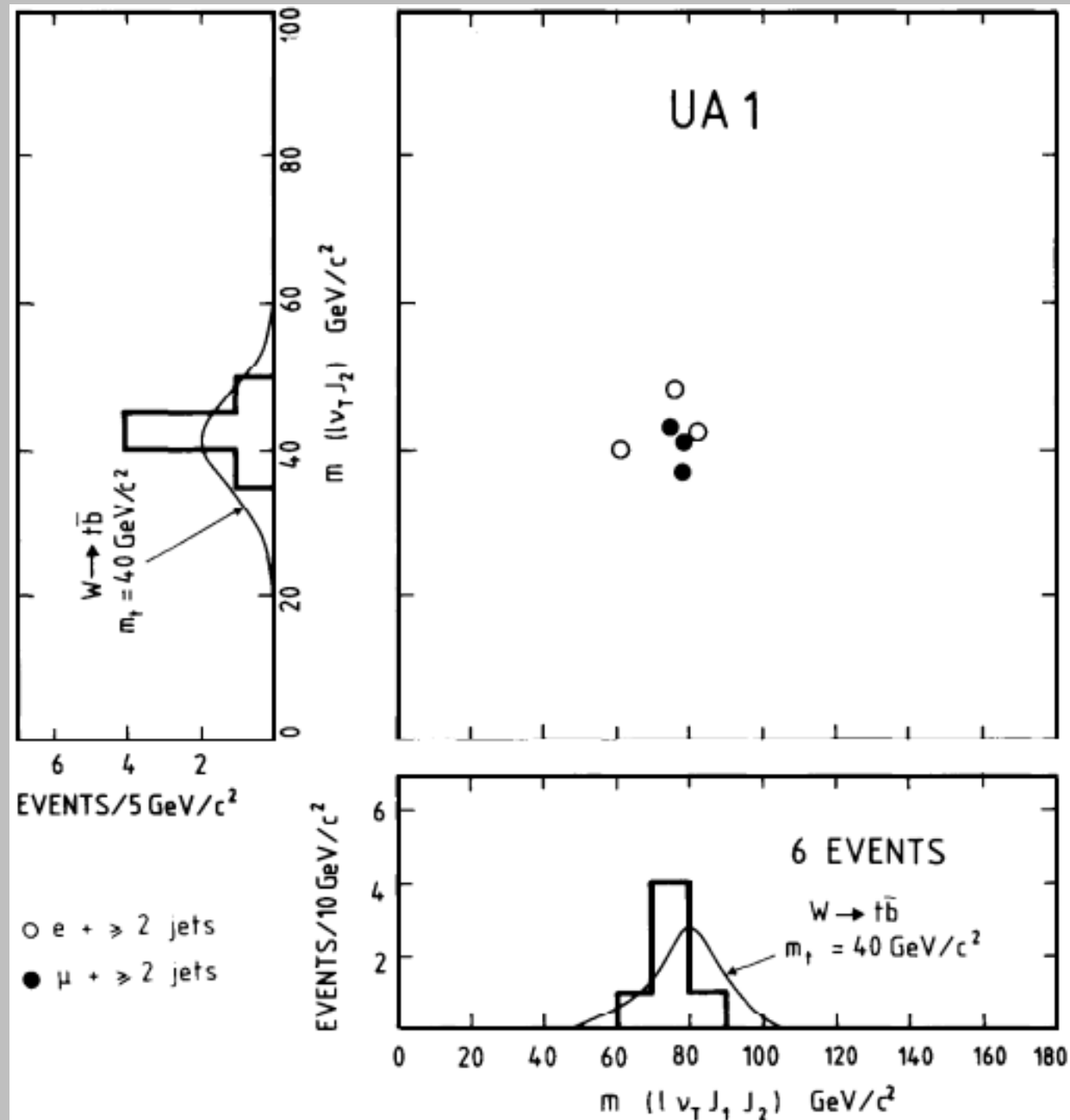




# FINAL RESULT

Обнаружено 6 событий удовлетворяющих условиям отбора распада  $W \rightarrow e + \nu$

