

# 乳胶室实验中X光片的本底与能量定标

邱进发

(中国科学院高能物理研究所,北京)

## 摘 要

对各年度(K0—K7)X光片的本底黑度 $D_B$ 进行了测量,给出了 $D_B$ 和能量定标黑度值 $D_i$ 的关系.对X光片本底的各种分布也作了测量,测量结果可作为能量定标和乳胶室实验其它方面的参数.

## 一、引 言

乳胶室(EC)是研究超高能核作用的有效探测器,它是由铅板或铁板与感光材料(核乳胶片、X光片)交叠而成的装置,如图1.由超高能核作用产生的电子或 $\gamma$ 光子进入乳胶室后,在铅板中产生电磁级联簇射,通过测量簇射粒子在X光片上形成黑斑的黑度,可以知道簇射发展情况,确定出簇射的能量及各簇射之间的关联.被测量的黑度与形成簇射的能量之间的关系由三维电磁级联理论所确定.由于每一批X光片在制作及处理条件上的微小差异等原因,同一能量粒子簇射黑斑的最大黑度会有些差别.为修正这些差别,对每一批X光片都要进行黑度-能量的定标.

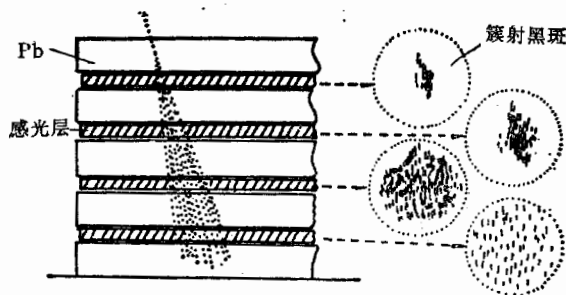


图1 EC组成示意图

在目前的乳胶室实验中,能量定标都是采用数径迹法<sup>[1]</sup>,即数出乳胶片中簇射电子的径迹数,按三维电磁级联理论<sup>[2]</sup>确定出能量 $E_0$ ,测量X光片中相应的最大黑度值 $D_{max}$ ,就可以得到 $D_{max}$ 与簇射能量 $E_0$ 的关系,即黑度-能量定标曲线<sup>[3]</sup>.由于核乳胶片的质量差异及宇宙线本底径迹的干扰,要准确地数出电子径迹并准确地标定能量是困难的.但是从X光片的特征曲线,可以了解到本底黑度 $D_B$ 与事例黑斑黑度 $D_{net}$ 之间存在着关联.因此,只要测得X光片的本底黑度值 $D_B$ ,便可以根据前几年的能量定标黑度值 $D_i$ (能量为1TeV时,黑斑的最大黑度)得到的 $D_B-D_i$ 关联曲线,很方便地得到当年的能量定标值 $D_i$ .

另外,测量 X 光片本底的各种分布,对电磁簇射的测量和能量的确定也有一定参考价值.

## 二、 $D_{\text{net}}$ 和 $D_B$ 的关系

利用加速器的高能电子束流照射 X 光片,可以得到黑度  $D$  与电子数密度  $\rho$  的关系曲线<sup>[4]</sup>,即 X 光片的特征曲线. 曲线可以用以下两个解析式表达:

$$D = D_0(1 - e^{-\alpha\rho}); \quad (1)$$

$$\text{或 } D = D_0\left(1 - \frac{1}{1 + \alpha\rho}\right), \quad (2)$$

其中  $D_0$  为饱和黑度,  $\alpha$  为与颗粒平均截面成比例的量.

假如  $D_B$  是由本底电子密度  $\rho_B$  引起的本底黑度,  $D_{\text{net}}$  是由簇射电子密度  $\rho_N$  引起的事例纯黑度,  $D_{\text{obs}}$  是由  $\rho_B + \rho_N$  引起的实际测量值,根据(1)式,有:

$$D_{\text{obs}} = D_0[1 - e^{-\alpha(\rho_N + \rho_B)}]; \quad (3)$$

$$D_B = D_0(1 - e^{-\alpha\rho_B}); \quad (4)$$

$$D_{\text{net}} = D_0(1 - e^{-\alpha\rho_N}). \quad (5)$$

由以上三式,可以推导出实际测量的簇射事例黑度:

$$D_{\text{net}}^{\text{obs}} = D_{\text{obs}} - D_B = \left(1 - \frac{D_B}{D_0}\right) D_{\text{net}}. \quad (6)$$

