

时不变和时变快随机脉冲发生装置

楼滨乔
(北京大学)

本文描述一个快随机脉冲发生装置的结构和性能。它由快光源、快光电倍增管、快甄别、快放大、快计数和负反馈稳定回路构成。时不变快随机脉冲平均计数率可接近 10^6cps 。时变随机脉冲可随任意时变函数变化。

关键词: 随机脉冲 随机性 泊松分布 时变函数

一、引言

随机脉冲发生器用于模拟核辐射产生的随机脉冲信号或其他随机信号,它又是核电子仪器的重要测试装置。最初直接用放射源-核辐射探测器得到随机信号^[1],这种方法既不方便,性能又不高。以后用反偏PN结等产生随机信号^[2-5],此法使用广泛,但高计数率时,如时间间隔小于 $2\mu\text{s}$ 时明显偏离理想的泊松分布。而且易受内部和外部的干扰。近年来,有的用线性反馈移位寄存器产生的伪随机序列脉冲得到随机脉冲或用发光二极管得到随机脉冲^[6-8]。上面所述各种方法所得到的平均计数率大概为 10^5cps 或 10^6cps 。

本文用快速发光二极管、快光电倍增管及快电子学电路构成快随机脉冲发生装置。平均计数率可接近 10^6cps 。

二、时不变随机脉冲和时变随机脉冲

实际的核随机信号或其他随机信号需要不同的随机性。平均计数率 $\bar{n}$ 不随时间变化的称时不变随机脉冲,例如长寿命放射源就是时不变随机信号源。对于时不变随机信号为泊松分布时,两个相邻脉冲之间的时间间隔 T_i 的概率密度函数 φ_{T_i} 为:

$$\varphi_{T_i}(x) = \lambda_0 e^{-\lambda_0 x}$$

式中, x 为间隔长度。取对数, 上式成为一直线关系:

$$\ln \varphi_{T_i}(x) = \ln \lambda_0 - \lambda_0 x$$

平均计数率 $\bar{n}$ 随时间变化的称时变随机脉冲。时变函数可以是指数函数、线性函数、二次函数等等。例如闪发X-射线源、短寿命放射性核素、脉冲反应堆、等离子体装置等都属于时变随机脉冲源。时变随机脉冲的随机性由时变函数决定。例如对矩形脉冲时变函数,在脉冲宽度内和时不变随机脉冲相同,均服从泊松分布。

三、随机脉冲发生装置的结构和工作原理

图1(a)是本文设计的随机脉冲发生装置整体框图。各部分结构和作用如下。

1. 光源

如图1(b)所示,光源由快发光二极管LED、LED电源等组成。LED为磷化砷快发光二极管。为了和光电倍增管配合,用绿色、565nm。LED电源分两种,时不变脉冲用可变直流稳

定电源,时变脉冲用函数脉冲发生器。LED 发光具有角分布,其轴向要对准光电倍增管的光阴极面。

2. 光电倍增管

为了得到高计数率的随机脉冲,本装置选用 GDB50 型快光电倍增管。它的光谱范围为 300—650nm。输出信号上升时间约 1.9ns,暗电流约几十 nA。为取得快信号,从阳极取出,负高压供电。

3. 快甄别、快放大和输出级电路

快甄别、快放大和输出级电路如图 2 所示。

快甄别电路用于对光电倍增管输出信号成形和甄别噪声信号。它由超高速砷化镓隧道二极管构成,其双脉冲分辨时间小于 3ns,甄别范围约 10—400mV^[9]。

快甄别输出脉冲幅度不足以触发下级,为此加放大和输出级。它们由高频晶体管 3DG44C 构成。3DG44C 的 f_T 大于 2GHz。两级放大倍数约为 5 倍。

为了适合于高计数率信号工作,上述电路全部采用直流耦合。为了消除高速信号的互相干扰,在电路上加一些退耦电路。

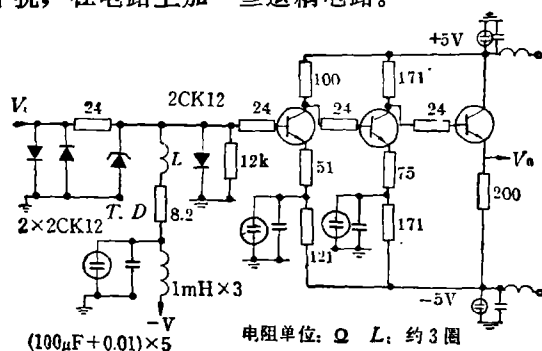


图 2 快甄别、快放大和输出级电路

4. 负反馈稳定电路

计数率稳定性与高压、LED 电源、甄别阈电源、LED 光发射、环境温度等因素有关。为了稳定计数率,加一个负反馈稳定电路。它由倒相输出、计数率计、反馈回路等组成,如图 3 所示。