Получена экспериментальная оценка массы  $W = 80 \pm 5$  ГэВ





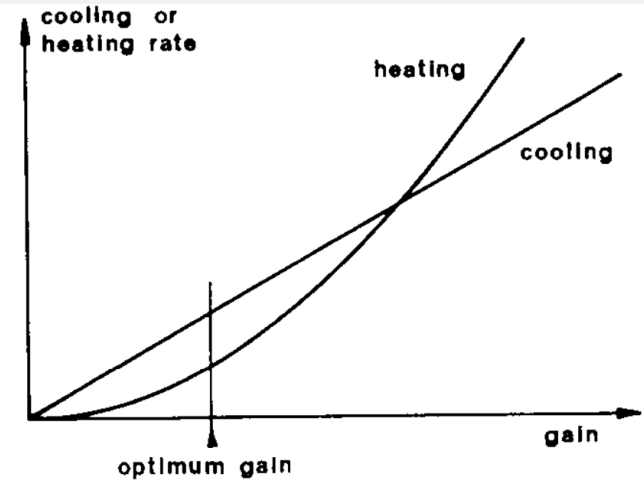
**Благодарю**

**за**

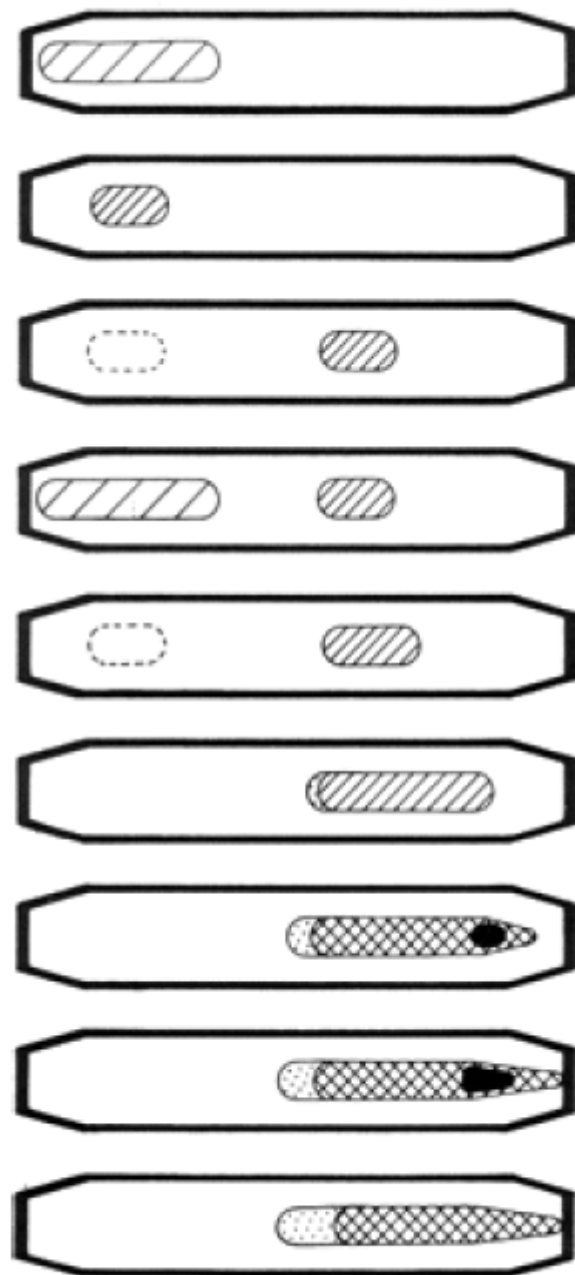
**внимание!**

## ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ СЛАЙДЫ

- Есть приколы с тем, что в реале не одна частица в накопителе, а несколько и там идёт наслаивание частиц друг на друга (heating). У частиц появляются рандомные фазы друг относительно друга
- Вот эта вся история пропорциональна коэффициенту усиления (gain) и можно подобрать оптимальные условия (cooling > heating)



