



<b>Struttura</b>	<b>Gruppo</b>
<b>PAVIA</b>	<b>2</b>
<b>Coordinatore:</b> Claudio S.Montanari	

**COMPOSIZIONE DEI GRUPPI DI RICERCA: B)- TECNOLOGI**

Componenti del Gruppo e ricerche alle quali partecipano:

N.	Cognome e Nome	Qualifica			RICERCHE DEL GRUPPO IN %							Percentuale impegno in altri Gruppi				Altri impegni		
		Dipendenti		Incarichi	ARGO-YBJ	AUGER	BOREX	ICARUS/ICA	WARP									
		Ruolo	Art23	Assoc. Tecnologica													I	III
1	CARLI Fabio			R.U.				100										
2	CINQUINI Carlo			P.O.				100										
3	DE BARI Antonio			Univ			40										25	35
4	DE VECCHI Carlo	Tecn						25					20					55
5	GALLORINI Mario			d.r.CNR			30											70
6	RAPPOLDI Andrea	Tecn						40										60
7	RATTI Lodovico			AsRic		20							50			30		
8	ROSSELLA Massimo	Tecn						25					20					55
9	VIGNOLI Chiara	Tecn						80										20

Note:

1) PER I DIPENDENTI:

Indicare il profilo INFN

2) PER GLI INCARICHI DI ASSOCIAZIONE:

Indicare Ente da cui dipendono, Bors. T.) Borsista Tecnologo



<b>Struttura</b>	<b>Gruppo</b>
<b>PAVIA</b>	<b>2</b>

**PREVISIONE DELLE SPESE DI DOTAZIONE E GENERALI DI GRUPPO**

Dettaglio della previsione delle spese del Gruppo che non afferiscono ai singoli Esperimenti e per l'ampliamento della Dotazione di base del Gruppo

**In ML**

VOCI DI SPESA		DESCRIZIONE DELLA SPESA	IMPORTI											
			Parziali	Totale Compet.										
Viaggi e Missioni	Interno		14	14										
	Estero	NOMAD: partecipazione a 4 meeting	5 25	30										
Materiale di Consumo			40	40										
Spese Seminari			5	5										
Trasporti e facch.														
Pubblicazioni Scientifiche			2	2										
Spese Calcolo		<table border="1"> <tr> <td>Consorzio</td> <td>Ore CPU</td> <td>Spazio Disco</td> <td>Cassette</td> <td>Altro</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	Consorzio	Ore CPU	Spazio Disco	Cassette	Altro							
Consorzio	Ore CPU	Spazio Disco	Cassette	Altro										
Affitti e Manutenzione Apparecchiature (1)		Manutenzione DEC 3000/300x (cont.LUCE 18/052) Manutenzione Alphastation 255/255 (cont.LUCE 18/021) Manutenzione Alphastation 250/266 (cont. LUCE 18/041) Manutenzione Alpastation 250/266 (cont.LUCE 18/053)	1,8 4,4 9,2 1,6	17										
Materiale Inventariabile		aggiornamento calcolo gruppo II, impiantistica di laboratorio	120	120										
<b>TOTALI</b>				<b>228</b>										

(1) Indicare tutte le macchine in manutenzione

Struttura	Gruppo
PAVIA	2

## PREVISIONE DELLE SPESE PER LE RICERCHE

RIEPILOGO DELLE SPESE PREVISTE PER LE RICERCHE DEL GRUPPO

In ML

SIGLA ESPERIMENTO	SPESA PROPOSTA										
	Miss. interno	Miss. estero	Mater. di cons.	Spese Semin.	Trasp. e Facchin.	Pubbl. Scient.	Spese Calc.	Aff. e Manut. App.	Mater. Invent.	Costruz. Appar.	TOT. Compet.
A) Esperimenti o Inizi. Specifiche Gr. IV III Corad	ARGO-YBJ	10	18	5							33
	AUGER	10	40	15					20		85
	BOREX	18	8	24		2				2	54
	ICARUS/ICAN	85	100	540		150			240	1770	2885
<b>Totali A)</b>	<b>123</b>	<b>166</b>	<b>584</b>		<b>152</b>			<b>260</b>	<b>1772</b>	<b>3057</b>	
B) Esperimenti o Iniz. Spec. Gr. IV da Iniziare	WARP	8	35	40					40		123
<b>Totali B)</b>	<b>8</b>	<b>35</b>	<b>40</b>					<b>40</b>		<b>123</b>	
C) Dotazioni di Gruppo	14	30	40	5		2		17	120	228	
<b>Totali (A+B+C)</b>	<b>145</b>	<b>231</b>	<b>664</b>	<b>5</b>	<b>152</b>	<b>2</b>		<b>17</b>	<b>420</b>	<b>3408</b>	



**ISTITUTO NAZIONALE DI FISICA NUCLEARE**Preventivo per l'anno **2001**

Codice	Esperimento	Gruppo
0916	ARGO-YBJ	2

<b>Struttura</b>
<b>PAVIA</b>

Ricercatore  
responsabile locale: G.Liguori**Rappresentante  
Nazionale:** B. D'ETTORRE  
PIAZZOLIStruttura di  
appartenenza: NAPOLI

Posizione nell'I.N.F.N.: INC. RIC.

**INFORMAZIONI GENERALI**

<b>Linea di ricerca</b>	fisica astroparticellare
<b>Laboratorio ove si raccolgono i dati</b>	Yangbajing (Tibet)
<b>Sigla dello esperimento assegnata dal Laboratorio</b>	ARGO-YBJ
<b>Acceleratore usato</b>	
<b>Fascio (sigla e caratteristiche)</b>	
<b>Processo fisico studiato</b>	ricerca di sorgenti di raggi cosmici, fisica gamma raybursts, fisica eliosfera
<b>Apparato strumentale utilizzato</b>	rivelatore di RPC (6500 mq)
<b>Sezioni partecipanti all'esperimento</b>	CT, LE, NA, PV, RM2, RM3, TO
<b>Istituzioni esterne all'Ente partecipanti</b>	IHEP di Pechino + altre Università cinesi.
<b>Durata esperimento</b>	5 anni

**Mod. EC. 1**

(a cura del responsabile locale)

Codice	Esperimento	Gruppo
0916	ARGO-YBJ	2

<b>Struttura</b>
<b>PAVIA</b>

**PREVENTIVO LOCALE DI SPESA PER L'ANNO 2001**
**In ML**

VOCI DI SPESA	DESCRIZIONE DELLA SPESA					IMPORTI		A cura della Comm.ne Scientifica Nazionale	
						Parziali	Totale Compet.		
Viaggi e missioni	Interno	6 viaggi da 1 settimana (stima: 1,4/sett.) meeting collaborazione					10	<b>10</b>	
	Estero	montaggio e test a Yangbajing 7 viaggi da 4 stt. e 1 da 3 sett. (stima: 2,5/sett.)					18	<b>18</b>	
Materiale Consumo	gas e tuberie per test RPC					5	<b>5</b>		
Trasp.e facch.									
Spese Calcolo	Consorzio	Ore CPU	Spazio Disco	Cassette	Altro				
Affitti e manutenz. apparecchiati.									
Materiale Inventariabile									
Costruzione Apparati									
<b>Totale</b>							<b>33</b>		
Note:									



**ISTITUTO NAZIONALE DI FISICA NUCLEARE**

Preventivo per l'anno **2001**

Codice	Esperimento	Gruppo
0916	ARGO-YBJ	2

<b>Struttura</b>
<b>PAVIA</b>

**ALLEGATO MODELLO EC 2**

Codice	Esperimento	Gruppo
0916	ARGO-YBJ	2

<b>Struttura</b>
<b>PAVIA</b>

**PREVISIONE DI SPESA: PIANO FINANZIARIO LOCALE**  
**PER GLI ANNI DELLA DURATA DEL PROGETTO**

**In ML**

ANNI FINANZIARI	Miss. interno	Miss. estero	Mater. di cons.	Trasp.e Facch.	Spese Calcolo	Affitti e manut. appar.	Mat. inventar.	Costruz. apparati	TOTALE Competenza
2001	10	18	5						<b>33</b>
<b>TOTALI</b>	<b>10</b>	<b>18</b>	<b>5</b>						<b>33</b>

**Note:**

L'impegno per gli anni successivi non è ancora definito

Osservazioni del Direttore della Struttura in merito alla disponibilità di personale e di attrezzature:

Assistenza normale dei Servizi Tecnici  
 Collaborazione personale: finanziamento su dotazioni

**Mod. EC. 3**

(a cura del responsabile locale)





Codice	Esperimento	Gruppo
0916	ARGO-YBJ	2

<b>Struttura</b>
<b>PAVIA</b>

**Consuntivo anno 1999/2000**

<b>LAUREATI</b>		
Cognome e Nome	Titolo della Tesi	Sbocco professionale
Laurea in		
Laurea in		
Laurea in		
Laurea in		
Laurea in		
<b>DOTTORI di RICERCA</b>		
Dott in		
Dott in		
Dott in		
Dott in		
<b>PRESENTAZIONI A CONFERENZE SU INVITO E SEMINARI SIGNIFICATIVI</b>		
Relatore	Titolo	Conferenza o luogo

Codice	Esperimento	Gruppo
0916	ARGO-YBJ	2

<b>Struttura</b>
<b>PAVIA</b>

**Consuntivo anno 1999/2000**

**SIGNIFICATIVE VARIAZIONI DI BILANCIO**

Capitolo	Variazione (ML)	Motivazione
Missioni Interne	_____	
Missioni Estere	_____	
Consumo	_____	
Trasporti e Facchinaggio	_____	
Spese Calcolo	_____	
Affitti e Manutenzioni	_____	
Materiale Inventariabile	_____	
Costruzione Apparati	_____	
Totale storni	_____	

**CONFERENZE, WORKSHOP e SCUOLE ORGANIZZATE in ITALIA**

Data	Titolo	Luogo

**SIGNIFICATIVE COMMESSE E RELATIVO IMPORTO**

ANAGRAFICA FORNITORE	DESCRIZIONE PRODOTTO O COMMESSA	IMPORTO (ML)

# ISTITUTO NAZIONALE DI FISICA NUCLEARE

Preventivo per l'anno **2001**

Codice	Esperimento	Gruppo
	AUGER	2

<b>Struttura</b>
<b>PAVIA</b>

Ricercatore  
responsabile locale: P.F.Manfredi

Rappresentante  
Nazionale: G.Matthiae

Struttura di  
appartenenza: Roma 2

Posizione nell'I.N.F.N.: associato

## INFORMAZIONI GENERALI

<b>Linea di ricerca</b>	studio di raggi cosmici di altissima energia
<b>Laboratorio ove si raccolgono i dati</b>	osservatorio Auger (Nihuil Argentina)
<b>Sigla dello esperimento assegnata dal Laboratorio</b>	AUGER
<b>Acceleratore usato</b>	
<b>Fascio (sigla e caratteristiche)</b>	
<b>Processo fisico studiato</b>	studio di raggi cosmici con energia superiore a 10 EeV con un rivelatore di fluorescenza atmosferica. Responsabilità del gruppo: elettronica analogica di front-end per i fotomoltiplicatori
<b>Apparato strumentale utilizzato</b>	scintillatori di luce di fluorescenza dell'azoto atmosferico . Simulatori circuitali.Strumentazione per la caratterizzazione di circuiti analogici
<b>Sezioni partecipanti all'esperimento</b>	CT, MI, NA, PV, ROMA 2, TO
<b>Istituzioni esterne all'Ente partecipanti</b>	Istituzioni di 18 paesi
<b>Durata esperimento</b>	pluriennale

**Mod. EC. 1**

(a cura del responsabile locale)

Codice	Esperimento	Gruppo
	AUGER	2

<b>Struttura</b>
<b>PAVIA</b>

**PREVENTIVO LOCALE DI SPESA PER L'ANNO 2001**
**In ML**

VOCI DI SPESA	DESCRIZIONE DELLA SPESA					IMPORTI		A cura della Comm.ne Scientifica Nazionale	
						Parziali	Totale Compet.		
Viaggi e missioni	Interno	meeting collaborazione italiana collaudo dell'elettronica di front-end con il prototipo del rivelatore di fluorescenza					10	<b>10</b>	
	Estero	meeting collaborazione Auger installazione e collaudo del prototipo a Nihuil meeting al CERN e a Karlsruhe					40	<b>40</b>	
Materiale Consumo	metabolismo					15	<b>15</b>		
Trasp.e facch.									
Spese Calcolo	Consorzio	Ore CPU	Spazio Disco	Cassette	Altro				
Affitti e manutenz. apparecchiati.									
Materiale Inventariabile	strumentazione per test in laboratorio e al site (spectrum anal.ecc)					20	<b>20</b>		
Costruzione Apparati									
<b>Totale</b>							<b>85</b>		
Note:									



Codice	Esperimento	Gruppo
	AUGER	2

<b>Struttura</b>
<b>PAVIA</b>

## ALLEGATO MODELLO EC 2

### ATTIVITA' SVOLTA NEL PRIMO SEMESTRE 2000

Il gruppo Auger della sezione di Pavia ha lavorato alla definizione del progetto dell'elettronica di front-end del rivelatore di fluorescenza atmosferica. L'obiettivo della collaborazione è costruire un prototipo di questo rivelatore e installarlo e collaudarlo nel sito meridionale di Auger (Nihuil, Argentina). Il prototipo verrà integrato in un sistema ibrido che comprende il rivelatore di superficie basato su rivelatori Cerenkov ad acqua.

In particolare il gruppo di Pavia ha avuto la responsabilità di progettare alcuni blocchi analogici del sistema di lettura dei segnali dai fotomoltiplicatori, e ha lavorato al progetto e al test della scheda (Analog Board) dove viene effettuata l'elaborazione analogica dei segnali prima di trasmetterli agli ADC. Sono stati caratterizzati i blocchi di filtraggio antialiasing, controllo del guadagno con potenziometri digitali e adattamento del range dinamico dei segnali. Quest'ultimo consente di operare con un ADC a 12 bit e frequenza di campionamento di 10 MHz sull'intero range dinamico di segnali di 16 bit. Il gruppo di Pavia ha proposto una soluzione circuitale basata su un compressore bilineare ad elevata accuratezza, che è stata collaudata con successo sui primi esemplari delle schede analogiche. A Karlsruhe ricercatori di Pavia hanno collaborato con il gruppo locale al test della Analog Board integrata nel sistema di trigger di livello 1.

### ATTIVITA' PREVISTA PER IL SECONDO SEMESTRE 2000

Nella seconda metà del 2000 è prevista la realizzazione di un prototipo del rivelatore di fluorescenza, realizzato inizialmente in una configurazione a 100 canali, che sarà poi espansa a 400 canali. Il gruppo di Pavia in collaborazione con le sezioni di Milano e Torino e con il gruppo di Karlsruhe lavorerà all'integrazione della Analog Board nel sistema completo di lettura dei segnali dai fotomoltiplicatori.

Prima e dopo l'assemblaggio del prototipo le schede analogiche verranno caratterizzate dal punto di vista della risposta al segnale, delle prestazioni di rumore e della reiezione al modo comune (quindi ai disturbi sull'alta tensione di alimentazione dei fototubi).

### ATTIVITA' PREVISTA PER IL 2001

Nel 2001 il prototipo del rivelatore di fluorescenza sarà completato e installato nel sito argentino di Nihuil. Il gruppo di Pavia intende collaborare ai test on-site del prototipo, che saranno decisivi nel definire le scelte progettuali dell'elettronica di front-end e in particolare di blocchi analogici come il compressore di dinamica. Sarà possibile valutare sul campo soluzioni alternative, quali appunto il compressore di dinamica e il "canale virtuale". Particolare attenzione sarà dedicata anche a caratterizzare le condizioni di rumore di fondo del cielo, che sono fondamentali nel definire le prestazioni di rumore dell'elettronica di front-end.

Tutta l'esperienza e le informazioni raccolte dal prototipo saranno di fondamentale importanza per la realizzazione del rivelatore completo.

### Pubblicazioni

1 - D. Camin, P.F. Manfredi, V. Speziali, V. Re, L. Ratti et al: "The Analog Signal Processor of the AUGER Fluorescence Detector Prototype", lavoro presentato a 8th Pisa Meeting on Advanced Detectors, Isola d'Elba, May 21- 27, 2000, in corso di pubblicazione su **Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Res.**

2 - P.F. Manfredi, M. Manghisoni, V. Re, L. Ratti: "A bilinear analog compressor to adapt the signal dynamic range in the AUGER fluorescence detector", lavoro presentato a 8th Pisa Meeting on Advanced Detectors, Isola d'Elba, May 21- 27, 2000, in corso di pubblicazione su **Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Res.**

Codice	Esperimento	Gruppo
	AUGER	2

<b>Struttura</b>
<b>PAVIA</b>

**PREVISIONE DI SPESA: PIANO FINANZIARIO LOCALE**  
**PER GLI ANNI DELLA DURATA DEL PROGETTO**

**In ML**

ANNI FINANZIARI	Miss. interno	Miss. estero	Mater. di cons.	Trasp.e Facch.	Spese Calcolo	Affitti e manut. appar.	Mat. inventar.	Costruz. apparati	TOTALE Competenza
2001	10	40	15				20		<b>85</b>
2002	10	60	15					150	<b>235</b>
2003	10	60	15					150	<b>235</b>
<b>TOTALI</b>	<b>30</b>	<b>160</b>	<b>45</b>				<b>20</b>	<b>300</b>	<b>555</b>

Note:

Osservazioni del Direttore della Struttura in merito alla disponibilità di personale e di attrezzature:

Nessuna

**Mod. EC. 3**

(a cura del responsabile locale)





Codice	Esperimento	Gruppo
	AUGER	2

<b>Struttura</b>
PAVIA

**Consuntivo anno 1999/2000**

<b>LAUREATI</b>		
Cognome e Nome	Titolo della Tesi	Sbocco professionale
Laurea in		
Laurea in		
Laurea in		
Laurea in		
Laurea in		
<b>DOTTORI di RICERCA</b>		
Dott in		
Dott in		
Dott in		
Dott in		
<b>PRESENTAZIONI A CONFERENZE SU INVITO E SEMINARI SIGNIFICATIVI</b>		
Relatore	Titolo	Conferenza o luogo

Codice	Esperimento	Gruppo
	AUGER	2

<b>Struttura</b>
<b>PAVIA</b>

**Consuntivo anno 1999/2000**

**SIGNIFICATIVE VARIAZIONI DI BILANCIO**

Capitolo	Variazione (ML)	Motivazione
Missioni Interne	_____	
Missioni Estere	_____	
Consumo	_____	
Trasporti e Facchinaggio	_____	
Spese Calcolo	_____	
Affitti e Manutenzioni	_____	
Materiale Inventariabile	_____	
Costruzione Apparati	_____	
Totale storni	_____	

**CONFERENZE, WORKSHOP e SCUOLE ORGANIZZATE in ITALIA**

Data	Titolo	Luogo

**SIGNIFICATIVE COMMESSE E RELATIVO IMPORTO**

ANAGRAFICA FORNITORE	DESCRIZIONE PRODOTTO O COMMESSA	IMPORTO (ML)

# ISTITUTO NAZIONALE DI FISICA NUCLEARE

Preventivo per l'anno **2001**

Codice	Esperimento	Gruppo
0734	BOREX	2

<b>Struttura</b>
<b>PAVIA</b>

Ricercatore  
responsabile locale: G.Cecchet

Rappresentante  
Nazionale: G. BELLINI

Struttura di  
appartenenza: MILANO

Posizione nell'I.N.F.N.: Incar. di Coll.