在图 3 中,输出随机脉冲经倒相输出级加到计数率计上。计数率计的直流输出电压经反馈电阻 R_f^* (3kΩ) 加在 LED 的供电回路上。当平均计数率 $\bar{n}$ 由于某种原因变化时,使计数率计直流输出电压也变化,从而使 LED 电源产生反向变化,使 $\bar{n}$ 趋于稳定。必须正确调节反馈量才能使计数率稳定。

图 4 是时不变随机脉冲工作波形。图 4 (a) 是光电倍增管输出随机脉冲,幅度约 80mV, FWHM 约 5ns; 图 4 (b) 是示波器扫描速度为 1μs/cm 时的工作波形,由此可看到它的随机性。图 4 (c) 是快甄别器输出波形,幅度约 0.4V, FWHM 约 3ns。第一级放大输出为图 4 (d) 所示。最后输出波形为图 4 (e),幅度约 0.7V (50Ω 负载), FWHM 约 4.5ns。

图 5 是时变随机脉冲工作波形。图 5 中, (a) 和 (b)、(c) 和 (d)、(e) 和 (f) 分别为矩形时变脉

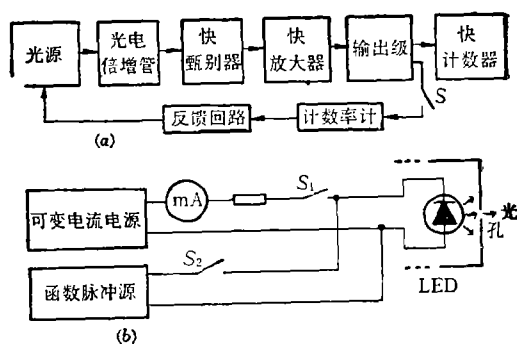


图 1 随机脉冲发生装置整体框图 (a) 和 LED 光源结构 (b)

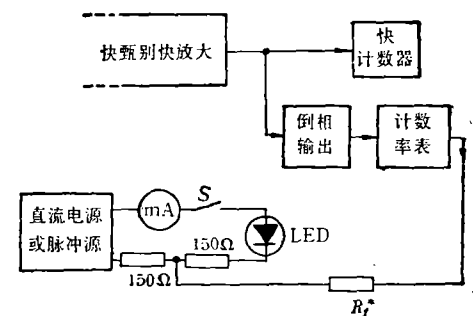


图 3 计数率稳定负反馈电路

冲、指数形时变脉冲和线性时变脉冲的输入波形和光电倍增管输出波形。从输出波形可以看到它的形状(大小和计数)随输入脉冲形状变化。由于LED需要一定的导通电压,所以输出波形只是大于导通电压的部分。

