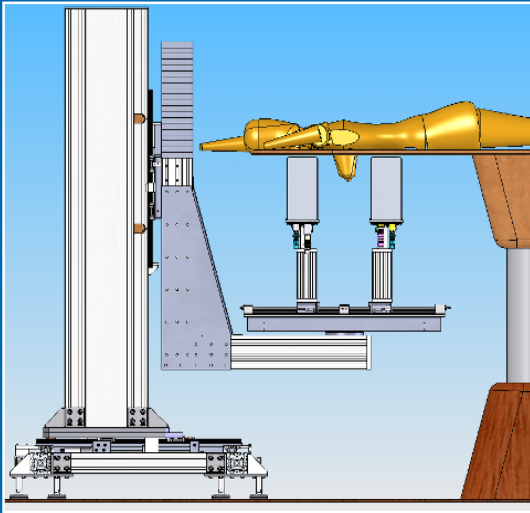


# Spin-offs da Física de Partículas

Luis Peralta  
LIP/FCUL



# Ciência fundamental ↔ Aplicações práticas



Contribuições de apresentações de

Adérito Chaves

Gonçalo Borges

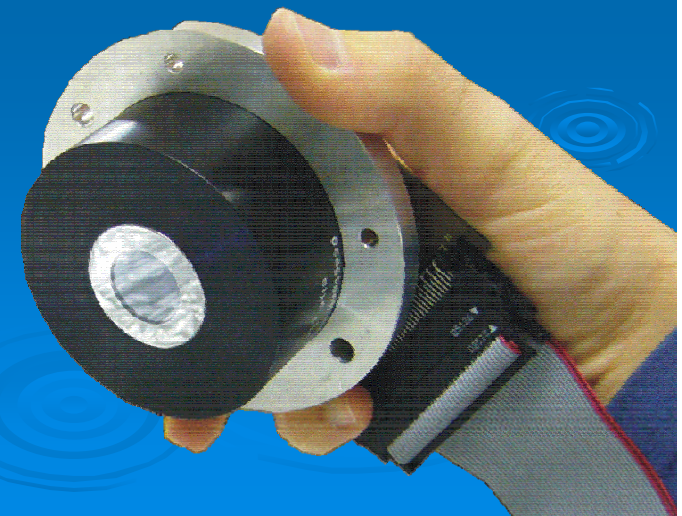
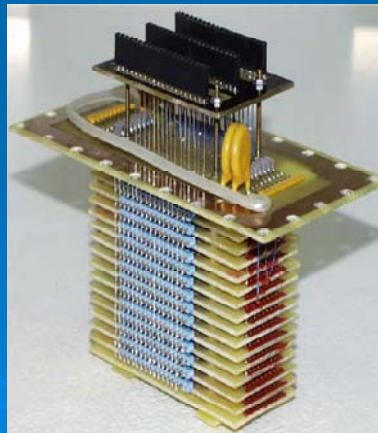
João Varela

Mário David

Patrick Sousa

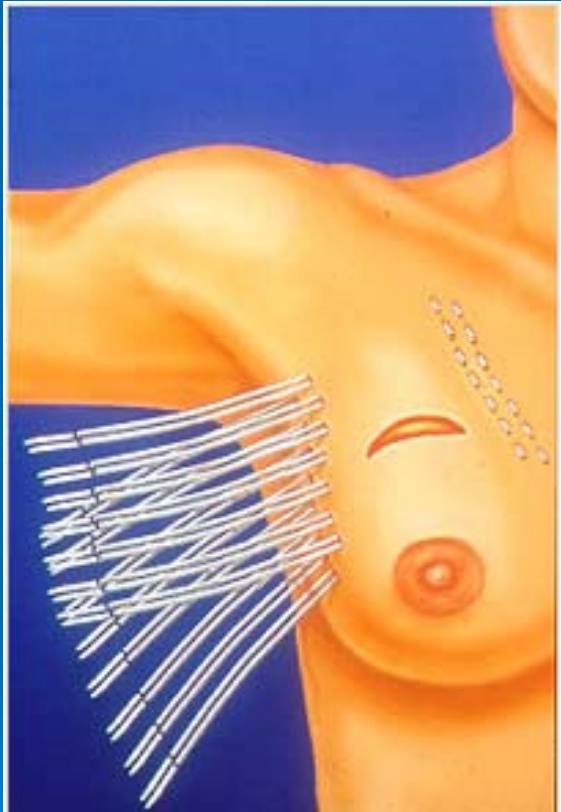
Sónia Rodrigues

etc....

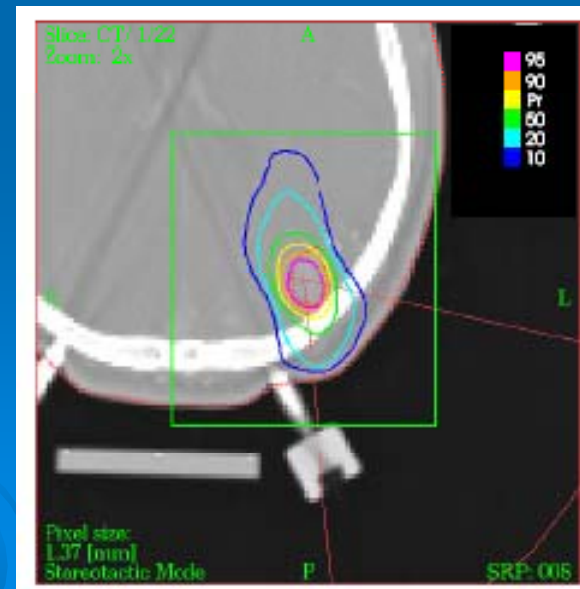
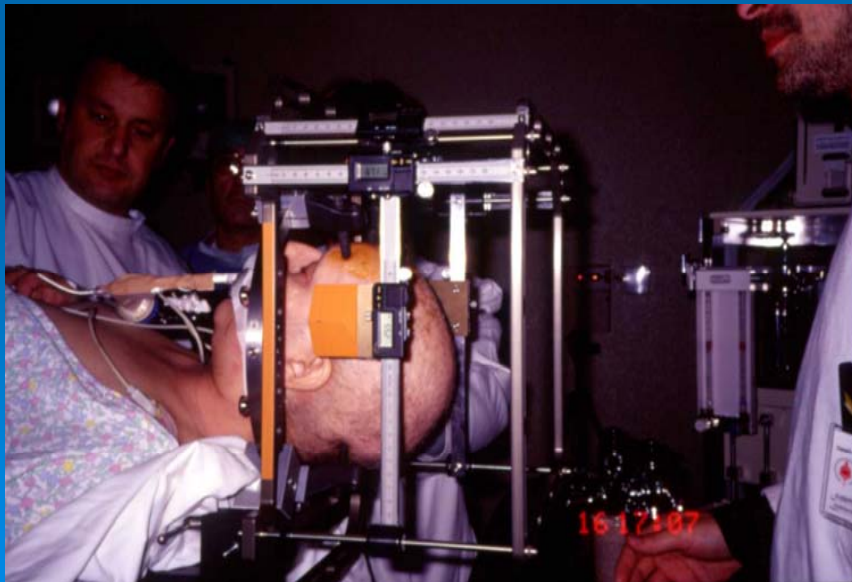


# Simulando situações com aplicação clínica

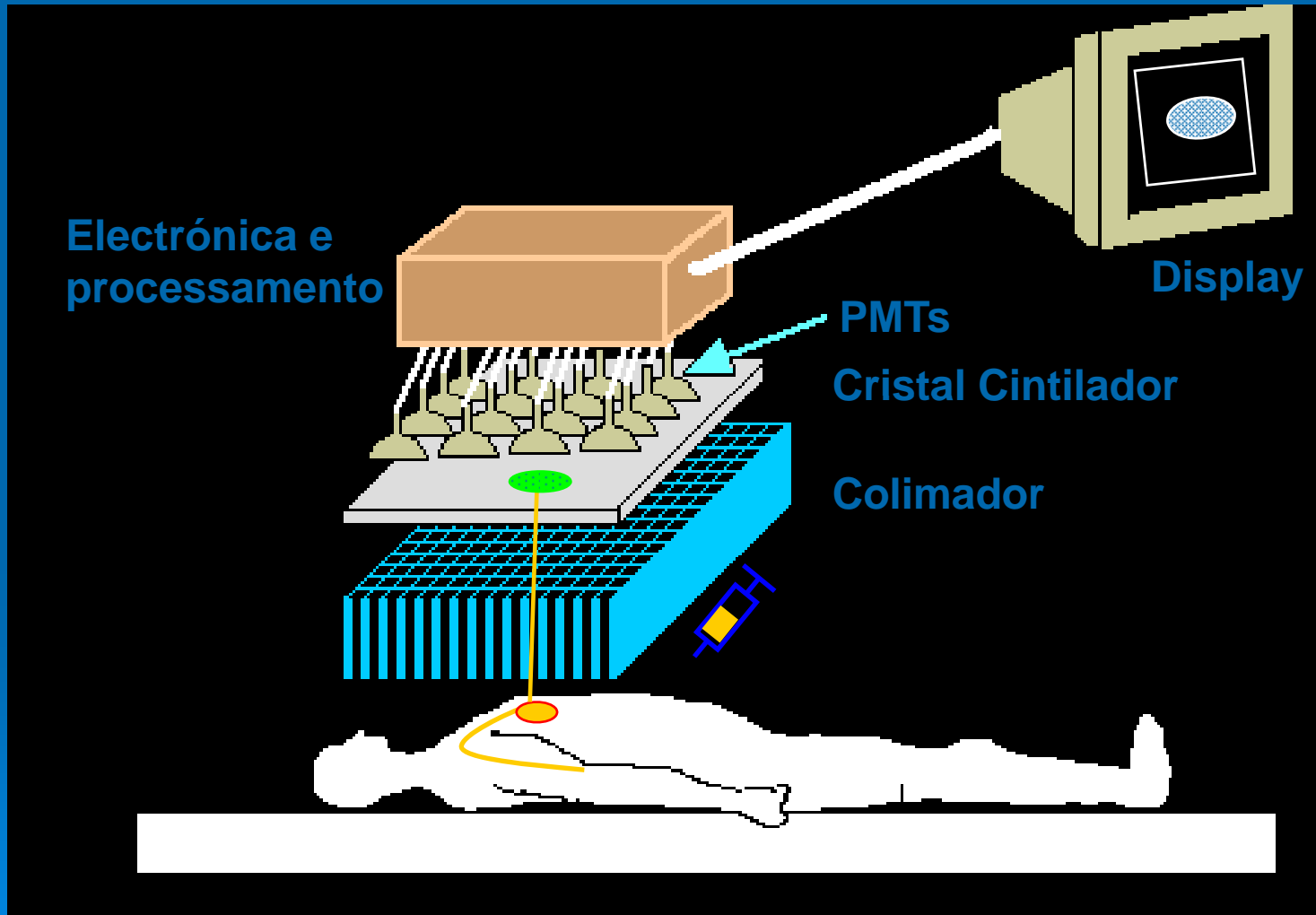
## Braquiterapia Mamária



# Radiocirurgia ao cérebro

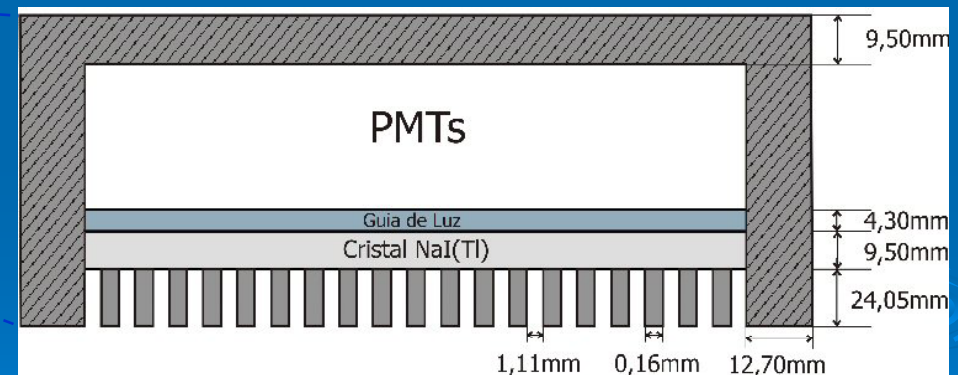


# Câmara Gama



# Descrição da Câmara Gama

- *Siemens E.Cam Dual Head* [2]
- 2 cabeças de detecção (colimador, Cristal cintilador, Guia de luz, Matriz de PMTs)
- Angulação variável (180°, 90° e 70°)
- Tipos de aquisição: imagem estática, imagem dinâmica, imagem Tomográfica (SPECT)



[2] <http://www.medical.siemens.com>

# Fantôma

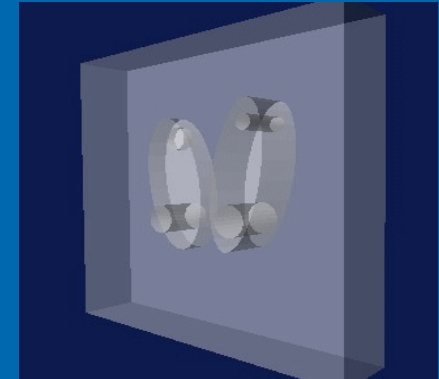
## ➤ Fantôma da Tiróide:

- Acrílico
- Nódulos quentes e frios
- Distância fonte–colimador: 5 cm
- Centrado no FOV

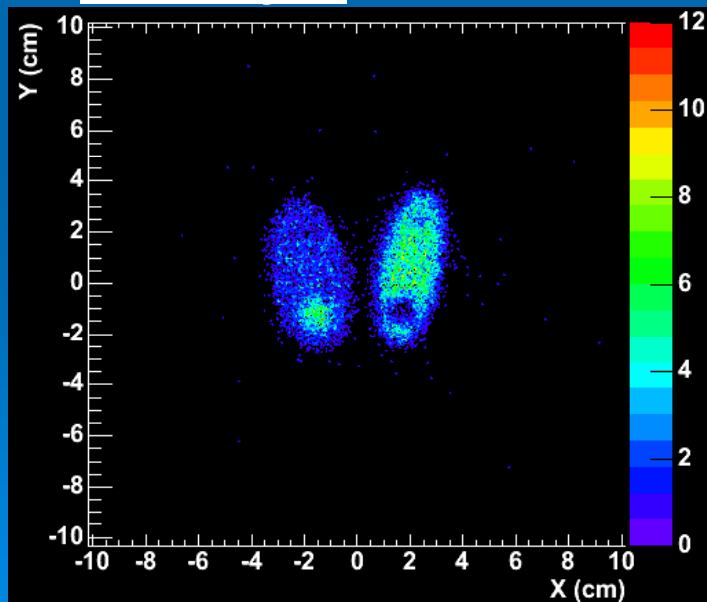
## ➤ *Fantôma Real*



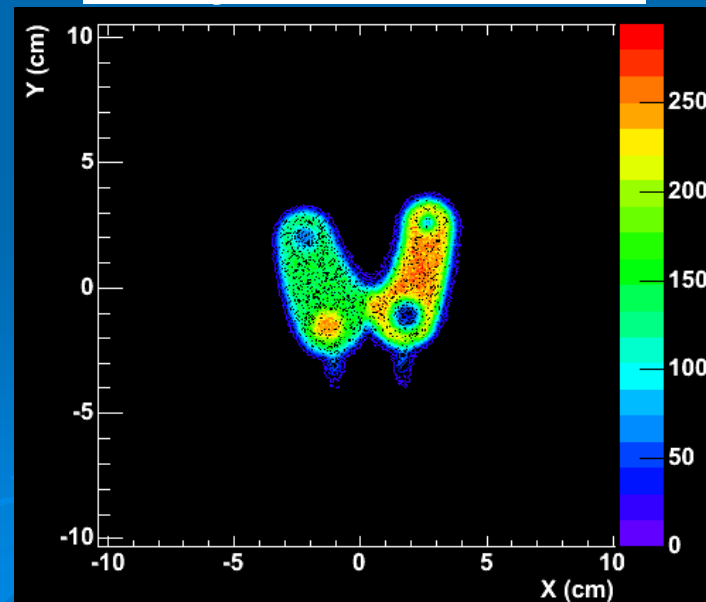
## ➤ *Fantôma Simulado*



## ➤ Simulação



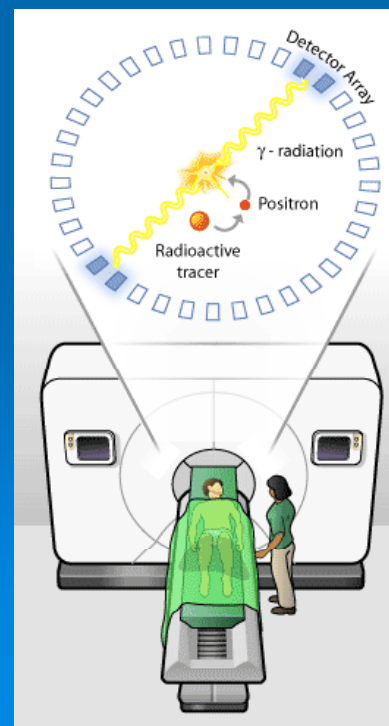
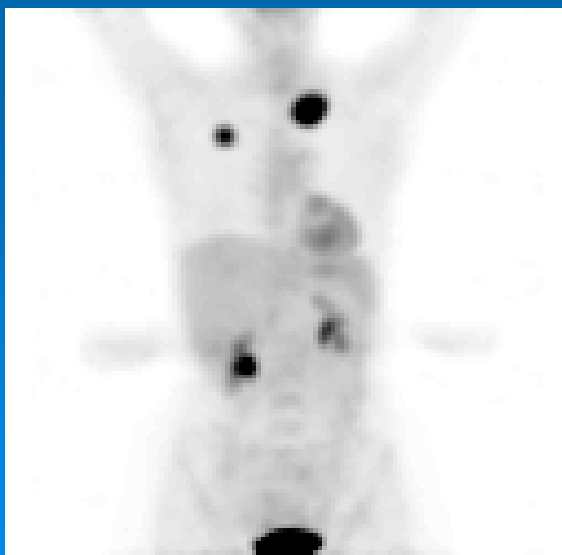
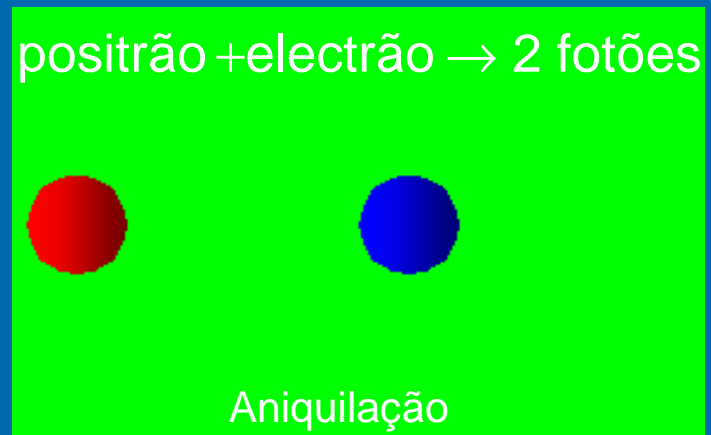
## ➤ Medição Experimental