## INFORMAZIONI GENERALI

<b>Linea di ricerca</b>	neutrini solari
<b>Laboratorio ove si raccolgono i dati</b>	L.N.G.S.
<b>Sigla dello esperimento assegnata dal Laboratorio</b>	BOREX
<b>Acceleratore usato</b>	
<b>Fascio (sigla e caratteristiche)</b>	
<b>Processo fisico studiato</b>	studio dei neutrini solari da BeZ, pB e CNO tramite scattering elastico su elettroni studio del mom mag. del neutrino da sorgenti rivelazione di antineutrini terrestri e da reattore
<b>Apparato strumentale utilizzato</b>	scintillatore liquido
<b>Sezioni partecipanti all'esperimento</b>	GE, LNGS, MI, PV, PG
<b>Istituzioni esterne all'Ente partecipanti</b>	
<b>Durata esperimento</b>	4 anni dalla presa dati

**Mod. EC. 1**

(a cura del responsabile locale)

Codice	Esperimento	Gruppo
0734	BOREX	2

<b>Struttura</b>
<b>PAVIA</b>

**PREVENTIVO LOCALE DI SPESA PER L'ANNO 2001**
**In ML**

VOCI DI SPESA	DESCRIZIONE DELLA SPESA	IMPORTI		A cura della Comm.ne Scientifica Nazionale
		Parziali	Totale Compet.	
Viaggi e missioni	Interno	3 mesi	18	<b>18</b>
	Estero	meetings collaborazione	8	<b>8</b>
Materiale Consumo	movim.in loco di IsoTanks azoto flussaggio IsoTanks manutenzione Isotanks metabolismo	10 6 3 5	<b>24</b>	
Trasp.e facch.	trasporto lab.interni-esterni	2	<b>2</b>	
Spese Calcolo	Consorzio    Ore CPU    Spazio Disco    Cassette    Altro			
Affitti e manutenz. apparecchiati.				
Materiale Inventariabile				
Costruzione Apparati	costruzione flussimetri IsoTank	2	<b>2</b>	
<b>Totale</b>			<b>54</b>	
Note:				



**ISTITUTO NAZIONALE DI FISICA NUCLEARE**

Preventivo per l'anno **2001**

Codice	Esperimento	Gruppo
0734	BOREX	2

<b>Struttura</b>
<b>PAVIA</b>

**ALLEGATO MODELLO EC 2**

Codice	Esperimento	Gruppo
0734	BOREX	2

<b>Struttura</b>
<b>PAVIA</b>

**PREVISIONE DI SPESA: PIANO FINANZIARIO LOCALE**  
**PER GLI ANNI DELLA DURATA DEL PROGETTO**

**In ML**

ANNI FINANZIARI	Miss. interno	Miss. estero	Mater. di cons.	Trasp.e Facch.	Spese Calcolo	Affitti e manut. appar.	Mat. inventar.	Costruz. apparati	TOTALE Competenza
2001	18	8	24	2				2	<b>54</b>
2002	20	8	20	2					<b>50</b>
2003	20	8	20	2					<b>50</b>
<b>TOTALI</b>	<b>58</b>	<b>24</b>	<b>64</b>	<b>6</b>				<b>2</b>	<b>154</b>

Note:

Osservazioni del Direttore della Struttura in merito alla disponibilità di personale e di attrezzature:

Meccanici: assistenza normale  
 Elettronici: max 1 m.u.

**Mod. EC. 3**

(a cura del responsabile locale)





Codice	Esperimento	Gruppo
0734	BOREX	2

<b>Struttura</b>
<b>PAVIA</b>

**Consuntivo anno 1999/2000**

<b>LAUREATI</b>		
Cognome e Nome	Titolo della Tesi	Sbocco professionale
Laurea in		
Laurea in		
Laurea in		
Laurea in		
Laurea in		
<b>DOTTORI di RICERCA</b>		
Dott in		
Dott in		
Dott in		
Dott in		
<b>PRESENTAZIONI A CONFERENZE SU INVITO E SEMINARI SIGNIFICATIVI</b>		
Relatore	Titolo	Conferenza o luogo

Codice	Esperimento	Gruppo
0734	BOREX	2

<b>Struttura</b>
<b>PAVIA</b>

**Consuntivo anno 1999/2000**

**SIGNIFICATIVE VARIAZIONI DI BILANCIO**

Capitolo	Variazione (ML)	Motivazione
Missioni Interne	_____	
Missioni Estere	_____	
Consumo	_____ -34,5	
Trasporti e Facchinaggio	_____ -228	
Spese Calcolo	_____	
Affitti e Manutenzioni	_____	
Materiale Inventariabile	_____ +26	
Costruzione Apparati	_____ +236,5	
Totale storni	_____ 0	

**CONFERENZE, WORKSHOP e SCUOLE ORGANIZZATE in ITALIA**

Data	Titolo	Luogo

**SIGNIFICATIVE COMMESSE E RELATIVO IMPORTO**

ANAGRAFICA FORNITORE	DESCRIZIONE PRODOTTO O COMMESSA	IMPORTO (ML)
Cobra Containers	isotanks	220

**ISTITUTO NAZIONALE DI FISICA NUCLEARE**Preventivo per l'anno **2001**

Codice	Esperimento	Gruppo
0014	ICARUS/ICANO	2

<b>Struttura</b>
<b>PAVIA</b>

Ricercatore  
responsabile locale: E.Calligarich**Rappresentante  
Nazionale:** C. RUBBIAStruttura di  
appartenenza: Pavia

Posizione nell'I.N.F.N.: inc.ric.

**INFORMAZIONI GENERALI**

<b>Linea di ricerca</b>	non conservazione del numero barionico. Fisica dei neutrini
<b>Laboratorio ove si raccolgono i dati</b>	CERN + LNGS
<b>Sigla dello esperimento assegnata dal Laboratorio</b>	ICARUS
<b>Acceleratore usato</b>	
<b>Fascio (sigla e caratteristiche)</b>	
<b>Processo fisico studiato</b>	Decadimento del protone oscillazione dei neutrini neutrini solari
<b>Apparato strumentale utilizzato</b>	rivelatore di tracce omogeneo, costituito da una camera a proiezione temporale (TCP) ad Argon liquido
<b>Sezioni partecipanti all'esperimento</b>	AQ, LNF, MI, PD, PV, LNGS,PI
<b>Istituzioni esterne all'Ente partecipanti</b>	CERN, IHEP PECHINO, UCLA, ETH ZURICH
<b>Durata esperimento</b>	> 10 ANNI

Codice	Esperimento	Gruppo
0014	ICARUS	2

<b>Struttura</b>
<b>PAVIA</b>

**PREVENTIVO LOCALE DI SPESA PER L'ANNO 2001**

In ML

VOCI DI SPESA	DESCRIZIONE DELLA SPESA					IMPORTI		A cura della Comm.ne Scientifica Nazionale	
						Parziali	Totale Compet.		
Viaggi e missioni	Interno	attività al LNGS					60	<b>85</b>	
		meeting di collaborazione e incontri con i collaboratori					25		
Estero	meetings e contatti con collaboratori esteri					40	<b>100</b>		
	viaggi a Pechino per filatura presso IHEP					30			
	viaggi Spokesman					30			
Materiale Consumo	rigenerazione filtri					100	<b>540</b>		
	smontaggio T600					50			
	recupero Argon primo semi-modulo					150			
	messa in servizio riliquefattore ENEA					200			
	liquidi criogenici e consumi per attività di laboratorio					40			
Trasp.e facch.	smontaggio T600 (movimentazione e stoccaggio componenti)					78	<b>150</b>		
	trasporto 600 ton al LNGS					72			
Spese Calcolo	Consorzio	Ore CPU	Spazio Disco	Cassette	Altro				
Affitti e manufenz. apparecchiati.									
Materiale Inventariabile	strumentazione di laboratorio					60	<b>240</b>		
	sensoristica e strumentazione T600					40			
	2 workstations UNIX					30			
	mass storage 100 Gbyte					40			
	unita' DLT					20			
	switch giga ethernet					50			
Costruzione Apparati	realizzazione schermo neutroni:tubi politene+acido borico					860	<b>1770</b>		
	rivelatore luce di scintillazione per secondo semimodulo					400			
	isolatori in PEEK per sistema alte tensioni					510			
<b>Totale</b>						<b>2885</b>			
Note:									



Codice	Esperimento	Gruppo
0014	ICARUS	2

<b>Struttura</b>
<b>PAVIA</b>

**ALLEGATO MODELLO EC 2**

Codice	Esperimento	Gruppo
0014	ICARUS/ICAN	2

<b>Struttura</b>
<b>PAVIA</b>

**PREVISIONE DI SPESA: PIANO FINANZIARIO LOCALE**

**PER GLI ANNI DELLA DURATA DEL PROGETTO**

**In ML**

ANNI FINANZIARI	Miss. interno	Miss. estero	Mater. di cons.	Trasp.e Facch.	Spese Calcolo	Affitti e manut. appar.	Mat. inventar.	Costruz. apparati	TOTALE Competenza
2001	85	100	540	150			240	1770	<b>2885</b>
2002	60	50	250				50		<b>410</b>
2003	40	60	150				50		<b>300</b>
<b>TOTALI</b>	<b>185</b>	<b>210</b>	<b>940</b>	<b>150</b>			<b>340</b>	<b>1770</b>	<b>3595</b>

Note:

Osservazioni del Direttore della Struttura in merito alla disponibilità di personale e di attrezzature:  
 Meccanici: 16 m.u. + 2 art. 15 dedicati  
 Elettronici: 4 m.u.

**Mod. EC. 3**

(a cura del responsabile locale)

Codice	Esperimento	Gruppo
0014	ICARUS/ICAN OF	2

<b>Struttura</b>
<b>PAVIA</b>

**PREVENTIVO GLOBALE PER L'ANNO 2001**

In ML

Struttura	A CARICO DELL' I.N.F.N.									A carico di altri Enti
	Miss. interno	Miss. estero	Mater. di cons.	Trasp. e Facch.	Spese Calc.	Affitti e Manut. Appar.	Mater. inventar.	Costruz. appar.	TOTALE Compet.	
L'AQUILA	55	35	70				25	20	<b>205</b>	<b>0</b>
L.N.F.	10	35	120				20		<b>185</b>	<b>0</b>
L.N.G.S.	35	25	800	70			360		<b>1290</b>	<b>0</b>
MILANO	25	15	5				8		<b>53</b>	<b>0</b>
PADOVA	40	150	100	25		90	90	857	<b>1352</b>	<b>0</b>
PAVIA	85	100	540	150			240	1770	<b>2885</b>	<b>0</b>
PISA DOT	25	35	20	5			50		<b>135</b>	<b>0</b>
<b>TOTALI</b>	<b>275</b>	<b>395</b>	<b>1655</b>	<b>250</b>		<b>90</b>	<b>793</b>	<b>2647</b>	<b>6105</b>	<b>0</b>

 NB. La colonna **A carico di altri Enti** deve essere compilata **obbligatoriamente**

Note:

**ISTITUTO NAZIONALE DI FISICA NUCLEARE**Preventivo per l'anno **2001**

Codice	Esperimento	Gruppo
0014	ICARUS/ICAN OF	2

<b>Struttura</b>
<b>PAVIA</b>

**A) ATTIVITA' SVOLTA NELL'ANNO 2000**

VEDI RELAZIONE ALLEGATA

**B) ATTIVITA' PREVISTA PER L'ANNO 2001**

VEDI RELAZIONE ALLEGATA

**C) FINANZIAMENTI GLOBALI AVUTI NEGLI ANNI PRECEDENTI**

In ML

Anno Finanziario	Missioni interno	Missioni estero	Materiale di consumo	Trasp. e Facch.	Spese Calcolo	Affitti e Manut. Apparec.	Materiale inventar.	Costruz. apparati	TOTALE
1985-1992	557	5223	5644	160			2064		<b>13648</b>
1993	40	1080	1000				420		<b>2540</b>
1994	70	580	470				145	200	<b>1465</b>
1995	55	515	1210	10			450	100	<b>2340</b>
1996	76	498	1741				290	634	<b>3239</b>
1997	230	437	897	10			1550	3674	<b>6798</b>
1998	230	193	508	80			527	2556	<b>4094</b>
1999	198	200	450	90			428	2520	<b>3886</b>
2000	202	190	1252	112			884	1134	<b>3774</b>
<b>TOTALE</b>	<b>1658</b>	<b>8916</b>	<b>13172</b>	<b>462</b>			<b>6758</b>	<b>10818</b>	<b>41784</b>

**Mod. EC. 5**

(a cura del rappresentante nazionale)

## ICARUS. Sommario dell'attività del 2° semestre 1999 / 1° semestre 2000

### 1) Criogenia.

L'assemblaggio del corpo freddo del primo semi-modulo del T600 e' stato completato nel settembre 1999. Sono seguiti i collaudi per:

- a) la tenuta all'elio di tutte le parti saldate;
- b) la tenuta meccanica delle pareti del contenitore sia sotto il carico del vuoto che di una sovrappressione interna di 500 mbar.

La tenuta all'elio di ogni singola saldatura e' stata verificata mediante la messa in vuoto del volume interno (intercapedine) delle pareti stesse che, ricordiamo, sono costituite da pannelli di nido d'ape d'alluminio e che, in questo contesto, sono assimilabili a degli scatolati a tenuta stagna. Al termine delle prove la tenuta delle singole saldature era al di sotto del limite di sensibilita' del cercafughe nelle condizioni di misura ( $10^{-6}$  mbar lt sec<sup>-1</sup>), ampiamente entro le specifiche di progetto ( $< 10^{-5}$  mbar lt sec<sup>-1</sup>).

In seguito e' stata verificata la tenuta meccanica del contenitore nelle condizioni di carico massimo previste dal progetto (vuoto). Nella prima fase dei collaudi, al 90% del carico massimo, e' stata individuata un'instabilita' locale su uno dei pannelli delle pareti laterali. L'anomalia era dovuta alla mancanza di un'adeguata continuita' tra il nido d'ape di alluminio ed i profili estrusi che contornano ciascun pannello. Prove effettuate in laboratorio su un pannello eseguito a regola d'arte avevano dimostrato la corretta resistenza meccanica per almeno 25 cicli di carico. L'impossibilita' di verificare in maniera non distruttiva l'occorrenza del difetto in altri pannelli ha convinto della necessita' di rinforzare tutti i pannelli del corpo freddo nelle zone di massimo taglio (regioni in prossimita' degli spigoli del contenitore) con piastre incollate e imbullonate di adeguato spessore (10 mm). Sempre nel corso dei primi collaudi si e' individuata una fragilita' in alcuni particolari utilizzati per il posizionamento e l'allineamento delle strutture del rivelatore interno (blocchi di fusione in alluminio). Le fusioni sono state completamente sostituite con degli elementi in laminato. Le modifiche hanno richiesto circa 3 mesi di lavoro addizionale. L'ultima fase del collaudo e' avvenuta nel febbraio 2000. All'interno del contenitore e' stato raggiunto un vuoto di circa  $10^{-4}$  mbar limitato dal degasaggio delle pareti (prevalentemente acqua). Non e' stata riscontrata nessuna anomalia di carattere meccanico. L'inflessione massima delle pareti del contenitore e' stata di circa 29 mm.

Il corpo freddo del primo semi-modulo e' stato consegnato presso la sala di assemblaggio a Pavia alla fine di febbraio 2000.

I supporti e la parte inferiore della coibentazione erano stati preventivamente assemblati nel corso del mese di settembre 1999. Il corpo freddo e' stato quindi posizionato sulla coibentazione e collegato con la camera bianca per l'installazione del rivelatore interno.

A partire dal marzo 2000 e' iniziata la realizzazione del corpo freddo per il secondo semi-modulo. Le modifiche apportate in fase di collaudo al primo (rinforzo dei pannelli, sostituzione degli elementi in fusione) sono state applicate anche al secondo direttamente durante la costruzione. Si e' altresì deciso di sostituire il circuito di raffreddamento interno alle pareti con uno schermo esterno sempre raffreddato con azoto liquido in pressione. Questo per

sperimentare quanto prima la soluzione proposta per il modulo di ICANOE. Nel giugno 2000 e' stato completato l'assemblaggio del contenitore, con l'esclusione del succitato schermo.

A partire dal maggio 2000 e' iniziato l'assemblaggio della parte rimanente della coibentazione nella sala sperimentale di Pavia per le pareti del semi-modulo ivi presente.

Gli impianti di raffreddamento e di purificazione ed i relativi circuiti esterni sono in fase di avanzata realizzazione.

## 2) Rivelatore interno.

L'assemblaggio del rivelatore interno e' iniziato nel gennaio 2000. Le operazioni sono state rallentate dalla presenza di alcuni difetti di lavorazione in alcuni elementi delle strutture di supporto che ne hanno reso necessario lo smontaggio e la sostituzione. Al giugno 2000 le strutture di supporto per il primo semi-modulo sono state completamente assemblate, inserite nel corpo freddo ed allineate secondo le specifiche.

La produzione dei moduli filati e' proseguita secondo i ritmi gia' a suo tempo dichiarati ( 300 fili al giorno). La velocita' a regime della filatura e' risultata inferiore a quanto inizialmente previsto, questo implica un impegno del personale impiegato nelle operazioni che si estendera' a tutto il 2000. All'inizio del 2000 e' stato messo in funzione un secondo tavolo di filatura con alcune migliorie ed un grado di automazione piu' elevato. Il primo tavolo e' stato destinato alla produzione dei fili orizzontali da 9 m e di quelli, a lunghezza variabile, per le regioni di bordo delle camere. A maggio 2000 e' stata completata la produzione dei fili per il primo semi-modulo ed e' iniziata quella per il secondo.

## 3) Sistema delle alte tensioni.

All'inizio del 2000 si e' riscontrato che la contaminazione radioattiva degli elementi in vetronite che fungono da isolatori per il sistema delle alte tensioni per il drift eccede di circa 2 ordini di grandezza le richieste dell'esperienza per la rivelazione dei neutrini solari. In accordo con il parere dei referee dell'esperienza si e' stabilito di sostituire immediatamente gli elementi di supporto per il catodo con altri in PEEK naturale. La sostituzione della parte rimanente degli isolatori avverra', previo parere favorevole dei referee, al completamento dei test di funzionamento del rivelatore.

E' stato completato l'assemblaggio del passante alta tensione con isolante in polietilene (lunghezza isolante = 1m). Il passante e' stato provato, in un criostato di test, fino a 150 kV in azoto liquido e in argon liquido. Per verificare le qualità di isolamento elettrico e' stato sviluppato un rivelatore di correnti di perdita. Con questo dispositivo e' stato possibile individuare la presenza di rumore associato a correnti di perdita nel connettore passante-cavo HV per l'umidità che si propaga attraverso gli interstizi tra il conduttore centrale del cavo e isolante e tendente a raccogliersi nella parte fredda (sempre all'esterno). La corrente si riduce rapidamente a valori non osservabili, con amplificatori uguali a quelli dell'elettronica di lettura dei fili, flussando azoto gassoso nel connettore (un circuito di ingresso gas era stato appositamente previsto). Il passante e' stato montato nel modulo 10m<sup>3</sup> (incluso il sistema flussaggio azoto) e sta funzionando senza problemi. Per verificare correttezza della scelta dei resistori da usarsi nel

partitore di alta tensione che alimenta il sistema di elettrodi di campo attorno al volume di deriva del T600, è stato fatto un test di tenuta a 25 kV, in argon liquido, su una campionatura significativa (i resistori sono previsti operare a 2.5 kV).

E' stato costruito e assemblato il passante finale adatto al modulo T600 (lunghezza isolante 1.3 m). Oltre alla maggior lunghezza del passante (per adattarsi allo spessore maggiorato dello starto di isolamento termico del T600), il suo progetto include alcune modifiche, rispetto all'esemplare del 10m<sup>3</sup>, atte ad assicurare l'ermeticità del cavo nel connettore per il passante.

#### 4) Sistema di PMTs per la rivelazione della luce di scintillazione.

La sperimentazione sull'utilizzo di fotomoltiplicatori immersi in argon liquido per la rivelazione della luce di scintillazione applicata alla misura del T<sub>0</sub> degli eventi e' stata finalizzata all'implementazione del sistema per il T600.

In particolare sono state completate le seguenti attività:

- a) installazione di alcuni fototubi con varie caratteristiche nel prototipo da 10 m<sup>3</sup>; questi sono stati utilizzati per fornire un segnale di trigger interno per l'acquisizione degli eventi;
- b) completa caratterizzazione, alla temperatura dell'argon liquido, di alcuni fotomoltiplicatori con trattamento speciale per il funzionamento a temperature criogeniche con diametri fino a 20 cm;
- c) studio, caratterizzazione e prove a temperature criogeniche del deposito di spostatori d'onda (TPB e salicilato sodico) sulle finestre in vetro dei fotomoltiplicatori;
- d) studio di partitori per l'alimentazione dei fototubi che funzionino alla temperatura dell'argon liquido.

