

编号: 0180

内 部

科学技术成果报告

红外烘烤辐射材料的研究

科学技术文献出版社

科学技术成果报告

红外烘烤辐射材料的研究

(内部发行)

编辑者: 中国科学技术情报研究所

出版者: 科学技术文献出版社

印刷者: 中国科学技术情报研究所印刷厂

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

开本: $787 \times 1092^{1/16}$ 印张: 2 字数: 48 千字

1980年12月北京第一版第一次印刷

印数: 1—3,500册

科技新书目: 182—33

统一书号: 13176·96 定价: 0.35 元

目 录

I. 红外烘烤技术中高辐射率涂层的研究.....	(1)
一、前言.....	(1)
二、热辐射的基本定律.....	(1)
三、关于红外烘烤中辐射和吸收波长问题.....	(5)
四、测试方法与设备.....	(14)
五、红外涂料与涂覆工艺.....	(16)
六、应用效果.....	(16)
七、结语.....	(17)
II. 分子筛型选择性红外辐射材料的研究——松花江浮石制取钠丝光沸石.....	(17)
一、前言.....	(17)
二、实验部分.....	(18)
(一) 钠丝光沸石的合成及条件探索 (NaM)	(18)
(二) 氢型丝光沸石的制备及其红外性能的研究.....	(21)
(三) 实效测试结果.....	(22)
三、讨论.....	(28)
四、结语.....	(29)

红外烘烤辐射材料的研究

I. 红外烘烤技术中高辐射率涂层的研究

中国科学院金属研究所

一、前言

在工业加热烘烤中,被烘烤物一般为有机物,高分子化合物,及含水物质,如油漆、涂料、树脂、食品等。这些物质大多数要求的烘烤温度范围约数百度,它们对波长在 $2.5\sim 15$ 微米的红外线具有较强的吸收本领。

近几年来,日本在广泛推广采用表面为高辐射率涂层(金属的氧化物、锆石陶瓷等)的“远红外辐射器”,来代替原有的近红外辐射源(红外灯)及热风炉等,取得了较好的节电效果。

我国自一九七四年以来,上海等地也在工业烘烤的电热元件上试验采用高辐射率涂层,效果良好。由于我国目前大多数已采用数百度的管、板状热元件,它们所辐射的红外线波长与日本的“远红外辐射器”类似,包括中红外及近、远红外各部分,但由于有些热元件的表面辐射率比较低,不能充分发挥红外辐射源的辐射能力,因此在这些热元件的表面上加涂一层高辐射率涂层,提高辐射热能,在很多情况下,能起到节能的作用。

我所自一九七六年以来对红外烘烤技术开始进行研究,我们首先到长春、上海等地参观学习,了解到外地有的工厂烘炉经过技术改革后能节约能源、提高工效。他们所采用的改革途径是多方面的。例如,(1)在热元件表面加上高辐射率涂层;(2)将金属热元件改为碳化硅热元件提高辐射率;(3)增加单个热元件的电功率,以提高热元件的表面温度;(4)提高烘炉内壁反射率(加铝反射板减少辐射热损);(5)减少空气对流量,降低对流热损;(6)改进烘烤工艺,提高加热区温度,缩短烘道热区节约电力。由于不少工厂烘炉的热工设计不够好,总热损很大,因而节电的潜力也很大。

二、热辐射的基本定律

所有波长的电磁辐射都是由物质内部带电粒子(电子、离子)的振动而产生的,其中物质所含离子的振动相当于红外的辐射。红外辐射可用分子的两种过程来描述,一为原子核对于公共重心的振动;二为原子核绕着公共重心的转动,红外线是波长从 $0.76\sim 1000$ 微米的电磁波,按照分子振动的方式它们又可分为:

光谱范围	分子振动形式	讨论
近红外 $0.76\sim 2.5\mu$	振动—转动谱的倍频	倍频较基频弱100倍
中红外 $2.5\sim 25\mu$	基本振动—转动光谱	这个波段易被水蒸气吸收
远红外 $25\sim 500\mu$	转动光谱以及振动转动光谱	
毫、微米波	转动光谱	

物体辐射要消耗能量，辐射和吸收是能量的交换过程，实验证明能够彼此交换热量的物体，经过一段时间后将会具有相同的温度，就是达到了热平衡，热辐射是一种平衡辐射，它遵守热力学原理导出的下列规律。

1. 克希霍夫定律

设辐射体表面上单位面积向各方向所发射出的所有波长的能量称总辐射强度 W ，则在某已知波长 λ 附近单位波长间隔内的辐射能量称单色辐射强度 E_λ ，则

$$W = \int_0^\infty E_\lambda d\lambda$$

其次，再设有某已知波长 λ 处单色辐射强度为 $Q_{0\lambda}$ 的红外线入射到物体上，这入射能量中一部分 $Q_{R\lambda}$ 被物体表面所反射，对于透明物体则有一部分 $Q_{D\lambda}$ 透过这物体，对于不透明物体这个透过的能量则等于零，（例如，铁板、土豆并不能被红外线所穿透），还有一部分能量 $Q_{A\lambda}$ 则被物体所吸收。则有：

$$\frac{Q_{R\lambda}}{Q_{0\lambda}} + \frac{Q_{D\lambda}}{Q_{0\lambda}} + \frac{Q_{A\lambda}}{Q_{0\lambda}} = 1$$

其中 $\frac{Q_{A\lambda}}{Q_{0\lambda}} = A_\lambda$ 称物体对波长为 λ 的红外线的单色吸收率，它的数值在 0—1 之间。