## *Intensidades*

- Elipsóide#1  
38.6 %
- Elipsóide#2  
54.0 %
- Nódulo quente#2  
7.4%

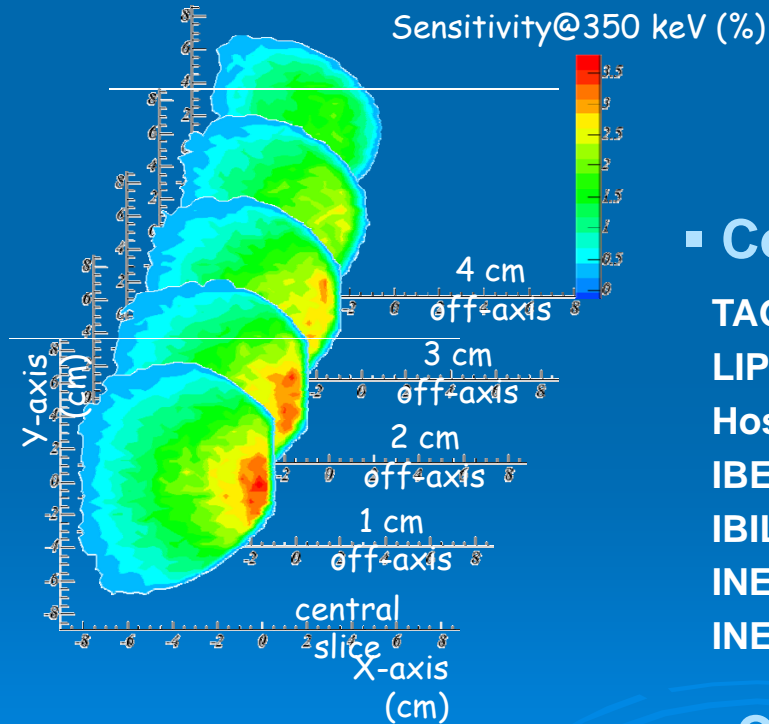
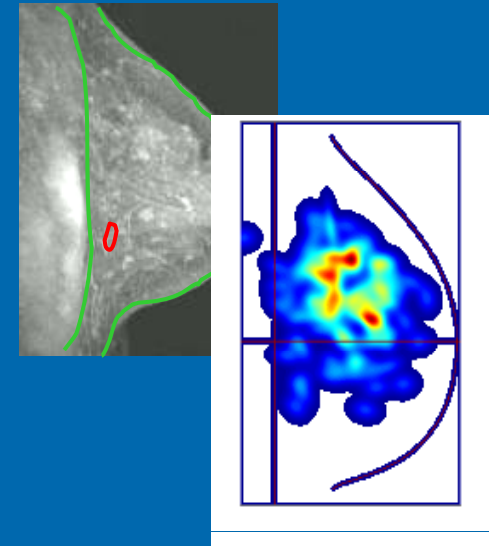
# Princípio Físico do PET





# Projecto ClearPEM

Projecto desenvolvido no quadro da colaboração  
Crystal Clear Collaboration @ CERN



## Consortium PET-Mammography, Portugal

**TAGUSPARK** – Parque de Ciência e Tecnologia

**LIP** - Laboratório de Instrumentação e Partículas

**Hospital Garcia Orta** - Serviço Medicina Nuclear

**IBEB** - Instituto Biofísica e Engenharia Biomédica

**IBILI** - Instituto Biomédico de Investigação da Luz e Imagem

**INESC** - Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores

**INEGI** - Instituto de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial

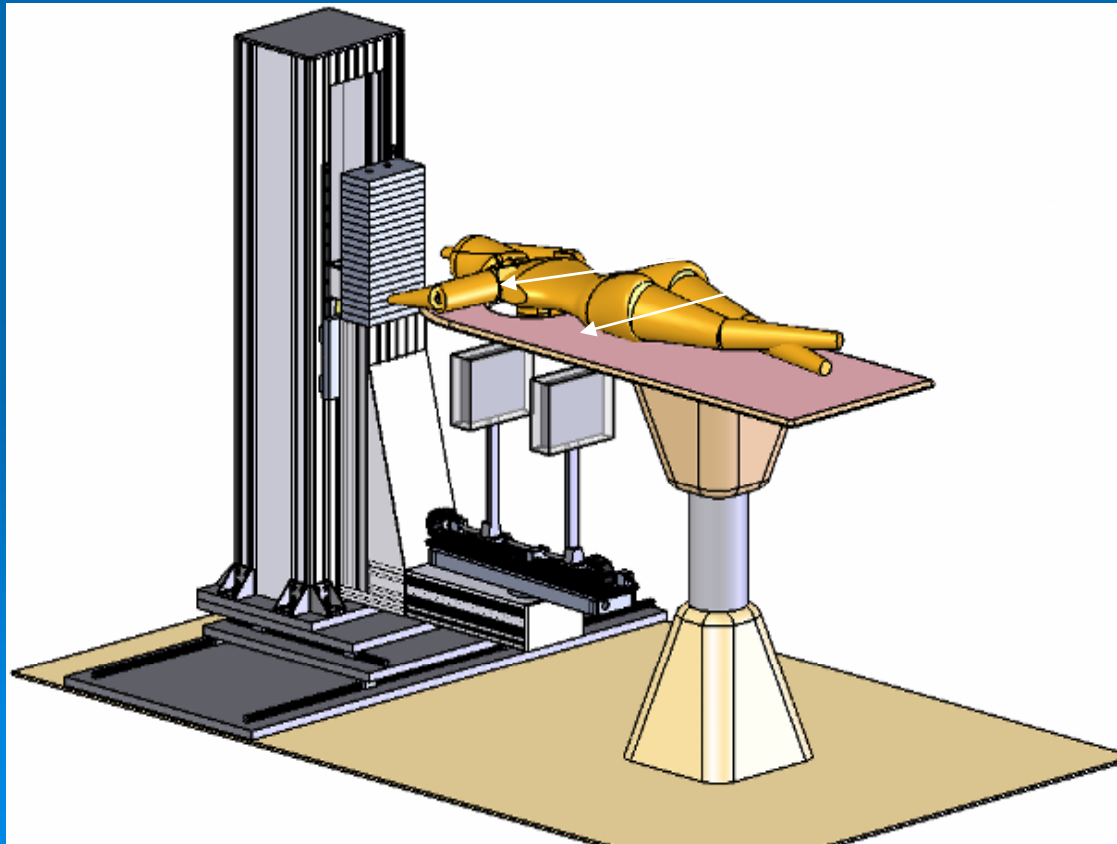
▪ **CERN, Geneva**

▪ **VUB, Brussels**

# ClearPEM Sistema de imagem

## Exames de mama e axila

- ❑ Exames de mama com paciente na posição decubito
- ❑ Pratos do detector rodam em torno da mama
- ❑ Pratos podem ser rodados para exame da axila



PEM Detector Plates

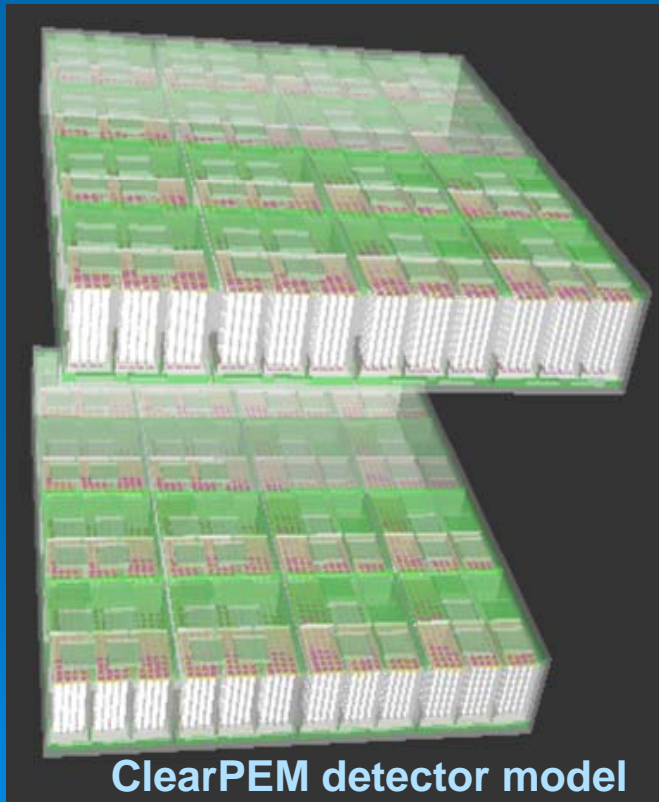
PEM Robotic Device

# ClearPEM Detector

## ClearPEM Detector:

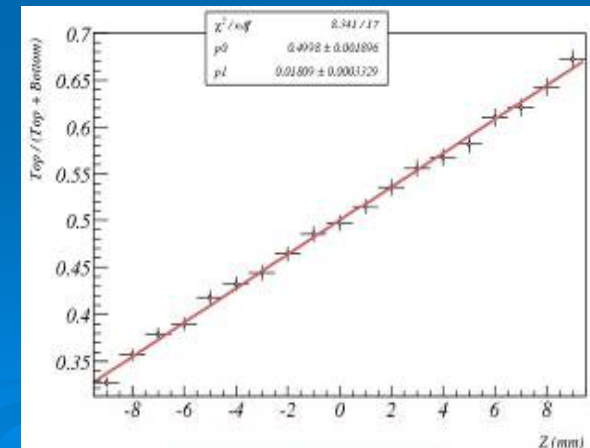
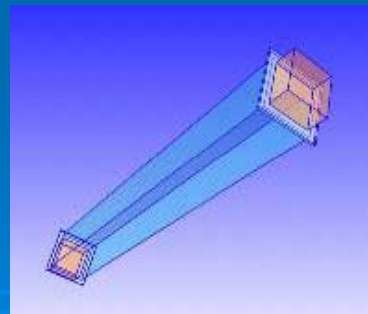
- Two detection plates
- 192 crystal matrices (8x4 crystals each)
- Front-back APD readout for DoI measurement

Plate surface 14x16 cm<sup>2</sup>

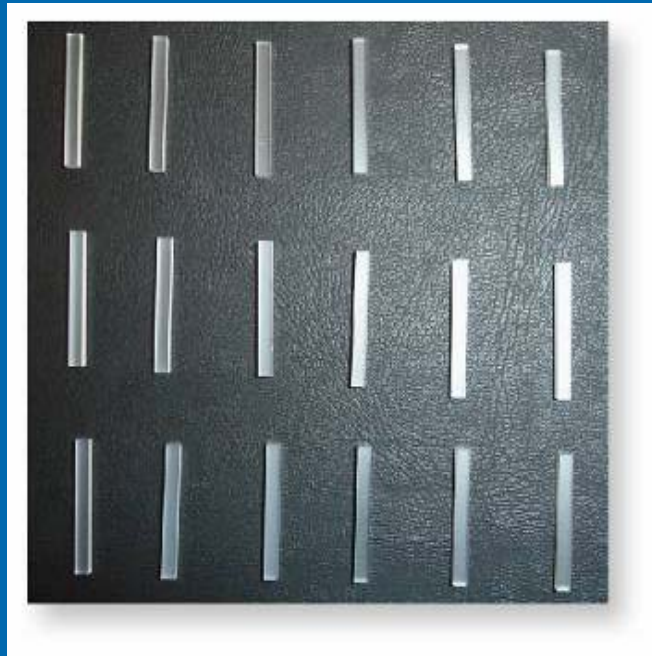


- 6300 LYSO:Ce crystals
- Avalanche photodiodes
- Low noise electronics

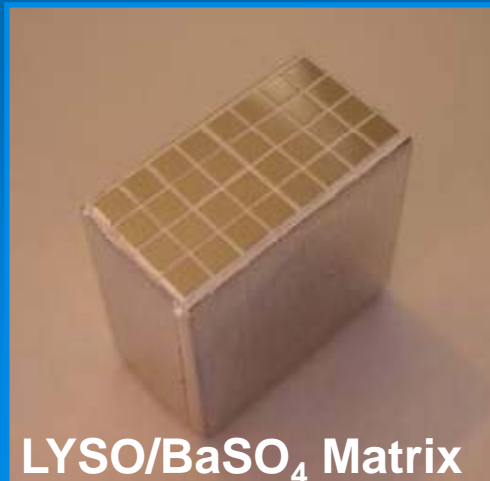
## Optical simulation



# Detector Modules



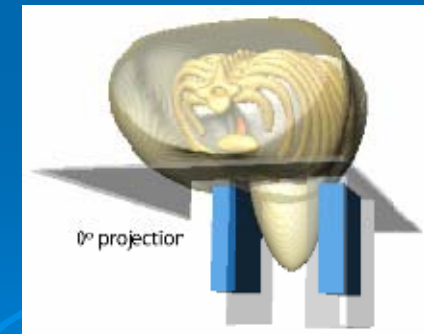
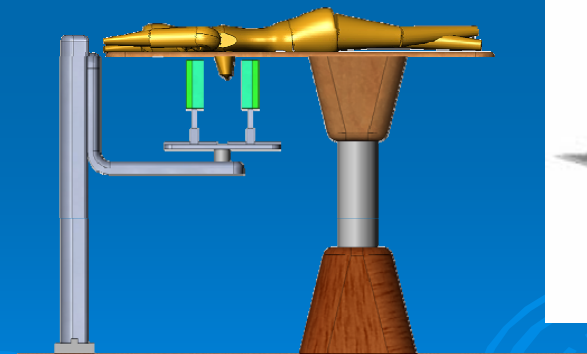
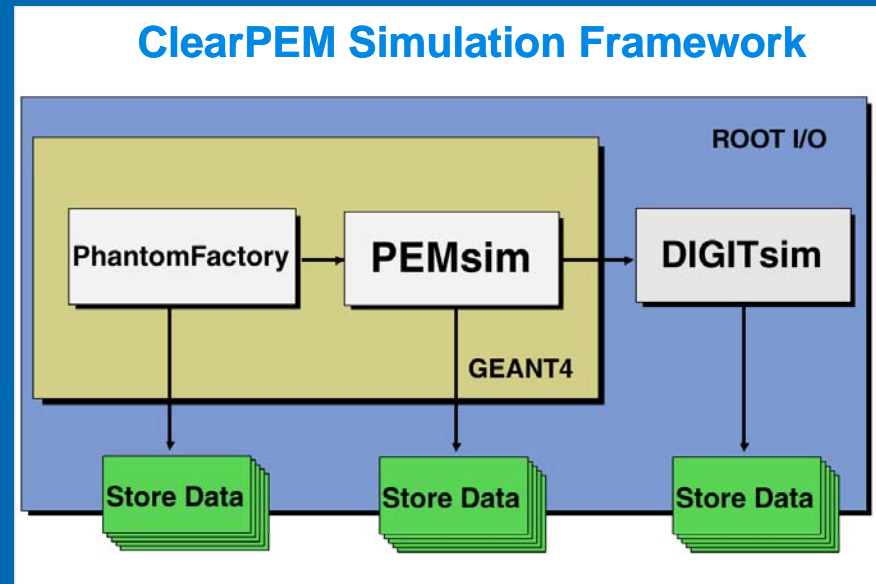
LYSO:Ce Crystals  
2 x 2 x 20 mm<sup>3</sup>



LYSO/BaSO<sub>4</sub> Matrix

# Simulação completa do sistema

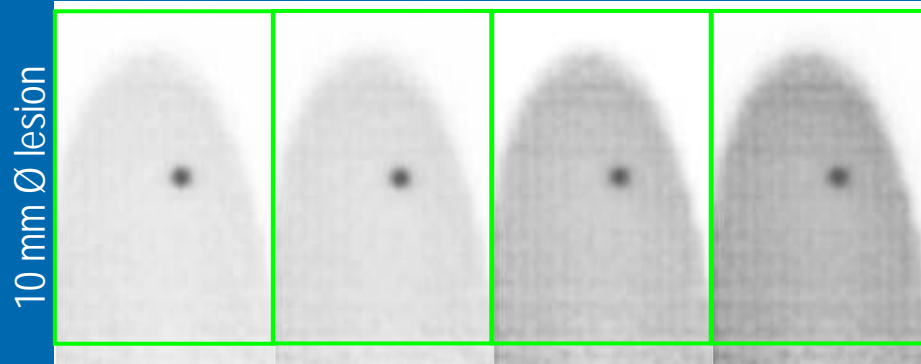
- Simulações Monte Carlo com GEANT4.
- Fantoma NCAT.
- “Uptake” standard de uma injeção de 370 MBq.
- Concentração de 2.1 kBq/cc nos tecidos moles.
- Geometria detalhada do detector.
- Inclui simulação do trigger e sistema de aquisição de dados.