Variation with system gain of the coherent cooling and incoherent heating effect



The first pulse of  $7 \times 10^6 \bar{p}$  has been injected into the AA vacuum chamber

Precooling has reduced the momentum spread

The first pulse has been moved to the stack region

The second pulse is injected 2.4 s later

After precooling, the second pulse is added to the stack

After 15 pulses the stack contains  $10^8 \bar{p}$

After 1 hour a dense core is present in the stack

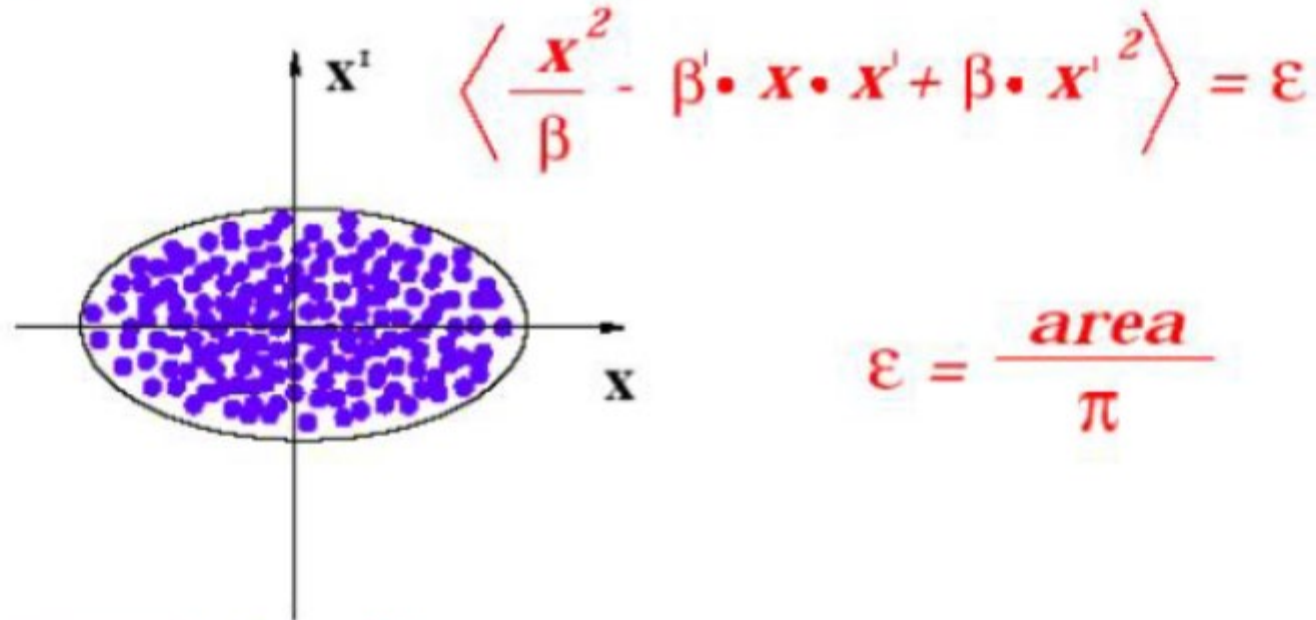
After 1 day the core contains enough  $\bar{p}$  for transfer to the SPS

The remaining  $\bar{p}$  are used to begin next day's accumulation

Fig. 3. Schematic sequence illustrating antiproton cooling and accumulation in the AA.