时变随机脉冲的平均计数率(随机)要比时变输入脉冲的频率(周期脉冲)大得多。通常选择为1000倍以上。

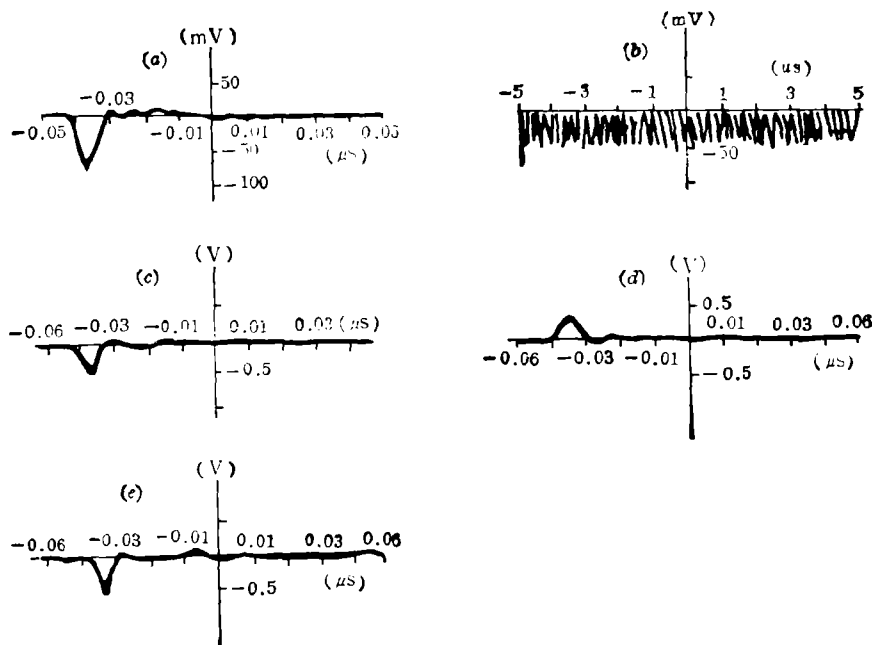


图4 时不变随机脉冲工作波形

四、性能测试

1. 随机性测试

图6是随机性测试装置。参考脉冲发生器是一个周期性脉冲发生器。周期脉冲和随机脉冲之间的时间间隔由TAC变成幅度,再由ADC和MCA分析,从而测得随机脉冲的时间间隔分布。

从前述可知,时不变随机脉冲的平均计数率和时间间隔为指数关系,

在半对数坐标中为

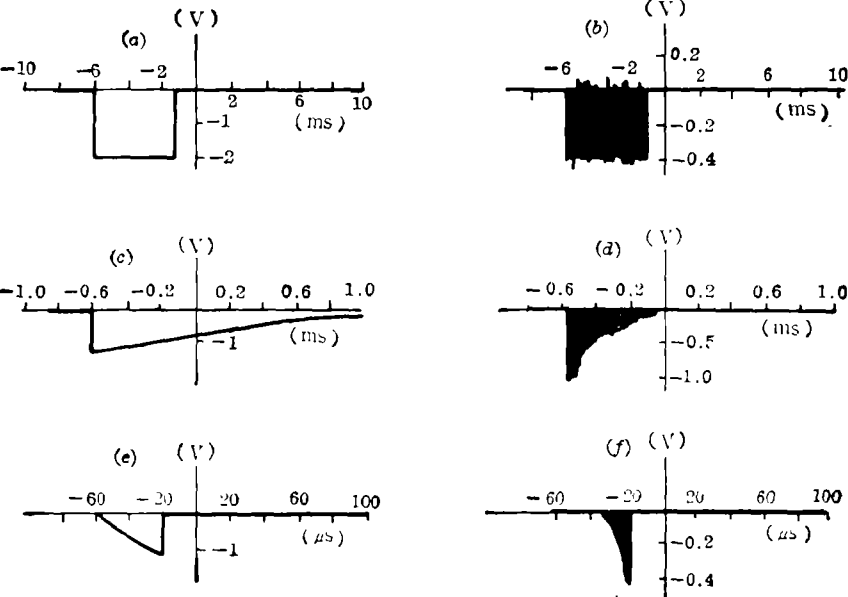


图5 时变随机脉冲工作波形

a,b: 矩形时变脉冲 c,d: 指数形时变脉冲 e,f: 线性时变脉冲

一直线关系。图7是时不变随机脉冲随机性测量结果。图7中,曲线(a)、(b)、(c)是平均计数率 $\bar{n}$ 为 5×10^3 cps时的结果。曲线(a)为直角坐标时的结果,可见计数率和时间间隔为指数

关系。曲线(b)为半对数坐标结果,可见为一直线关系,用最小二乘法可计算它的非线性。曲线(c)为TAC小量程时的结果,可见在小道数时无计数。由此可求出死时间 t_d 。设有计数的最小道数为 $m_{\min}$,TAC的量程为 ΔT ,ADC总道数为 M ,则:

$$t_d = (m_{\min} - 1) \cdot \frac{\Delta T}{M}$$

图7(d)是 $\bar{n}$ 为 1.5×10^5 cps时的结果,图7(e)和(f)是 $\bar{n}$ 为 1.4×10^6 cps和 4.2×10^7 cps时的结果。当 $\bar{n}$ 很大时,ADC死时间使计数损失较大。