# Imagens Reconstruídas da lesão

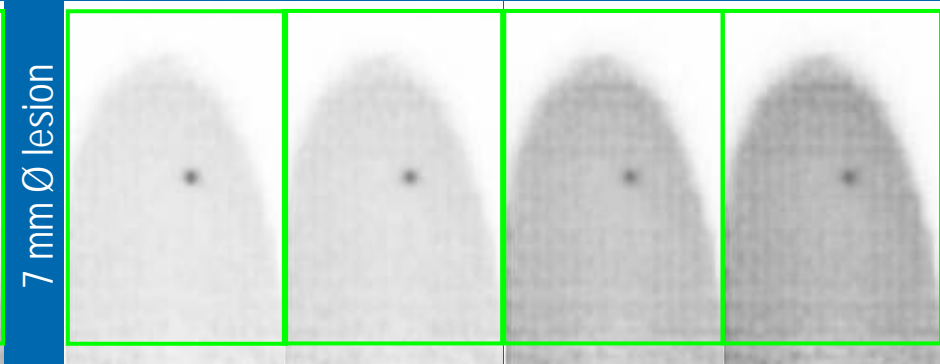
Actividade do fundo : actividade da lesão

1:13      1:10      1:5      1:4



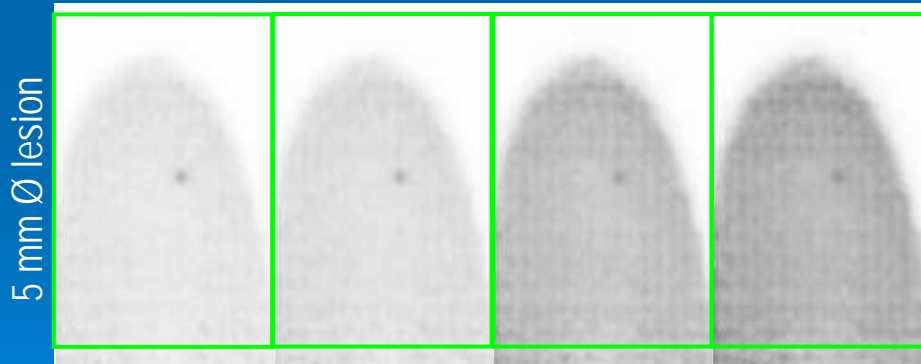
Actividade do fundo : actividade da lesão

1:13      1:10      1:5      1:4



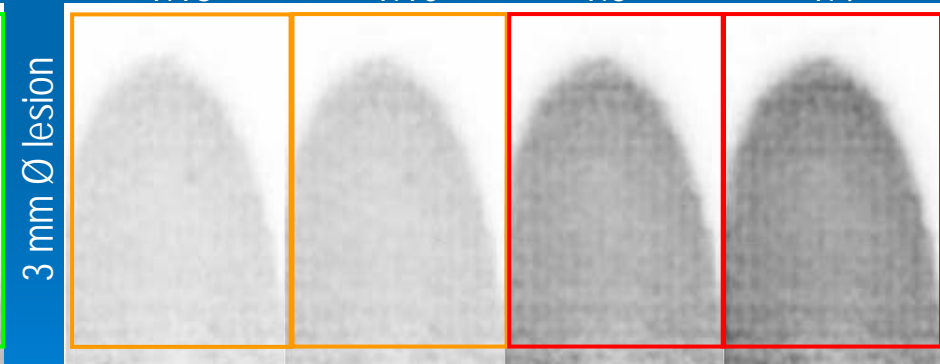
Actividade do fundo : actividade da lesão

1:13      1:10      1:5      1:4



Actividade do fundo : actividade da lesão

1:13      1:10      1:5      1:4



 Boa visibilidade  Fraca visibilidade  Não visível

**(5 min aquisição total)**

# Data Acquisition Requirements

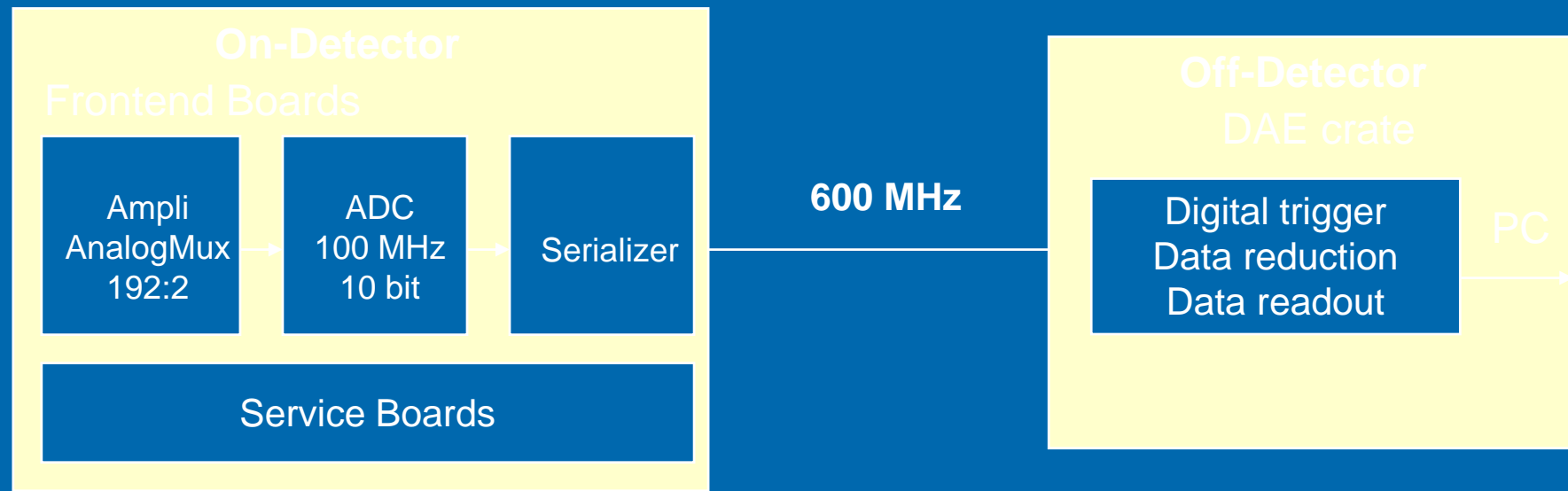
## Coincidence digital trigger:

- Digital algorithms (time and energy)
- Time resolution  $\sim 1$  ns
- Good efficiency for multi-hit (Compton) events

## Fast Data Acquisition:

- Data acquisition system able to cope with a single photon background rate of the order of 10 MHz
- The data acquisition efficiency larger than 90%.
- Pipeline structures for minimum dead time

# Arquitectura do sistema de electrónica



## Frontend Boards

- Amplifier/ Multiplexer ASIC:
- Sampling ADC (100 MHz)
- Links LVDS

## Service Boards

- APD Bias Voltage regulation
- T, P monitoring
- Power distribution

## Data Acquisition Electronics

- Crate 6U
- 4 DAQ boards
- 1 Trigger/DCC board
- FPGAs 4 M gates

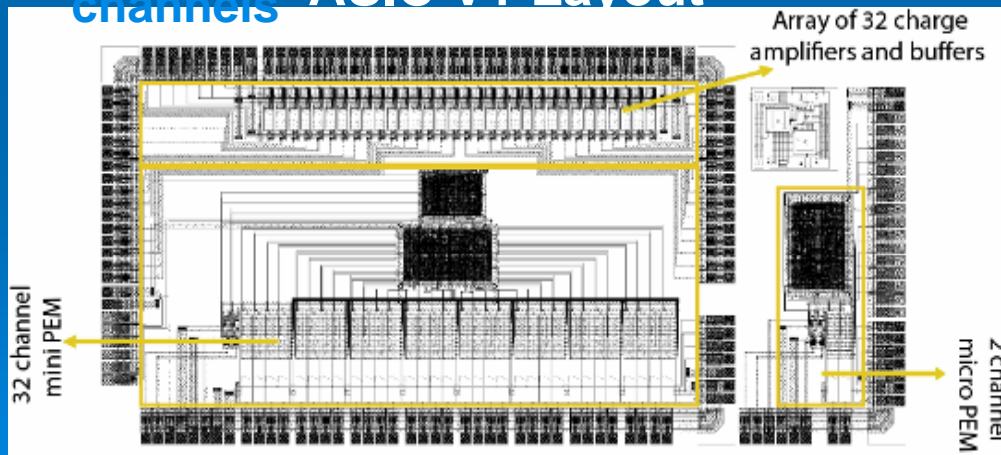


# Frontend ASIC

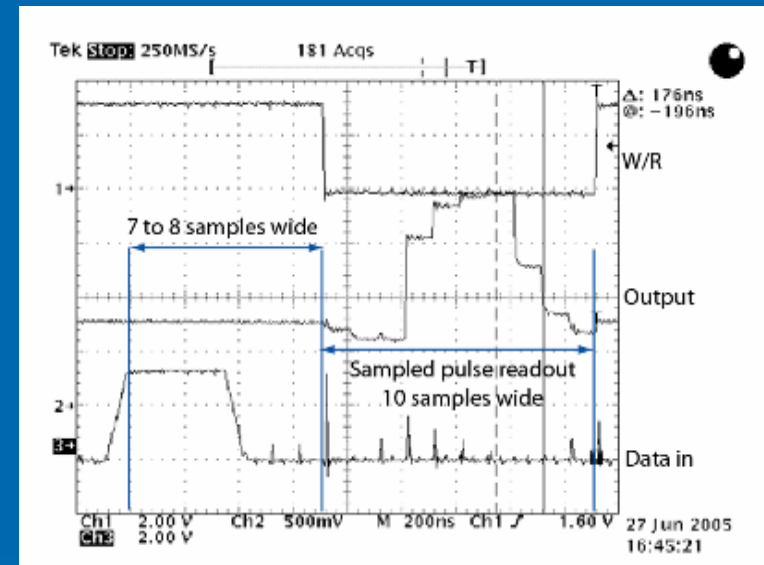
## Frontend ASIC Specifications:

Input:	192 channels
Noise:	ENC ~ 1000 e <sup>-</sup>
Power per chip :	< 2
mW/channel	
Clock frequency :	100 MHz
Shaping:	Peaking time
40 ns	
Analog memories:	10 samples
Output multiplexing:	2 highest
channels	

## ASIC V1 Layout



## Technology AMS 0.35 $\mu\text{m}$ CMOS



## ASIC V1:

- sampled-data memory, multiplexers, control logic OK
- input amplifier with unstable bias levels

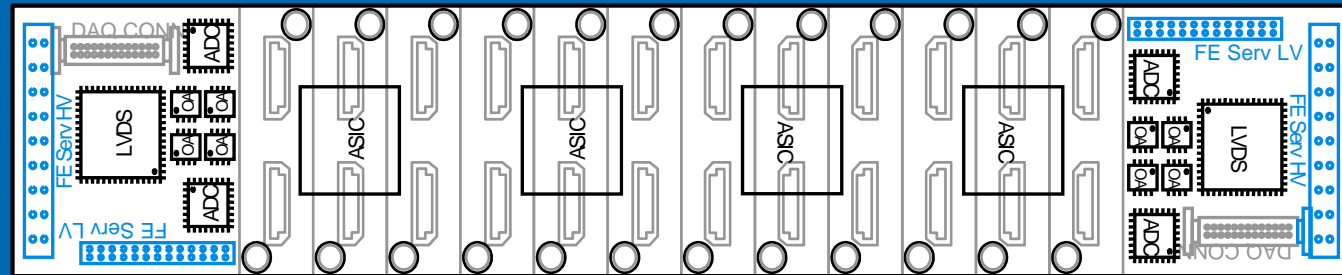


# Integração da Electrónica de Frontend

## Compact system inside the PEM Detector Head:

- 6000 APD channels
- 400 HV lines
- 160 high speed (600 MHz) output lines
- High frequency clock (100 MHz)

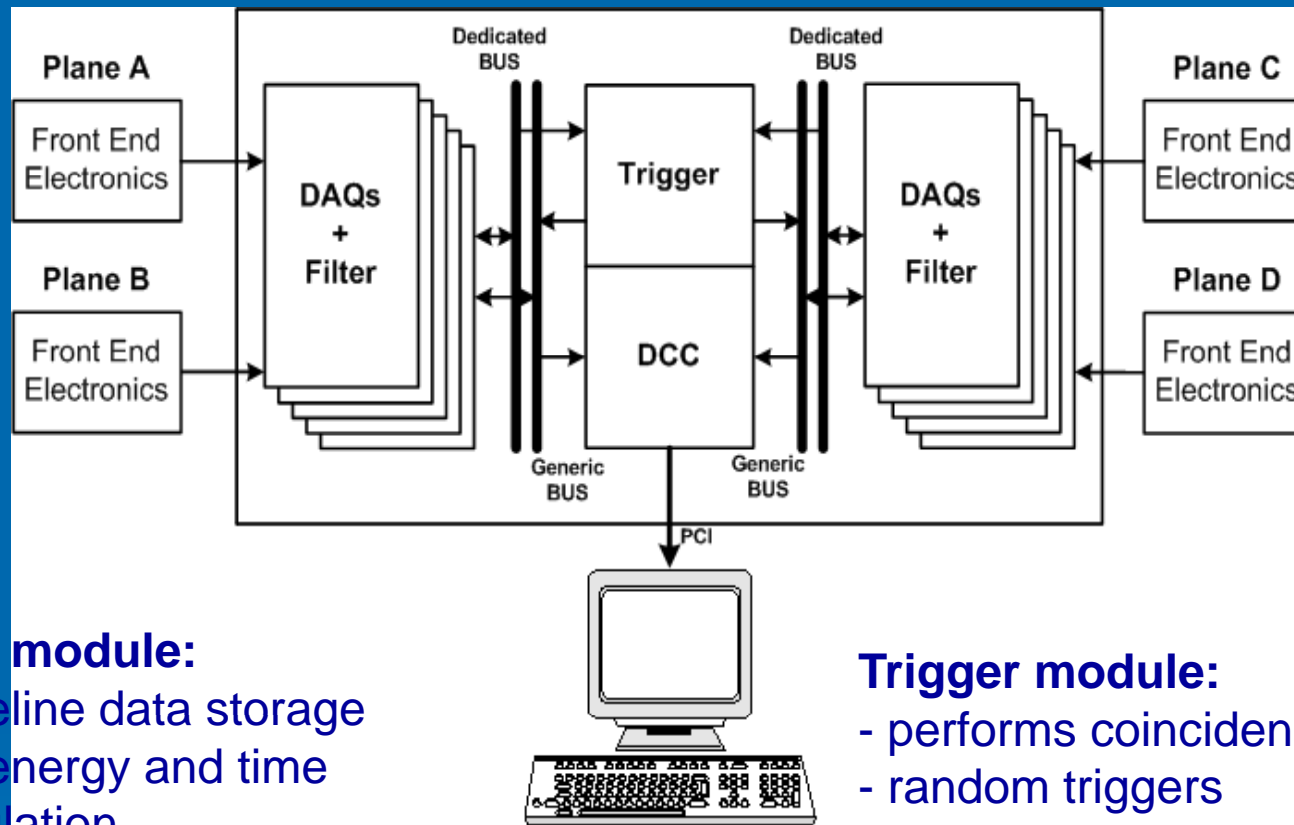
Frontend  
Board



Detector  
Supermodule



# Data Acquisition System



## DAQ module:

- pipeline data storage
- hit energy and time calculation

## Filter Module:

- rejects out-of-time data
- rejects high multiplicity events

## Trigger module:

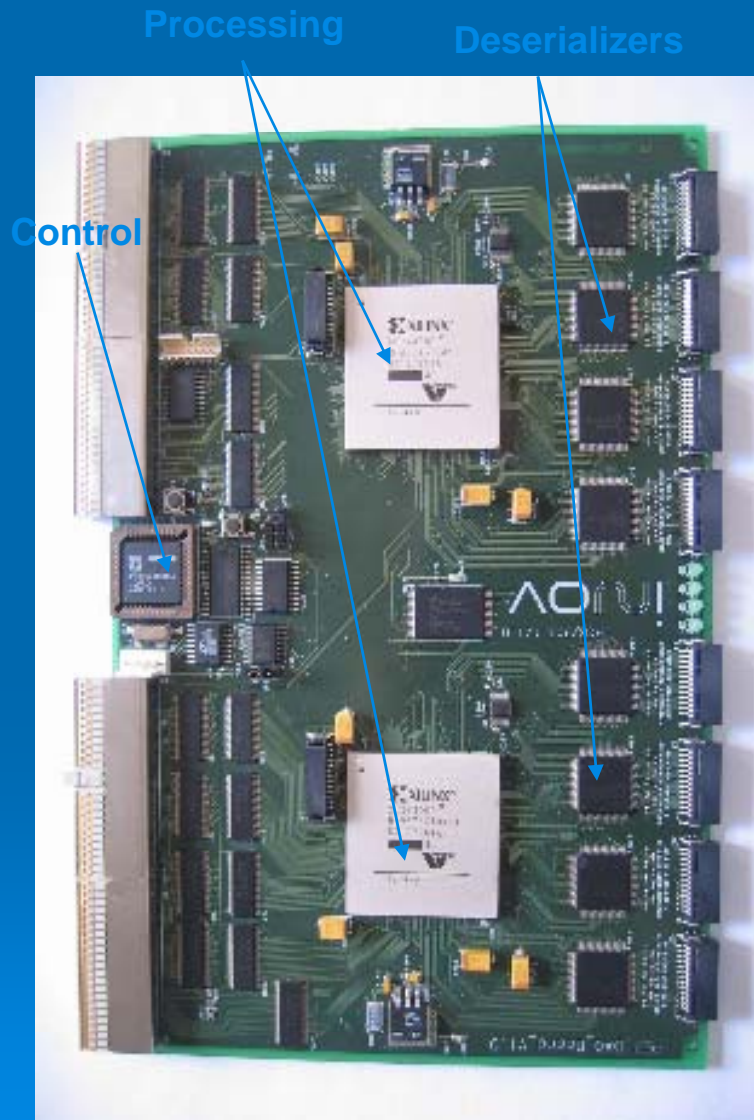
- performs coincidence trigger
- random triggers
- singles trigger