# Emittance

● *beam ensemble:*



$$\epsilon = \frac{\text{area}}{\pi}$$

→  $\epsilon$  describes the beam quality

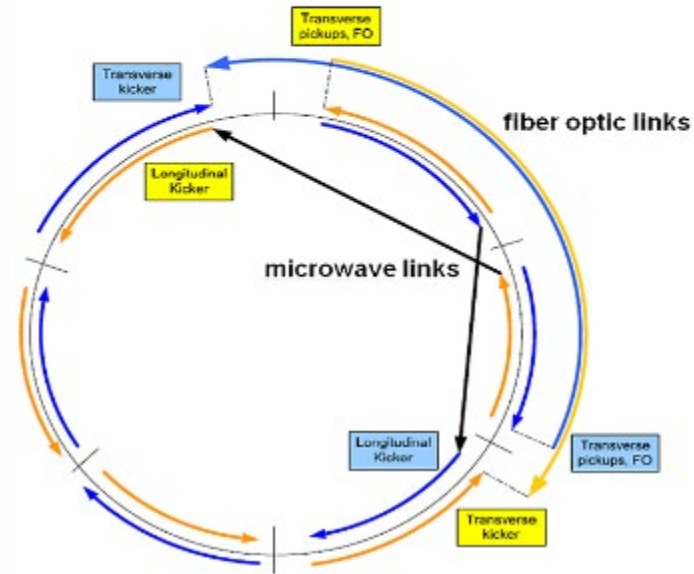
→  $\sigma = \sqrt{\epsilon \cdot \beta}$  describes the beam size



# Stochastic Cooling

● Communication of individual particles  
via:

- *direct coulomb interaction*
- *residual gas ionisation*
- *synchrotron radiation*
- *image charges on the vacuum chamber*



**Stochastic cooling** is used in accelerators to control the emittance of the beams.

This process uses the electrical signals that the charged particles generate in **a feedback loop** to reduce the tendency of individual particles to move away from the other particles in the beam.

The technique was invented and applied for the SPS at CERN by S. van der Meer was awarded the Nobel Prize in Physics in 1984.

Table 1

## Central detector

Detector type	Drift chambers with drift space of 20 cm
Read-out	Three-dimensional read-out by continuous digitization in drift direction, and charge division along the wires
Number of space points per track	110 (on an average)
Tilt of drift angle	about $25^\circ$ (at nominal magnetic field)
Resolutions	$\sigma = 250 \mu\text{m}$ (in drift direction) $\sigma = 1\%$ of wire length (along wire) $\sigma = 6\%$ for $dE/dx$
Mass resolution for $Z^0$ (FWHM)	$\Gamma = 8 \text{ GeV}/c^2$ (at 79% efficiency) $\Gamma = 7 \text{ GeV}/c^2$ (at 65% efficiency)
Calibration and alignment	Straight tracks are generated by X-rays

Table 2

## Electromagnetic calorimeters

Detector type	Lead-scintillator sandwich (25 rad lengths) with BBQ read-out; drift tubes for better space resolution in forward direction
Read-out	Amplifiers attached to low-gain PMs; 2 ADCs per PM separated by a factor of 30 in sensitivity
Resolutions a) Angular region $25^\circ < \theta < 155^\circ$ ("gondolas")  b) Angular regions $5^\circ, \theta < 25^\circ$ and $155^\circ < \theta < 175^\circ$ ("bouchons")  c) Mass resolution for $Z^0$ (FWHM)	$\sigma(E) = 0.15/\sqrt{E} + 0.01$ $\sigma(x) = 4 \text{ cm}/\sqrt{E}$ (space resolution along $\theta$ ) $\sigma(y) = 16 \text{ cm}/\sqrt{E}$ (space resolution along $\phi$ ) $\sigma(E_t) = 0.12/\sqrt{E_t}$  $\Gamma = 3.5 \text{ GeV}$
Calibrations a) Mapping of calorimeters  b) Long-term stability of PMs	1) $^{60}\text{Co}$ source 2) Betatron  Laser calibration system. Monitors: $^{241}\text{Am}$ (imbedded in NaI) and vacuum diode; light distribution by optical fibres

Table 3

## Hadron calorimeters

Detector type	Iron scintillator sandwich with BBQ read-out
Resolution	$\sigma \approx 0.8/\sqrt{E}$
Calibration	(Long-term stability of scintillators and PMs.) Laser calibration system with source monitors.