对于不同的计数率,测量到的死时间 t_d 为4—8ns,这与系统的性能分析大致相符。对于时

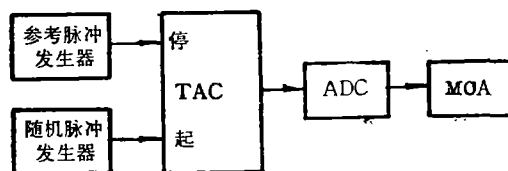


图6 随机性测试装置

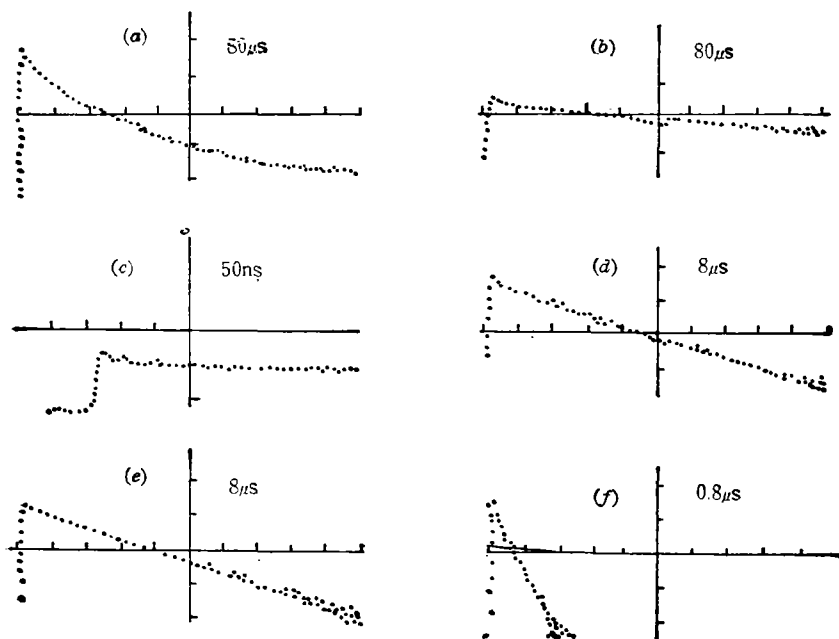


图7 时不变随机脉冲的随机性

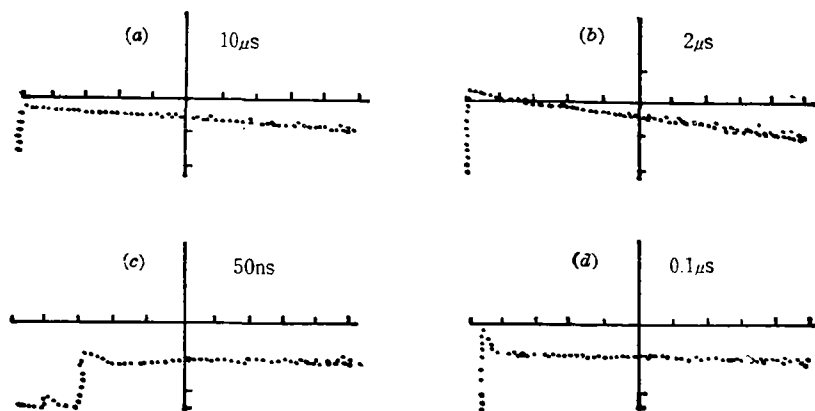


图8 时变脉冲的时间分布

间间隔分布的直线性, 用最小二乘法拟合计算, 结果表明为万分之几。由于所用ADC线性好于0.075%, TAC线性好于0.3%, 可见随机脉冲的时间间隔分布在上述误差范围内符合泊松分布。在时间分布测量结果中, 有的尾部误差增大, 这是计数的统计误差所致。

图8是时变脉冲的随机性测量结果。图8(a)和(b)是矩形时变脉冲的时间分布, (a)为 10^3 cps, (b)为 10^4 cps。从结果可见符合泊松分布。图8(c)是TAC小量程的结果, 同样可算得死时间 t_d 。图8(d)是线性时变脉冲的时间分布, 可见在半对数坐标中, 开始部分是近似指数形的一个峰, 后面部分大致为一直线。