Sono stati definitivamente scelti dei fotomoltiplicatori della ditta EMI da 20 cm di diametro dello stesso tipo di quelli utilizzati anche dall'esperimento BOREXINO. Un set di 20 fotomoltiplicatori verra' installato nel primo semi-modulo del T600. Si tratta di un insieme minimale dimensionato per la rivelazione di eventi di ionizzazione fino ad una soglia di circa 10 MeV.

#### 5) Elettronica e DAQ.

Le prime schede di front-end del lotto di produzione sono state consegnate nella seconda meta' del 2000. Le schede sono state installate sul prototipo da 50 litri nella configurazione prevista per il T600 (crates, alimentatori, shielding). E' seguita una fase di completa caratterizzazione. Si e' identificata la necessita' di apportare alcune modifiche sia alla parte analogica (guadagni) che alla parte digitale (scrittura del tempo del cluster in uscita dal chip DAEDALUS). Le modifiche sono state immediatamente introdotte nella catena di produzione. Contestualmente e' stata provata una prima versione del programma di readout. A partire dalla versione per la lettura delle camere a fili e' stata anche sviluppata una scheda per la lettura, lo shaping e la digitizzazione dei segnali in uscita dai fototubi utilizzati per la rivelazione della luce di scintillazione dell'argon.

Un set di circa 1000 canali, montati su 4 racks del tipo previsto per il T600, e' stato successivamente installato sul prototipo da 10 m<sup>3</sup> dove e' stato utilizzato per la lettura dei segnali prodotti dal modulo di prova delle camere a fili.

La produzione dell'elettronica di lettura per il T600 e dei rack procede secondo il programma. Il completamento della fornitura per il primo semi-modulo e' previsto per il settembre 2000.

#### 6) Software.

Sono stati studiati i criteri per il riconoscimento delle interazioni di neutrini tau (da fascio e atmosferici) con simulazione completa degli eventi nel rivelatore.

E' stato pubblicato il primo articolo sul calcolo 3-dimensionale del flusso di neutrini atmosferici e successive revisioni.

Parte dell'attivita' e' stata dedicata alla preparazione della proposta ICANOE e dei relativi addendum. Il lavoro ha comportato la simulazione della risposta del rivelatore al fascio CNGS e ai neutrini atmosferici per vari set di parametri delle oscillazioni di neutrino e l'analisi degli eventi, allo scopo di definire il disegno del rivelatore e in particolare la sua capacita' di rivelazione del nutau.

E' stata implementata la simulazione del calorimetro solido nel framework di FLUKA

E' stata completata una serie di simulazioni ed analisi di neutrini solari (articolo accettato da NIM).

E' stato avviato uno studio sulla possibilita' di riconoscere eventi di neutrini solari di assorbimento e scattering con tecnica per la deconvoluzione dello spettro degli elettroni prodotti nel secondo modo

- Lavorato al progetto dello schermo di neutroni per T600

#### 7) Schermo di neutroni.

Lo schermo dei neutroni e' stato parzialmente progettato. Parte del materiale (quello relativo alla parte inferiore dello schermo) e' stato acquistato e consegnato presso i Laboratori Nazionali del Gran Sasso.

Sono state anche eseguite ulteriori misure dello spettro dei neutroni in Sala C con l'idea di progettare un sistema di monitoraggio permanente del campo neutronico e gamma in un laboratorio underground.

#### 8) Attività di R&D.

Le TPC presenti al cern sono state usate per studiare diversi problemi ancora aperti:

- a) l'ottimizzazione dell'elettronica di front-end per la configurazione del read out di tre piani di fili;
- b) la prima rivelazione di tracce con piu' di 140 cm di deriva;
- c) la continuazione dell'analisi dei dati presi al cern con la tpc di 50l durante i runs di neutrino 1997 e 1998

In parallelo con questa ricerca una frazione degli sforzi e' stata dedicata a fare tests con fotocatodi di CSI per la determinazione del  $t_0$ .

Abbiamo anche studiato i muoni che attraversano la camera per investigare la possibilita' di identificare il verso di m.i.p. solo tenendo conto dell'orientazione dei delta rays. Con l'analisi abbiamo dimostrato sperimentalmente che almeno 2 delta rays per traccia di due metri possono essere ricostruiti; questo implica che il verso di una traccia di 2 m puo' essere identificato al 99%.

Abbiamo anche fatto alcuni tests per studiare le proprieta' dell'argon liquido e dello xenon liquido come rivelatori di dark matter.



Nel corso del I semestre 2000 e' stata completata la realizzazione della meccanica di 20 monitor di purezza (presso una ditta esterna, in collaborazione con l'Officina Meccanica del LNGS) previsti per l'installazione nei due semi-moduli del T600. Sono stati inoltre effettuati test conclusivi (in collaborazione col Dip.to di Scienza dei Materiali di Lecce) dei materiali a semiconduttore, che costituiranno l'elemento fotocatodico per l'estrazione di elettroni nei monitor. I primi moduli sono stati quindi assemblati e testati presso il laboratorio ICARUS per test criogenici (LACF) in funzione presso i LNGS. L'installazione di tali moduli nel primo semi-modulo del T600 e' previsto a breve, in accordo con la tabella di montaggio del rivelatore interno.

#### 9) Sperimentazione con il prototipo da 10m<sup>3</sup>.

Nel gennaio 2000 e' stato completato la reinstallazione del modulo 10m<sup>3</sup> presso una delle sale in superficie dei Laboratori Nazionali del Gran Sasso e, in ottemperanza alla richiesta dei Responsabili Sicurezze del GS, e' stato realizzato un piano di sicurezza per l'avvio e la fase di funzionamento del modulo stesso.

A seguire e' stata attuata la procedura di raffreddamento e quindi di riempimento in Argon liquido. A partire dalla meta' di Febbraio sino alla fine di maggio 2000, il modulo 10m<sup>3</sup> e' stato mantenuto in run con trigger di cosmici passanti. E' stata accumulata una statistica di alcune migliaia di eventi in diverse condizioni sperimentali: al variare del campo elettrico di drift, con diverse configurazioni del sistema di trigger (incluso un trigger su luce di scintillazione mediante PMT immersi in LAr) e con differenti configurazioni del sistema di acquisizione.

Approfonditi test del sistema criogenico su tempi lunghi hanno consentito di raggiungere importanti conclusioni sulla determinazione dei migliori parametri di funzionamento e di accrescere l'esperienza locale sulla gestione dell'impianto, in vista dell'installazione del modulo T600.

L'elettronica di read-out, prima fornitura dell'elettronica del T600, e' stata installata e testata nei suoi parametri fondamentali (per es. S/N) fornendo indicazioni di corretto funzionamento.

Risultati preliminari sui risultati sperimentali sono gia' stati presentati a due conferenze internazionali. Il completamento dell'analisi dati e' in corso e rappresenta uno dei principali obiettivi dell'attivita' del secondo semestre 2000.

#### 10) Sviluppo progetto ICANOE

A partire dalla meta' del 1999 la Collaborazione ICARUS si e' unita alla Collaborazione NOE nell'ambito della nuova proposta di esperimento ICANOE. Nella seconda meta' del 1999 ci si e' dedicati alla stesura del proposal. Il programma sperimentale riguarda principalmente lo studio delle oscillazioni di neutrini sia da fascio su lunga base che atmosferici con i seguenti scopi:

- a) identificazione diretta delle oscillazioni mediante comparsa del  $\bar{\nu}_e$  e/o del  $\nu_e$  nel fascio;
- b) verifica del fenomeno delle oscillazioni nel campione dei neutrini atmosferici mediante analisi del rapporto L/E e dei rapporti tra le rate nei vari canali di neutrino ed antineutrino sia elettronico che muonico ed anche selezione di eventi di  $\bar{\nu}_e$  nel campione degli atmosferici mediante selezioni cinematiche;
- c) determinazione dei parametri di oscillazione mediante analisi combinata dei dati di neutrini da fascio ed atmosferici.

Il rivelatore, da collocarsi nella sala B dei Laboratori sotterranei del Gran Sasso, e' costituito da supermoduli ibridi (fino a 4) composti da una TPC ad argon liquido e da un calorimetro a fibre scintillanti e ferro megnetizzato per l'analisi del momento dei  $\mu$ .

La proposta dell'esperimento e' stata presentata al SPSC ed al Comitato Scientifico dei Laboratori Nazionali del Gran Sasso nel settembre 1999. Successivamente la proposta e' stata presentata anche alla Commissione Nazionale Scientifica II dell'INFN. Il proposal scientifico e' stato successivamente ampliato con addendum riguardanti uno studio preliminare sull'ingegnerizzazione dei supermoduli ed evoluzioni delle potenzialita' di analisi del fenomeno delle oscillazioni.

La discussione per l'approvazione definitiva della proposta da parte del SPSC e del CNGS e' prevista per il settembre 2000.

## **ICARUS. Sommario dell'attività prevista per il 2° semestre 2000 e il 2001**

### **1) Criogenia.**

Il secondo semi-modulo verra' consegnato ed installato presso la sala sperimentale di Pavia nel luglio 2000. Entro l'ottobre 2000 verra' completata l'installazione della coibentazione e dei circuiti ausiliari (circolazione dell'azoto, sistemi di purificazione e ricircolo dell'argon). La messa in funzione dell'impianto e' prevista per l'ottobre 2000.

Al termine delle prove del rivelatore l'impianto verra' disassemblato. Nella seconda meta' del 2000, al termine dell'assemblaggio del rivelatore interno del secondo semi-modulo il criostato verra' trasportato presso i laboratori sotterranei del Gran Sasso dove verra' reinstallato e nuovamente messo in funzione.

Preventivamente, a partire dalla prima meta' del 2000, si provvedera' alla realizzazione delle fondazioni antisismiche nei laboratori sotterranei ed all'installazione dell'impiantistica di servizio (serbatoi di stoccaggio e sistemi di trasferimento dei liquidi criogenici).

### **2) Rivelatore interno.**

L'assemblaggio del rivelatore interno per il primo semi-modulo verra' completato nel corso del settembre 2000. Seguirà la messa in funzione dell'apparato e circa 4 mesi di test (presa dati con raggi cosmici).

Al termine dei test il primo semi-modulo verra' riaperto e ricollegato con la camera bianca per la sostituzione degli isolatori in vetronite dei race-tracks. Eseguita questa operazione il semi-modulo verra' definitivamente chiuso. Contemporaneamente si procedera' alla rimozione dei giunti flangiati, al parziale scablaggio ed alla predisposizione per il trasporto.

Si inizierà quindi l'assemblaggio del rivelatore interno per il secondo semi-modulo; questo richiederà circa 4 mesi. Al termine delle operazioni, nella seconda meta' del 2000, entrambi i semi-moduli verranno trasportati presso i laboratori sotterranei del Gran Sasso dove si procedera' all'installazione definitiva.

### **3) Sistema delle alte tensioni.**

Il passante di alta tensione per il T600, realizzato nella prima meta' del 2000, sarà provato nella seconda metà 2000 e quindi montato sul primo semi-modulo del T600. Dopo aver montato il divisore di alta tensione si prevede un test a tensioni moderate (circa 5kV) a temperatura ambiente e in aria, per verificare il corretto assemblaggio. Possibilmente in queste condizioni si verificherà, nella lettura di almeno qualche gruppo di fili delle camere, l'assenza di rumore indotto dall'alta tensione.

Dopo queste verifiche verrà costruito e provato il passante alta tensione per il secondo semi-modulo del T600.

Oltre all'attività sull'alta tensione e su altri componenti e aspetti dello sviluppo e ottimizzazione del rivelatore a LArTPC (passanti di segnali, modifiche alla 50L, ...) per la seconda parte del 2000 e nel 2001, ci si dedicherà alla messa a punto

(HV, riduzione rumore, ...) del T600, nelle condizioni finali, prima a Pavia e in seguito al Gran Sasso.

#### 4) Sistema di PMTs per la rivelazione della luce di scintillazione.

Nel corso dell'assemblaggio del rivelatore interno per il secondo semi-modulo, verra' installato un sistema completo di 60 PMT dello stesso tipo di quelli installati nel primo semi-modulo. Il sistema consentira' la rivelazione del  $T_0$  degli eventi di ionizzazione fino ad una soglia minima di circa 5 MeV.

#### 5) Elettronica e DAQ.

Entro il settembre 2000 saranno consegnati tutti i canali di elettronica, completi di racks/armadi di schermaggio, schede di controllo per il primo semi-modulo del T600. La produzione per il secondo semi-modulo verra' completata nel corso della prima meta' del 2001.

Il sistema di acquisizione sara' implementato in occasione del test del primo semi-modulo a Pavia in una versione adattata alle condizioni (flusso dati) di run in superficie. Nel corso del 2001 si provvedera' all'implementazione definitiva per il run nei laboratori sotterranei del Gran Sasso.

#### 6) Software.

Verranno sviluppate le simulazioni complete di eventi nel rivelatore con anche digitizzazione della deposizione di carica sui fili e simulazione della catena elettronica.

Si procedera' allo sviluppo del software per il riconoscimento e ricostruzione 3-dimensionale degli eventi in Argon Liquido sul range completo di energie (dai neutrini solari ai neutrini da fascio).

Infine, verra' finalizzato il calcolo del flusso di neutrini atmosferici

#### 7) Schermo di neutroni.

Nel secondo semestre del 1999 verra' messo a punto il disegno dettagliato dello schermo di neutroni, costituito da tubi di politene riempiti con acido borico e della struttura di sostegno.

Nei primi mesi dell'anno 2000 la parte inferiore dello schermo verra' montata in Sala C dei LNGS, in attesa dell'arrivo del T600. Nel frattempo si procedera' all'ordine e alla costruzione delle altre pareti dello schermo (che verranno montate in galleria alla fine dell'anno 2000 o all'inizio dell'anno 2001).

#### 8) Attività di R&D.

Verranno effettuati i test finali con i fotocatodi allo CSI immersi in Argon liquido.

Si procedera' allo studio ed alla realizzazione di camere a multilayer per la lettura delle zone esterne al volume di drift.

Continueranno le attivita' di ricerca e sviluppo per l'evoluzione dei rivelatori criogenici

#### 9) Sviluppo progetto ICANOE

Previa approvazione dei Comitati scientifici del SPS e del Gran Sasso, si procedera' all'ingegnerizzazione completa del Supermodulo ICANOE. Quest'attivita' e' prevista essere completata entro la meta' del 2001.

Codice	Esperimento	Gruppo
0014	ICARUS/ICAN OF	2

<b>Struttura</b>
<b>PAVIA</b>

## PREVISIONE DI SPESA

### Piano finanziario globale di spesa

**In ML**

ANNI FINANZIARI	Miss. interno	Miss. estero	Materiale di cons.	Trasp.e Facch.	Spese Calcolo	Affitti e manut. appar.	Mat. inventar.	Costruz. apparati	TOTALE Competenza
2001	275	395	1655	250		90	793	2647	<b>6105</b>
2002	450	230	1200	40			260	300	<b>2480</b>
2003	450	200	1200				100		<b>1950</b>
<b>TOTALI</b>	<b>1175</b>	<b>825</b>	<b>4055</b>	<b>290</b>		<b>90</b>	<b>1153</b>	<b>2947</b>	<b>10535</b>

Note:





Codice	Esperimento	Gruppo
0014	ICARUS	2

<b>Struttura</b>
<b>PAVIA</b>

## REFEREES DEL PROGETTO

Cognome e Nome	Argomento
GIANNINI Gianrossano	valutazione globale dell'esperimento
MARINI Alessandro	valutazione globale dell'esperimento
MENZONE Alessandro	valutazione globale dell'esperimento
LEFRANCOIS Jacques	valutazione globale dell'esperimento
PANMAN Jaap	valutazione globale dell'esperimento
RISTORI Luciano	valutazione globale dell'esperimento

## MILESTONES PROPOSTE PER IL 2001

Data completamento	Descrizione
30-03-2001	test completo di funzionaità del primo-semimodulo di Icarus T600
30-09-2001	assemblaggio secondo semi-modulo
30-07-2001	opere civili ed installazione impianti ausiliari nei laboratori sotterranei del Gran Sasso
31-12-2001	installazione modulo T600 nei laboratori sotterraei del Gran Sasso
30-10-2002	progetto esecutivo supermodulo ICANOE

## COMPETITIVITA' INTERNAZIONALE

Il progetto è in competizione con il programma americano e quello giapponese per la ricerca di oscillazioni di neutrini su lunga base. In questo contesto i punti di forza del programma di ricerca sono la dimostrazione diretta del fenomeno delle oscillazioni mediante identificazione del neutrino del tau e dell'elettrone, l'analisi combinata dei dati prodotti dai neutrini del fascio e di quelli provenienti da neutrini atmosferici, la possibilità di estendere progressivamente la sensibilità alle oscillazioni con l'aggiunta di nuovi supermoduli.

## LEADERSHIPS NEL PROGETTO

Cognome e Nome	Funzioni svolte
RUBBIA Carlo	spokesman della collaborazione
CALLIGARICH Elio	technical manager del progetto



Codice	Esperimento	Gruppo
0014	ICARUS	2

<b>Struttura</b>
<b>PAVIA</b>

**Consuntivo anno 1999/2000**

<b>LAUREATI</b>		
Cognome e Nome	Titolo della Tesi	Sbocco professionale
Laurea in		
Laurea in		
Laurea in		
Laurea in		
Laurea in		
<b>DOTTORI di RICERCA</b>		
Dott in		
Dott in		
Dott in		
Dott in		
<b>PRESENTAZIONI A CONFERENZE SU INVITO E SEMINARI SIGNIFICATIVI</b>		
Relatore	Titolo	Conferenza o luogo
VIGNOLI Chiara	Icarus 600 ton: a status report	Neutrino and AstroParticle Physics - San Miniato
MONTANARI Claudio	The Icarus LAr TPC: High Precision Imaging and Calorimetry for large Underground Detectors	Calorimetry in High Energy Physics - Lisbona

Codice	Esperimento	Gruppo
0014	ICARUS	2

<b>Struttura</b>
<b>PAVIA</b>

**Consuntivo anno 1999/2000**

**SIGNIFICATIVE VARIAZIONI DI BILANCIO**

Capitolo	Variazione (ML)	Motivazione
Missioni Interne	_____+3	Ulteriori capitoli interessati da variazioni : affitto e noleggio automezzi: +6 prestazioni professionali +91
Missioni Estere	_____	
Consumo	_____ -6	
Trasporti e Facchinaggio	_____ -34	
Spese Calcolo	_____	
Affitti e Manutenzioni	_____	
Materiale Inventariabile	_____ +5	
Costruzione Apparati	_____ -65	
Totale storni	_____ -97	

**CONFERENZE, WORKSHOP e SCUOLE ORGANIZZATE in ITALIA**

Data	Titolo	Luogo

**SIGNIFICATIVE COMMESSE E RELATIVO IMPORTO**

ANAGRAFICA FORNITORE	DESCRIZIONE PRODOTTO O COMMESSA	IMPORTO (ML)
Air Liquide Italia	sistema di pompe criogeniche per circolazione azoto liquido di raffreddamento	360
Varian	gruppi di pompaggio costituiti da pompa turbomolecolare da 1000 l/sec e pompa primaria a secco	120
3M	bobine di cavo	81
Varian	valvola da alto vuoto per installazione gruppi di pompaggio	66
Nupi	tubi in politene per schermo neutroni	85