Table 4

## Muon detector

Detector type	Large-area drift-tube chambers
Angular resolution	$\sigma = 1 \text{ mrad}$
Trigger	a) Fast trigger to reduce rate at $L = 10^{30} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ to less than 1 kHz b) Microprocessor trigger (to select stiff tracks aiming at vertex)

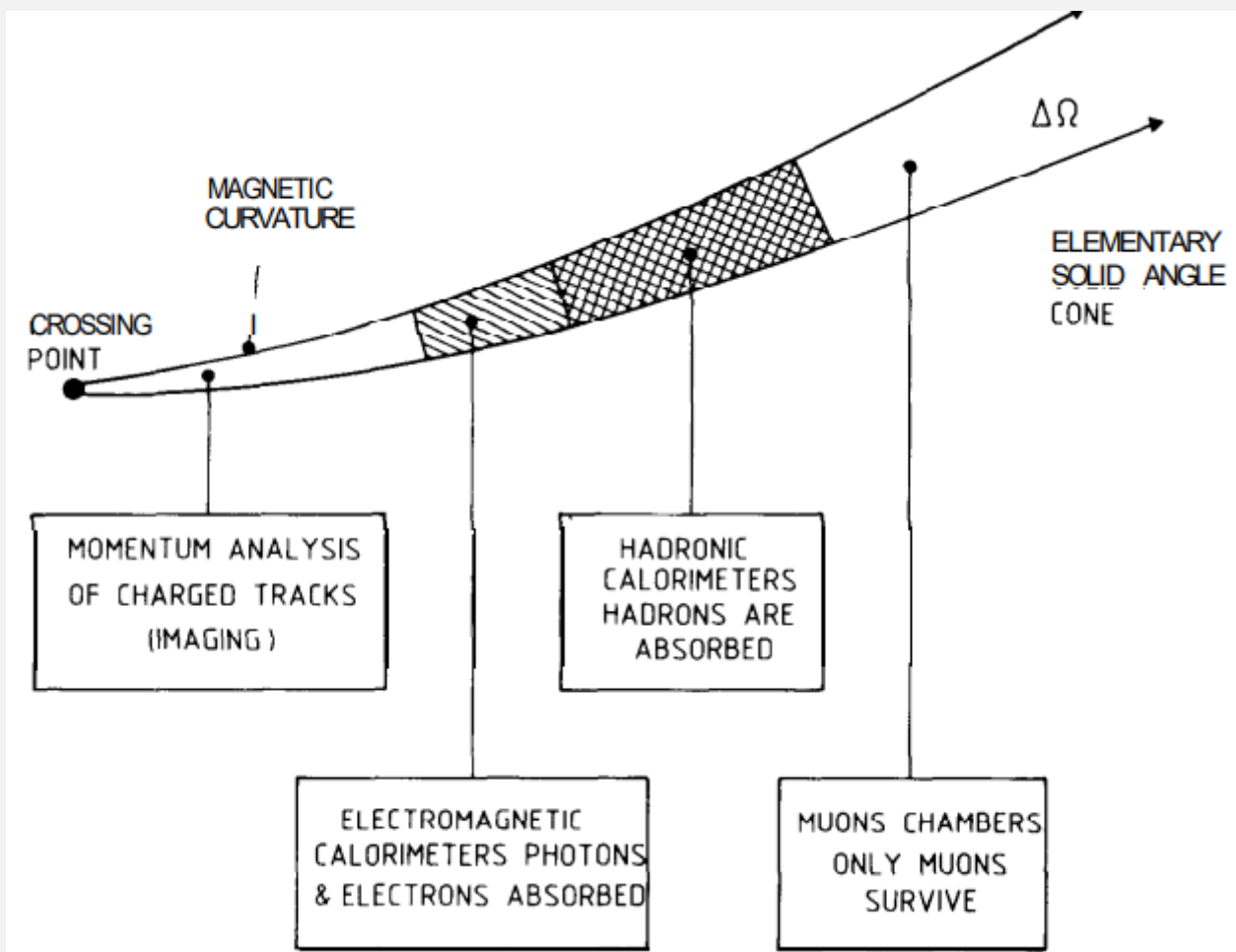
TABLE 4.1. Parameters of the magnet

Nominal field value	$B_0$	0.70 T
Transverse analyzing power	$k = B_0 l^2$	1 T m <sup>2</sup>
Longitudinal analyzing power	$K = B_0 I^2$	~ 6.0 T m <sup>2</sup>
Inside magnetic volume, dimensions:		
(i) Transverse	$2l'$	3.4 m
(ii) Longitudinal	$2L'$	7 m
Total current in each half coil	$i$	$1.03 \cdot 10^6$ A
Coil material		Aluminium
Thickness of conductor	$a$	13.0 cm
Total space for coil	$a'$	20 cm
Current density in aluminium	$I$	4.81 A/mm <sup>2</sup>
Total mass of conductor		~ 25 Tons
Total dissipated power		5.88 MW
Total thickness of iron (magnetic) $f$		80 cm
Width of return yoke (instrumented) $f'$		96 cm
Weight of iron (magnetic) $M$		~ 830 Tons (*)
Overall external dimensions:		
(i) Length		7.40 m
(ii) Height		5.72 m