对于本底黑度分别为  $D_{B1}$  和  $D_{B2}$  的两种 X 光片,有:

$$\frac{D_{\text{net1}}^{\text{obs}}}{D_{\text{net2}}^{\text{obs}}} = \frac{1 - \frac{D_{B1}}{D_0}}{1 - \frac{D_{B2}}{D_0}} \cdot \frac{D_{\text{net1}}}{D_{\text{net2}}}. \quad (7)$$

假如两种 X 光片信号与本底的衰退率相同,即:

$$\rho_{N2}/\rho_{B2} \equiv \rho_{N1}/\rho_{B1}, \quad (8)$$

那么,当  $\alpha\rho_B, \alpha\rho_N \ll 1$ , 也就是本底黑度及事例纯黑度值均很小时,有:

$$\frac{D_{\text{net1}}}{D_{\text{net2}}} = \frac{1 - e^{-\alpha\rho_{N1}}}{1 - e^{-\alpha\rho_{N2}}} \approx \frac{\alpha\rho_{N1}}{\alpha\rho_{N2}} = \frac{\rho_{N1}}{\rho_{N2}} = \frac{\rho_{B1}}{\rho_{B2}} \approx \frac{D_{B1}}{D_{B2}}. \quad (9)$$

由(7)式和(9)式,得到:

$$\frac{D_{\text{net1}}^{\text{obs}}}{D_{\text{net2}}^{\text{obs}}} = \frac{1 - \frac{D_{B1}}{D_0}}{1 - \frac{D_{B2}}{D_0}} \cdot \frac{D_{B1}}{D_{B2}} \approx \left(1 - \frac{\Delta D_B}{D_0}\right) \cdot \frac{D_{B1}}{D_{B2}}, \quad (10)$$

$$\text{即: } \frac{D_{\text{net1}}^{\text{obs}}}{D_{B1}} = \left(1 - \frac{\Delta D_B}{D_0}\right) \frac{D_{\text{net2}}^{\text{obs}}}{D_{B2}}. \quad (11)$$

而  $\Delta D_B/D_0 \ll 1$ , 所以,  $Q = \left(1 - \frac{\Delta D_B}{D_0}\right)$  是一个趋近于 1 的量,亦即:

$$\frac{D_{net1}^{obs}}{D_{B1}} \approx \frac{D_{net2}^{obs}}{D_{B2}} \quad (12)$$

从上式可见, 已知某一年度的定标黑度  $D_1(E_0 = 1\text{TeV})$  便可以从本底  $D_B$  的变化推出未知的能量定标黑度值。

### 三、X 光片本底黑度随各种条件的变化

甘巴拉山乳胶室, 从 K0 号至 K7 号, 基本上都是设置在同一水泥平台上, 最底层铺设 1cm 厚铅板, 防止地面辐射。

影响 X 光片的本底黑度有诸多因素, 如放置温度、处理条件、外界放射性、包装材料质量等。测量时应当注意这些因素导致  $D_B$  的涨落。因此, 在选取某一年度 X 光片的本底值时, 必须有一定的标准。

#### 1. $D_B$ 在 X 光片上的分布

图 2 为 K36508 X 光片本底值  $D_B$  在 X 方向上的分布。由图可见, 本底值只有在两端偏高, 中间很大部分都是比较均匀的, 而两端的黑度值偏高, 这可以解释为显影时边缘接触溶液充分等原因。中央部位的  $D_B$  值, 才是真正的本底黑度值。

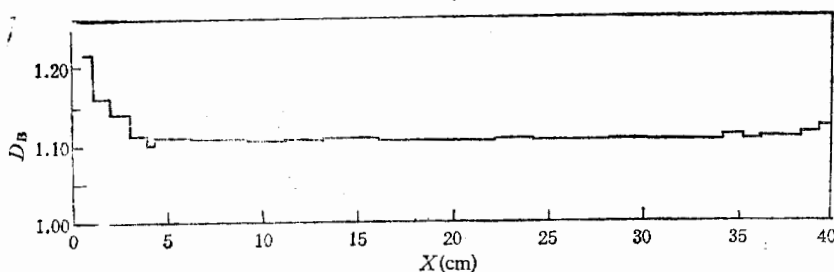


图 2 本底黑度在 X 方向上的分布

#### 2. 本底在 EC 中随深度 t 的变化

对某一单元的每一层 X 光片中央某一范围进行抽样测量, 可以得到各层  $D_B$  值随乳胶室深度  $t$  的变化, 图 3 是对 K365 单元测得的结果。可以看到, 在室的上层及底层, X 光片的本底值明显偏高, 这是因为在顶层, X 光片受大气中低能  $\gamma$  的影响, 使得黑度值偏高。曲线的中央部位才是正常本底。