## DCC module:

- collects relevant data
- data transfer to PC

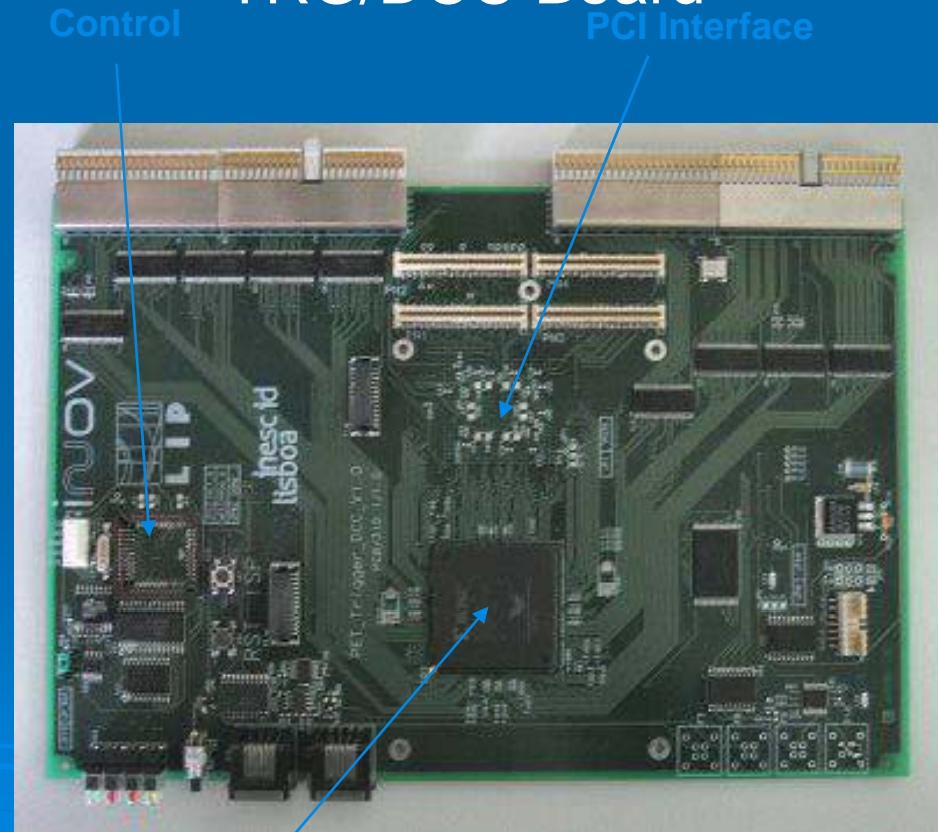
# Trigger and Data Acquisition Boards

## DAQ Board

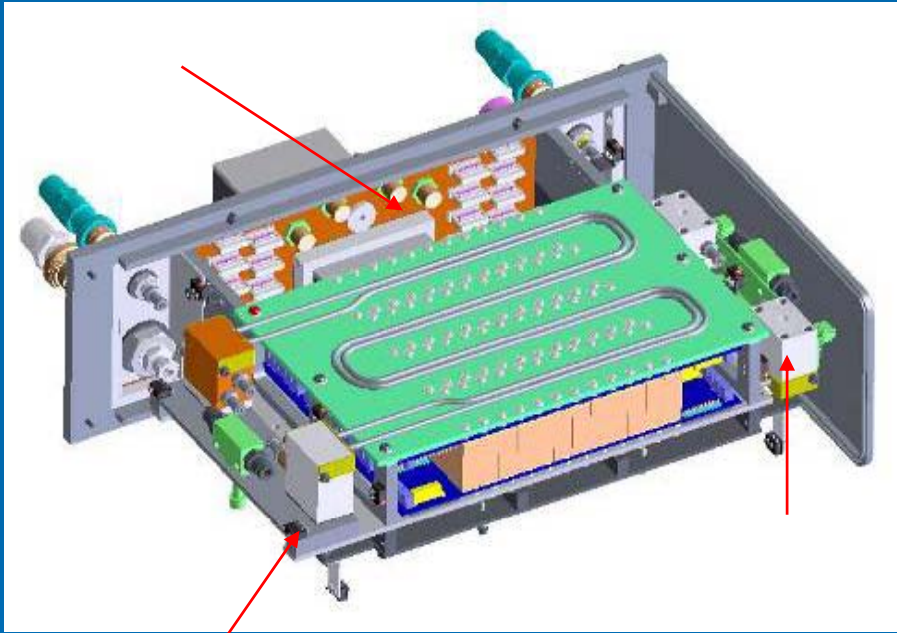


**DAQ Board tested successfully**  
**TRG/DCC Board is under test**

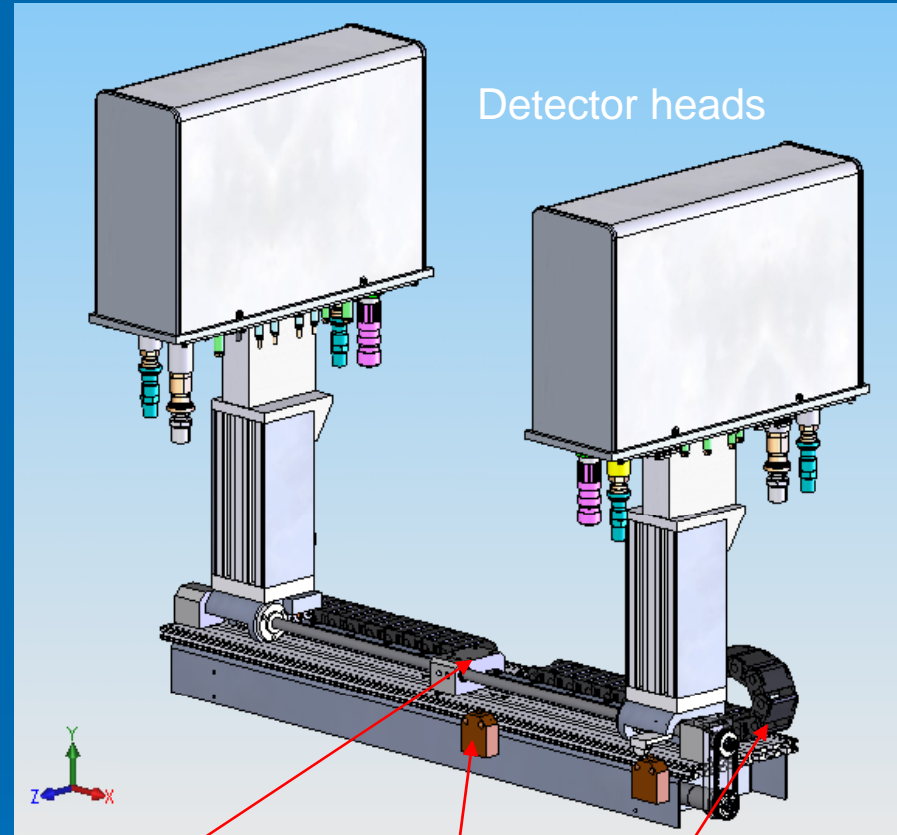
## TRG/DCC Board



# Detector Heads



Collision detection switches

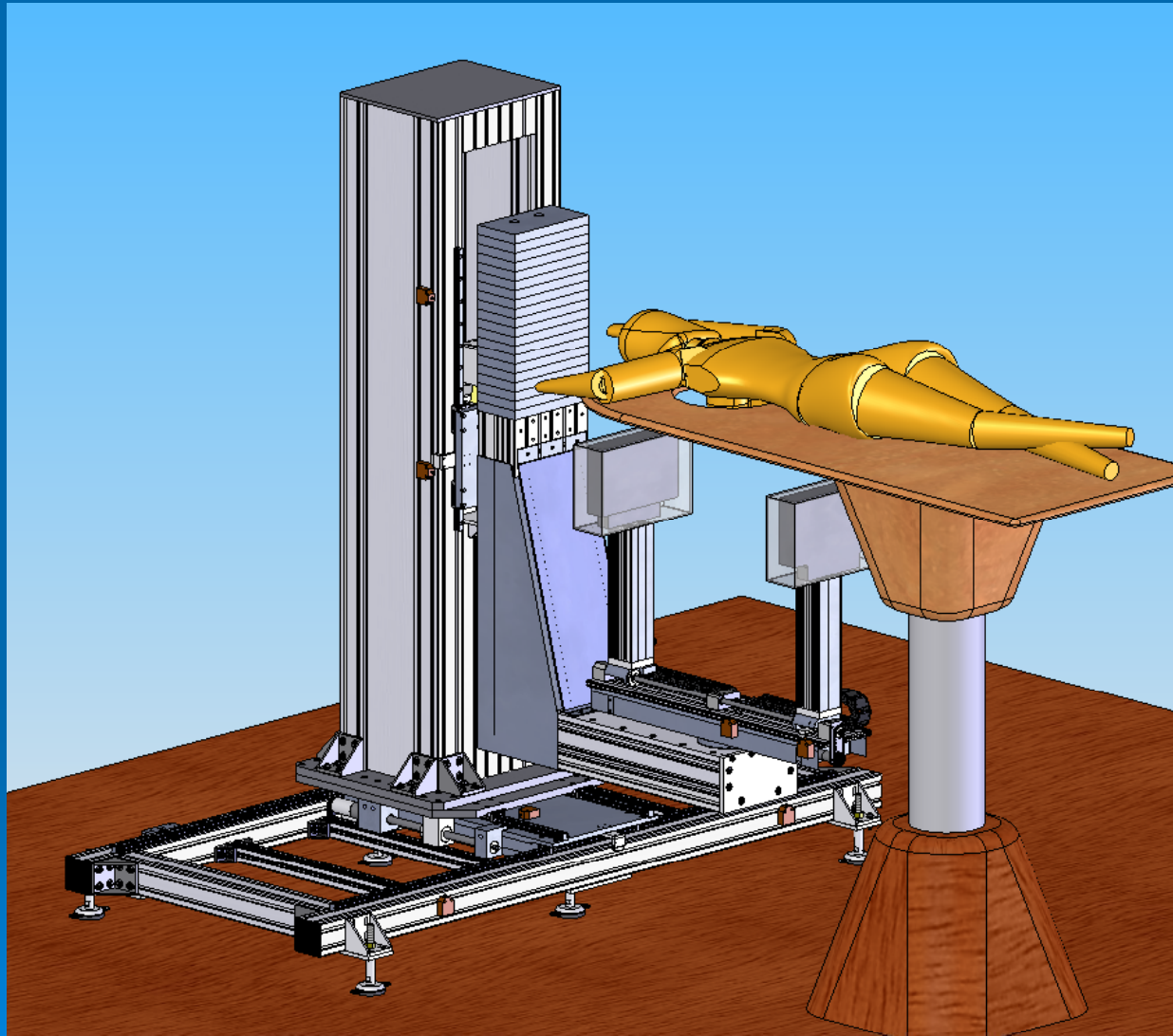


Adapter for source mounting

Electromechanical safety switch

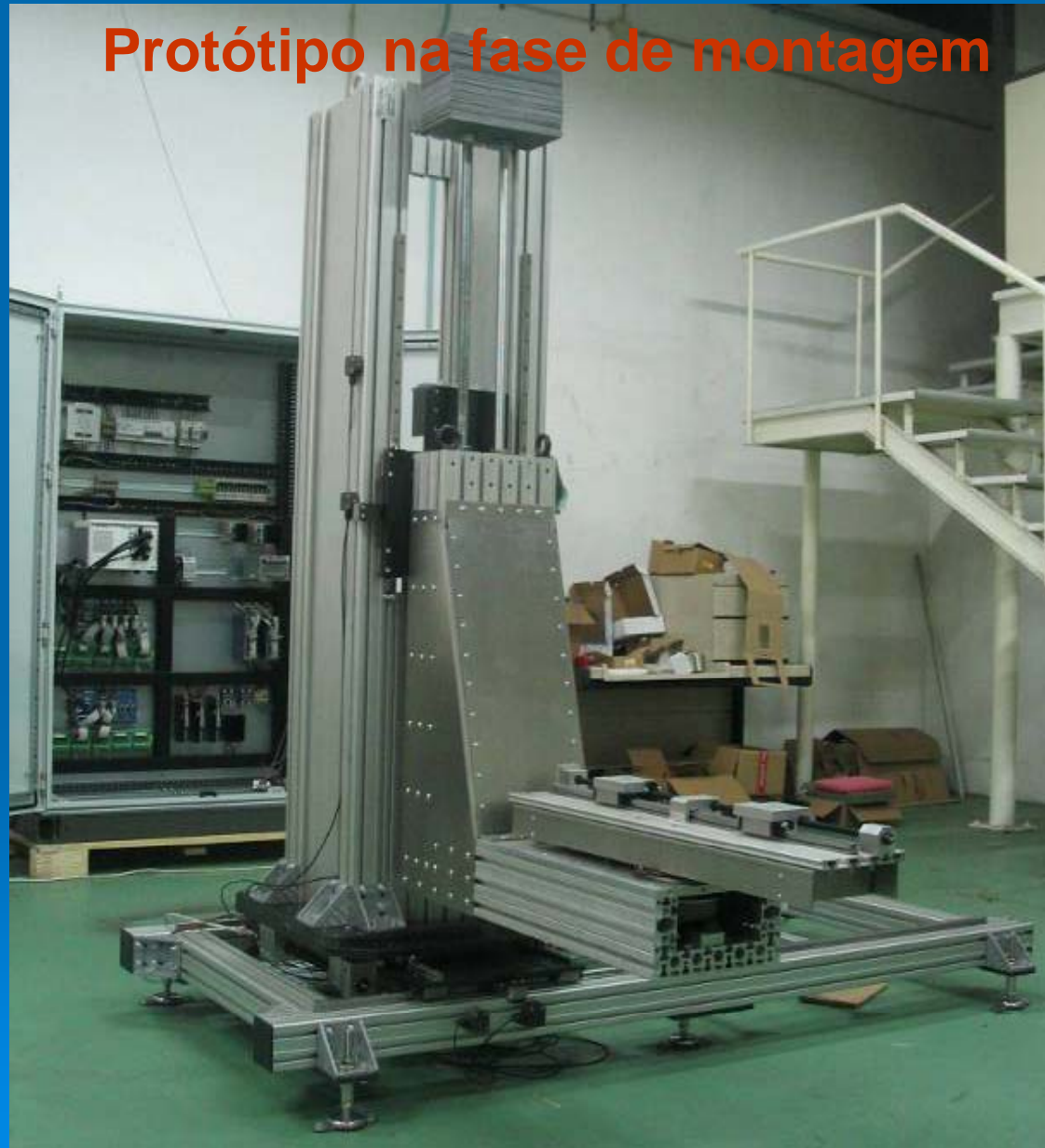
Cable carrier

# Robot



# Robot

Protótipo na fase de montagem





# Robot



# O PEM na imprensa: Correio da Manhã

**SAÚDE ■ DESCOBERTA DE PORTUGUESES DETECTA TUMORES DE UM MILÍMETRO**

Jorge Soares, presidente da Sociedade Portuguesa de Senologia, diz que a descoberta abre boas perspectivas para a detecção precoce e consequente aumento da cura do cancro da mama. Cerca de 300 mulheres utilizarão esta técnica já em 2007, no Hospital Garcia de Orta, em Almada



## Técnica aumenta hipóteses de cura

■ ANDRÉ PEREIRA / JÚLIO SARINHO

A detecção de tumores com apenas um milímetro é agora possível graças a uma inovadora tecnologia desenvolvida por cientistas portugueses. A PET Mammografia, criada pela equipa dirigida por João Varela no Laboratório de Instrumentação e Física Experimental de Partículas, dará os primeiros passos já no início de 2007, no Hospital Garcia de Orta, em Almada. Com o recurso à nova tecnologia será possível detectar o tumor mais cedo, aumentando as possibilidades de cura do cancro da mama.

O oncologista Jorge Soares, presidente da Sociedade Portuguesa de Senologia — ramo da medicina que

trata-se apenas de um projecto que ainda não é um método de diagnóstico estabelecido. O que estes investigadores se propõem fazer é tentar identificar tumores primitivos, com dimensões muito menores do que as que eram até agora detectadas”, diz Jorge Soares ao CM.

acrescentando que encontrar uma lesão não significa estar-se perante um tumor: “Não está demonstrado que se detectam lesões muito pequenas significa que elas sejam tumores. A lesão detectada tem de ser sempre confirmada por biópsia.”

O que se passa com o desenvolvimento tecnológico agora divulgado é que aumenta a sensibilidade da PET (Tomografia por Emissão de Pós-tróns) — um método de diagnóstico que tem como função detectar focos

de tumor — na detecção de tumores cada vez mais pequenos. No entanto, a especificidade dos diagnósticos ainda não permite dispensar a biópsia. “É preciso saber se o que detectamos é na realidade um tumor ou se é uma coisa que, na fotografia, tem o mesmo aspecto de um tumor, mas que na realidade não é”, diz Jorge Soares. É, dá um exemplo: “Pode ser uma distorção da estrutura da glândula mamária, o que acontece muito frequentemente. A glândula aderiu-se com a estruturação, amamentação gravidez e involução. Ninguém tem a glândula igual ao longo de toda a vida.”

Sobre a técnica desenvolvida por João Varela, professor do Departamento de Física do Instituto Superior Técnico e investigador do Laboratório de Instrumentação e Física Experimental de Partículas, Jorge Soares comenta tratar-se de “um avanço importante em relação à PET já existente em Portugal”.

A PET actual, já utilizada em Portugal, “é uma técnica muito conhecida, sobretudo para a procura de disseminação de tumores. Quando já existe um tumor, serve para saber se está disseminado ou não”.

Até que esta inovação tecnológica seja recomendada, tem ainda de passar pela aceitação e adopção por parte da comunidade científica. Os testes a cerca de 300 mulheres, que serão feitos para o ano, no Hospital Garcia de Orta, “serão esta investigação mais acentuada para demonstrações em outros locais”, diz Jorge Soares, comentando que, até à altura da total aceitação da PET Mamária, a “mammografia continua a ser o método de rastreio mais fiável”. ■

**DIAGNÓSTICO. MAMMOGRAFIA PET PLUS**  
 A mammografia (em cima) é o método mais usado, mais simples e também o mais barato para detectar o cancro da mama. É feito com recurso a raios X mas conta com uma imprecisão de 70%. Tal como a PET (infografia à dir.), não dispensa a biópsia.

MAMMOGRAFIA PET PLUS (Tomografia por emissão de pós-tróns)  
 O projecto de desenvolvimento da Pet Plus tem um custo de 2,6 milhões de euros. No início do próximo ano serão submetidas a este método de diagnóstico as primeiras mulheres no Hospital Garcia de Orta, em Almada.

**REMEDIOS MAIS BARATOS**  
 O preço dos medicamentos poderá baixar 6% em 2007, segundo proposta de Governo junta das associações de Farmacêuticos (ANF) e da indústria farmacêutica (Aofarma). O dinheiro gasto com a Saúde será debatido no VIII Congresso Nacional das Farmácias, que começa quinta-feira.

**Apelo ao rastreio**  
 O rastreio é o principal meio de combate ao cancro da mama na União Europeia. Este usano evita 30% das mortes

**Realidade nacional**  
 Em Portugal, todos os anos surgem cerca de 4000 novos casos de cancro da mama. Morrem, da doença, 1500 mulheres por ano



Jorge Soares, presidente da Sociedade Portuguesa de Senologia

### Vantagens económicas

A introdução da PET Mammografia no Sistema Nacional de Saúde (SNS) permitirá uma redução substancial dos custos no combate ao cancro da mama, além de permitir uma redução significativa do número de mortes.

Cada doente em fase terminal de cancro da mama representa hoje gastos da ordem dos 5600 euros por ano para o Estado. Um valor 12,5 por cento mais elevado do que quando o doente está na fase inicial da doença, cujo custo anual é de 2500 euros. A redução das despesas com as doentes de cancro da mama resulta do que a nova tecnologia (levar) a ganhar de tempo na avaliação da doença e ao consequente aumento das curas, pelo que será menor o número de doentes em estado terminal.