Dimensions of windows at 90° (on external iron surface)		.9 x .9 m <sup>2</sup>
Dimension of forward openings in the coil		$\phi = .70$ m



TABLE 2.1.  $W^{\pm}$  and  $W^0$  Decay Channels, partial cross sections and expected events for  $\int L dt = 10^{36} \text{ cm}^{-2}$ .

Channel	Branching ratio	Cross-section ( $\text{cm}^2$ )	Number of events for $\int L dt = 10^{36} \text{ cm}^{-2}$
$W^+ \rightarrow \mu^+ \nu_{\mu}$	1/8	$2.9 \cdot 10^{-34}$	290
$W^+ \rightarrow e^+ \nu_e$	1/8	$2.9 \cdot 10^{-34}$	290
$W^+ \rightarrow u \bar{d}$	3/8	$8.7 \cdot 10^{-34}$	870
$W^+ \rightarrow c \bar{s}$	3/8	$8.7 \cdot 10^{-34}$	870
$W^- \rightarrow \mu^- \bar{\nu}_{\mu}$	1/8	$2.9 \cdot 10^{-34}$	290
$W^- \rightarrow e^- \bar{\nu}_e$	1/8	$2.9 \cdot 10^{-34}$	290
$W^- \rightarrow \bar{u} d$	3/8	$8.7 \cdot 10^{-34}$	870
$W^- \rightarrow c \bar{s}$	3/8	$8.7 \cdot 10^{-34}$	870
$W^0 \rightarrow e^+ e^-$	5%	$8 \cdot 10^{-35}$	80
$W^0 \rightarrow \nu_e \bar{\nu}_e$	5%	$8 \cdot 10^{-35}$	80
$W^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-$	5%	$8 \cdot 10^{-35}$	80
$W^0 \rightarrow \nu_{\mu} \bar{\nu}_{\mu}$	5%	$8 \cdot 10^{-35}$	80
$W^0 \rightarrow q \bar{q}$	80%	$13 \cdot 10^{-34}$	1300