2. 计数率可调数

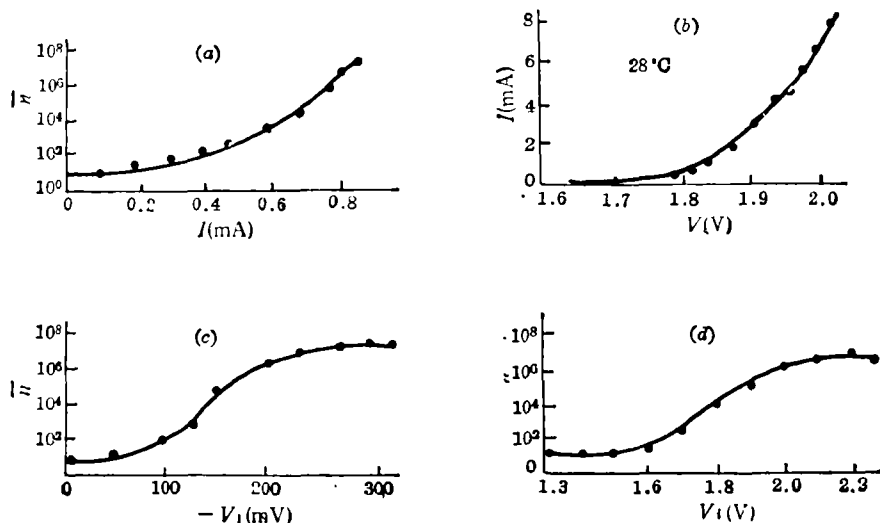


图9 计数率可调性 ($\bar{n}$: cps)

图9是计数率随各种参量变化的曲线。图9(a)是计数率随LED的电流变化曲线。图9(b)是LED的电流-电压特性, 导通电压约1.6V。 I 为零时的 $\bar{n}$ 约为10cps。图9(c)是计数率随甄别阈变化曲线, 工作时可适当选择一甄别阈。图9(d)是指数形时变脉冲幅度变化时计数率曲线, 可见幅度小于1.6V时只有噪声计数。从以上结果可见, 只要改变LED电源电压或时变脉冲幅度则可方便地调节计数率。

3. 稳定性测量

无负反馈稳定电路时, 计数率长期稳定性为5.7%(9小时)。高压变化0.05%时, 计数率变化1.6%。加上负反馈稳定电路后, 计数率长期稳定性达到0.4%(4小时)。

五、结 果

本随机脉冲发生装置性能如下:

- (1) 时变功能: 时不变信号; 矩形、指数形、线性或其他任意形状时变信号。
- (2) 计数率变化范围: $10-8 \times 10^7$ cps (时不变)。
- (3) 随机性: 时不变和矩形时变脉冲的随机性符合泊松分布, 其他时变信号随时变形状不同。
- (4) 计数率稳定性: 好于0.4%(4小时)。

(下转第53页)

间为3天、5天和7—10天与改良罗氏法的符合率分别为32.8%、66.7%和93.8%。INH、PAS、SM、RFP和EB的耐药菌株则无此现象,培养时间为3天、5天和7—10天时,与改良罗氏法的符合率均在90%以上。故结核杆菌放射性快速药敏试验中,INH、PAS、SM和RFP以培养时间5天为宜,EB以培养时间7—10天为最好。

4. 药敏试验中,809培养基与国外报道的7H9培养基进行了比较,在培养基体积(1.6 ml)、放射性浓度(0.0625、0.25、0.5、 $1\mu\text{Ci}/0.2\text{ml}$)和菌量(0.25、0.5、1.0、 $2.0\text{mg}/0.2\text{ml}$)0.2ml相同的情况下,培养时间分别为1、2、3、4和5天时,两种培养基中结核杆菌代谢产生的 $^{14}\text{CO}_2(\text{cpm})$ 与空白(仅有 ^{14}C -乙酸钠、而无结核杆菌) $^{14}\text{CO}_2$ 的比值,809培养基的比值高于7H9。因此,我们认为809培养基不仅全部性能可以与7H9相当,而且经济实用,价格仅为7H9培养基的五分之一。放射性核素标记物亦证明: ^{14}C -乙酸钠不仅价廉,而且性能较 ^{14}C -甘油、 ^{14}C -甲酸盐和 ^{14}C -葡萄糖优越。

5. 为了保证菌株的活力,标准敏感菌株和标准耐药菌株必须定期进行药敏试验,以及药敏试验菌株必须转种于改良罗氏培养基上2—4周才能进行药敏试验。但菌株应尽量减少传代次数,不使毒力与酶活性降低,从而影响试验的正确性。