A detecção da doença numa fase precoce, segundo os especialistas, o melhor caminho para evitar a morte. Dados do Comissão Europeia revelam que a realização do rastreio numa fase inicial da doença permite a redução do número de

mortes em 0 A PET M gamação de um método de rastreio para tumores primitivos (tecnologia) Hoje de cu cento pela f para a Sociedade da Agência. A consere da PET Mam um salto na pamento m não passa al próximo an acentual mo li Soares, presi gausa, de Sa muito cedo so deste proli O fêlico que dades, João V uma vez e aparelho. “t tamente por

A mais recente geração de PET possui três principais vantagens:

1. Análise da mama e também das axilas, porque as células cancerígenas começam por invadir esta zona.
2. Tempo de duração de cinco minutos. Inferior aos 20 a 30 minutos hoje necessários.
3. Detecção de tumores em fase inicial com 1 mm de diâmetro

Após serem injetadas radiolobos à mulher é colocada por placas radiolobas sobre as axilas e sobre os mamas em vários ângulos e captam imagens das radiolobas emitidas.

Os investigadores portugueses recorreram à nova tecnologia das caméras (Gálio). As placas de observação sentem nos cristais cintilantes que, com o recurso à informática produzem imagens de alta resolução capazes de revelar tumores com 1 mm de diâmetro.

# O PEM na imprensa: Expresso

## Portugueses criam nova arma contra o cancro da mama

Tecnologia inovadora facilita detecção de tumores com apenas 1 milímetro

Um consórcio português promovido pelo TagusPark desenvolveu uma tecnologia inovadora na detecção de cancro da mama denominado PET Mamografia (Tomografia por Emissão de Pósitrons). Este novo exame médico consegue detectar tumores com um milímetro de diâmetro em apenas cinco minutos. É muito mais preciso que a mamografia (raios X) e a ecografia (ultra-sons), que, por vezes, detetam falsos casos positivos. A prazo, será alternada às biópsias, evitando os transtornos físicos e psicológicos decorrentes deste processo invasivo de análise.

O Hospital Garcia de Orta, um dos membros deste consórcio, vai ser o primeiro estabelecimento a testar o equipamento PET Mamografia, procedendo a análises clínicas em 300 mulheres, já a partir do próximo ano. Esta unidade hospitalar de Almada está a concluir obras no Departamento de Medicina Nuclear, por forma a poder instalar devidamente o robô (ver infografia) que levará a cabo estes novos exames médicos.

O objectivo central do projecto era fazer evoluir a tecnolo-

gia PET (Positron Emission Tomography, no original) usada nos últimos anos. Pretendia-se aperfeiçoar este processo de imagiologia médica na detecção do cancro da mama. "O resultado foi surpreendente", refere João Varela, director científico do projecto. "Conseguimos detectar tumores com um milímetro, quando a anterior tecnologia não descia abaixo de um centímetro". Desta forma, "estamos a poucos meses de poder salvar a vida a centenas de mulheres".

Desenvolvido ao longo de três anos, o projecto foi financiado em 2,5 milhões de euros pelo POSI, através da Agência de Inovação, e envolveu 40 pessoas, que trabalharam num consórcio inteiramente português. A tecnologia já foi patenteada a nível nacional e internacional.

Brevemente vai ser constituída uma nova empresa, detida pelos membros do consórcio e que comercializará o novo processo de tomografia. As receitas financiarão futuras investigações e novos projectos científicos.

MANUEL POSSER DE ANRADE

### O CONSÓRCIO

Taguspark  
■ Promotor

LIP (Lab. Instrumentação e Física Experimental Partículas)

■ Coordenação científica, simulação e detectores de radiação, arquitectura dos sistemas electrónicos

INOV/INESC Inovação/INESC Id

■ Sistemas electrónicos, circuitos integrados

Hospital Garcia de Orta  
■ Ensaios clínicos

INEGI (Inst. Eng. Mecânica e Gestão Industrial)

■ Sistemas mecânicos e electromecânicos

IBEB (Inst. Biofísica e Eng. Biomedica, Fac. Ciências Lisboa)

■ «Software» de imagem

IBILI (Inst. Biomédico Investigação Luz e Imagem)

■ «Software» e radioisótopos

### TRÊS PERGUNTAS A

João Varela

Coordenador do projecto

■ Qual a inovação do PET?

■ É a elevada definição dos detectores que nos permite visualizar tumores com 1 mm, dez vezes melhor

## Imagens de alta resolução simplificam diagnóstico

Apesar de já existir há vários anos, a tecnologia PET foi revolucionada pelo consórcio português, denominado PET Mamografia. As placas detectoras que permitem visualizar tumores com 1 mm de diâmetro são a inovação mais significativa. "No antigo PET, a resolução da imagem é condicionada pelo uso de válvulas. Para o PET plus usamos diodos (semicondutores). Basta pensarmos no grande salto que foi dado das televisões antigas, à base de fotomultiplicadores (válvulas), para as actuais televisões de plasma (que usam diodos) para perceber este avanço", explica João Varela, director científico do projecto. Com efeito, estas placas detectoras têm no seu interior seis mil cristais cintilantes que absorvem os fótons, cuja produção de energia é transformada em luz. Por seu turno, a luz vai ser convertida num sinal eléctrico e esse sinal eléctrico vai depois ser amplificado pelos 12 mil fotodiodos feitos à base de silício. Posteriormente, os sinais eléctricos vão ser digitalizados com um «software» especial, produzindo uma imagem de alta resolução, onde podem ser vistos os minúsculos tumores.

Também a nível de engenharia mecânica, desenvolvimento de «software» e sistemas electrónicos, o PET Mamografia é considerado inovador, servindo de base a seis teses de doutoramento e a várias outras de mestrado.

### PET MAMOGRAFIA

O exame dura 5 minutos e envolve dos 30 a 60 do PET clássico (Tomografia por Emissão de Pósitrons)

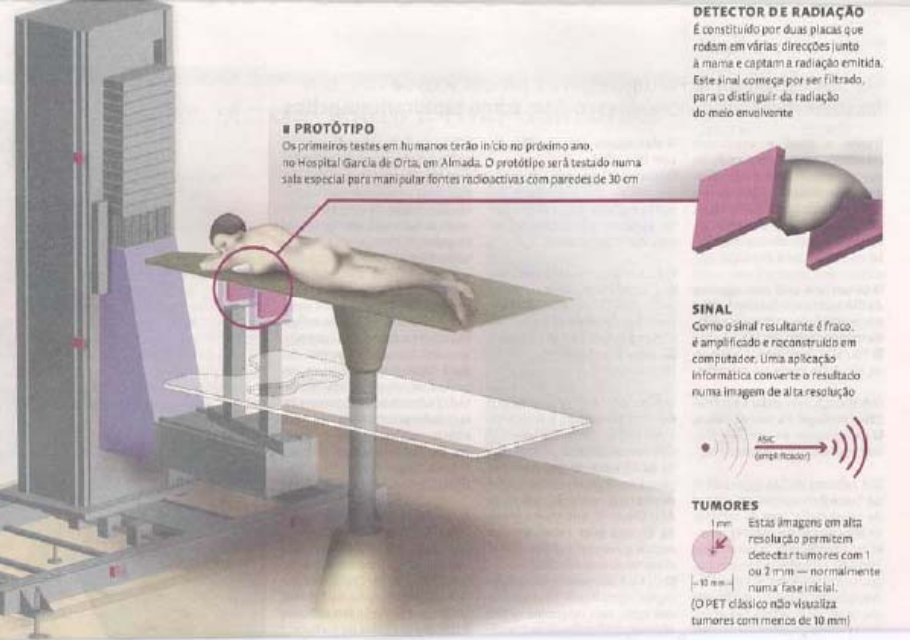
Além da mama, é também examinada a axila, porque as células cancerígenas começam por invadir esta zona.



### LOCALIZAÇÃO DO TUMOR

É injectado no sangue do paciente um composto de glicose. Como as células cancerígenas consomem mais açúcar por necessitarem de se multiplicar, um tumor não maligno, em princípio não fixa a glicose

### MOLÉCULA F18-FDG



### DETECTOR DE RADIAÇÃO

É constituído por duas placas que rodam em várias direcções junto à mama e captam a radiação emitida. Este sinal começa por ser filtrado, para o distinguir da radiação do meio envolvente

### ■ PROTÓTIPO

Os primeiros testes em humanos terão início no próximo ano, no Hospital Garcia de Orta, em Almada. O protótipo será testado numa sala especial para manipular fontes radioactivas com paredes de 30 cm

### SINAL

Como o sinal resultante é fraco, é amplificado e reconstruído em computador. Uma aplicação informática converte o resultado numa imagem de alta resolução



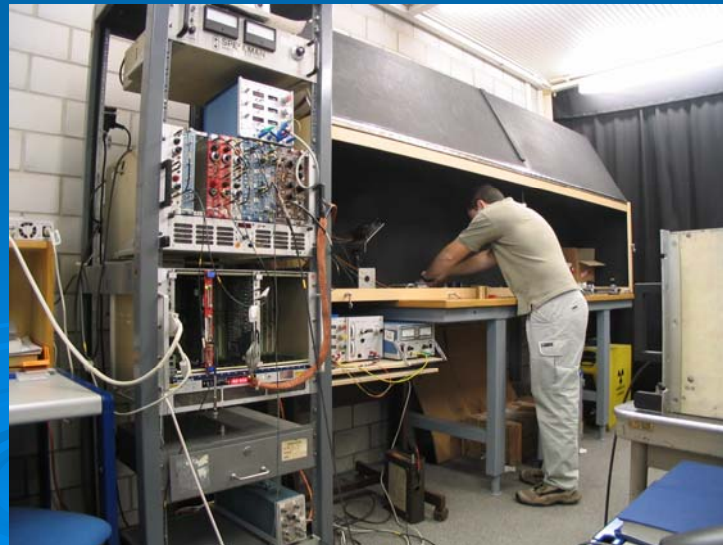
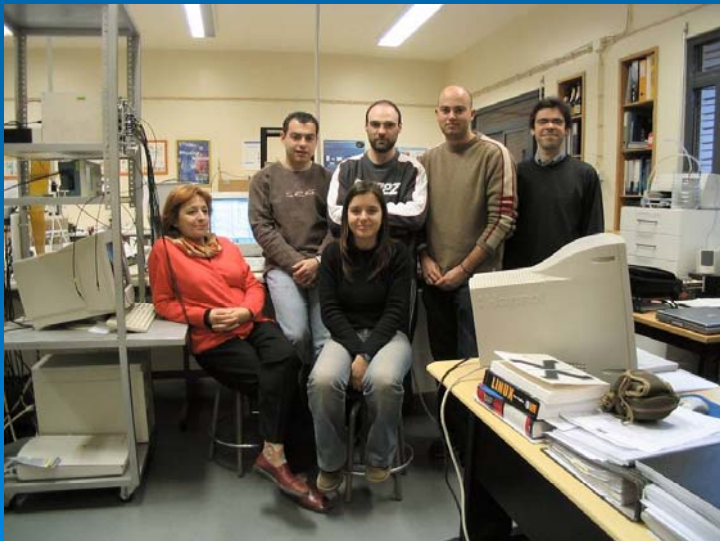
### TUMORES

Estas imagens de alta resolução permitem detectar tumores com 1 ou 2 mm — normalmente numa fase inicial. (O PET clássico não visualiza tumores com menos de 10 mm)

# O PEM na televisão



# O Detector ISPA



# Background motivation

**ISPA group at CERN**  
(Imaging **S**ilicon **P**ixel **A**rray)

High-energy semiconductor  
particle tracking detectors

Technology transfer

Low-energy  
imaging applications

Low spatial resolution  
(typically 3 to 8 mm)