Codice	Esperimento	Gruppo
0014	ICARUS	2

<b>Struttura</b>
<b>PAVIA</b>

**Consuntivo anno 1999/2000**

<b>MILESTONES RAGGIUNTE</b>	
<b>Data completamento</b>	<b>Descrizione</b>
30-6-99	test tecnici con il prototipo da 10m <sup>3</sup> (purezza dell'argon ,sistemi di ricircolo, prestazioni dell'impianto criogenico strumentazione funzionalità sistema di tensionamento fili noise)
30-9-99	installazione basamento della coibentazione a Pavia
30-9-99	assemblaggio corpo freddo primo semi-modulo
30-11-99	realizzazione camera bianca ed isola di montaggio
30-11-99	consegna parti meccaniche rivelatore interno primo semi-modulo
<p><b>Commento al conseguimento delle milestones</b></p> <p>Al completamento dell'assemblaggio del corpo freddo del primo semi-modulo è seguito il collaudo per la tenuta meccanica sotto il carico di vuoto e di sovrappressione , alcuni problemi incontrati in questa fase hanno ritardato la consegna del manufatto.Si ved la relazione alleata al modulo EC5 per maggiori dettagli</p>	

<b>SVILUPPO DI STRUMENTAZIONE INNOVATIVA</b>
<p>E' stato sviluppato un rivelatore portatile di neutroni con sensibilità al limite del fondo naturale.Il rivelatore puo' avere applicazione nella ricerca delle mine anticarro d antiuomo</p>

<b>Ricadute su altri gruppi, sul sistema industriale e su altre discipline</b>
<p>Il prototipo da 10m<sup>3</sup> è stato trasferito presso i Laboratori Nazionali del gran sasso dove, sotto la responsabilità dei gruppi locali (LNGS e gr.coll.di L'Aquila) e con la collaborazione del gruppo di Pavia, è stato provvisto di nuove funzionalità (TPC completamente operativa) e nuovamente installato. La messa in funzione è avvenuta all' inizio del 2000. l'attività sul corpo freddo del criostato ha prodotto lo sviluppo di competenze di progettazione e calcolo per manufatti in nido d'ape presso il gruppo di ingegneria strutturale dell'Università di Pavia. I risultati ottenuti sulla purezza dell'argon con il prototipo da 10m<sup>3</sup> completamente realizzato con tecniche industriali, rappresentano il conseguimento del trasferimento della tecnologia dei liquidi criogenici ultrapuri sviluppata in laboratorio dalla collaborazione Icarus, presso il partner industriale.</p>

Codice	Esperimento	Gruppo
0014	ICARUS	2

<b>Struttura</b>
------------------

<b>PAVIA</b>
--------------

**Elenco delle pubblicazioni anno 1999/2000**

Icarus Coll., ICRUS: a status report, Nucl.Phys. B (Proc.Suppl.) 70 (1999) 453

Icarus Coll., The Icarus 50 l Lar TPC in the CERN neutrino Beam, Proceedings of the "36th workshop on new detectors" Erice (Italy, 1997), World Scientific (1999), 3

Icarus Coll., Detection of scintillation light in coincidence with ionizing tracks in a LAr TPC, Nucl.Instr.and Meth. A432, (1999), 240

F.Arneodo et al. Neutron background measurements in the Icarus area at the underground Gran Sasso Laboratory, Nuovo Cimento, A8 (1999), 819

Icarus Coll. Icarus : Proton Decay and the CERN- GS long baseline experiment, proceedings of the "International Symposium on Lepton and Baryon Number Violation" Trento (Italy, Apr. 1998), Institute of Physics Publishing (1999), 321

Icanoe Coll. Icanoe: a proposal for a CERN-GS long baseline and atmospheric neutrino oscillation experiment, INFN/AE-99-17, CERN/SPSC/P314, September 1999.

Icanoe Coll., Icanoe: preliminary technical design, LNGS-P21/99-Add1, CERN/SPSC 99-39, CERN/SPSC/P314-Add1, November 1999

Icanoe Coll., Icanoe: answers to questions and remarks concerning the Icanoe Project, LNGS-P21/99- Add2, CERN/SPSC 99-40, CERN /SPSC/P314-Add2, November 99



Nuovo Esperimento	Gruppo
WARP	2

<b>Struttura</b>
<b>PAVIA</b>

**Rappresentante Nazionale:** C.Rubbia

Struttura di appartenenza: PAVIA

Ricercatore responsabile locale: E.Calligarich

Posizione nell'I.N.F.N.: Inc.di ric.

## PROGRAMMA DI RICERCA

### A) INFORMAZIONI GENERALI

<b>Linea di ricerca</b>	ricerca di WIMPs - DARK MATTER
<b>Laboratorio ove si raccolgono i dati</b>	L.N.G.S.
<b>Acceleratore usato</b>	
<b>Fascio (sigla e caratteristiche)</b>	
<b>Processo fisico studiato</b>	interazione WIMPs - nuclei di Argon
<b>Apparato strumentale utilizzato</b>	TPC ad Argon liquido del tipo ICARUS attrezzata con PM's
<b>Sezioni partecipanti all'esperimento</b>	PV,PD,LNGS,L'AQUILA, LNF,MI
<b>Istituzioni esterne all'Ente partecipanti</b>	NCSR'DEMOCRITOS - Univ. of Ioannina - Univ.of Cyprus - CERN - IHEP PECHINO - UCLA - ETH Zurich
<b>Durata esperimento</b>	

### B) SCALA DEI TEMPI: piano di svolgimento

PERIODO	ATTIVITA' PREVISTA
2001	messa a punto tecnologia di lettura ionizzazione nella transizione fase liquidagassosa e contemporanea lettura della luce di scintillazione. test del prototipo ICARUS da 30 lt su fascio monocromatico di neutroni per simulazione interazioni di WIMPs
2002	disegno e ingegnerizzazione rivelatore interno del 10 m3 (T14) e inizio allestimento rivelatore interno
2003	completamento allestimento rivelatore interno e inizio presa dati.
	2004 e seguenti presa dati

**Mod. EN. 1**

(a cura del rappresentante nazionale)

Nuovo Esperimento	Gruppo
WARP	2

<b>Struttura</b>
<b>PAVIA</b>

**PREVENTIVO LOCALE DI SPESA PER L'ANNO 2001**

In ML

VOCI DI SPESA	DESCRIZIONE DELLA SPESA					IMPORTI		A cura della Comm.ne Scientifica Nazionale	
						Parziali	Totale Compet.		
Viaggi e missioni	Interno	contatti con collaboratori e meetings					8	8	
	Estero	contatti con collaboratori e meetings test con fascio monocromatico di neutroni					10 25	35	
Materiale Consumo	LAr e LN2 per test criogenici					20	40		
	aggiornamento TPC da 30 lt					20			
Trasp.e facch.									
Spese Calcolo	Consorzio	Ore CPU	Spazio Disco	Cassette	Altro				
Affitti e manutenz. apparecchiati.									
Materiale Inventariabile	dewar per TCP da 30 lt					15	40		
	strumentazione criogenica					25			
Costruzione Apparat.									
<b>Totale</b>							<b>123</b>		
Note:									

Nuovo Esperimento	Gruppo
WARP	2

<b>Struttura</b>
<b>PAVIA</b>

**PREVISIONE DI SPESA: PIANO FINANZIARIO LOCALE**

**PER GLI ANNI DELLA DURATA DEL PROGETTO**

**In ML**

ANNI FINANZIARI	Miss. interno	Miss. estero	Mater. di cons.	Trasp.e Facch.	Spese Calcolo	Affitti e manut. appar.	Mat. inventar.	Costruz. apparati	TOTALE Competenza
2001	8	35	40				40		<b>123</b>
2002	10	10	20					300	<b>340</b>
2003	10	10	10					70	<b>100</b>
2004	15	8							<b>23</b>
<b>TOTALI</b>	<b>43</b>	<b>63</b>	<b>70</b>				<b>40</b>	<b>370</b>	<b>586</b>

Note:

Osservazioni del Direttore della Struttura in merito alla disponibilità di personale e di attrezzature:  
 proposta preliminare  
 Normale assistenza dei Servizi Tecnici

**Mod. EN. 3**

(a cura del responsabile locale)



Nuovo Esperimento	Gruppo
WARP	2

<b>Struttura</b>
<b>PAVIA</b>

## PREVISIONE DI SPESA

### Piano finanziario globale di spesa

**In ML**

ANNI FINANZIARI	Miss. interno	Miss. estero	Materiale di cons.	Trasp.e Facch.	Spese Calcolo	Affitti e manut. appar.	Mat. inventar.	Costruz. apparati	TOTALE Competenza
2001	20	60	60				50		<b>190</b>
2002	20	20	30					400	<b>470</b>
2003	25	20	100					100	<b>245</b>
2004	30	15	200						<b>245</b>
<b>TOTALI</b>	<b>95</b>	<b>115</b>	<b>390</b>				<b>50</b>	<b>500</b>	<b>1150</b>

Note:

Nuovo Esperimento	Gruppo
WARP	2

<b>Struttura</b>
<b>PAVIA</b>

## **PROPOSTA DI NUOVO ESPERIMENTO**

VEDI LETTER OF INTENT ALLEGATA

**A PROGRAMME TO SEARCH FOR WIMP PARTICLES IN LIQUID ARGON AT  
THE LNGS**

**WARP (*Wimp***AR***gon***P***rogramme*)**

**LETTER OF INTENT**

ICARUS COLLABORATION

and

G.Fanourakis and S.Tzamarias,  
Inst. of Nuclear Physics, NCSR "Democritos", Greece

P.Assimakopoulos, I.Papadopoulos, P.Pavlopoulos and V.Vlachoudis,  
Univ. of Ioannina, Greece

P.Razis and A.Vorvolakos,  
Univ. of Cyprus, Cyprus

and

Additional people & Institutes:

July 1, 1999

## TABLE OF CONTENTS.

1.—FROM ICARUS TO WARP.....	1
2.—PHYSICS CONSIDERATIONS.....	3
3.—THE METHOD OF DETECTION.....	6
4.—DETECTOR LAYOUT.....	11
5.—PRELIMINARY BACKGROUND ESTIMATES.....	15
6.—THE WARP PROGRAMME.....	26
7.—REFERENCES.....	28

## 1.—FROM ICARUS TO WARP.

The ICARUS Collaboration has been working for more than ten years on the development of a large cryogenic detector based on liquid Argon. In such a detector, ionisation electrons are used to create an “image” of the event; scintillation light may be used to trigger the event. The Collaboration has realised a series of several modules of different sizes in which all the basic features of ionisation, long electron drift and scintillation in liquid Argon and Xenon have been systematically studied for a variety of incident particles. At present, an industrial module with 14 tons of ultra-pure Argon (T14) is operational in Pavia (Figure 1) and it will be transported to LNGS the next Fall. An even larger module, called T600, with about 600 ton of Argon, is under construction in Pavia and it should become operational by the year 2000. The T600 module will be finally installed in the Hall C of LNGS to study cosmic ray neutrinos and solar neutrino events.

The proposed programme for a WIMP search, which we would like to call **WARP** (*WimpARgonProgramme*) is a natural spin-off of such an extensive programme. In particular the module T14 (when no longer used for the ICARUS programme) can be outfitted as to become the basis of a WIMP search experiment, coupling an unusually large sensitive mass ( $\approx 1$  ton of fiducial mass surrounded by  $\approx 13$  ton of an active anti-coincidence shield) to a very effective background rejection. The initial investments on the Cryogenics and Argon purification have already been made and all the basic “know-how” exists within the ICARUS Collaboration on the detection technology. The main fallout's of the R&D work already performed by the ICARUS Collaboration and relevant to the WARP programme are briefly recalled:

- (1) Since 1993, a new method has been perfected [1] (P. Benetti et al.) in order to separate heavy ionising ion recoils (from WIMP) from lightly ionising tracks (from background radioactivity) produced by electrons in a ultra-pure, noble element (Xenon or Argon). This method is based on the simultaneous measurement of ionisation and direct scintillation light from the noble element in the liquid form. While minimum ionising particles produce roughly the same number of ionisation electrons and scintillation photons, in the case of heavy recoils, while scintillation persists, — though at somewhat lower level — ionisation is strongly suppressed by columnar recombination. *Therefore recoil events will be characterised by scintillation with essentially no associated primary ionisation.*
- (2) The scintillation light from noble gases has been extensively studied and in particular an absorption length in excess of 1.5 m has been measured in Argon, either pure or slightly doped with Xenon to shift the light to a longer wavelength (175 nm).
- (3) Ionisation electrons have been actually extracted from liquid into gas with the help of an appropriate electric field ( $\geq 1$  kV/cm) and multiplied in the gas by a wire. In this way, even a

few electrons, produced in the liquid, once extracted in the gas, they can be detected unambiguously. In particular the luminescence light produced by the electron multiplication process near the wire is detected with scintillation as additional light, but arriving after a delay because of the drift time in the liquid and in the gas. *The single versus the double pulse signature recorded by the PM's constitute the signature for a WIMP.*

- (4) A primary background to WIMP's detection are neutrons which induce nuclear recoils in the fiducial volume, thus effectively acting as "strongly interacting WIMPS". The neutron background in Hall C has been carefully measured by the ICARUS Collaboration [2], on which direct estimates can be made. As we shall see, this background can be mastered with an appropriate layout.
- (5) Materials used for the construction of the T14 have been carefully chosen in order to minimise natural radioactivity. The Aluminium of the container has a measured radio-activity of less than 1 Bq/kg and similar limits have been measured for the NOMEX thermal insulation. The target material is ultra-pure Argon and the fractional content of additional (radio-active) impurities is expected to be very small. Notwithstanding, though expected to be low, the actual activity of the ultra pure Argon used for the experiment has to be directly measured. This is an important step in the WARP proposed programme.
- (6) Hypothetical WIMP events can be closely simulated by neutron scattering. This is a useful feature since the WIMP signature and corresponding detection efficiency can be carefully studied with such artificial events. The ICARUS Collaboration has performed measurements both with a neutron source and with neutrons from an accelerator in Legnaro, using a small Xenon counter, in which both ionisation and scintillation have been detected in the energy domain appropriate to a WIMP signal. *However such a measurement must be further extended to Argon and to the actual geometry of a more massive detector.* It will be an integral part of the WARP proposal. The possibility of an appropriate neutron source "on-line" during the WIMP search in LNGS is also considered.
- (7) The search for the WIMP, which interacts only weakly with ordinary matter, requires a substantial fiducial mass. The ICARUS Collaboration has developed, in collaboration with industry, the technology for massive, cryogenic Argon detectors. *A mass of several tons constitutes therefore for us no significant technological barrier and it can be achieved at reasonable cost.* In particular, the test module T14 m, once it has fulfilled its initial motivations related to the ICARUS programme, can constitute a valid building block for a WIMP detector of an adequate mass. Basic cryogenic facilities will soon exist at the LNGS and whatever necessary to operate the WARP experiment can be parasitically attached to the T600 programme.

To conclude, we believe that the ICARUS Collaboration, enlarged with additional physicists with similar scientific interests and experience, is ideally poised for an extension of their long and elaborate R&D programmes to the fundamental task of searching for a possible source of the fascinating problem of the non-baryonic Dark Matter in the Universe.

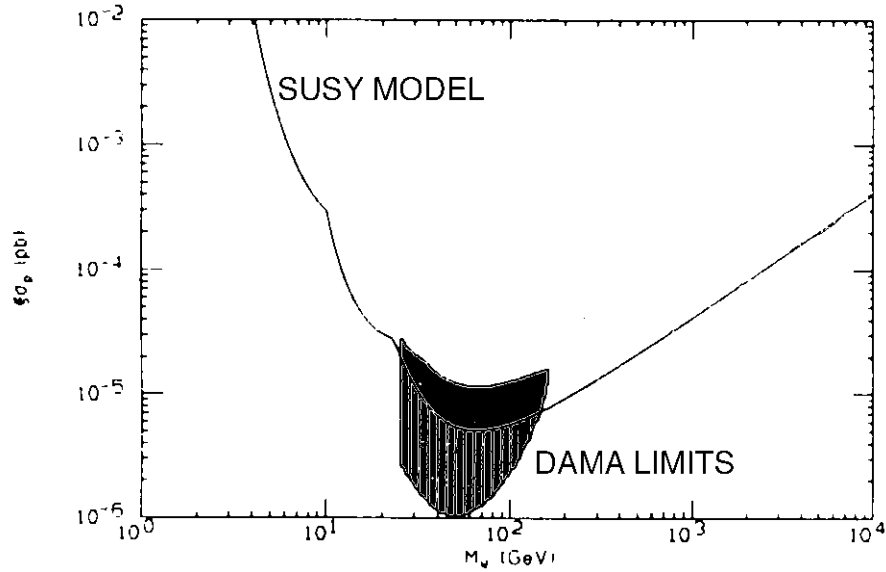
Incidentally, we would like also to point out that the method (1) of separating  $\gamma/e$  from nuclear recoils could constitute a valid method to measure simultaneously  $\gamma$  (by total absorption) and neutrons (by elastic recoils and TOF with respect to the  $\gamma$ 's) in a complex detector, for instance in association with cross section determination in nuclear physics, like for instance the now approved TOF programme at CERN.



**Figure 1.** Picture of T14 in the Hall in Pavia.

## 2.—PHYSICS CONSIDERATIONS.

WIMPS are hypothetical, very long lived or stable particles in equilibrium at the early stages of the Universe from which they have de-coupled at an early freezing out temperature. They are expected to have an annihilation cross section of the order of  $\langle \sigma_{anh} v \rangle \approx 10^{-26} / \Omega_w h^2 \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1}$ . The cross section on ordinary matter is typical of weak interactions. Their expected flux is  $\Phi \approx 10^7 (1 \text{ GeV} / M_{wimp}) \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , corresponding to an energy density of the order of  $0.2 \text{ GeV}/\text{cm}^3 < \rho < 0.6 \text{ GeV}/\text{cm}^3$ . WIMPS form a dissipation-less gas trapped in the



**Figure 2.** Cross section versus WIMPS mass according to DAMA [3]: the region allowed at 90% C. L. is shown, superimposed to a theoretical model for neutralino candidate.

gravitational field of the Galaxy with an approximate maxwellian distribution and a typical speed of the order of  $\approx 10^{-3}c$ . The most favoured candidate for these particles, which should be the main contributors to the non-baryonic Dark Matter are the lightest SUSY particle and in particular the neutralino.

An enormous scientific effort is being made with Colliders (LEP, Tevatron, LHC, etc.) in order to discover SUSY particles with masses of up to several hundred GeV<sup>1</sup>. If such SUSY particles indeed exist, they must have been produced as well at the time of the Big Bang. In this eventuality, *the presence today as some form of cosmic WIMPS seems to us as extremely likely* since their lowest mass state should be (1) stable by R-conservation<sup>2</sup> and (2) only weakly interacting with ordinary matter. One of the main hopes of SUSY is the one of be the key to the Dark matter problem: this cannot be achieved unless WIMPS exist. *Therefore the a priori chance of detecting SUSY at the LNGS first should not be underestimated.* We remark that the underground searches are less dependent on the actual WIMPS mass, (provided smaller than a few TeV). Mass values which are hard or impossible to reach with Colliders, may still give a significant signal in cosmic detectors, provided of sufficient sensitivity. We also remark that SUSY is only one of the many candidates for WIMPS: other kinds of massive relic particles may exist, which may have weak-like interaction properties and therefore detectable by our method.

The detection of a WIMPS in the  $\gg 1$  GeV mass range is related to potential scattering and recoils of target nuclei, typically of the order  $1 \div 100$  KeV. The size of the WIMPS signal is therefore quite elusive. In addition, the very small interaction cross section makes WIMP-nucleus

<sup>1</sup> The present upper limit to the lightest neutralino given by LEP is only of the order of 15 GeV/c<sup>2</sup>.

<sup>2</sup> The existence of neutrino oscillations may hint at an R-violation, which however could be mild enough as to ensure the survival of the WIMPS particles of SUSY.



scattering a very rare event. Such a rate is not easily predicted, since it depends on many variables which are poorly defined, like for instance the halo model, the nature of the WIMPS (cross section), their survival probability from the Big Bang related to R-violation, the features of the nuclear target (atomic number, spin, form factors) and the type of detector used (energy threshold, resolution, signal discrimination). In practice, these uncertainties may encompass many orders of magnitude. Any new experiment must therefore reach a sensitivity which is several orders of magnitudes higher than the most naïve predictions of SUSY. And in order to reach such a goal, both sensitive mass and background discrimination should be as large as possible.