6. $^{14}\text{CO}_2$ 测定中,我们采用液体闪烁计数器代替了国外的Bactec仪(一种自动化电离盒装置),不仅操作简单,而且检测速度提高一倍。闪烁液体积分别为1、2、3、4和5ml时,等量 ^{14}C -乙酸钠三次测定的平均值为122105、194030、281940、346605、357943cpm,说明闪烁液超过4ml后,测定值增加不大,故我们选用4ml闪烁液。随意选择青霉素瓶10只,一定量 ^{14}C -乙酸钠和4ml闪烁液,测量结果范围为210044—214035cpm,变异小于2%。

药敏试验时,培养基的新鲜配制、各种抗结核药浓度的准确、菌株悬液的研磨均匀和防止污染等亦是做好药敏试验的关键。

临床结果验证结核杆菌放射性快速药敏试验表明^[4]:该法可靠、时间短、准确性不逊于常规的改良罗氏法。因此,值得进一步推广应用。

参 考 文 献

[1] J. A. Kertcher *et al.*, *Amer. Rev. Respir. Dis.*, 117, 631 (1978).

[2] 郑翼宗等, *中华结核和呼吸系疾病杂志*, 3, 21(1980).

[3] D. E. Snider *et al.*, *Amer. Rev. Respir. Dis.*, 123, 402 (1981).

[4] 郭润志等, *中华结核和呼吸系疾病杂志*, 7, 339(1984).

(1986年10月21日收到)

(上接第14页)

(5) 死时间: 4—8ns。

参 考 文 献

[1] R. Beranger, *Onde Elect.*, 42, 872(1962).

[2] B. Divon and S. Rozen, *Nucl. Instr. Meth.*, 39, 77(1966).

[3] D. W. Burtis, *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, 20, 1-2, 209 (1973).

[4] G. White, *Nucl. Instr. Meth.*, 123, 575(1975).

[5] János GÁL, *ibid*, 171, 401(1980).

[6] S. Takeuchi, *ibid*, 222, 528(1984).

[7] 周志成等, *北京大学学报(自然科学版)*, 1, 106(1986).

[8] S. Takeuch, *Nucl. Instr. Meth.*, 215, 199(1983).

[9] 楼滨乔, *核技术*, 7, 8(1985).

(1986年11月14日收到)

(to Si) is 85—110/(0 capacitance). Experimental results are presented.

Keywords: pulsed-light feedback noise energy resolution

Time non-variant and time variant fast random pulse generator

Lou Bingqiao

(Beijing University)

This paper describes the construction and specifications of a fast random pulse generator. It consists of a fast LED light source, a PMT, a fast discriminator, a fast amplifier, a fast counter and a negative feedback stable circuit. The counting rate of time non-variant random pulses is near 10^4 cps. Time variant random pulses can vary with the shape of time variant pulse.

Keywords: random pulse randomness Poisson distribution
time variant function

The sediment accumulation rates measured in Lake Poyang using the ^{210}Pb dating method

Wang Xiuyu Zeng Erkang Wan Yusong Liu Xiaosong

(Jiangxi Institute of Labouring Hygiene Occupational Cure and Prevention)

The sediment accumulation rates were estimated from the vertical distribution of excess ^{210}Pb measured in sediment cores collected from Lake Poyang, Jiangxi. These rates were various with the difference in hydrology. The sedimentation rates are the lowest in the middle region of the lake, in which two samples could not be determined and the other one is 0.14 cm/a. The sedimentation rates are lower in the northeast basin section, averaging 0.19 cm/a. In the diffusion area of the lake from which 5 rivers enter, sand deposition is more than in other areas of the lake and the hydrology factors are various, the sedimentation rate variation is larger. They are from 0.08 cm/a to 0.28 cm/a. Because of the sand from the Yangtze River the sedimentation rates are the highest in the water-way section of the lake, averaging from 0.23 cm/a to 0.62 cm/a.

Keywords: lead-210 determination lake sediment
sedimentation rate

Determination of trace elements in human hair, kidney and liver by the method of proton induced X-ray emission analysis

Zhang Yuanxun Wang Xuepeng Zhi Min Yin Jianhua Qian Yine Cheng Yuandi

(Shanghai Institute of Nuclear Research, Academia Sinica)

This paper deals with the determination of trace elements in normal human hair,