Planar Imaging  
SPECT  
~~PET~~

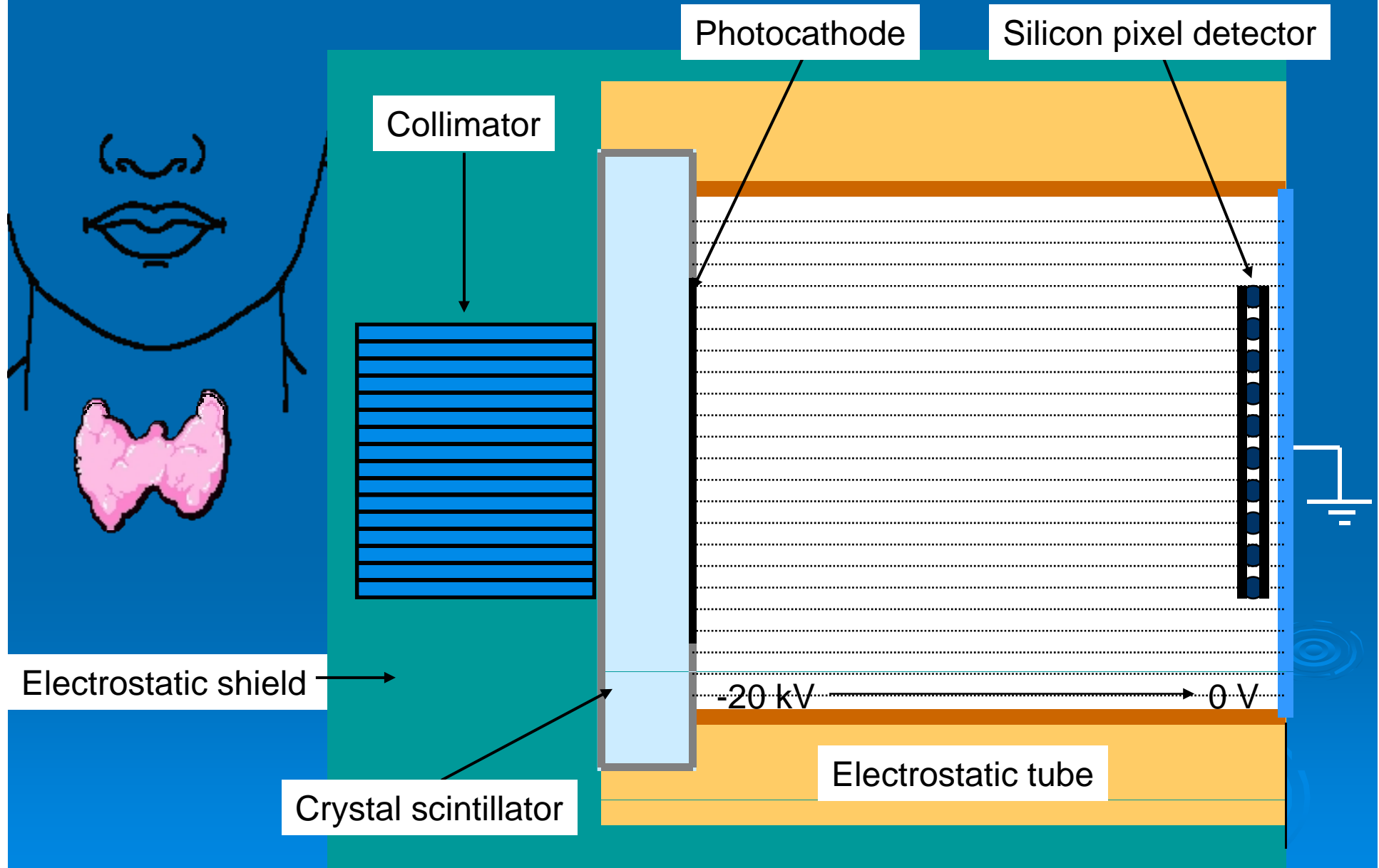
Nuclear Medicine



**Compact, handheld and high resolution**  
gamma camera system

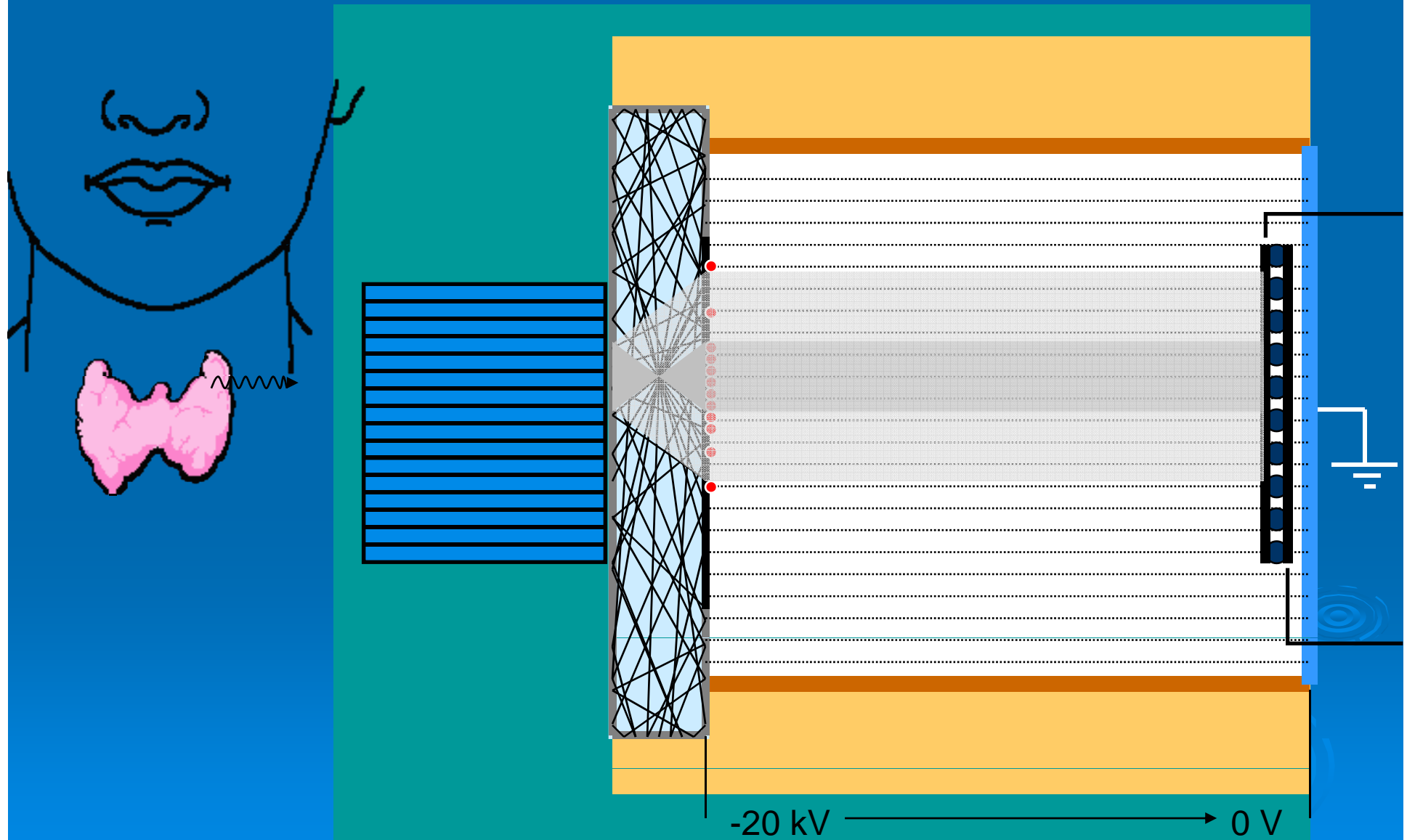


# Operation principle



Not to Scale

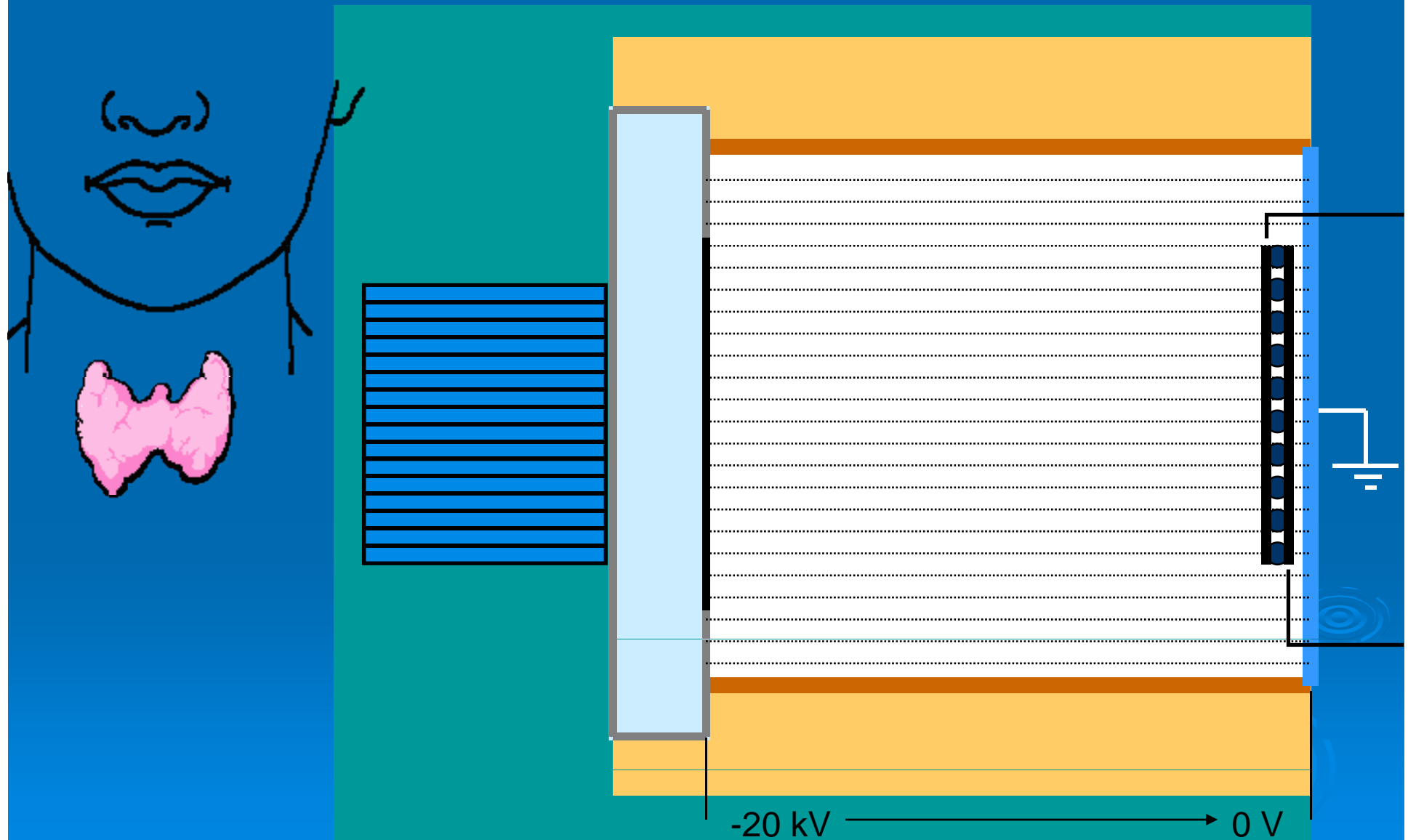
# Operation principle



Not to Scale

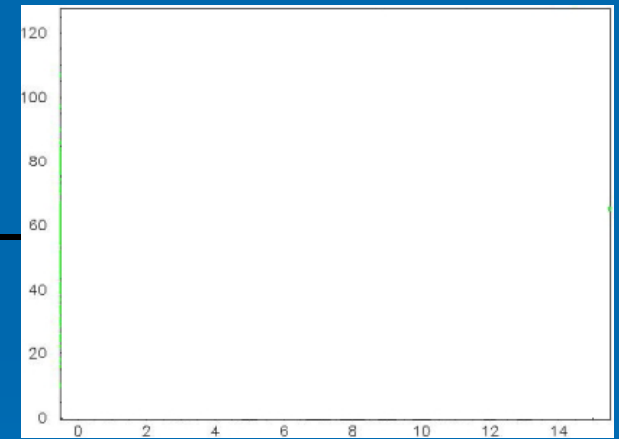
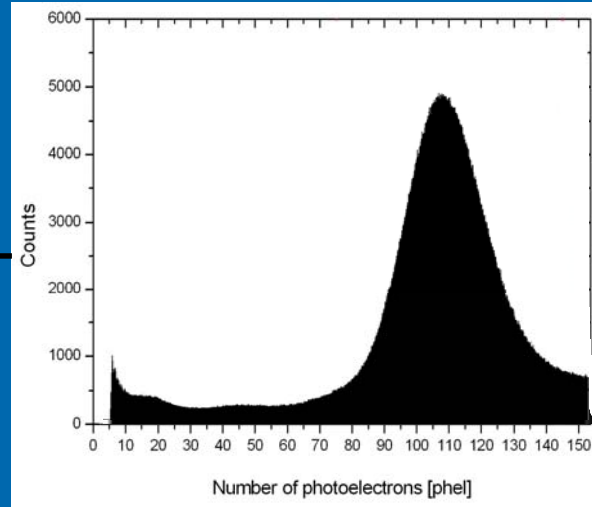


# Operation principle



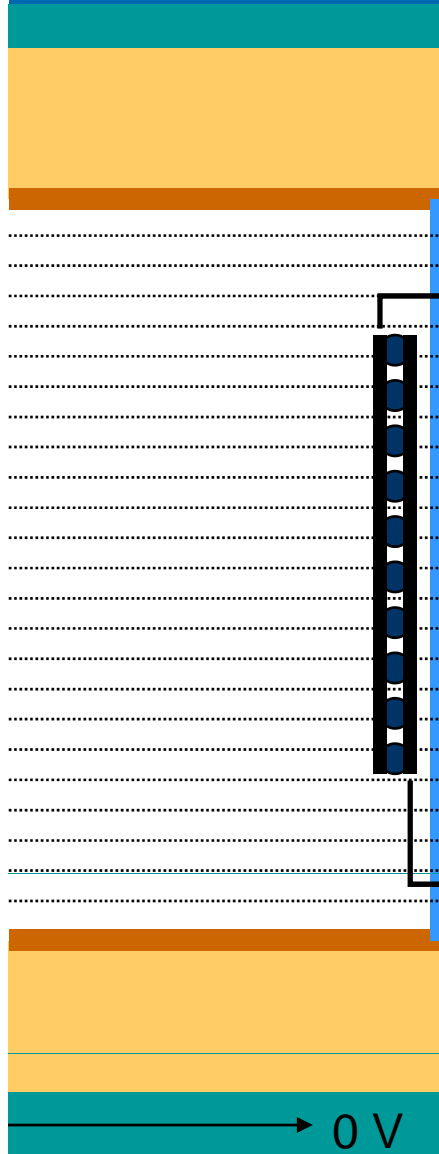
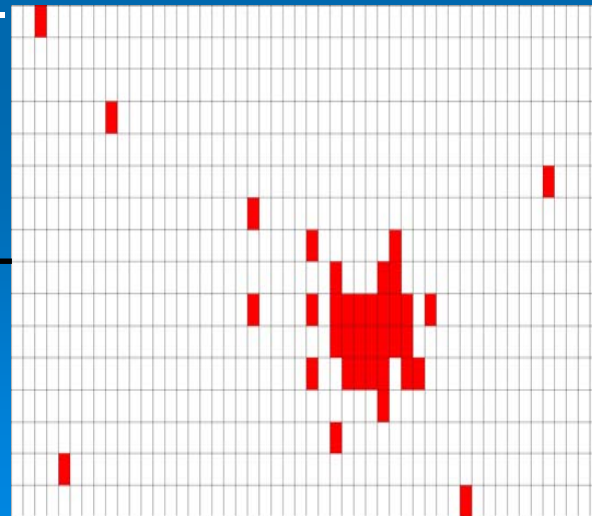
# Operation principle

Analog information



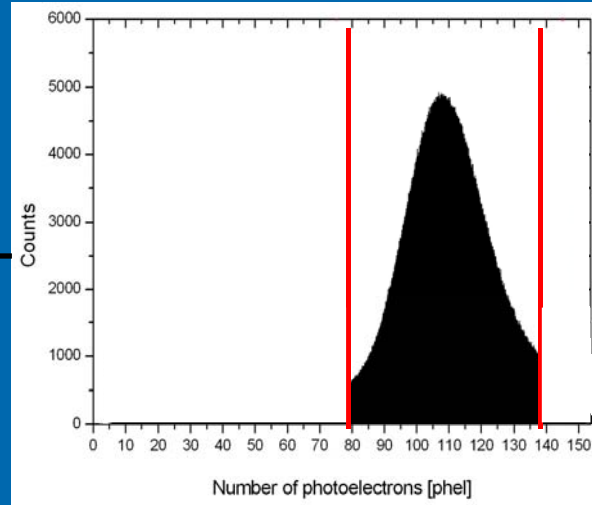
Valid 2D hit maps

Digital information

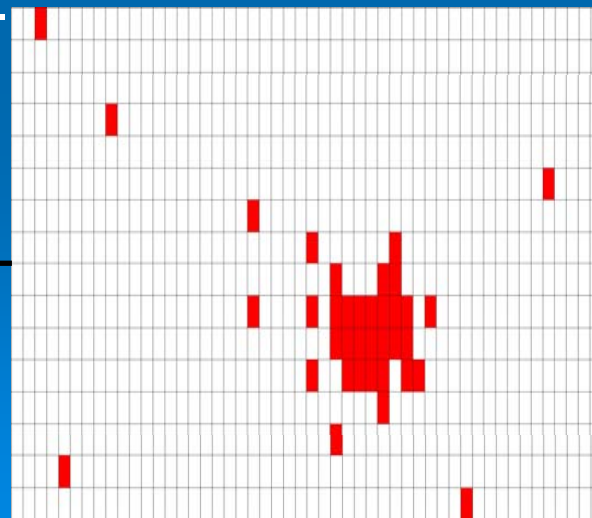
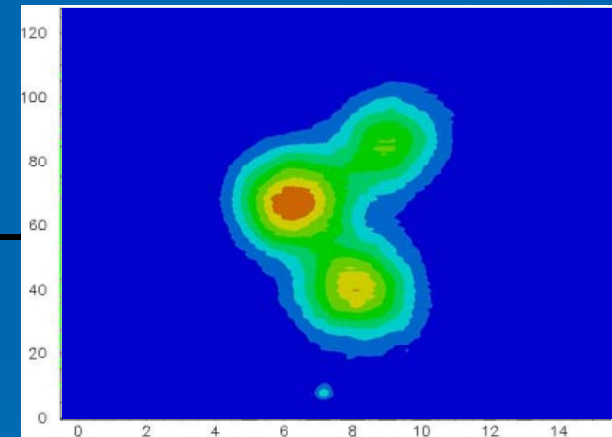


# Operation principle

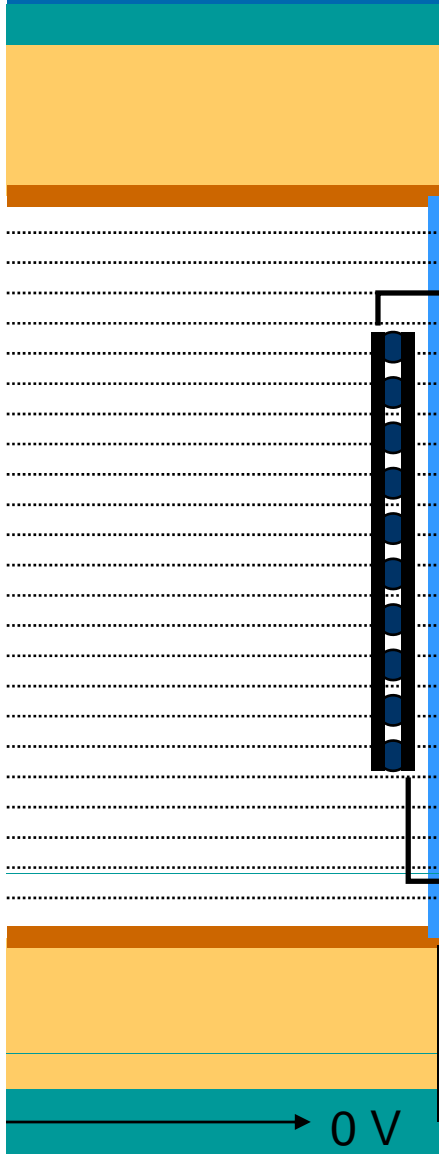
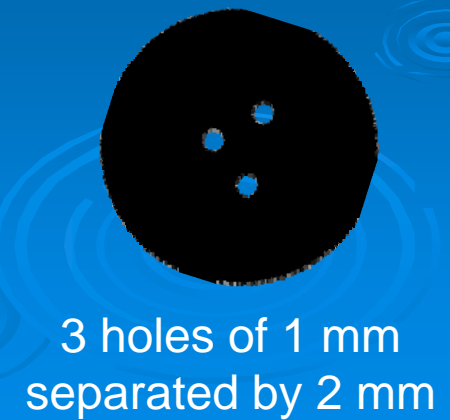
Analog information



8 mm x 6.4 mm



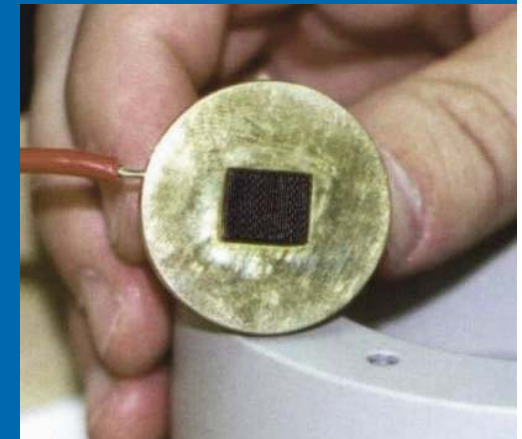
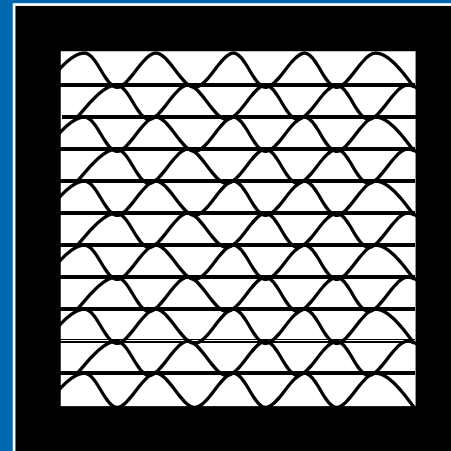
Digital information



# Technical implementations and results

## ISPA-tube **COLLIMATOR**

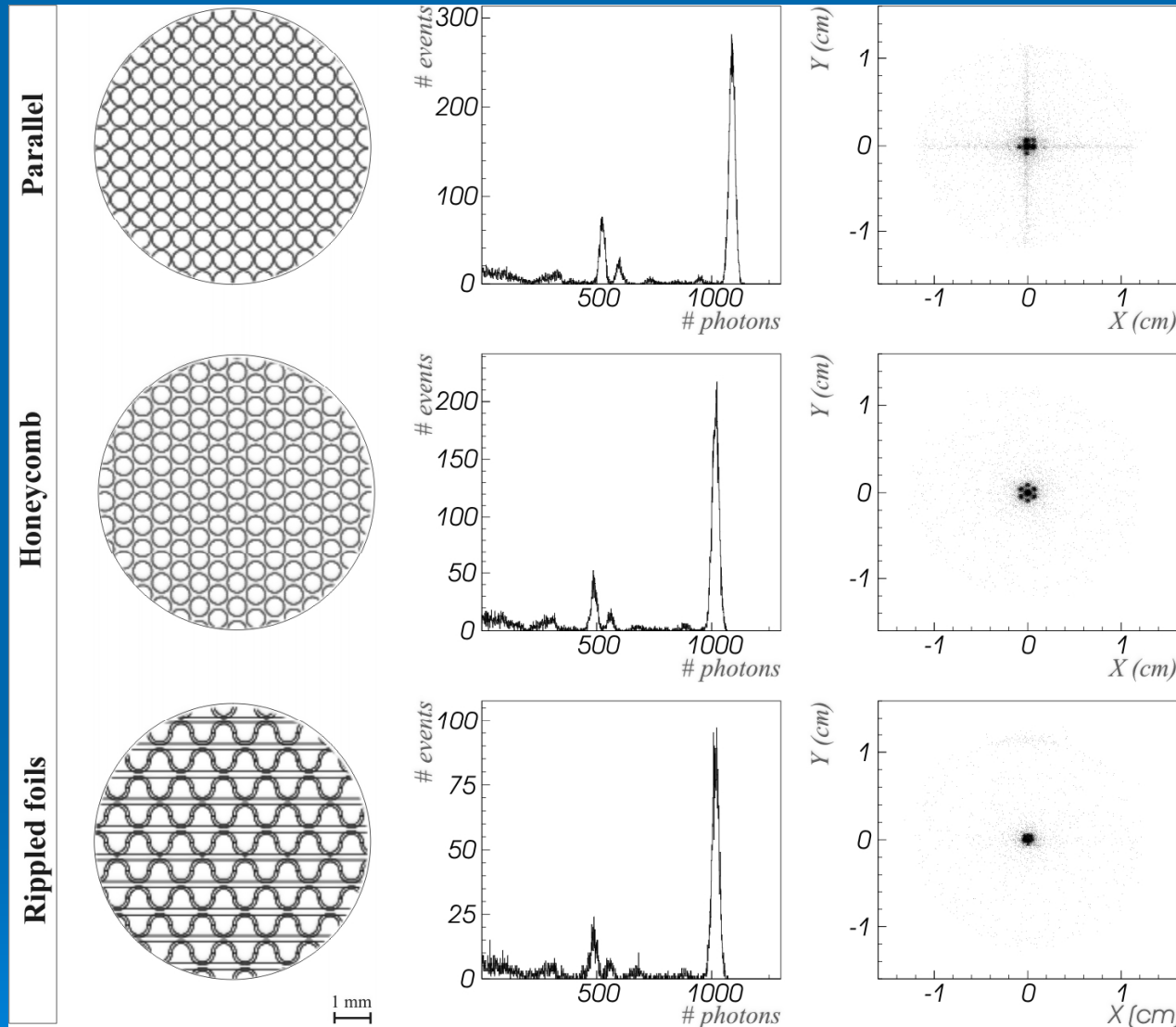
**Type** Parallel-hole (rippled foils)  
**Material** Tungsten W  
**Area** 9 mm x 10 mm  
**Length** 26 mm  
**Septa** 0.06 mm  
**Equivalent hole diameter** 0.6 mm