A recent claim for a positive effect<sup>3</sup> has been put forward by the DAMA experiment [3] which, based on an exposure of 19511 kg day of NaI has given the result  $M_{wimp} = 59^{+17}_{-14} \text{ GeV} / c^2$  and a scattering cross section  $\sigma_{\xi_p}^{\xi} = 7^{+0.4}_{-1.2} 10^{-6} \text{ pb}$ , based on the yearly variation of the rate for the WIMP signal due to the velocity changes of the Earth's motion with respect to the Galaxy. The parameter  $\xi_o$  is a measure of the WIMP mass density,  $\xi_o = \rho_{WIMP} / (0.3 \text{ GeV cm}^{-3})$ . The seasonal change of recoil events as a function of the recoil energy, has been given in terms of counts for 1 keV bin and for kilogram of target. The integrated rate in the interval 2 ÷ 12 keV, over which the seasonal variation is expected to be significant, is claimed to be as large as 0.374 c/day/kg. Note also that the seasonal variation is only a few percent of the main signal, depending on the speed distribution of the WIMPS. *The time averaged event rate should therefore be of the order of several counts/day/kg.*

One of the many theoretical predictions [4] of minimal SUSY is shown in Figure 2. It is in good agreement with the level of sensitivity of the DAMA experiment [3].

The DAMA result is tentative and it should be taken conservatively as the possible level or as an upper limit for the kind of signal to be searched for. The DAMA analysis indicates that future detectors should have both a substantially larger mass and a better rejection of local background.

We consider here a sensitive mass of the order of 1 ton, i.e. about 10 times the mass of the NaI of DAMA. In our case the target will be pure Argon. If the mass of the WIMPS is actually the value given by the DAMA result, the choice of Argon, for instance compared to Xenon or Iodine, is optimal, since it is well known that the largest energy recoils are produced when the mass of the WIMP and of the recoiling nucleus are equal. In addition, a low A nucleus has a more favourable elastic form factor, since the nuclear radius, proportional to  $A^{1/3}$ , is smaller and

$$T_{rec} = q^2 / 2M_{target}.$$


---

<sup>3</sup> The CDMS experiment has now nearly eliminated the region ( $< 1 \text{ event/kg/d}$ ) with 35 days of data. They have 100 days more to analyse. In addition the DAMA results seem inconsistent with SUSY-GUT and the current limit on proton decay  $p \rightarrow K + \nu_{\mu}$ .

### 3.—THE METHOD OF DETECTION.

The recoil spectrum,  $dn/dT_{rec}$  has been calculated with a Montecarlo method, starting from a Maxwellian distribution of WIMPS galactic particles scattering on Argon, Iodine and Sodium. The result is shown in Figure 3 and, as expected, it is the hardest for Argon. For Argon and  $T_{rec} > 10$  keV, it has a roughly exponential fallout of the form:  $dn/dT_{rec} = A \exp(-T_{rec}/15.5 \text{ keV})$ . Note that the seasonal variation changes sign for very small and very large recoil energies, with a null point at about 12 keV. At larger recoil energies, the seasonal effect is re-established, but with the opposite sign. The parameters used in the simulation are listed in Table 1.

**Table 1.** List of parameters used for calculating WIMP spectra.

<b>Parameter</b>	<b>value</b>
WIMP velocity distribution	Maxwell + escape
Characteristic velocity	220 km/s
Escape velocity	580 km/s
Earth velocity (respect to galaxy)	245 km/s
WIMP local density	0.3 GeV/cm <sup>3</sup>

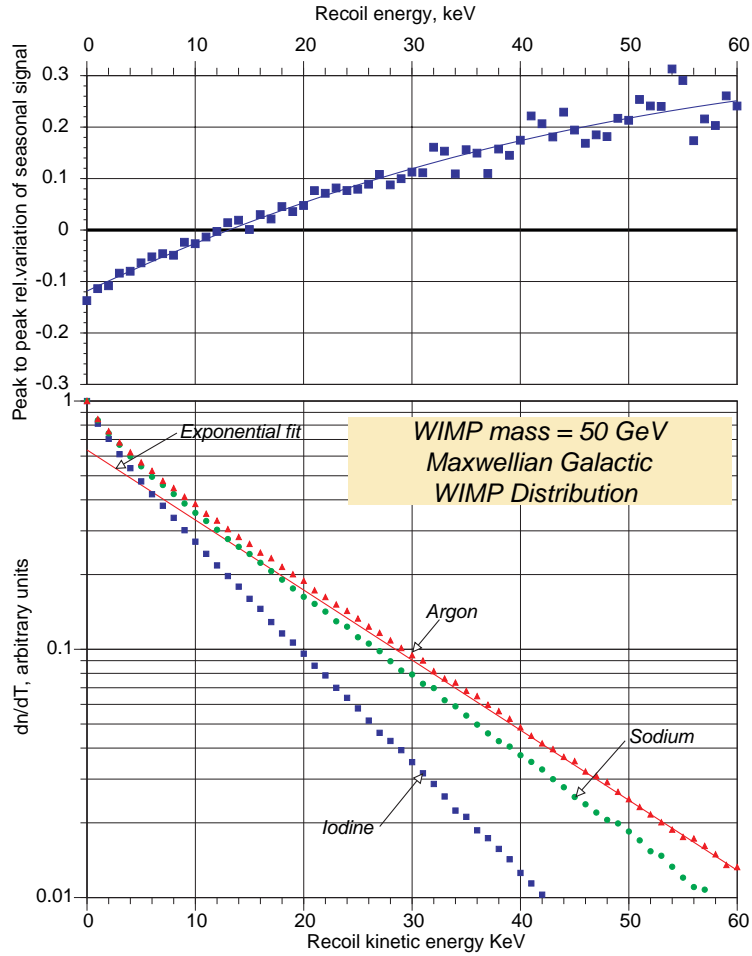
The main problem associated with the WIMPS search by recoil detection, as evidenced for instance by the DAMA result, is the presence of substantial local backgrounds in the energy range relevant for recoils (1÷100 keV). This background can be generally classified as spurious events with energy losses due either to

- (1) *electron recoils*, due to  $\gamma$  or  $\beta$  emission or to
- (2) *nuclear recoils*, where the target nucleus recoils after a scattering with a (neutral) particle

The best detector is the one which provides the highest rejection against (1) with a good efficiency for (2). Ideally, the detector should be able to detect both (i) the presence of an unambiguous recoil signal above background with the expected features and (ii) its much smaller seasonal variation.

Several of the first generation detectors, which rely only on the seasonal variation, including DAMA, make no distinction between electron and nuclear tracks and therefore both backgrounds must be minimal. More advanced detectors use a variety of methods to discriminate on energy losses (2) against (1), but with a variable degree of potential success. The main problem associated to classic methods of identifying ionisation density from scintillation light (either by pulse shape or the difference in spectrum of the emitted light) is the very small number of collected photoelectrons. Therefore, in these methods, the rejection power against events of type (1) vs. events of type (2) is plagued by statistical fluctuations, which are important in view of the small

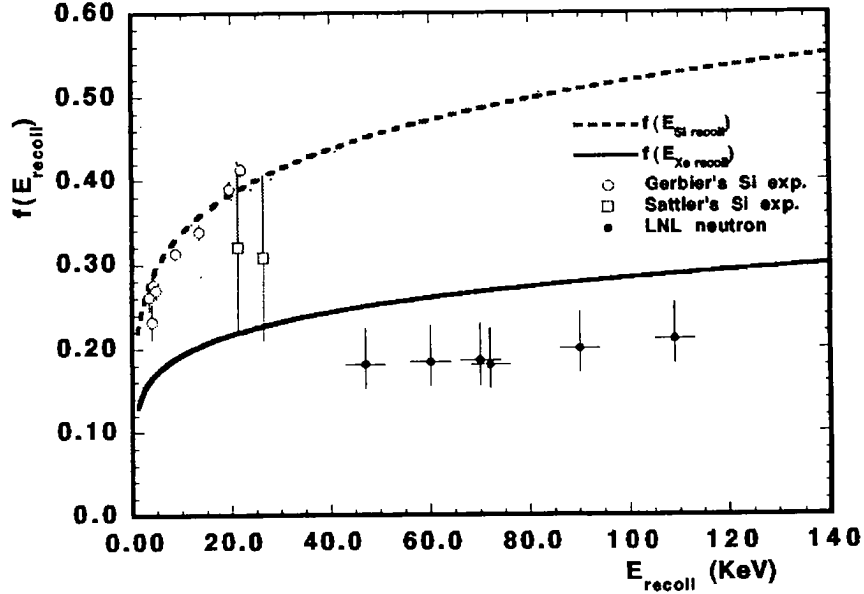
energy of the recoils. Other methods, like for instance cryogenic detectors, cannot be easily constructed with a sufficiently large mass (see however the CUORE Proposal).



**Figure 3.** MonteCarlo prediction for WIMPS recoil spectrum in three different target elements. The WIMPS kinematical model is based on a truncated Maxwellian distribution in the galactic rest frame with a characteristic velocity of 220 km/s. For other parameters, see Table 1.

As already pointed out, the ICARUS collaboration has developed since many years [1] an almost perfect method of discriminating (2) from (1) based on the simultaneous detection of the scintillation and ionisation from liquid Xenon or Argon. While scintillation has been shown to be substantial even for very heavy ionising recoils of a few keV [5], *the very strong columnar recombination essentially cancels the ionisation signal*. In the case of events of type (1), about the same amount of photons and electrons are emitted. In contrast with other methods based on light frequency differences or pulse discriminations, the practically total absence of ionisation accompanying events (2) is a powerful and highly efficient veto in suppressing entirely the background (1), mostly due to radioactivity.

Even if the  $e/\gamma$  background would be completely eliminated, nuclear recoil signal of type (2) can be simulated by an elastic neutron scattering, the neutron behaving effectively as a “strongly



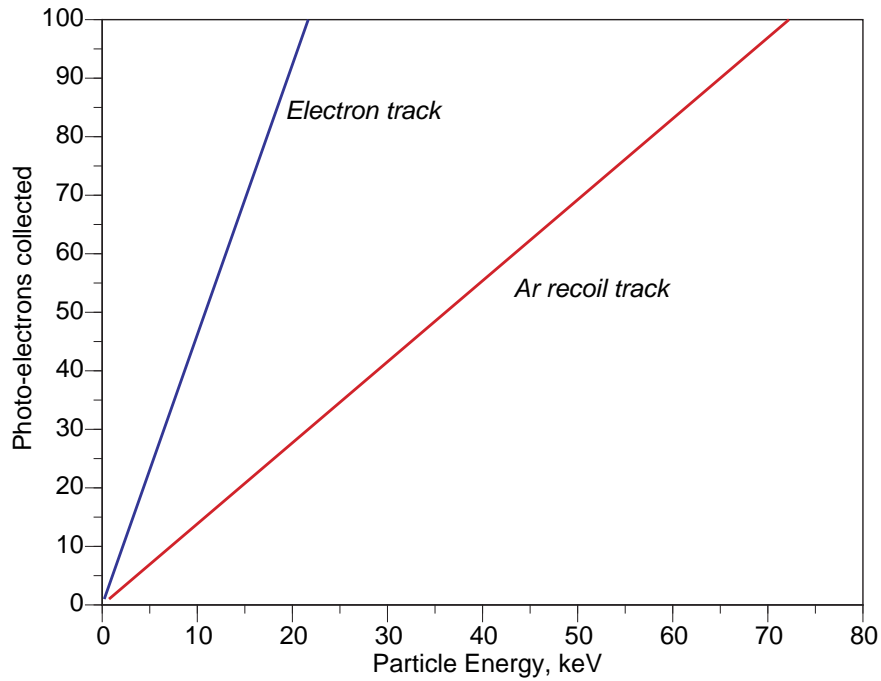
**Figure 4.** Relative scintillation efficiency in liquid Xenon as a function of the Xenon recoil energy. Full circles are ICARUS data [5], open circles and squares are data points on Silicon from ref. [6] and [7] respectively. The curve represents the theory of Lindhard et al [8] for Xenon and Silicon respectively.

interacting WIMP". The ICARUS Collaboration has carefully measured the neutron background in Hall C and this potential background can be estimated in the case of WARP. Neutrons are strongly rejected by an active shielding volume surrounding the detection volume. Neutrons recoiling both in the sensitive volume and in the anti-coincidence shield are identified and rejected.

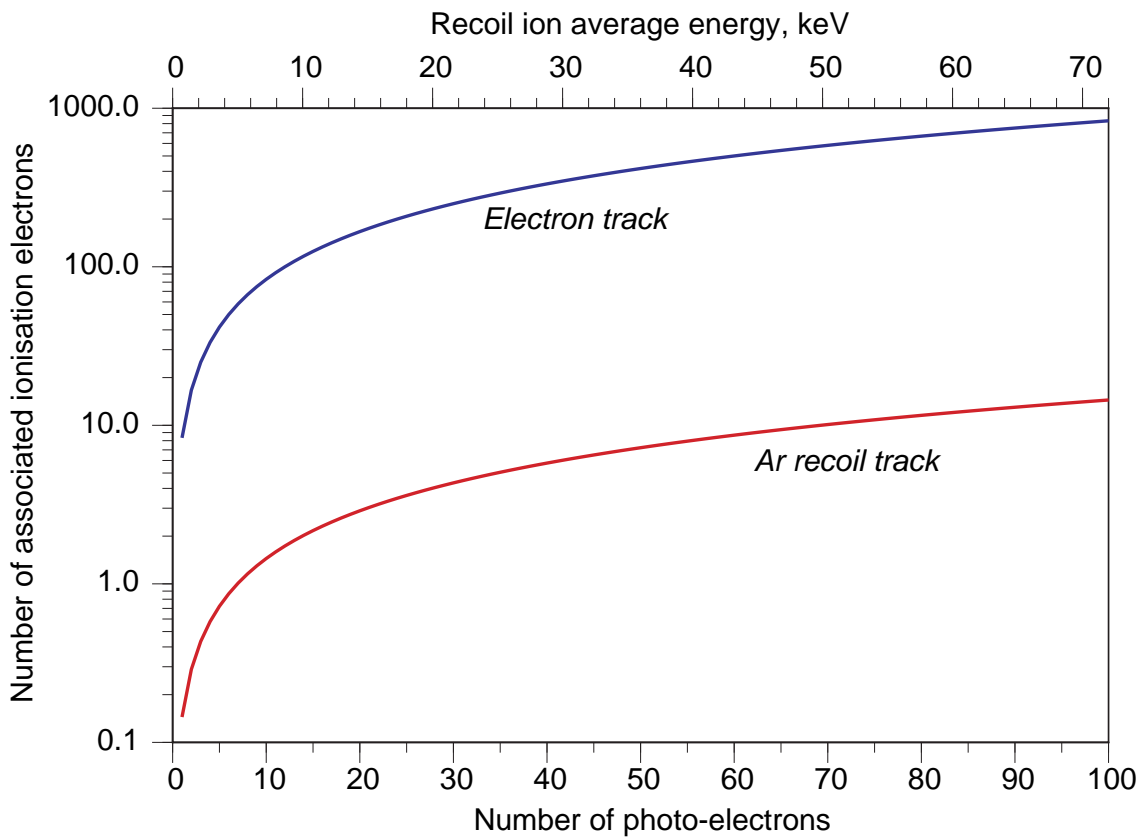
Finally some background may be produced by  $\alpha$ -particles produced for instance by residual natural radio-activity and for which a substantial ionisation suppression has been observed, though not as strong as in the case of ion recoils. These events however correspond to much higher energies and should generally fall outside the window of detection of the WIMPS.

An effective background elimination should permit to search for evidence of the main WIMPS signal, rather than relying only on its relatively modest time variation. For instance with the DAMA predicted flux and 1 ton detector the bare WIMPS signal should be of the order of several thousand counts/day before detection cuts and it could hardly be missed !

The elastic scattering of a WIMP produces a moving Argon recoil which produces both ionisation and atomic de-excitation (scintillation light). The scintillation yield has been measured by the ICARUS Collaboration[5] both for electrons and ion recoils from elastic neutron scattering in Xenon. Neutrons were produced by a source and by an accelerator (Legnaro). It turns out that the amount of light emitted by a heavy ion is about 20% of the one of an electron with the same initial kinetic energy (Figure 4).



**Figure 5.** Expected number of collected scintillation photo-electrons for a  $\gamma/e$  background event and a Argon recoil from WIMP as a function of the initial particle energy.



**Figure 6.** Calculated number of associated ionisation electrons as a function of the number of scintillation photo-electrons collected in Argon for recoil tracks and for (background)  $\gamma/e$  events with the same average scintillation light collected.

This result, in agreement with the Lindhard theory [8], could be reasonably extrapolated to an estimated value of order 0.25 for liquid Argon, since it is expected to improve for lighter ions. However as a part of the WARP programme, we intend to repeat this measurement directly with Argon in the near future.

The direct ionisation of recoiling ions was too small to be directly measured in the previously mentioned test. However, based on data existing in the literature, we can estimate a ionisation yield of the order of 1 electron for each 5 keV of ion energy lost<sup>4</sup>. Also this figure will be measured in the near future with the help of neutron scattering.

We assume at this point and for indicative purposes a scintillation light collection efficiency for the detector of 0.6 and a photo-cathode efficiency of 0.2. These figures have to be verified by more precise tests. The resulting number of photoelectrons collected as a function of the energy for an ionising electron and Argon recoil are shown in Figure 5. For an average recoil energy of 15 keV we expect to collect as many as 20 photoelectrons. The detection recoil threshold, if set to 3 photoelectrons, corresponds to a kinetic energy of about 2.5 keV.

For Argon recoils, the primary ionisation signal is strongly depressed. In Figure 6 we show the number of collected ionisation electrons for a  $\gamma/e$  event and an Argon recoil as a function of the number of photo-electrons of the scintillation signal. It is evident that the discrimination is complete even at the lowest number of collected photo-electrons. For instance at the average recoil energy of 15 keV, corresponding to an average of about 20 collected scintillation photoelectrons, in the case of a good recoil event we expect on average 2.9 ionisation electrons, while an equivalent background event, due to an electron of 4 keV, will be associated with as many as 165 ionisation electrons. It is evident that Poisson statistics considerations if applied literally will give in all instances an immense rejection factor, probably masked by instrumental effects, like dead times, geometrical factors and so on. It is clear that the ultimate separation will have to be measured experimentally, though it is expected to be extremely good. In the rest of the paper we assume an indicative rejection power of  $10^4$ .