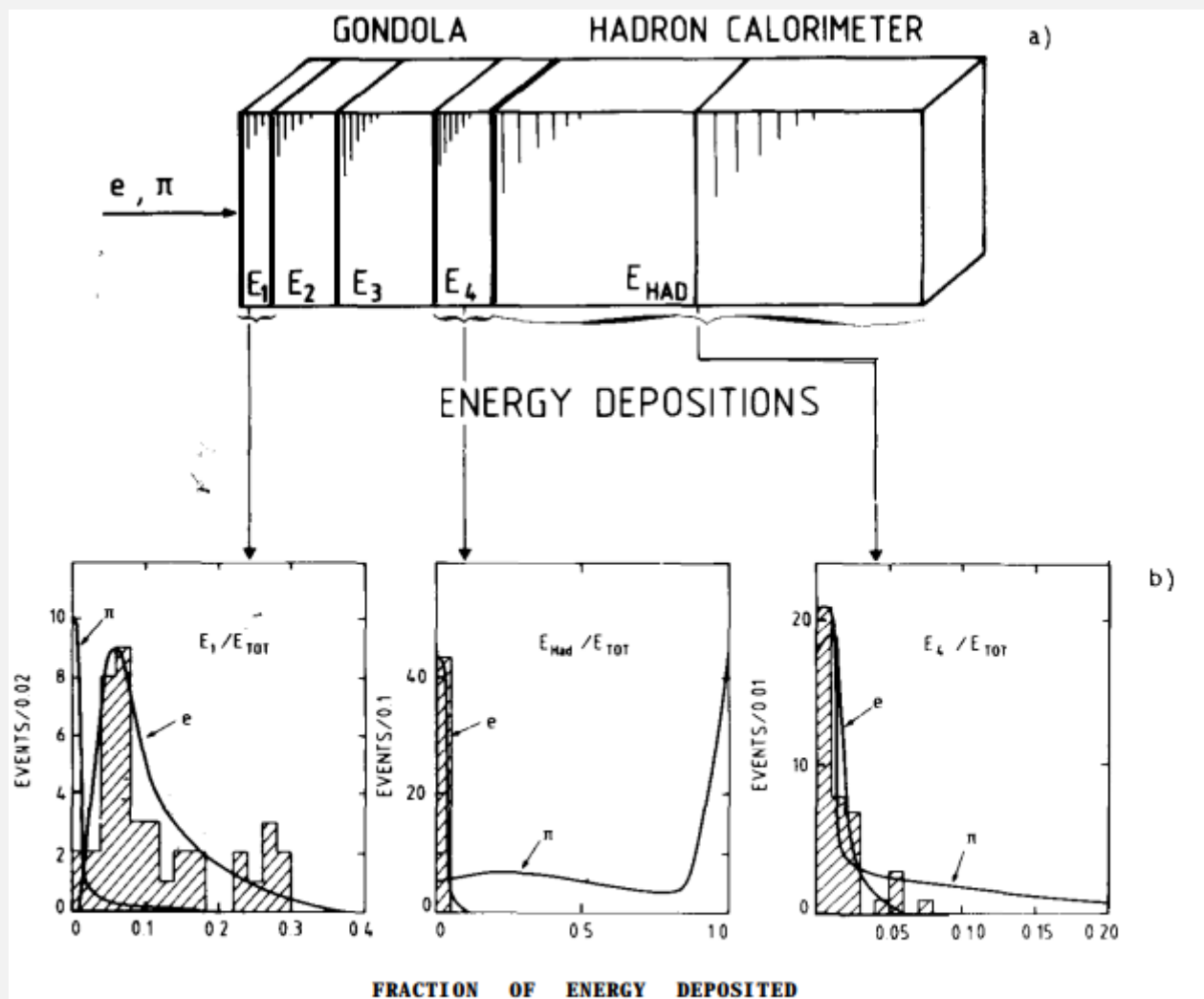


Fig. 9. a) Schema of an elementary solid-angle cell. After four segments of lead/scintillator sandwich, there are two elements of iron/scintillator sandwich, which is also the magnetic field return loop. b) Energy depositions for high-energy pions and electrons. The nature of the particle can be discriminated looking at the transition curve.