GEANT 3 simulations (122 keV point source @ 1 cm)

Collimator length [cm]	Sensitivity [normalized for 1 cm]	FWHM [mm]	Energy Resolution [%]
1.0	1	$1.050 \pm 0.026$	$16.5 \pm 1.4$
2.0	0.16	$0.676 \pm 0.040$	$16.5 \pm 3.4$
2.6	0.10	$0.585 \pm 0.047$	$16.5 \pm 4.4$
5.0	0.09	$0.495 \pm 0.063$	$16.6 \pm 7.1$

# ISPA-tube COLLIMATOR



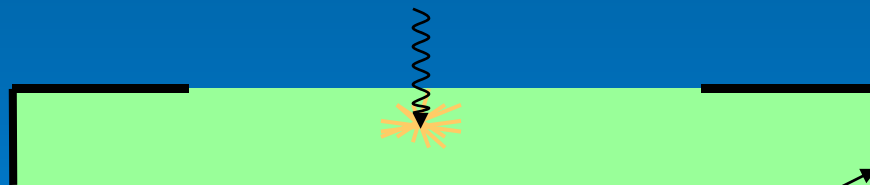
## Results

Good collimator for high resolution applications where the low sensitivity can be compensated by increasing the acquisition time or the radioisotope activity concentration

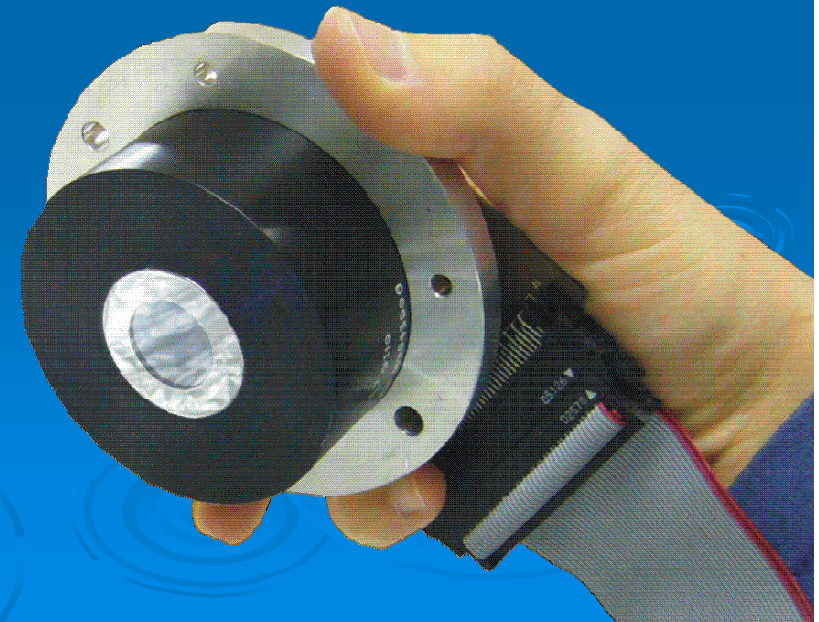
# Technical implementations and results

## ISPA-tube CRYSTAL SCINTILLATOR

<b>Material</b>	YAP:Ce (Yttrium-Aluminium Perovskite doped with Cerium)
<b>Size</b>	31 mm diameter
<b>Thickness</b>	2 mm
<b>Light yield</b>	10 ph/keV
<b>Decay time</b>	27 ns
<b>Wavelength of maximum emission</b>	370 nm
<b>Absorption efficiency</b>	89% @ 60 keV

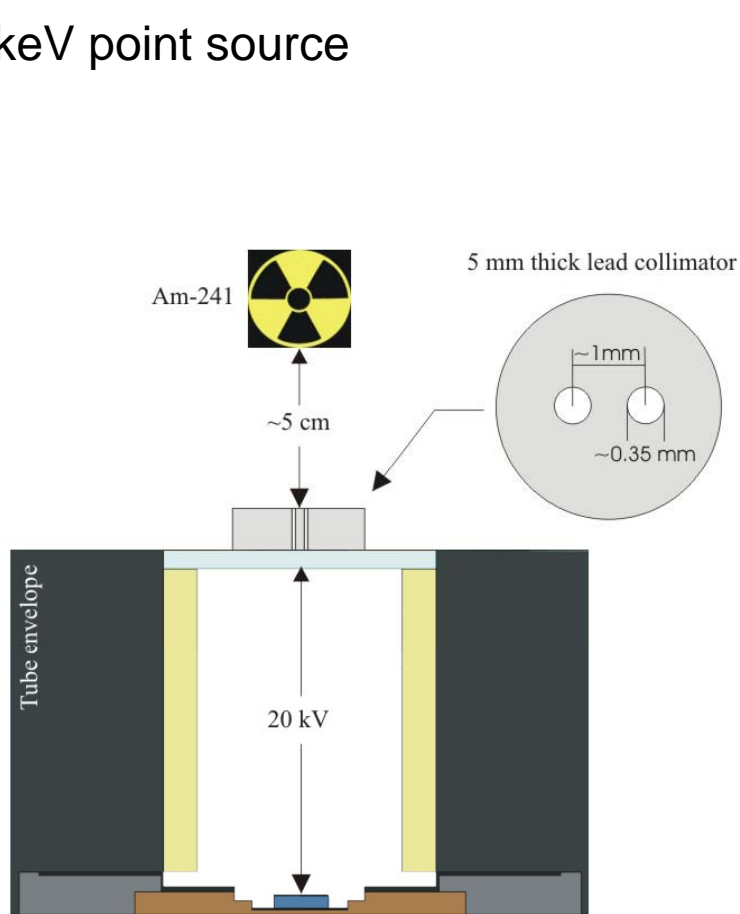


Al 95% reflectivity

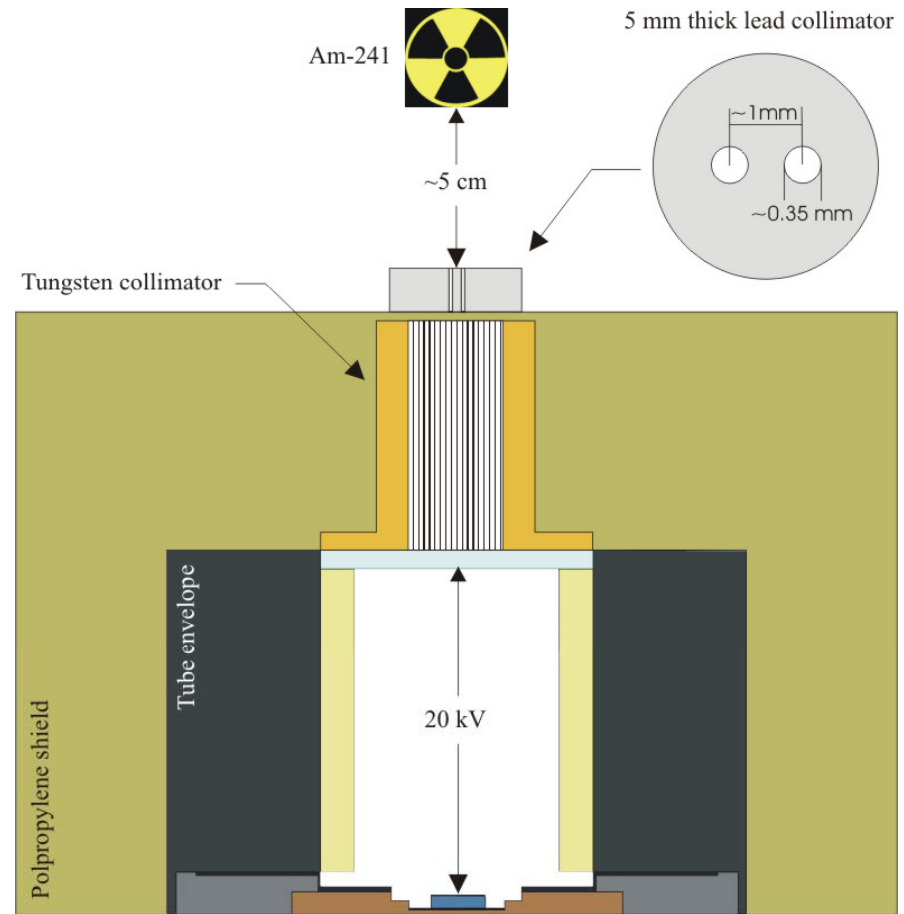


# Final evaluation

60 keV point source



Setup A (without collimator)



Setup B (with collimator)

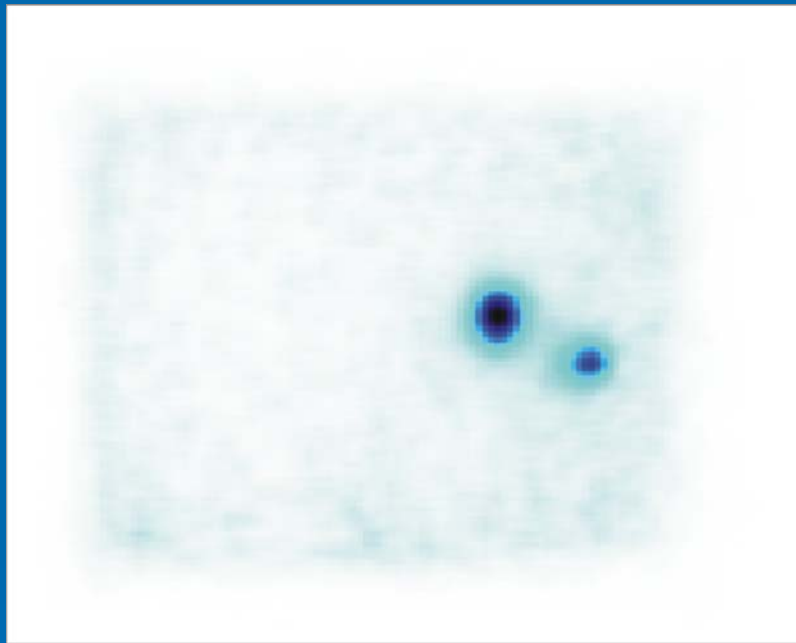
# Final evaluation

Images of a 60 keV  $\gamma$ -source through a 2-holes (0.35 mm  $\varnothing$ ) lead collimator

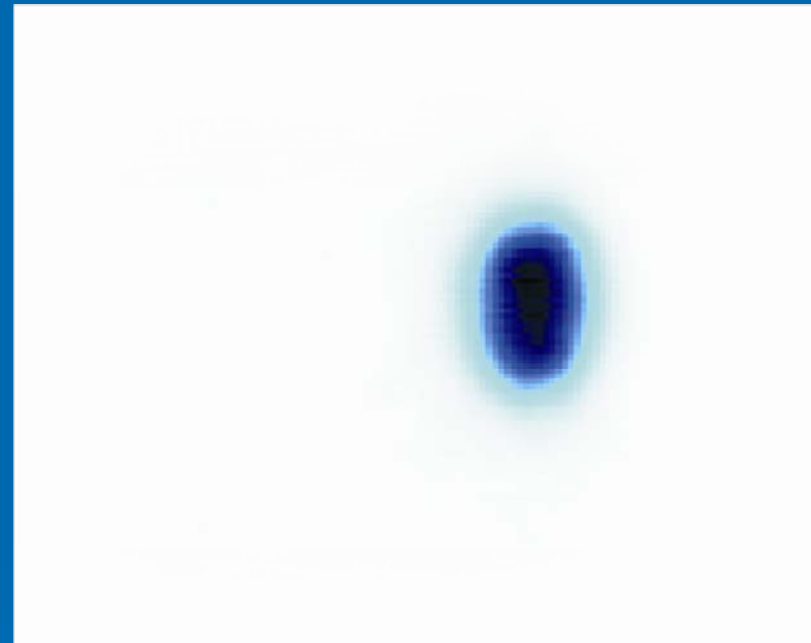
8 mm

8 mm

6.4 mm



Setup A (without collimator)



Setup B (with collimator)

## Results

The intrinsic resolution of the ISPA-tube has been estimated to be  $\sim 0.2$  mm

The extrinsic (with the tungsten collimator) has been estimated to be  $\sim 0.7$  mm

The energy resolution of the ISPA-tube has been estimated to be 23% FWHM at 60keV

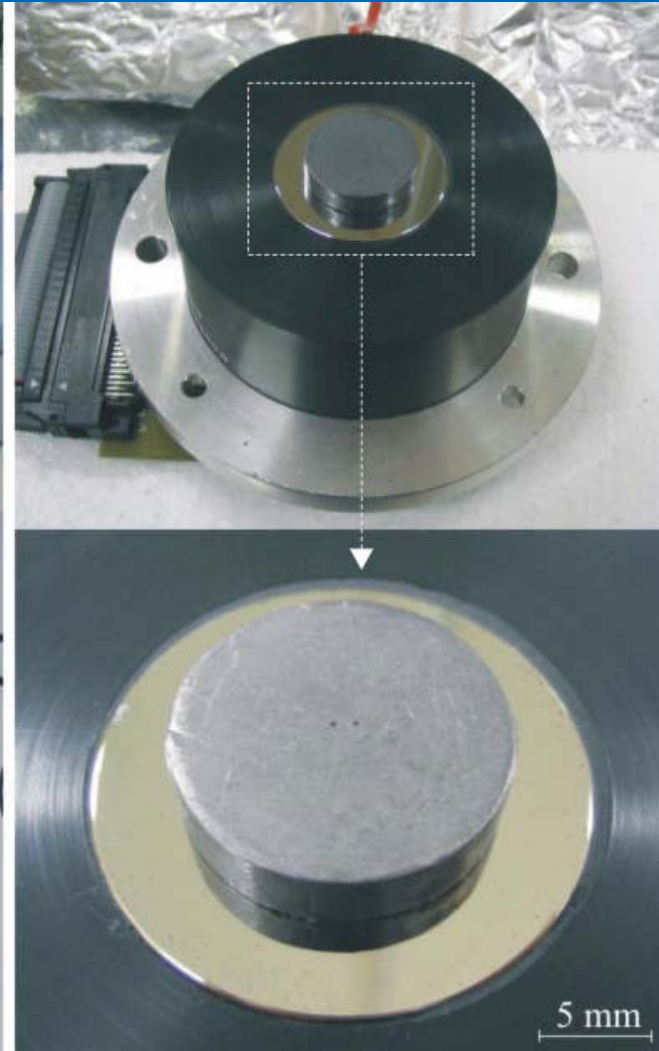


# Final evaluation

SPECT camera  
140 keV point source

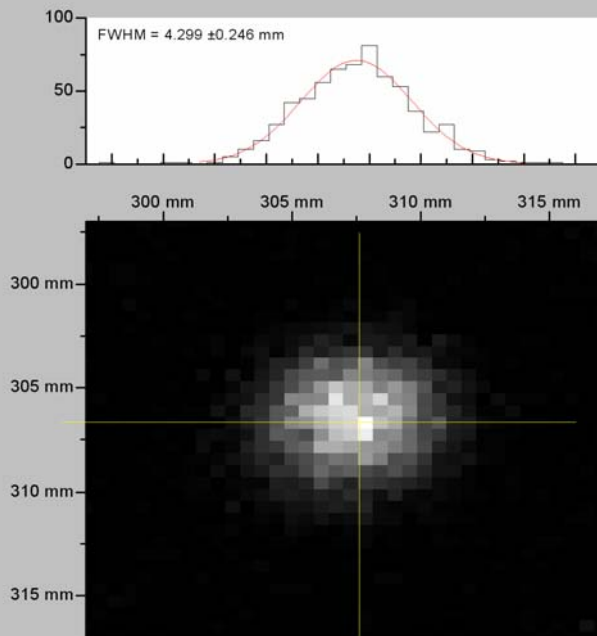


ISPA-tube  
122 keV point source



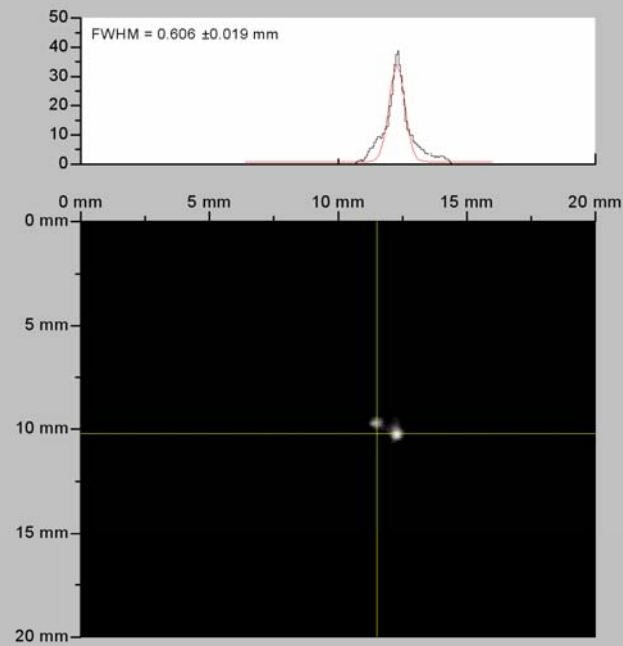
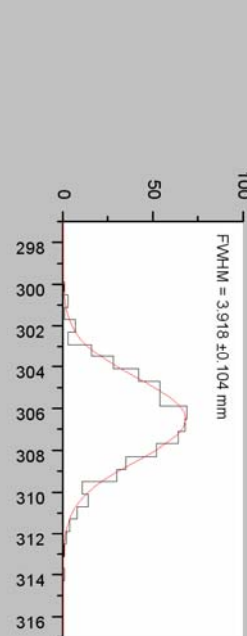
# Final evaluation

After a normalization of both test condition setups  
(time-activity concentration and energy sensitivity)