---

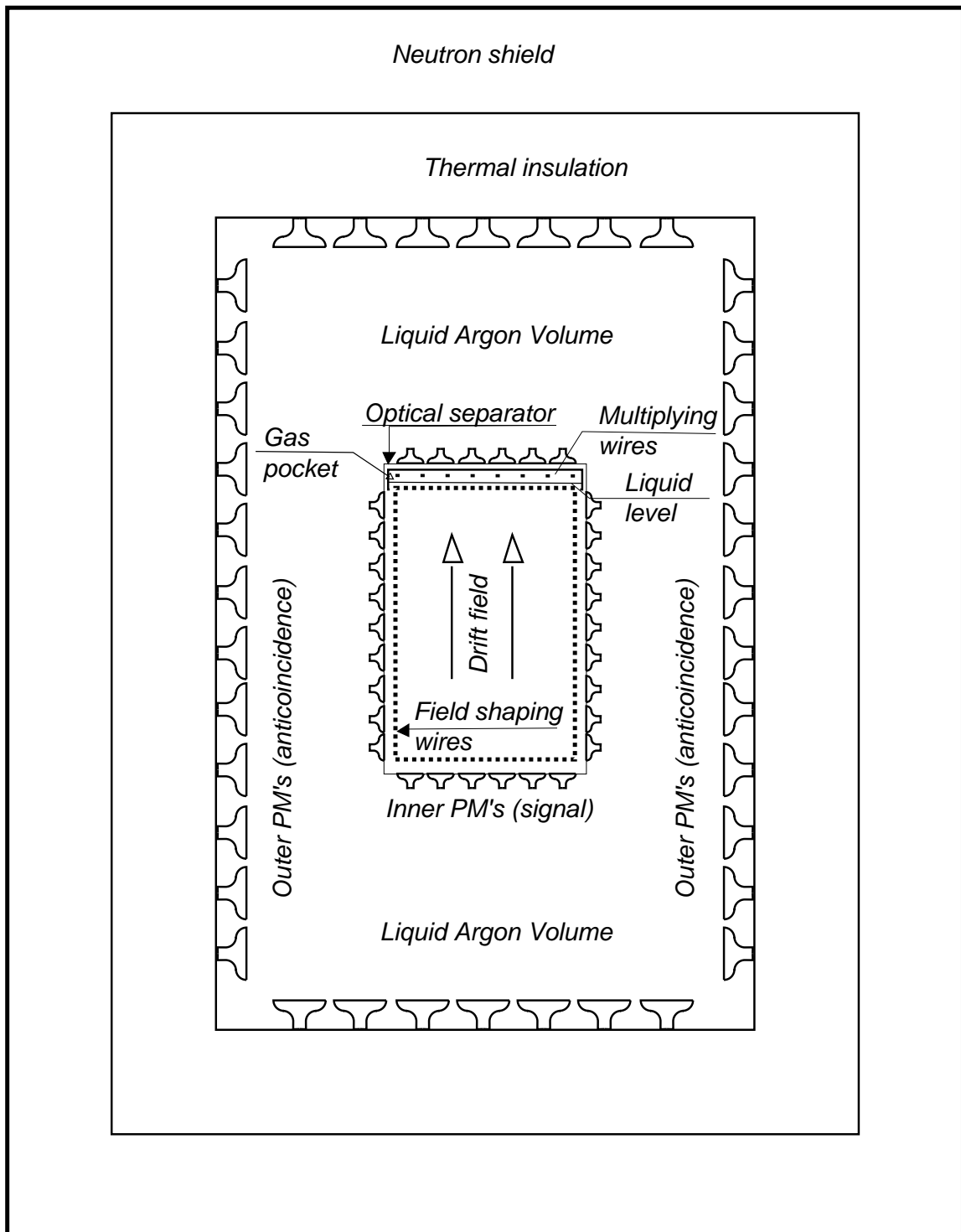
<sup>4</sup> This precise number, as long as it is very small, is not critical to the estimate of the separation.

#### 4.—DETECTOR LAYOUT.

The ICARUS test module T14 which has been used to test the cryogenics of the ICARUS detector offers an interesting possibility for a WIMPS detector. The internal, cold dimensions of the dewar are 3.89 m height and  $2.58 \times 1.0 \text{ m}^2$  cross section, corresponding to a gross volume of  $10.26 \text{ m}^3$  or about 14 tons of ultra high purity liquid Argon, if fully filled. The Argon is likely to be doped with a few % of Xenon in order to wave-shift the scintillation light. The volume (see Figure 7) can be ideally divided into two separate parts, a *central detection region* surrounded by the rest of the liquid as an *anti-coincidence shield*.

- (1) The *central part* is equipped both with (1) photo-tubes to detect the WIMPS recoils and with (2) a charge collecting drift field, followed by a transfer to gas and wire multiplication to detect (in anti-coincidence). A gas pocket is maintained at the top of the central detecting region. The drift field and the wire multiplication is used to separate signals of type (1), namely electron ionisation from the (good) events of type (2) due to the potential WIMPS signal. The structure used to define and support such a structure should be as thin as possible and made of low activity materials.
- (2) The *anti-coincidence volume* is simply seen by an adequate number of photo-tubes and it rejects the events due to neutrons or other particles penetrating from outside or travelling out from the central part. As already pointed out only events in which no signal is recorded by this component are potential candidates for the signal. Evidently the central part and the anti-coincidence volume must be optically separate in order to avoid cross-talk.
- (3) The neutron simulated background is mainly due to elastic scattering on Argon nuclei. The maximum energy lost  $\Delta T = T_{in} - T_{out}$  by a neutron of kinetic energy  $T_{in}$  in a head-on collision to a nucleus of atomic number  $A \approx 40$  is determined by the relation  $T_{in}/T_{out} = (A - 1)^2 / (A + 1)^2 = 1 - 0.095$ , namely the maximum recoil has about 9.5% of the incoming neutron energy. Therefore for a detection threshold of say, 10 keV, the minimum energy of the background neutrons is 105 keV. Therefore it is advantageous to add an *external neutron shield* to adsorb or at least to thermalise the environmental neutron background. A specific design for such a shield has already been carried out by the ICARUS Collaboration and it must surround the whole cryostat.

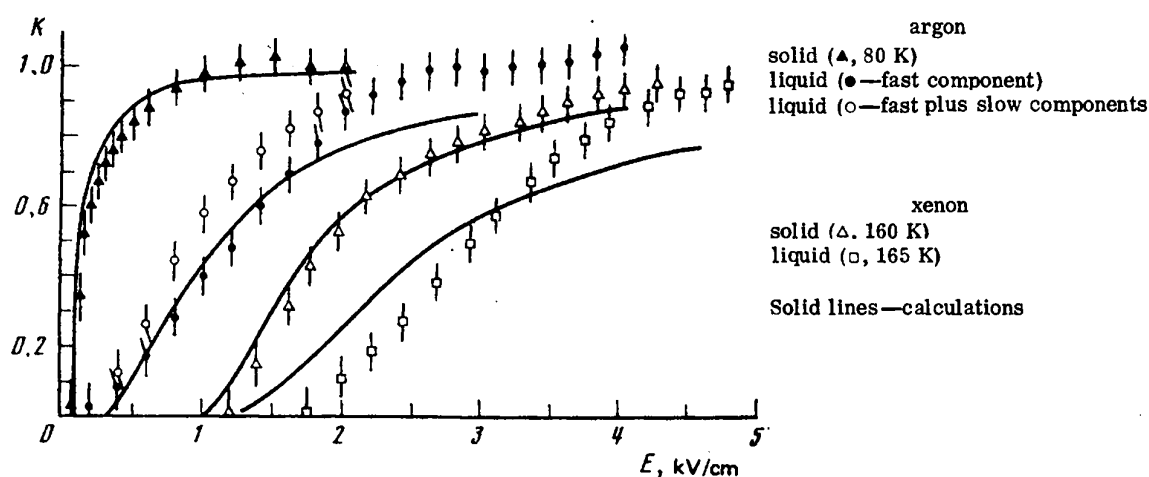
The design of the detector is relatively straightforward and it does not need to be further detailed at this stage, except for the requirement of extracting electrons from liquid Argon into gas. As already pointed out, this is already current practice in the ICARUS Collaboration for liquid Xenon.



**Figure 7.** Conceptual layout of the WIMPS detector housed in the 10 m<sup>3</sup> ICARUS Test Module T14. The Liquid Argon volume is divided in two region, the target (central part) with both ionisation and scintillation detection and the outer anti-coincidence volume in which only scintillation is recorded. The whole module is surrounded by an neutron shield, mad of water, which absorbs and degrades the energy of the neutrons below recoil energy threshold in the central region. The multiplication of the ionisation signal is performed inside a gas pocket, dynamically stabilised by a feed-back loop operating on the gas pressure in order to maintain the level of the liquid constant in the pocket.



The extraction of electrons both from liquid Argon and liquid Xenon is extensively reported in the literature [9], following the original work of Dolgoshein [10] in 1973. This extraction process depends from an emission coefficient, function of the temperature and local electric field. Classically, this is related to the work required to extract a negative charge from a dielectric material. In the case of liquid Argon and Xenon, this potential barrier is large compared to the electron temperature  $kT$ . Hence the spontaneous rate of emission is very small. However an applied, local accelerating electric field is capable of increasing the electron temperature to a sufficient level as to permit the quick extraction<sup>5</sup> of the electrons. The emission probability as a function of the locally applied electric field is shown in Figure 8, taken from ref. [9].

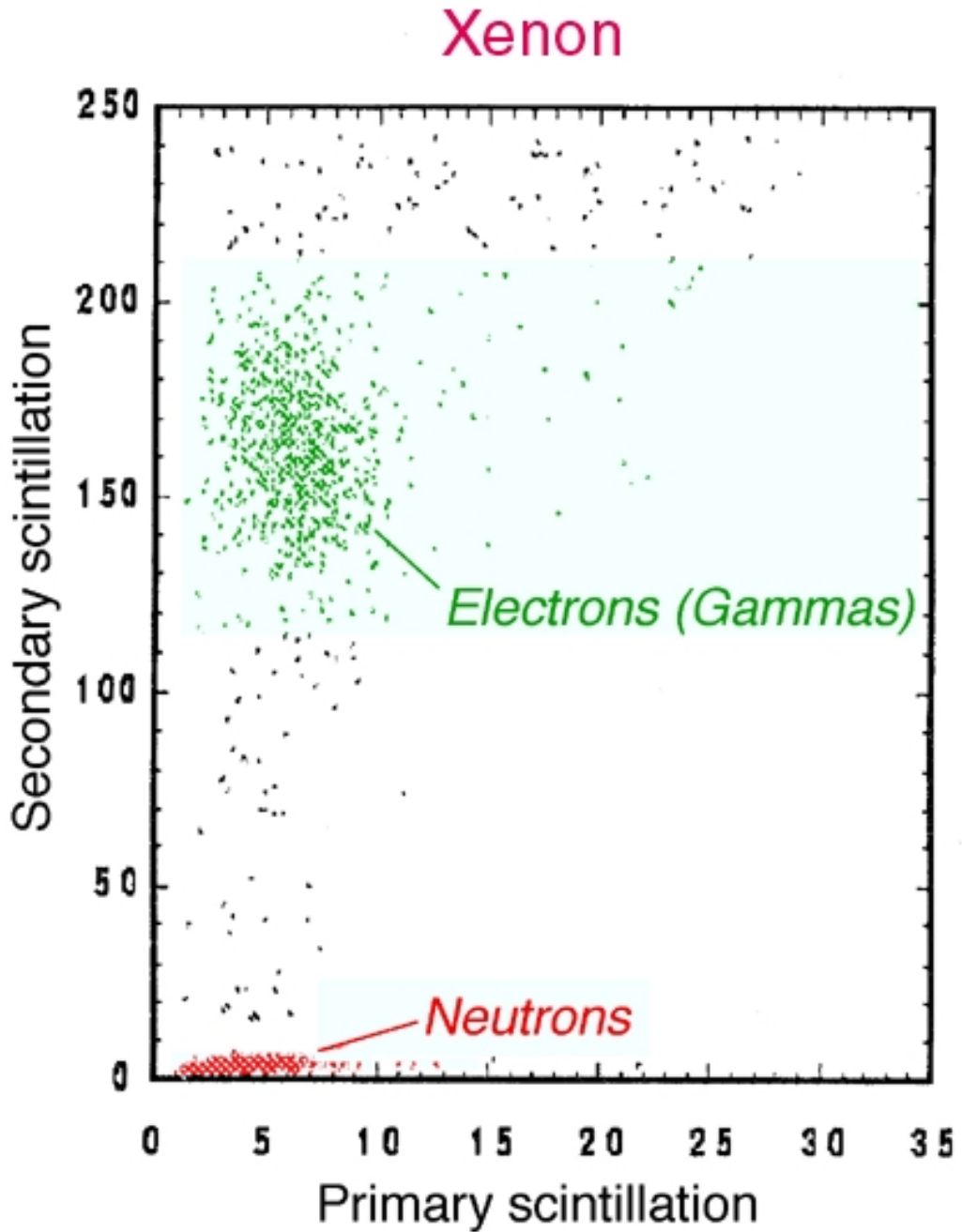


**Figure 8.** Dependence of the coefficient of electron emission from solid and liquid Argon and Xenon (from ref. [9])

It is apparent that extraction of electron from Argon is substantially complete already at values of the field of  $3 \div 5$  kV/cm. At sufficiently high field values the fast component is dominant. Therefore a grid must be inserted, still in the liquid phase, before the transition to the gas, in order to increase the field in the last bit of liquid and also in the gas region to this required value, to ensure that the role of the “heater” is assumed by the increased electric field. The higher field in the gas region is useful in the subsequent multiplication of the electrons, once extracted.

Ion recoils, though at a rate far smaller than electrons, produce also a few ionisation electrons. The exact number is known in Xenon and it must be measured in Argon as a part of the WARP programme. In view of the lighter mass of Argon ions when compared to Xenon, it is likely that the yield may be a bit larger, thus permitting a rough localisation of the recoil event by the drift time and the location of the multiplying cascade along the wire. Therefore the read-out in the gas phase could be made with an orthogonal arrangement of multiplying wires and read-out pads.

<sup>5</sup> An estimate [ ] of the emission time has shown that in suitable conditions, the electron remains in the interface not more than 0.1  $\mu$ s.



**Figure 9** First experimental evidence of electron recoils and nuclear recoils in liquid Xenon, as measured by the ICARUS Collaboration (ref. [1] and further work of P. Picchi et al.) The primary scintillation is measured with a photo-multiplier immersed in the liquid Xenon. The secondary scintillation is due to the delayed light emission during multiplication along a wire of the ionisation electrons extracted from the liquid into gas. Neutrons are produced by a radioactive source. The background is therefore substantial.

## 5.—PRELIMINARY BACKGROUND ESTIMATES.

The neutron background is considered first. The bare neutron flux measured by the ICARUS Collaboration inside Hall C is shown in Figure 10. The integrated flux is about  $4.33 \times 10^{-6}$  n/cm<sup>2</sup>/s, which corresponds to about 0.5 n/sec incident on the outer walls of the T14. An elaborate Montecarlo calculation has been set up [11] in order to estimate the residual background of neutron induced recoils in the fiducial volume. This Montecarlo takes into account all possible reactions and the detailed matter composition of the detector.

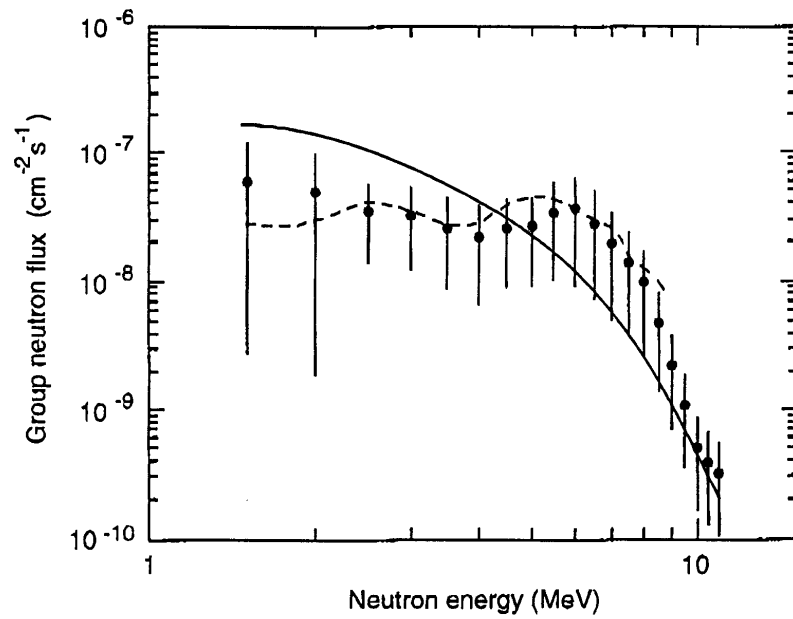
The neutron cross sections on Argon are shown in Figure 11. There is considerable disagreement between databases on the cross sections and the one we have chosen is the Japanese compilation JENDL. The elastic cross section is rich of many resonances and it is dominant over capture. At higher energies ( $\geq 1$  MeV) the inelastic neutron cross section ( $n, n'$ ) and later on the ( $n, 2n$ ) and ( $n, 3n$ ) start to play a role. Other cross sections are important in this region, like ( $n, p$ ), ( $n, d$ ) and so on. It is evident that only a detailed, Montecarlo calculation can predict the expected neutron background of a WIMPS search.

We remark that the Argon elastic cross section, which can mimic WIMPS events in the region of interest for the recoils ( $\geq 10$  keV) is relatively small, of the order of a few barns. The elastic mean free path is given by  $L_{coll} = \sigma_{ela}(barn)/47.6 \text{ cm}$  and therefore, in view of the dimensions of the dewar, almost all neutrons penetrating or exiting the volume will undergo one or more scattering. Evidently those events in which at least one scattering occurs in the anti-coincidence volume will be rejected.

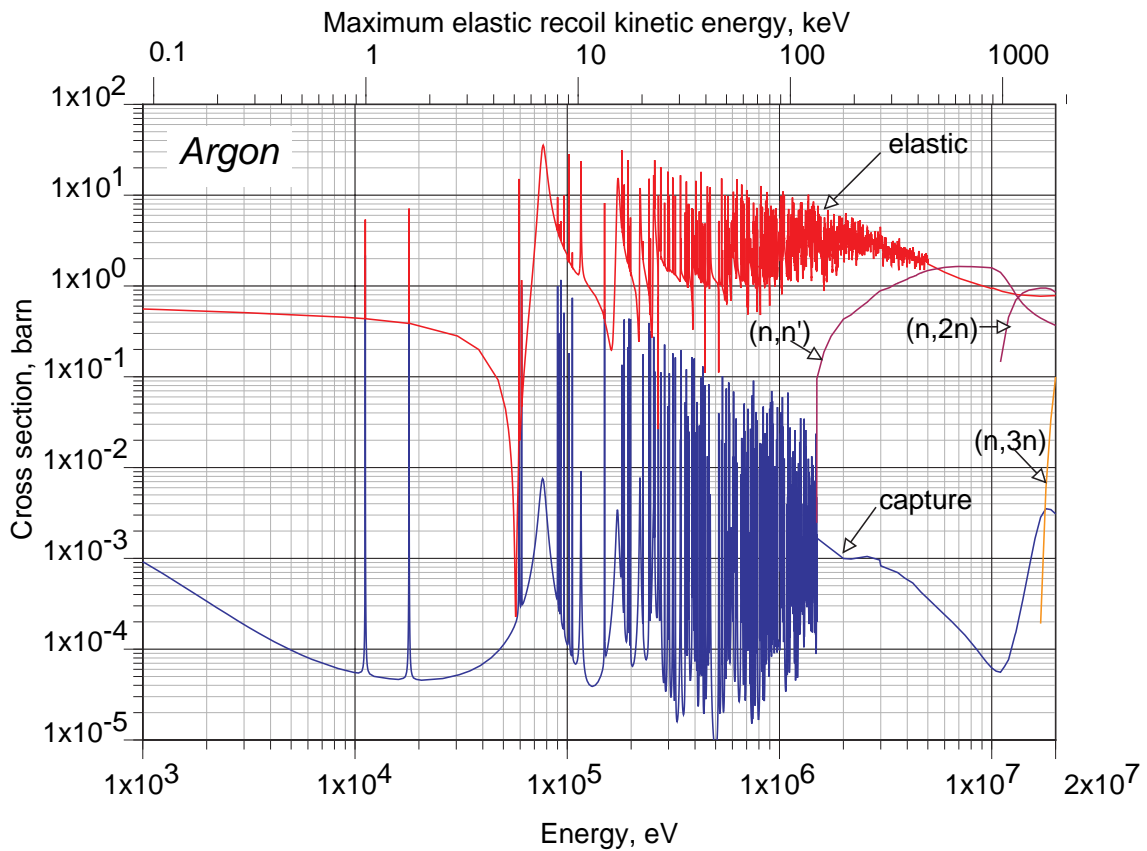
We select Montecarlo events with the following pattern:

- (1) a single recoil is produced inside the fiducial volume;
- (2) the final neutron capture does not occur inside the Argon. Clearly these events can be rejected because the capture is very energetic (many  $\gamma$ 's);
- (3) the (recoil) energy deposited inside the anti-coincidence shield is larger than 10 keV.

Starting from  $26.3 \times 10^6$  incident neutrons, corresponding to an exposure time of  $4.8 \times 10^7$  s (556 days), we find only 12 surviving events above an energy threshold of 5 keV, corresponding to a rate of 1 event every 46 days. Hence this background can be considered as entirely negligible. If the threshold is lowered to 2 keV, 8 more events are added. We note that this is an upper limit to the background, since neutrons, after having scattered, thermalise inside the detector and are eventually captured, with abundant  $\gamma$ -emission. These  $\gamma$ 's may be easily detected by the anti-coincidence shield, vetoing the event.