#### 3. 各单元之间 $D_B$ 的变化

在同一年度中,  $D_B$  在各单元的测量值亦有不同程度的涨落, 这种涨落主要来自各单元在室中的位置和处理条件不同。对 K6 年度的 X 光片, 抽样了 8 个单元进行测量, 得到如图 4 的结果, 其中横坐标 No. 表示单元号。

另外, 同批 X 光片的本底黑度也会受到显影时间<sup>[4]</sup>和曝光时间的影响<sup>[9]</sup>。

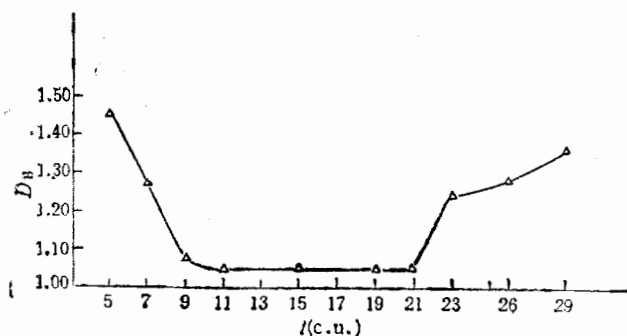
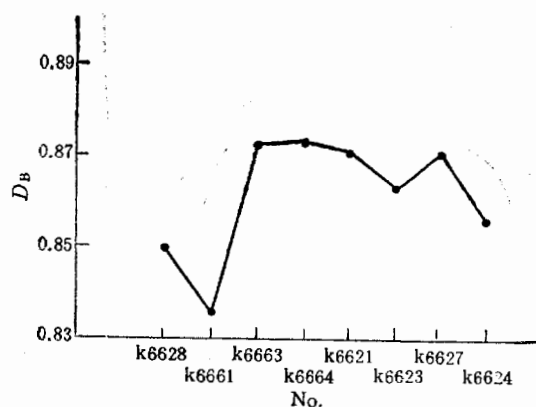
图3  $D_B$  在 EC 中随深度  $l$  的变化

图4 K6 年度不同单元 X 光片本底黑度的涨落

#### 四、实验结果

本底的测量是在三鹰全自动测量装置<sup>[6]</sup>上完成的。表1给出了测量的实验条件,其中  $D_1$  为用数径迹的方法得到的甘巴拉山乳胶室各年度的能量定标值。由实验结果得到

表1 K0—K6 能量定标值  $D_1$ 

年 号	测量孔径	底片型号	能量定标值 $D_1$ ( $E_1=1\text{TeV}$ )
K0-Pb	200 $\mu$ ×200 $\mu$	ND	0.181
K1-Pb	200 $\mu$ ×200 $\mu$	ND	0.094
K3-Fe	50 $\mu$ ×50 $\mu$	TIID	0.125
K4-Pb	200 $\mu$ ×200 $\mu$	ND	0.090
K4-Pb	50 $\mu$ ×50 $\mu$	TIID	0.15
K4-Fe	50 $\mu$ ×50 $\mu$	TIID	0.08
K5-Fe	50 $\mu$ ×50 $\mu$	TIID	0.10
K5-Fe	100 $\mu$ ×100 $\mu$	Fuji200	0.18
K5-Pb	50 $\mu$ ×50 $\mu$	TIID	0.17
K6-Fe	50 $\mu$ ×50 $\mu$	TIID	0.07
K6-Pb	50 $\mu$ ×50 $\mu$	TIID	0.13
K6-Pb	200 $\mu$ ×200 $\mu$	Fuji200	0.18
K6-Fe	100 $\mu$ ×100 $\mu$	Fuji200	0.14

的  $D_B-D_1$  关系见图 5、6。由图可以定标出未知的 K7 年度的能量定标黑度值  $D_1$ ，其结果 (K7A) 与用数径迹法得到的结果 (K7B) 是一致的，见表 2。

表 2 实验结果的比较

	Pb#200	PbTIIID	Fe#200	FeTIIID
K7B	$0.100 \pm 0.010$	$0.098 \pm 0.010$	$0.150 \pm 0.015$	$0.070 \pm 0.007$
K7A	$0.095 \pm 0.005$	$0.094 \pm 0.005$	$0.153 \pm 0.003$	$0.065 \pm 0.004$