SPECT camera

14000 counts  
FWHM  $\sim 4.3$  mm



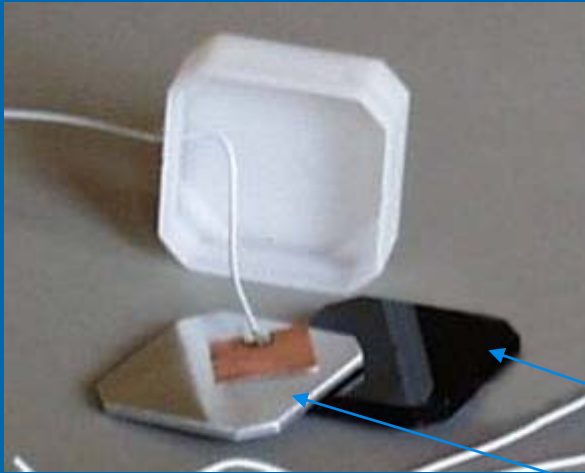
ISPA-tube

2800 counts  
FWHM  $\sim 0.6$  mm

5 minutes  
equivalent

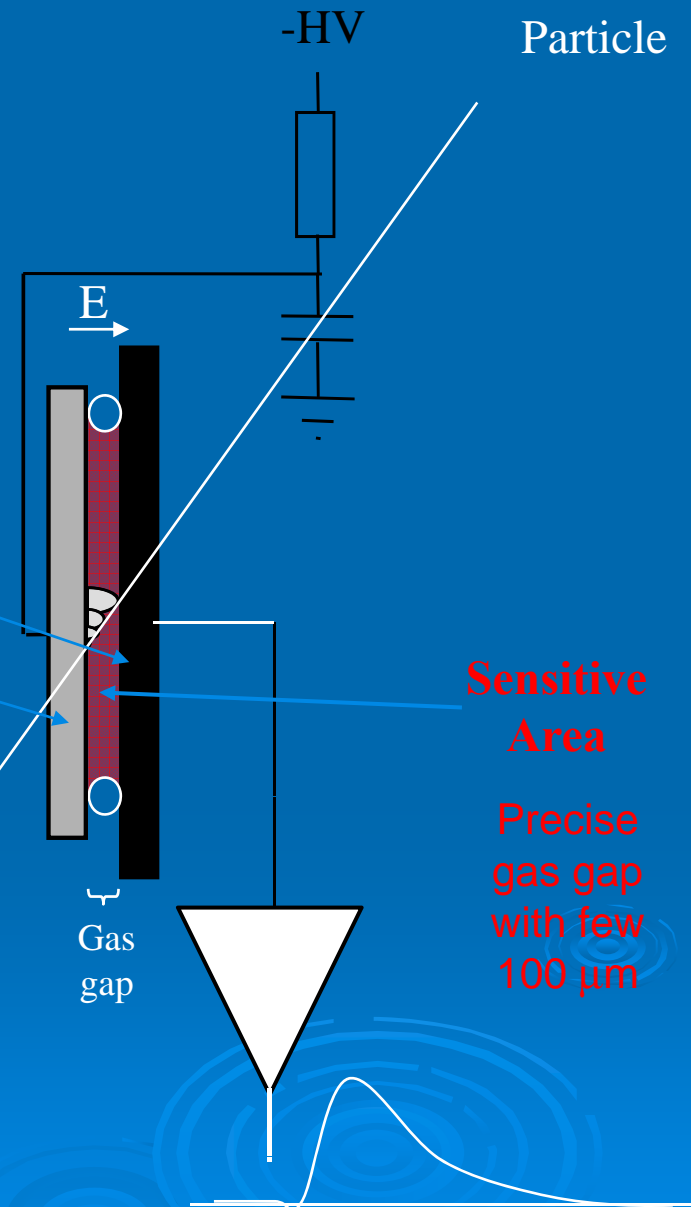


# The timing RPC detector technology



Resistive material, glass

Conductive material, Aluminum



**Sensitive Area**

Precise gas gap with few 100  $\mu\text{m}$

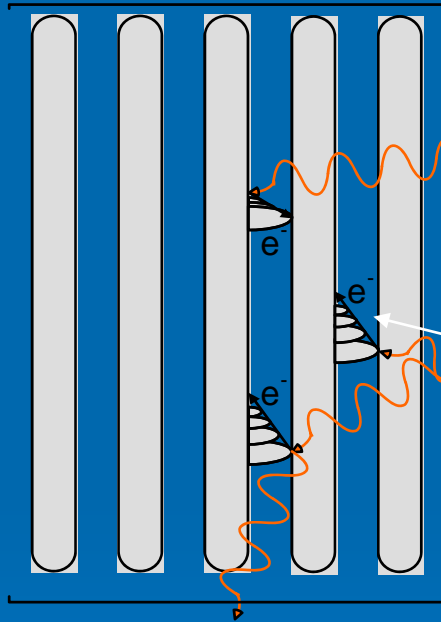
## Main features

- **Timing resolution  $\sim 50 \text{ ps } \sigma$ .**
  - **Efficiency 75% for a 300  $\mu\text{m}$  gap**
  - No energy resolution.
  - Possibility to measure the position.
- MIPS**

# The basic idea for RPC-based TOF-PET

## The converter-plate principle

Stacked  
RPCs



Use the electrode plates as a  $\gamma$  converter, taking advantage of the natural layered construction of the RPCs.

Time resolution for 511 keV photons:  
(our routine lab-test tool)

**90 ps  $\sigma$**  for 1 photon

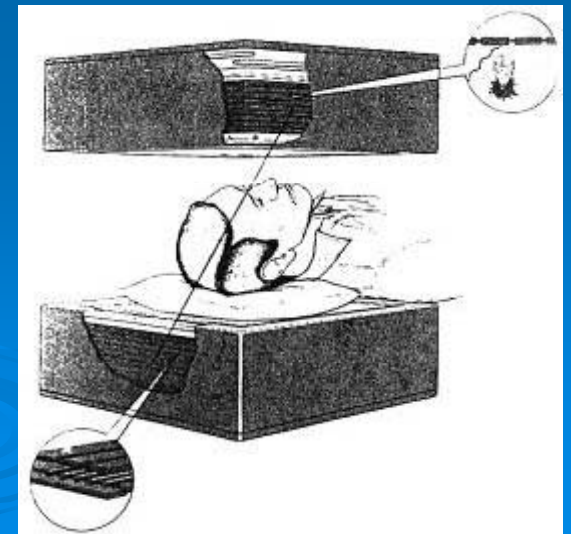
**300 ps FWHM** for the photon pair

Very small gas gap  
to minimize  
intrinsic internal error

**A previous work on PET with gaseous detectors  
(21 lead plates + 20 MWPCs = 7% efficiency)**

*“The Rutherford Appleton Laboratory’s Mark I Multiwire  
Proportional Counter Positron Camera”*

*J.E. Bateman et al. NIM 225 (1984) 209-231*



# Comparison with the standard PET technology

## Disadvantages

Certainly a much smaller efficiency: 20 to 50% as compared to 70 to 80%.  
No energy resolution, but there is an equivalent energy sensitivity... more later.

## Advantages

### Increasing system sensitivity

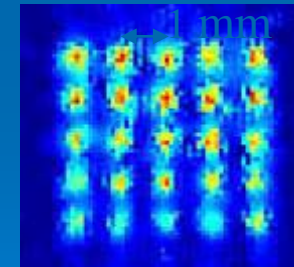
Inexpensive  $\Rightarrow$  large areas possible  $\Rightarrow$  large solid angle coverage  
Excelent timing  $\Rightarrow$  TOF-PET possible+optimum randoms rejection

Possible specialized  
PET applications

Whole-body  
Human PET

### Increasing position accuracy

Gaseous detectors routinely deliver 0.1 mm resolution  
Full 3D localization possible  $\Rightarrow$  no gross parallax error  
The very small gap minimizes intrinsic errors



Small  
Animal  
PET

### Other

Compatible with the magnetic field  $\Rightarrow$  PET-MRI possible

**Simulation:**  
**0.51mm FWHM**

# Small animal PET - a first prototype

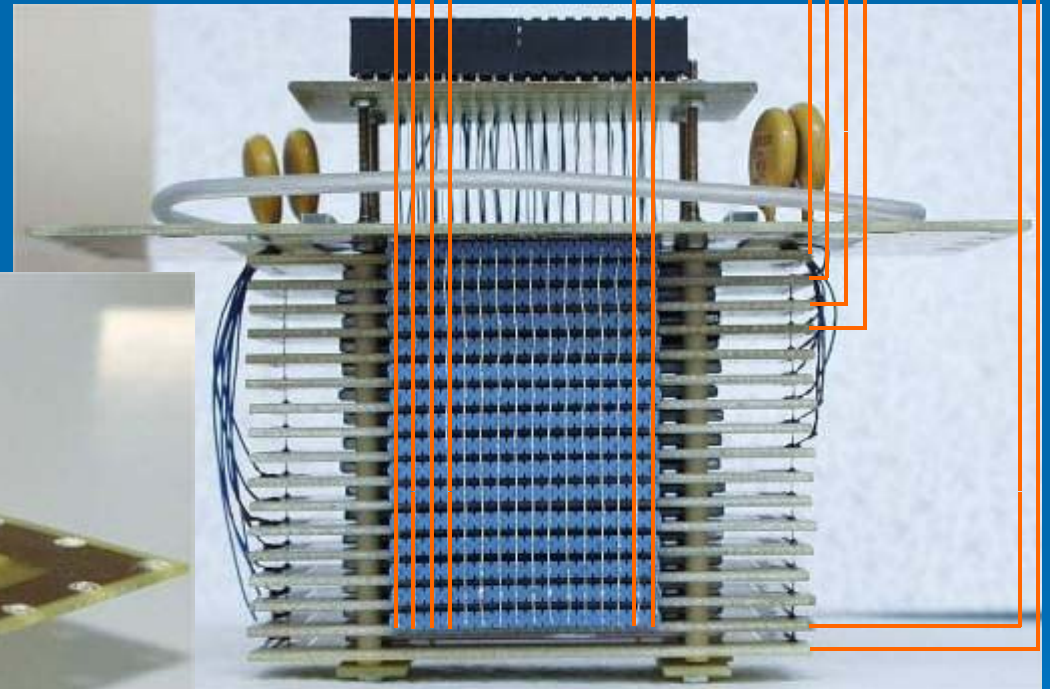
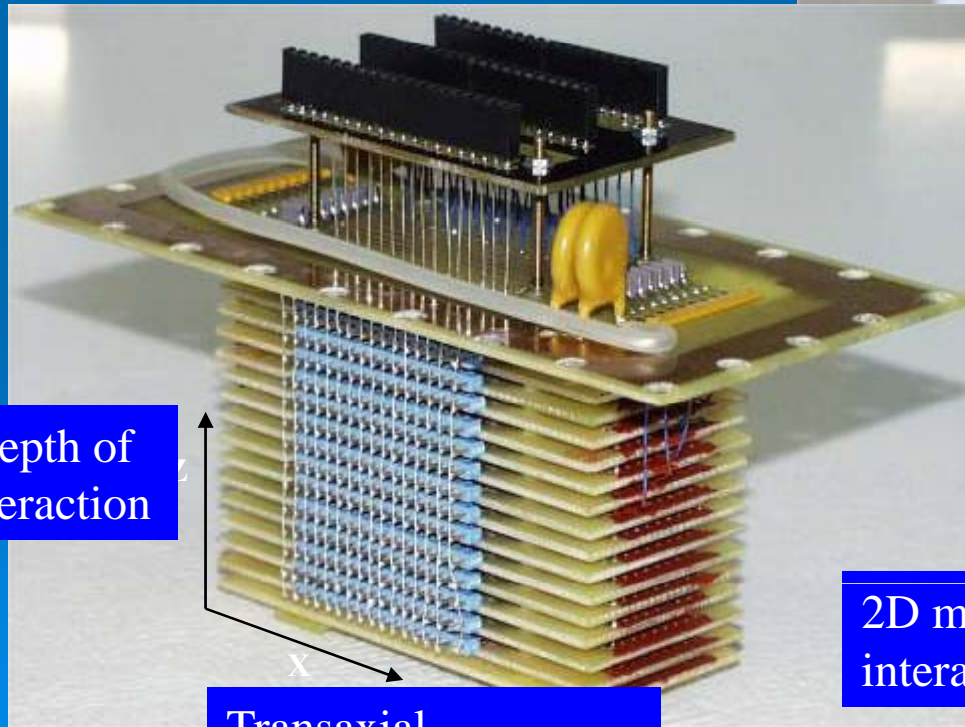
Aimed at **verifying** the concept and show the **viability** of a **sub-millimetric spatial resolution**.

**16 stacked RPCs**

Charge-sensitive electronics allowing interstrip position interpolation

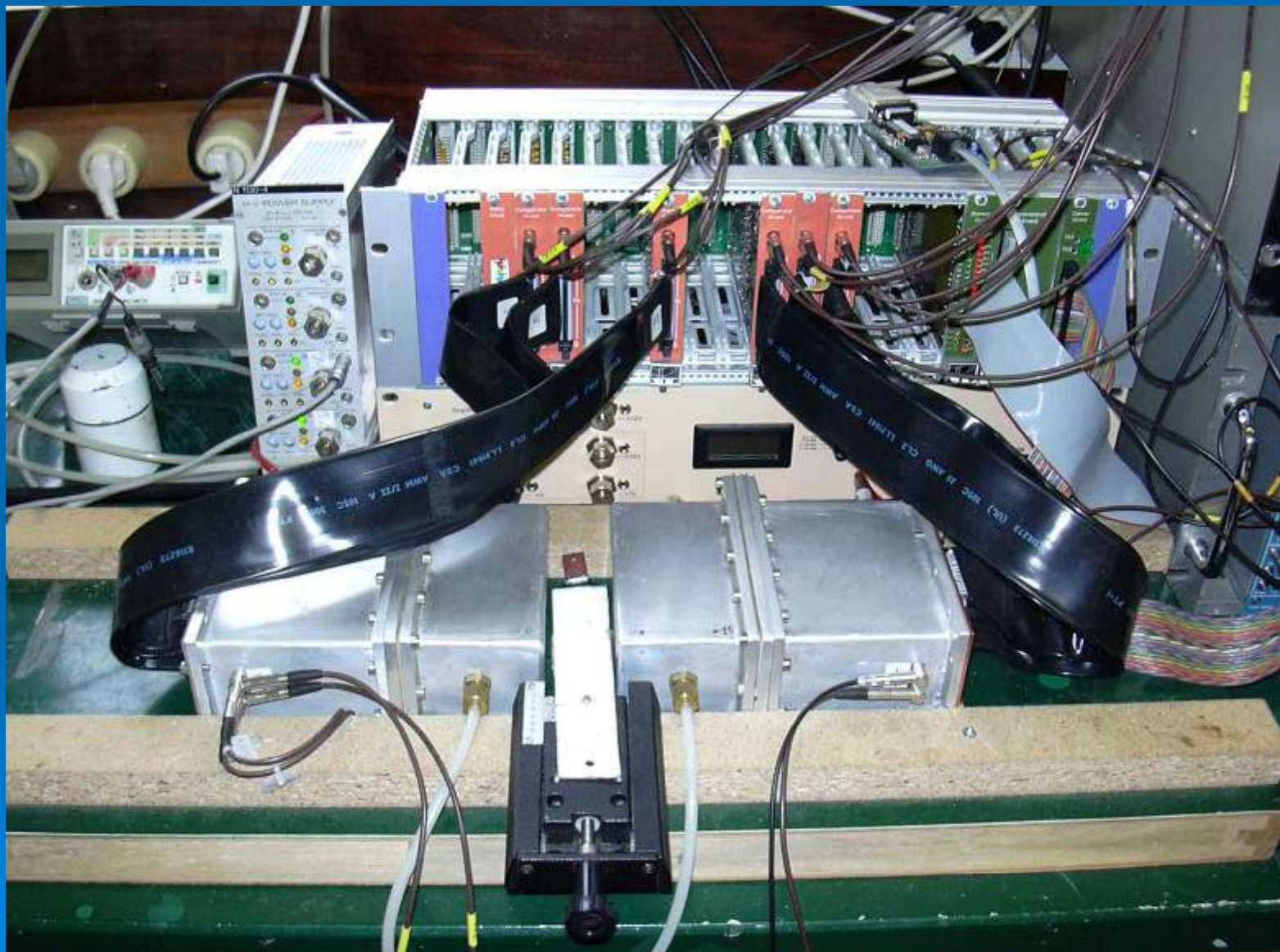
32 strips  
.....

16 plates  
.....



2D measurement of the photon interaction point

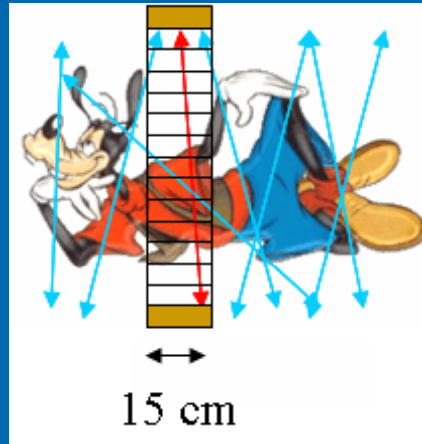
# System



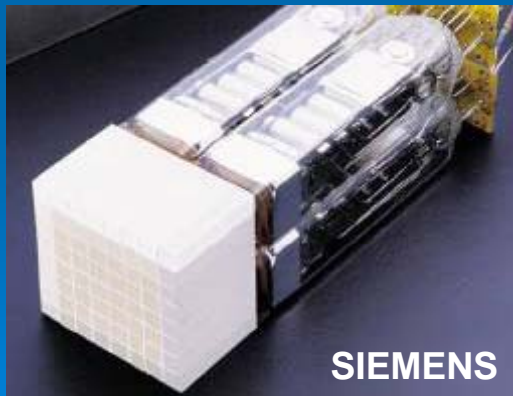


# Full-body human PET

Standard PET

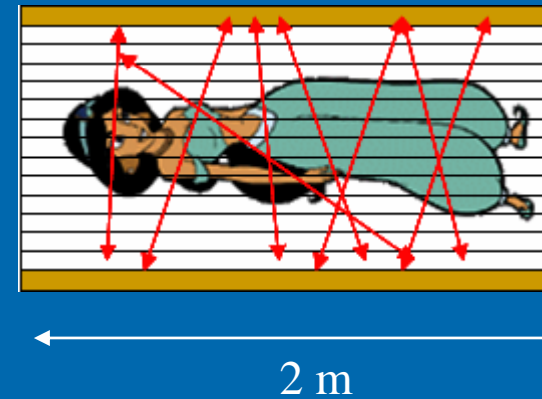


Made with crystal “blocks” 5x5 cm



Comercial value=1.5M€

Whole-body FOV PET



Extremely expensive if based on crystals  
⇒ RPC-PET