**Figure 10.** Bare neutron flux in the LNGS Hall C, as measured by the ICARUS Collaboration.

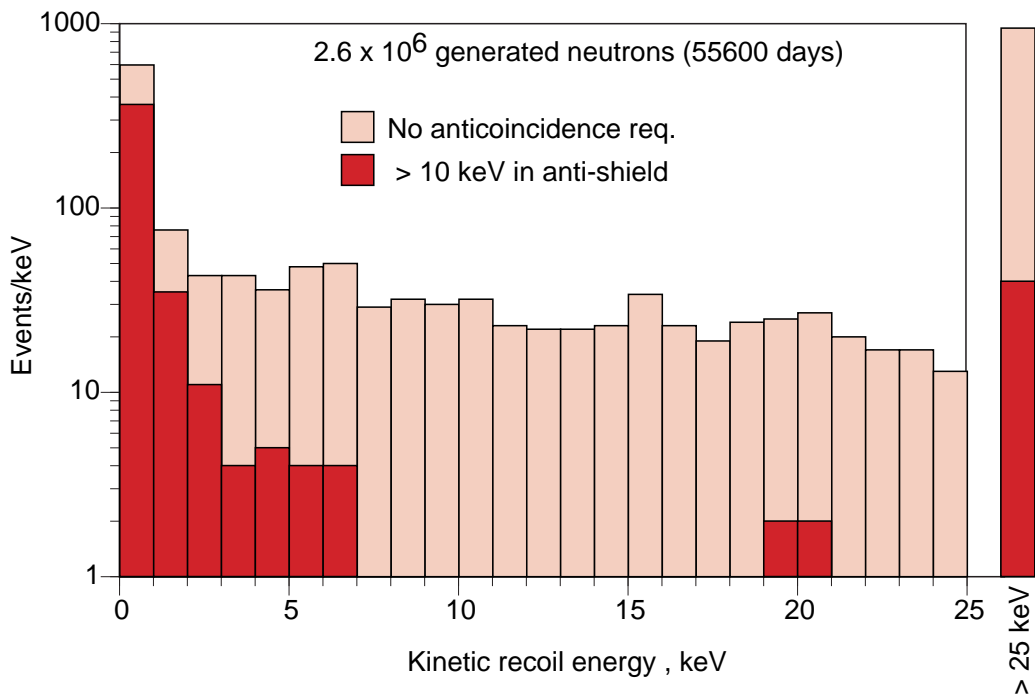


**Figure 11.** Neutron cross sections in natural Argon. The maximum energy of the elastic recoil is also shown. We note the complex cross section behaviour in the region of recoils of interest ( $10 \div 100$  keV).

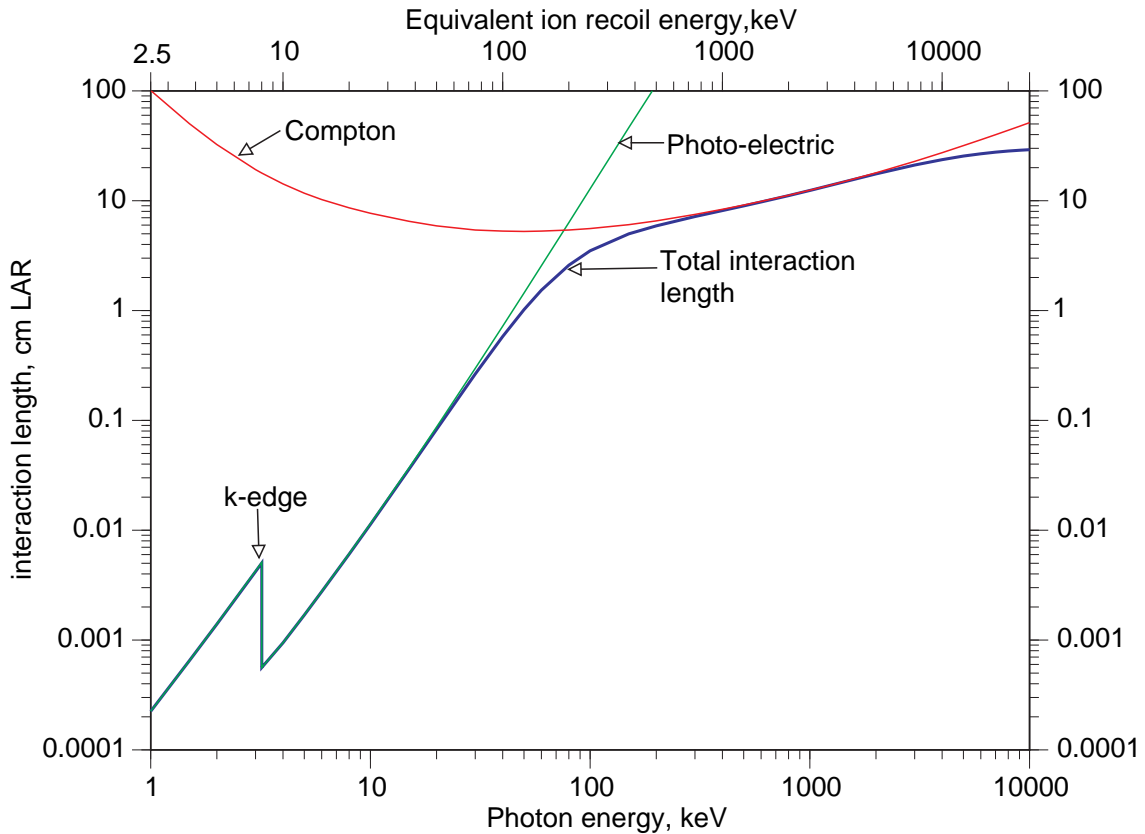
Another possible neutron source is represented by neutrons produced inside the detector, for instance because of spontaneous fission of Thorium or Uranium impurities. The activity of the materials used for the construction of the T14 have a conservative, measured upper limit of 1 Bq/kg of material. It is generally assumed that the ratio  $n/\gamma$  for these components is of the order of  $10^{-6}$ .

Assuming a total weight of the container of 2 ton, this corresponds to a source of  $2 \times 10^3 \times 10^{-6} \leq 2 \times 10^{-3}$  n/s. In the Montecarlo we have therefore located a fission neutron source in the bulk of the walls of the T14. Therefore the internal neutron source is about 1/1000 of the general neutron flux coming from the environment. However now there is no shielding from the water surrounding the detector.

Events are selected according to the previous criteria (1)-(3). Starting from  $2.62 \times 10^6$  incident neutrons, corresponding to an exposure time of  $4.8 \times 10^9$  s (55600 days), we find only 17 surviving events in the interval  $5 \div 25$  keV, corresponding to a rate of 1 event/year. Hence this background can be considered as entirely negligible, even if the uncertainties of the flux estimate are taken into account. If the threshold is lowered to 2 keV, 20 more events are added. The number of events with a single recoil above 25 keV is 40. The effect of the anti-coincidence shield is very spectacular, as shown in Figure 12, in which events with and without veto have been displayed.



**Figure 12.** Recoil energy spectrum for a fission neutron source and  $2 \times 10^{-3}$  n/s in the walls of the cryostat, presumably due to Th and U contamination. The effect of the anti-coincidence shield, in which a an energy deposition > 10 keV has been imposed is evident.



**Figure 13.** Interaction length in cm of liquid Argon as a function of the photon energy. The equivalent energy of a WIMP recoil (scintillation light) is also shown. At low energies, the photo-effect dominates, while at high energies Compton effect takes over. Above a few MeV, pair production (not shown) becomes relevant.

Next we consider the  $\gamma/e$  associated background. These events, as already pointed out, are rejected by the presence of a strong ionisation signal. However its rate must not be too large, in order not to rely too much from this single criterion. The actual rate of these events is hard to calculate with precision and its measurement is a part of the initial WARP programme. However qualitative considerations which follow indicate that they should be manageable.

Let us first consider direct electron production in the sensitive volume. This is presumably due to radio-active  $\beta$ -decay of unstable nuclei within the ultra pure Argon. The purification procedure does not reject other noble gases eventually present, which may end up dissolved in the liquid. Pure  $\beta$ -emitters are the most pernicious, since decays with associated  $\gamma$ 's produce more than one signal "kernel", either in the sensitive volume or in the anti-coincidence and they can be rejected. Note that the mean interaction/absorption path of a nuclear photon of energies up to few MeV is short (see Figure 13) and hence, as discussed later on, the detector acts as a "calorimeter" accumulating a major fraction of the energy of the  $\gamma$ -cascade.

- (1) There are two Argon isotopes which are radioactive with a long lifetime,  $A^{42}$  with  $\tau_{1/2} = 32.9$  years and namely  $Ar^{39}$ , with  $\tau_{1/2} = 269$  years.  $Ar^{42}$  is a pure  $\beta$ -emitter with an

average energy  $\langle \beta^- \rangle = 233$  keV and a specific activity of 259 Ci/g. For  $A^{39}$ , also a pure  $\beta$ -emitter, we have  $\langle \beta^- \rangle = 218$  keV and a specific activity of 34.1 Ci/g. While  $Ar^{39}$  contamination is expected to be minimal<sup>6</sup>,  $Ar^{42}$  present in atmospheric Argon has been questioned, due to the thermonuclear tests in the atmosphere, (double neutron capture from natural  $Ar^{40}$ ). Calculations by the ICARUS collaboration [13] have given a theoretical prediction of the order of  $10^{-22} \div 10^{-23}$  in atomic concentration with respect to  $Ar^{40}$ . The ICARUS Collaboration has also searched it in liquid Argon sometime ago in the LNGS tunnel and found the upper limit  $\geq 1.2 \times 10^{-18}$  in atomic concentration [14]. A more stringent limit has been given recently by Ashitkov et al. [15]. also in LNGS, which find that the  $Ar^{42}$  content in the Earth's atmosphere is less than  $6 \times 10^{-21}$  parts of  $Ar^{42}$  per part of  $Ar^{40}$  at 90 % confidence level. One ton of Argon ( $10^6$  g) has therefore an activity of less than  $259 \times 3.7 \times 10^{10} \times 6 \times 10^{-21} \times 10^6 = 0.057$  c/s (one count every 17.4 s), which is small, but not negligible. The (allowed)  $\beta$ -spectrum  $dn/dp_e \approx p_e^2 (T_o - T_e)^2$  — where  $(p_e, T_e)$  relate to the electron and  $T_o$  is the end point — has a significant part of the spectrum in the recoil energy interval  $\leq 80$  keV, corresponding to the actual electron energies  $\leq 20$  keV, because of the different scintillation efficiencies for ions and electrons. The probability of an electron  $P(\leq T_{\max}) \propto T_{\max}^2$  is 0.0188<sup>7</sup> for  $T_{\max} = 20$  keV, corresponding to 1 count every 925 s (93.3 counts per day). Evidently the discrimination between  $e/\gamma$  and recoils must be powerful. For instance to reduce this background to the negligible level of  $\geq 0.01$  event/day, it must be of the order of  $10^{-4}$ , which incidentally is not unreasonable. We note furthermore that the WIMP spectrum has the roughly exponential distribution as shown in Figure 3, while the  $Ar^{42}$  background spectrum is quadratic for low energies. Hence a residual background signal, if at all there, can be easily identified and subtracted out. Clearly the actual content of  $Ar^{42}$  in the Argon to be used must be carefully measured and it is a part of the tests of the WARP programme.

- (2) The daughter element of  $Ar^{42}$  is  $K^{42}$ , with  $\tau_{1/2} = 12.36$  hours, a  $\beta$ -emitter with an average energy  $\langle \beta^- \rangle = 1425$  keV. At equilibrium we have therefore the same number of decays as  $Ar^{42}$ , but the probability for  $T_e \leq 20$  keV is only  $1.36 \times 10^{-3}$ . The decays is associated also to  $\gamma$ -emission with a prominent line of 1.542 MeV (18.8 %) and therefore some of the events can be rejected topologically.
- (3) The liquid Argon contains also traces of other noble gases. The long lived  $Kr^{85}$  with  $\tau_{1/2} = 10.7$  years — maybe also related to nuclear applications (bombs and reactors) — may also be present to some extent.  $Kr^{85}$  is a pure  $\beta$ -emitter with an average energy  $\langle \beta^- \rangle = 251$  keV and a specific activity of 392 Ci/g. The same rejection criteria as for

---

<sup>6</sup> The production process in the thermonuclear tests is  $Ar^{38}$  (n, $\gamma$ ). The  $Ar^{38}$  natural isotopic fraction is 0.063%.

<sup>7</sup> The IB probability for the same energy threshold is 0.076 %.

Ar<sup>42</sup> therefore apply, though its residual content is probably much smaller, although, as yet, to be checked. Xenon does not have medium or long lived radio isotopes and therefore it is intrinsically clean. Also Radon is a noble gas and it will not be rejected by the purification. However its longest living isotope is Rn<sup>222</sup> with a  $\tau_{1/2}$ =3.82 days. In addition it is a pure  $\alpha$ -emitter with an energy of 5.489 MeV and therefore completely outside the energy range of interest.

- (4) Other elements may creep in the liquid Argon because of an insufficient purification of the noble gas, resulting in some spurious radioactivity. These can only be identified experimentally, though the expectation for a measurable background due to these impurities is very remote, in view of the high level of purification attained,  $<10^{-9}$ .
- (5) Neutrons inside the cryostat may end up in captures in Argon with production of Ar<sup>41</sup>. About 40% of the neutrons emitted by the inner materials of the cryostat are indeed captured by Argon. Ar<sup>41</sup> ( $\tau_{1/2}$  = 1.27 hours) is a  $\beta$ -emitter with an average energy  $\langle \beta^- \rangle$  = 464 keV and with an associated  $\gamma$ -line of 1.283 MeV (probability 99.16 %). The probability for  $T_e \leq 20$  keV is  $6.7 \times 10^{-3}$ . Therefore the combined (very small) probability of a single electron signature  $T_e \leq 20$  keV and with no  $\gamma$  is  $6.7 \times 10^{-3} \times (1-0.9916)=5.62 \times 10^{-5}$ . To this small level, the discrimination against e/ $\gamma$ , estimated about  $10^{-4}$  must be added, leading to a negligible background level.
- (6) Cosmic ray muons traversing the volume may produce unstable elements and eventually some neutrons. These background are generally eliminated because of the anti-coincidence, generally triggered by the passing muon.

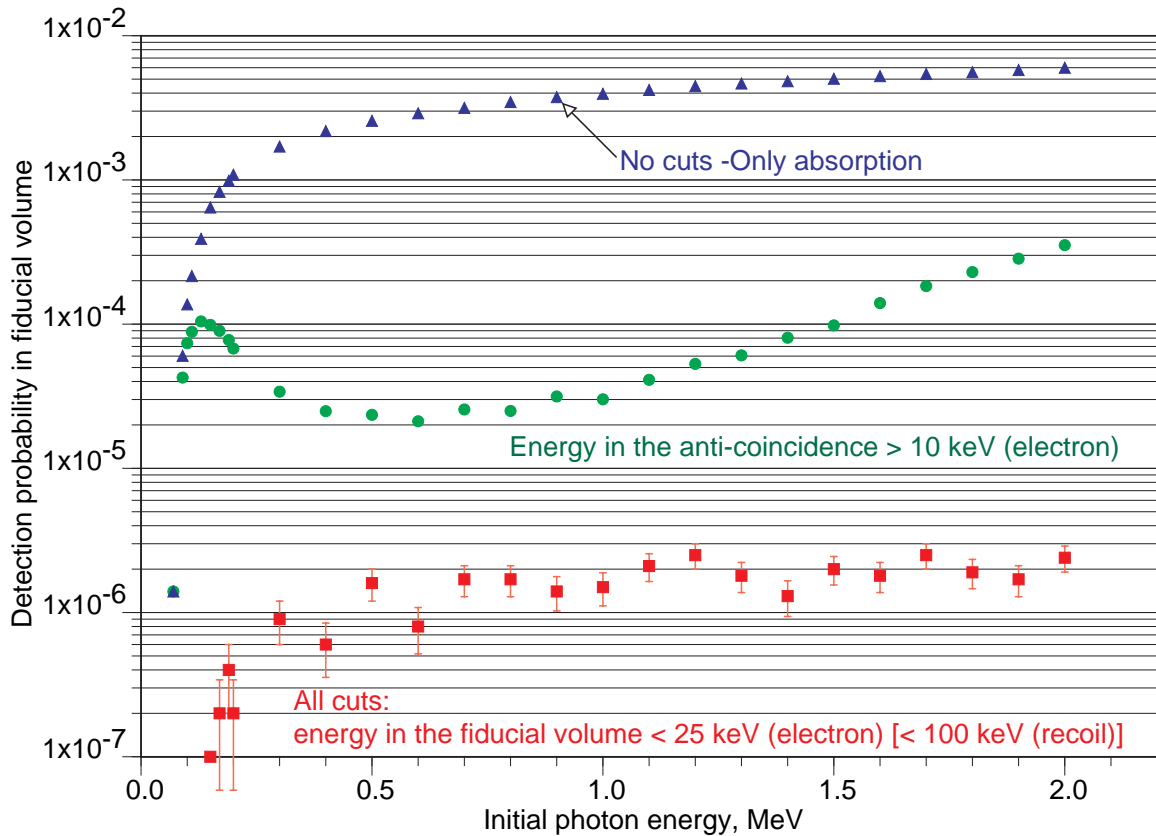
Let us consider now residual beta and gamma activity in the walls and other parts of the detector. The activity of the materials used for the construction of the T14 have a conservative, measured upper limit of 1 Bq/kg of material. Assuming a total weight of the container of 2 ton, this limit corresponds to a source of  $\leq 2 \times 10^3$   $\gamma$ /s. Only a fraction of these photons will penetrate the Argon and they will be powerfully shielded by the active Argon of the anti-coincidence shield.

The interaction path for photons as a function of the energy, or rather the equivalent scintillation light as ion recoil, is shown in Figure 13. In the WIMP recoil energy interval (2.5 ÷ 100 keV) the interaction length is very short,  $\ll 1$  cm and dominated by the photo-effect. Therefore photons of these energies have an extremely short path and only local sources inside the Argon (already considered) may contribute. Higher energy photons, up to several MeV, have longer path lengths and the Compton effect becomes gradually relevant. Compton scattering generates a continuum of electron recoils and hence a Compton scattered electron may fall in the WIMP recoil energy window. However the Argon (sensitive volume + anti-coincidence) is "thick" and several scattering events generally occur (cascade), with a progressive degradation of the initial photon



energy. The total energy collected in the whole Argon volume from higher energy photons is therefore generally close to the photon energy and much larger than the one of the WIMP recoils.