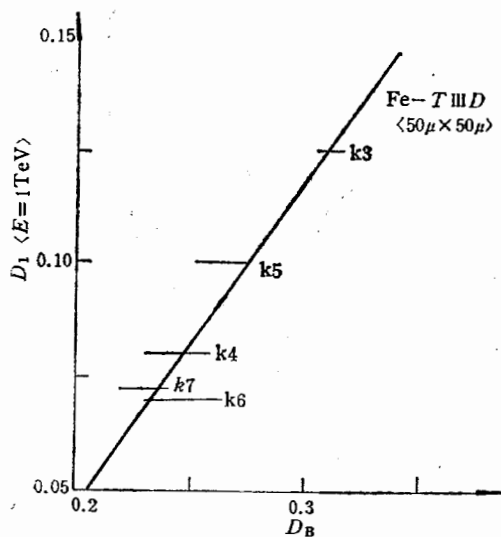


图 5  $D_B-D_1$  的关系曲线 (Fe-TIIID)

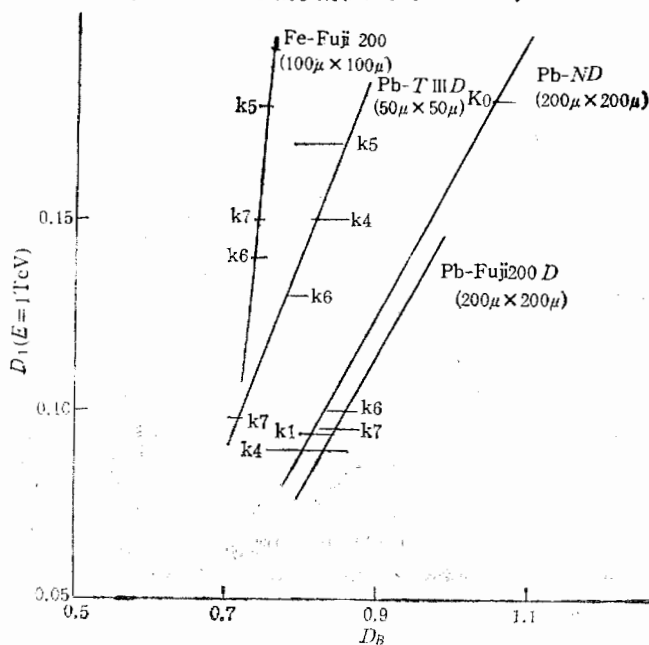


图 6  $D_B-D_1$  的关系曲线 (Fe-Fuji200; Pb-TIIID; Pb-ND Pb-Fuji200)

## 五、讨 论

1. 实验结果表明用  $D_B-D_1$  关系作能量定标是种很好的方法, 它和用数径迹法得到的结果相一致. 在本实验中, 由于实验点 (K0—K7) 少, 所以, 在确定  $D_B-D_1$  关系时, 涨落较大, 还有待今后的实验来加以补充.

2. 本底是决定显影条件的主要依据. 根据不同的需求, 可以对 X 光片采取相应的显影条件(温度和时间).

3. 本底随着 X 光片在 EC 中的深度不同有所变化(图 3), 同一 X 光片中各部分的  $D_B$  也有涨落(图 2). 图 3 还表明了大气中低能  $\gamma$  线及地面辐射对本底黑度的影响, 提供了当地的实验条件和精确确定能量的参考条件. 按照簇射测量时簇射斑周围本底值  $D_B$  的大小, 适当修正能量定标值  $D_1$ , 将会为正确测定能量提供有用的参数.

本工作是在任敬儒教授的指导下完成的, 同时, 也得到了陆穗苓老师的帮助, 在此深表感谢. 作者也感谢全体乳胶室的工作人员.

## 参 考 文 献

- [1] 任敬儒, 山东大学学报(自然科学版) **3**(1982), 76
- [2] J. Nishimura, *Suppl. Prog. Theore. Phys.*, **32**(1964), 72
- [3] Itau OHTA, *Suppl. Prog. Theore. Phys.*, **47**(1971), 271
- [4] OHTA et al., *Nucl. Instr. and Meth.*, **161**(1979), 35
- [5] 太田周, 宇宙线研究, **2**(1980), 24
- [6] 周宝堂, 山东大学学报, **1**(1985), 105

## THE BACKGROUND DARKNESS OF X-RAY FILMS IN EC EXPERIMENT AND ENERGY CALIBRATION

QIU JINFA

(*Institute of High Energy Physics, Academia Sinica, Beijing*)

### ABSTRACT

The  $D_B-D_1$  relations are presented in this paper by measuring background darkness of the X-ray films in No. K0—K7 chambers, in addition, different distributions of the background darkness of X-ray films are measured. They may be taken as somemuseful parameters in energy calibration and other respects for future EC experiments.