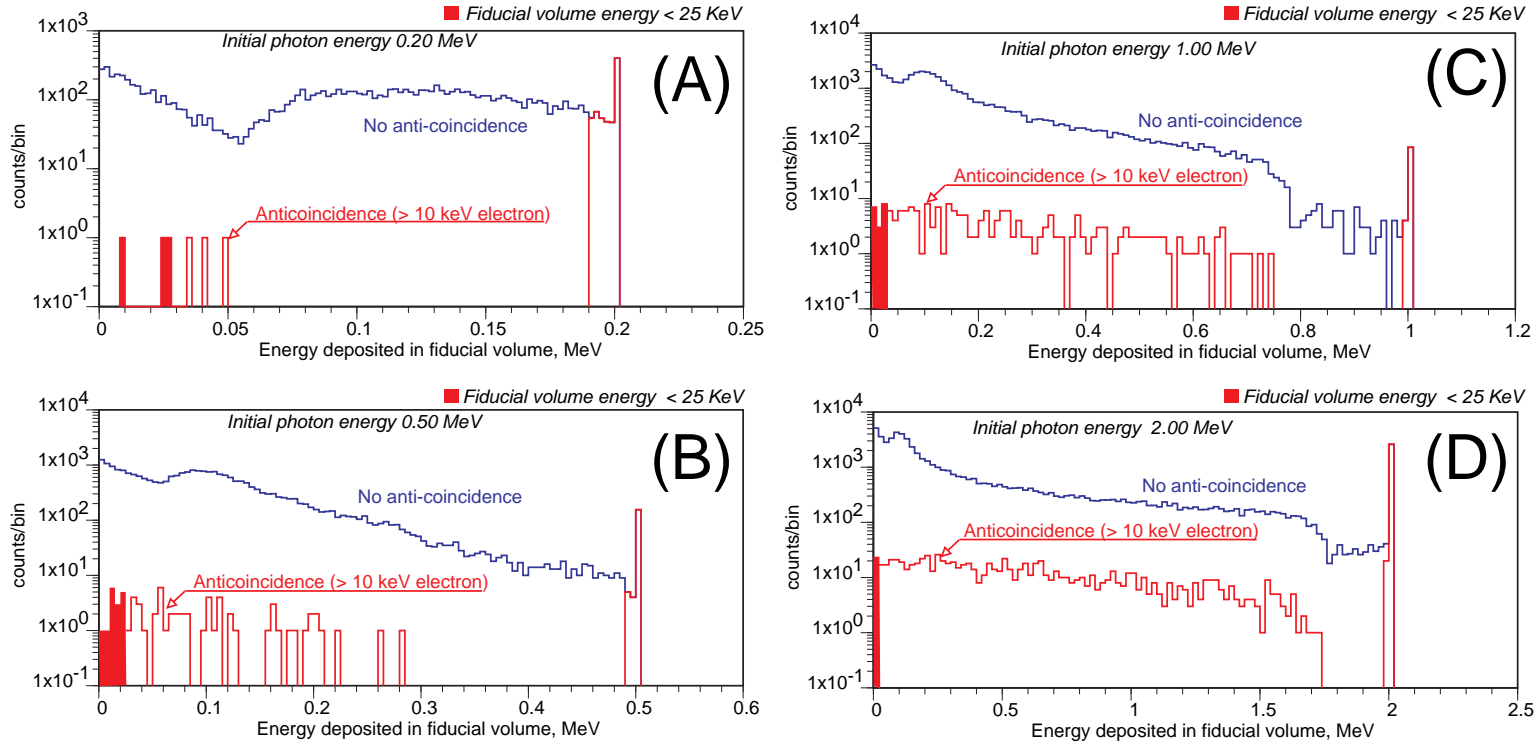
An elaborate Montecarlo has been performed in order to determine with precision the effects of the photon background in the sensitive volume. Since the mean free path for the most offending photons is not very dissimilar to the one for neutrons, we expect also in this case a very large suppression factor for the events with the correct signature.



**Figure 14.** Detection probability for a single hit in the sensitive volume of a photon emitted by the cryostat walls, as a function of its energy. The effect of the cuts is displayed

The source of photons has been located in the cryostat walls, for which we know that the residual activity does not exceed 1 Bq/kg. Assuming a total weight of the container of 2 ton, this limit corresponds to a source of  $\leq 2 \times 10^3$   $\gamma$ /s. Only a fraction of these photons will penetrate the Argon and they will be powerfully shielded by the active Argon of the anti-coincidence shield. Therefore the Montecarlo is generating an isotropic source of photons of different energies and these are followed inside the detector volume. All relevant cross sections are considered, according to the data of Figure 13. The correct kinematics including the angular distribution for the Compton effect has been used. We require a number of different signatures, progressively leading to the simulation of a WIMP event:

# $10^7$ initial photons emitted by the cryostat walls



**Figure 15.** Spectra of energy deposited by a single hit in the sensitive volume for different energies of initial photons emitted by the walls of the cryostat. The surviving spectrum with and without the anti-coincidence action of the surrounding Argon is shown. In addition the energy of the recoil must be compatible with the energy deposition of a potential WIMP recoil. Assuming conservatively that this is  $T_{rec} < 100 \text{ keV}$ , it corresponds to an equivalent electron energy  $T_e \leq 25 \text{ keV}$ . Curves (A) through (D) are for photon energies of 200 KeV, 500 keV, 1 MeV and 2 MeV respectively

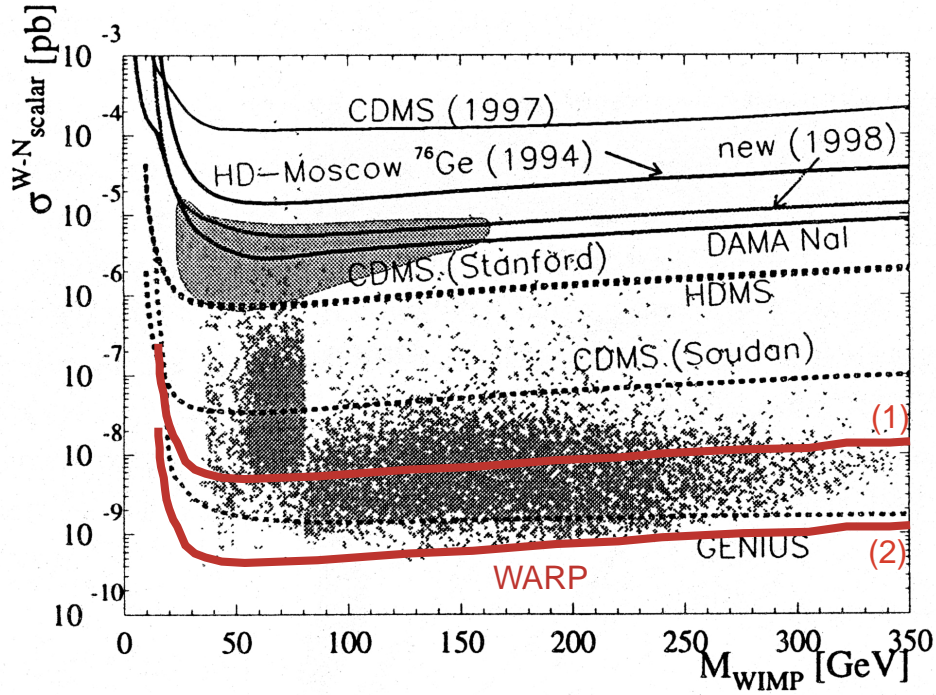
- (1) There should be one and only one recoil event in the sensitive volume. This can be either produced by a photo-effect, by a Compton scattering or a pair production. At this level the signal is reduced only because of absorption or solid angle.
- (2) The active anti-coincidence must not register a count, which has been set above a threshold of 10 keV.
- (3) The energy deposited in the sensitive volume must be in the range of the potential WIMP recoils. Assuming conservatively that this is  $T_{rec} < 100 \text{ keV}$ , it corresponds to an equivalent electron energy  $T_e \leq 25 \text{ keV}$ .

We show in Figure 14 the progressive effect of these cuts, as a function of the initial photon energy. At very low energies the absorption coefficient is very important and it reduces dramatically the photon flux arriving at the sensitive volume. At this level, the anti-coincidence is not very efficient, since the energy deposition required is of the order of the photon initial energy. When the initial photon energy is progressively increased, the Argon becomes more transparent, but the veto action is catching up. There is fortunately cancellation between these effect and the probability for a photon to meet above requirement (1) to (3) is almost independent of energy and flattens out at a value of about  $2 \times 10^{-6}$ . Therefore, widely independently of the actual spectrum of these background  $\gamma$ 's, which at this moment is unknown, we can say that the background rate will be of the order of  $\leq 2 \times 10^3 \times 2 \times 10^{-6} = 4 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ . Introducing the standard factor  $10^{-4}$  for the scintillation-ionisation criterion, we get a rate of  $4 \times 10^{-7} \text{ s}^{-1}$ , namely 1 event every 30 days.

We display in Figure 15 the effect of the several cuts in the spectral distribution of the energy deposited in the sensitive volume for four typical photon energies. One can see that the action of the anti-coincidence is such as not to eliminate those photons which deliver most of the energy in the sensitive volume. Fortunately only very few events have the small recoil energy exhibited by the WIMP recoils. When the initial photon energy is small, as already pointed out, the absorption of the Argon is taking over.

To conclude, there are two major sources of background which are to be compared to the potential WIMP signal level. We remind that according to the DAMA result [3], the event rate should be in excess of 1000 events/day/ton. These backgrounds are essentially :

- (1) Neutrons which produce recoils faking the WIMP recoils. These events are mostly due to the inner sources in the materials, essentially Thorium and Uranium cycles. The external neutrons in the Hall are effectively shielded by the water surrounding the detector. Since these events are due to an elastic scattering, the neutron survives the



**Figure 16.** Compared sensitivity of running WIMP direct detection experiments (continuous line) and proposals or upcoming experiments (dashed lines). The boundaries for WARP signal according to DAMA [3] are also indicated. The ultimate sensitivity interval for the present proposal are (1) for 1 ev/day and (2) 1 event every 10 days respectively. In light grey a scatter plot calculated in the MSSM framework with non-universal scalar mass unification from Heidelberg-Moscow collaboration[.]. Graph from ref. [12].

event and therefore has a large probability to give a count also in the anti-coincidence, either in its way in or in its way out. Many of these neutrons, once thermalised, are captured with prolific  $\gamma$ -emission<sup>8</sup>. Capture or multiple elastic scattering (elsewhere) can be used as signatures for background subtraction. The surviving background is estimated to be very small,  $\ll 1$  event/day, assuming the measured upper limit to the activity of the T14 materials and with the assumption that  $\gamma/n \approx 10^{-6}$ .

- (2) Beta decays with small energies and  $\gamma$ -conversions, either Compton or photo-effect. In all these events the ionisation vs. scintillation criterion must be grossly wrong (assumed rejection power  $\geq 10^4$ ) and the topology of a single recoil with no other activity must be fulfilled. These events being more effective in producing scintillation light than nuclear recoils, they must be also of very low energy, since for instance an average WIMP recoil energy of 12.5 keV corresponds to electrons of about  $2 \div 3$  keV. Such isolated electron events can either be due to:

<sup>8</sup> This signature could be enhanced introducing a thin foil (or alternative configuration) of a material with huge capture cross section.

(i) the low energy tail of the  $\beta$ -spectrum. These energies are very improbable, for all considered processes. Also the shape of the residual spectrum is quadratic in the electron energy. Hence shape dependent subtraction of background is possible, if at all necessary.

(ii) Compton events with unfavourable kinematics. However the photon survives the Compton effect and it is very likely to interact elsewhere either in the sensitive volume or in the anti-coincidence.

(iii) Photo-effect of a low energy photon. However in the photo-effect, the full energy minus the electron binding is transmitted to the electron, and hence only very low energy  $\gamma$ 's may contribute. However they are very strongly absorbed by the Argon, with millimetric path lengths, as visible in Figure 13.

The very low background level, estimated approximately and conservatively at this stage to be less than 1 event/day permits the detection of the primary signal, rather than solely relying on its seasonal variation. The ultimate sensitivity is therefore about three/four orders of magnitude better than the DAMA experiment.

In Figure 16 we give the roughly estimated limits of sensitivity of the WARP experiment with the estimated background levels. Curve (2) represents the ultimate sensitivity for 1/10 events/day. The sensitivity of the WARP experiment is comparable to the one of GENIUS, one of the most sensitive, second generation experiments. It is therefore worth while pointing out some of the differences between the two proposals.

- (1) The sensitive masses are comparable, of the order of 1 ton in both cases.
- (2) The target material is Germanium in the case of GENIUS and Argon (or eventually Xenon if deemed necessary by the WARP R&D programmes (see next paragraph). The Germanium is ultra-pure but in our case we use the scintillation/ionisation criterion to lower the background by about 4 orders of magnitude. Therefore backgrounds are very low in both cases.
- (3) The shielding around the sensitive volume is much larger in the case of GENIUS, since it is not active. In our case, as shown previously the active condition reduces by about 4 orders of magnitude the penetrating background

Therefore the fact that the two experiments have a comparable ultimate sensitivity is by no mean surprising.

## 6.—THE WARP PROGRAMME.

The WARP programme is a graded strategy intended to arrive at a WIMP search of unprecedented sensitivity, and aimed at the detection of both the “signal” and of its seasonal variation. These signals should be sufficiently clear as to be able to determine eventually both the mass and the (flux)  $\times$  (cross section) of the WIMPS.

The signature of the events is made unambiguous (1) separating  $e/\gamma$  events from recoils and (2) reducing sufficiently the neutron background by an active anti-coincidence. This can be realised only with an active volume of Argon of many tons, in order to allow for a significant interaction probability of the offending particles, while of course completely transparent to WIMPS. The localisation of the events, possible by simultaneous measurements of drift time and position of the recoil events in the sensitive volume of about 1 ton, can be used to further ensure the uniformity of the signal as expected from the “weak” nature of the WIMP events.

If the DAMA claim is confirmed, the WIMP event rate should be very large, of the order of 1000 events/day. However the backgrounds, mainly determined by the residual  $\beta$ -activity of the ultra-pure Argon and by the ultimate rejection power of the  $e/g$  signal, should permit observable rates at the level of a fraction of event/day, thus improving roughly 1000 times the sensitivity of DAMA. In many respects our detector resembles to the proposed GENIUS with 1 ton of Germanium, for which a similar improvement over DAMA is expected, except that (1) our surrounding volume may be smaller, since fully active and (2) the low counting rate intrinsic to Germanium is replaced by the rejecting power of the double (lack of) ionisation and scintillation signature.

The WARP programme is considered as a technological spin-off of the ICARUS programme. Therefore it is very reasonable that the T14 module, once made available, should be the basic building block of the WARP programme. We remark incidentally that the cost of the actual cryostat body is modest, when compared to the rest, namely cryogenic pumps, purifier, controls etc. and therefore the WARP programme is not rigidly blocked by the dimension of the cryostat presently available (T14), though it is for us a perfectly sensible choice, on the basis of the previous considerations. There is at this stage a vast amount of flexibility in the design of the final unit.

- If the volume or the shape of the T14 would turn out to be inappropriate, it could be modified accordingly, since the structure is modular, made of panels of honeycomb.
- If the use of Argon in the sensitive volume would turn out to be inappropriate because for instance of an excessive residual radio-activity, it could be replaced with liquid Xenon contained inside a thin thermal shield and operated at a higher temperature, with the help of a heater. This is a remote possibility since  $\text{Ar}^{42}$  residual from thermonuclear

tests — the worst potential offender — has an experimentally measured [15] upper limit of  $<10^{-2}$  faked WIMP events/day. Probably and according to calculations [13] the background is actually one order of magnitude lower. Hence Argon is already clean enough and — incidentally — much cheaper.

The WARP programme is therefore intended as a series of separate steps, leading to the realisation of a low background, largely redundant WIMP detector of about 1 ton. It may be spelled out in the following R&D phases, based on a small liquid Argon counter, of which most of the components already exist:

- (1) An elaborate test in which both the scintillation and ionisation signals are detected, extending the measurements already done by the ICARUS Collaboration in Legnaro with liquid Xenon. In these tests, neutrons are used to mimic the WIMP signal and the technology of rejection of  $\gamma/e$  is fully tested and optimised.
- (2) Presumably the same counter or a similar scale device is brought inside the LNGS tunnel to measure the residual activity of the actual Argon to be used, and in particular the one due to  $\text{Ar}^{42}$ .
- (3) The extraction of electrons from liquid to gas, their multiplication and readout and the dynamics of the gas-pocket are further studied in the laboratory in order to design the full scale unit.
- (4) The appropriate type of photo-multiplier is chosen, in co-operation with the similar activity already on going in the ICARUS Collaboration.

*It is only when such a preliminary programme will be completed* that the WARP Collaboration will submit a final technical proposal for the full scale experiment. We estimate that the R&D programme could be completed in about one year.

**7.—REFERENCES.**

- [1] P. Benetti et al. , Nucl. Instr. and Meth. A329 (1993), 361-364
- [2] ICARUS-TM in preparation
- [3] R. Bernabei et al. "WIMPs search by scintillators: a possible strategy for annual modulation search with large-mass highly radiopure NaI(Tl), Proceedings of TAUP97 Conference  
  
R. Bernabei, "Dark matter searches", Proceedings of the 8<sup>th</sup> International Symposium on Neutrino Telescopes, Venice, Feb20-22,19999  
  
R. Bernabei et al. Phys. Lett. B389 (1996), 757
- [4] D. Reusser et al. Phys. Lett., B255 (1991), 143
- [5] "Scintillation efficiency of nuclear recoil in Liquid Xenon", ICARUS-TM 99/14
- [6] G. Gerbier et al. Phys Rev, D42 (1990), 3211
- [7] A.R. Sattler, Phys. Rev. 138, A1815 (1965)
- [8] J. Lindhard et al., Mat. Fyz. Medd> Dan. Vid. Selsk. 33, no10(1963)
- [9] E.M. Gushchin et al. Sov. Phys. JETP, 55 (5) 1982
- [10] B. A. Dolgoshein et al. , Fiz. Element. Chastits at. Yadra 4, (1973) 167
- [11] C. Rubbia, to be published
- [12] H.V. Klapdor-Kleingrothaus, Proceeding of PASCOS'98
- [13] M. Terrani et al. unpublished
- [14] C. Arpella et al. Preprint LNGS 92/27, 1992
- [15] V. D. Ashitkov et al., Nucl. Instr. and Meth. A416 (1998), 179-181







Codice	Esperimento	Gruppo
	WARP	2

<b>Struttura</b>
<b>PAVIA</b>

<b>REFEREES DEL PROGETTO</b>	
Cognome e Nome	Argomento

<b>MILESTONES PROPOSTE PER IL 2001</b>	
Data completamento	Descrizione
31/3/2001	completamento tests su piccolo prototipo
30/6/2001	progetto esecutivo modulo da 10m <sup>3</sup>
31/12/2001	ordini materiali

<b>COMPETITIVITA' INTERNAZIONALE</b>
<p>Il progetto è in competizione con gli alti programmi di ricerca della materia oscura. Punti di forza del progetto sono l'elevata sensibilità, dovuta alla grande massa sensibile e la capacità di rigettare gran parte del fondo dovuto alla radioattività ambientale grazie alla particolare segnatura degli eventi.</p>

<b>LEADERSHIPS NEL PROGETTO</b>	
Cognome e Nome	Funzioni svolte
Rubbia Carlo	spokesman della collaborazione

Codice	Esperimento	Gruppo
	WARP	2

<b>Struttura</b>
<b>PAVIA</b>

**Consuntivo anno 1999/2000**

<b>LAUREATI</b>		
Cognome e Nome	Titolo della Tesi	Sbocco professionale
Laurea in		
Laurea in		
Laurea in		
Laurea in		
Laurea in		
<b>DOTTORI di RICERCA</b>		
Dott in		
Dott in		
Dott in		
Dott in		
<b>PRESENTAZIONI A CONFERENZE SU INVITO E SEMINARI SIGNIFICATIVI</b>		
Relatore	Titolo	Conferenza o luogo

Codice	Esperimento	Gruppo
	WARP	2

<b>Struttura</b>
<b>PAVIA</b>

**Consuntivo anno 1999/2000**

**SIGNIFICATIVE VARIAZIONI DI BILANCIO**

Capitolo	Variazione (ML)	Motivazione
Missioni Interne	_____	
Missioni Estere	_____	
Consumo	_____	
Trasporti e Facchinaggio	_____	
Spese Calcolo	_____	
Affitti e Manutenzioni	_____	
Materiale Inventariabile	_____	
Costruzione Apparati	_____	
Totale storni	_____	

**CONFERENZE, WORKSHOP e SCUOLE ORGANIZZATE in ITALIA**

Data	Titolo	Luogo

**SIGNIFICATIVE COMMESSE E RELATIVO IMPORTO**

ANAGRAFICA FORNITORE	DESCRIZIONE PRODOTTO O COMMESSA	IMPORTO (ML)

Codice	Esperimento	Gruppo
	WARP	2

<b>Struttura</b>
<b>PAVIA</b>

**Consuntivo anno 1999/2000**

<b>MILESTONES RAGGIUNTE</b>	
<b>Data completamento</b>	<b>Descrizione</b>
<b>Commento al conseguimento delle milestones</b>	

<b>SVILUPPO DI STRUMENTAZIONE INNOVATIVA</b>

<b>Ricadute su altri gruppi, sul sistema industriale e su altre discipline</b>