下述实验指出，物体的单色辐射强度 E_λ 和单色吸收率 A_λ 之间有着一定的联系。假定将几个吸收率不同，温度不同的物体 B_1 、 B_2 、 B_3 用细丝悬挂在一个用不透明材料制成的封闭空腔内，空腔内抽成真空。则物体间主要靠辐射换热，经过一段时间后，所有的物体都具有相同的温度。由此可见，辐射较大的物体其吸收也比较多。

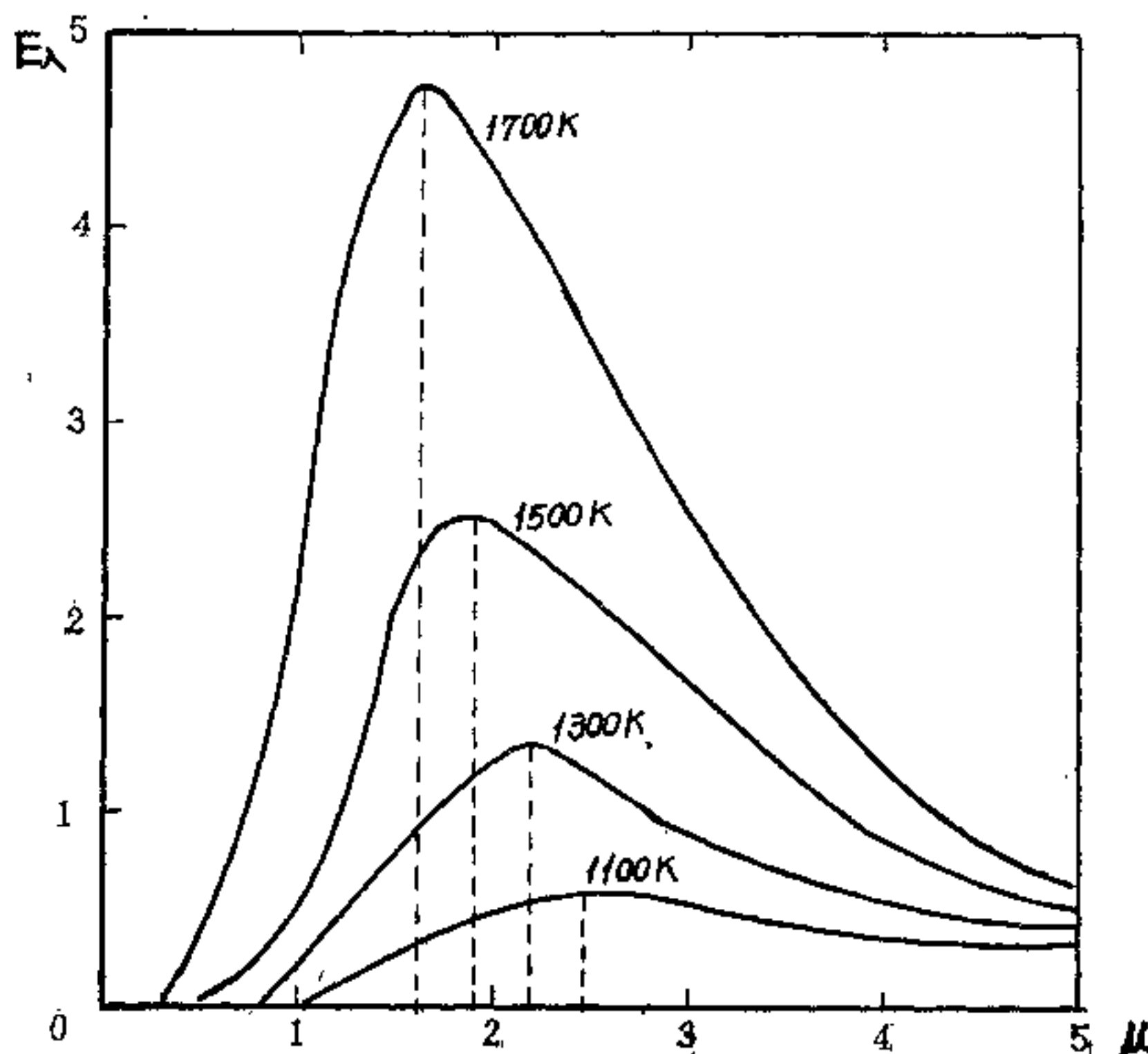


图 I-1

克希霍夫定律指出，物体的单色辐射强度 E_λ 和单色吸收率 A_λ 的比值，与物体的性质无关，对所有物体而言它只是波长和温度的函数。则有：

$$\frac{E_\lambda}{A_\lambda} = f(\lambda, T)$$

2. 普朗克定律

假定能有一个物体在各种温度时，对所有的波长而言，都有 $A_\lambda = 1$ ，也就是说，这种物体对所有波长的红外线都能完全吸收，人们将这种物体称为绝对黑体。绝对黑体的单色辐射强度 E_λ 随波长和温度而变化，即：

物体辐射要消耗能量，辐射和吸收是能量的交换过程，实验证明能够彼此交换热量的物体，经过一段时间后将会具有相同的温度，就是达到了热平衡，热辐射是一种平衡辐射，它遵守热力学原理导出的下列规律。

1. 克希霍夫定律

设辐射体表面上单位面积向各方向所发射出的所有波长的能量称总辐射强度 W ，则在某已知波长 λ 附近单位波长间隔内的辐射能量称单色辐射强度 E_λ ，则

$$W = \int_0^\infty E_\lambda d\lambda$$

其次，再设有某已知波长 λ 处单色辐射强度为 $Q_{0\lambda}$ 的红外线入射到物体上，这入射能量中一部分 $Q_{R\lambda}$ 被物体表面所反射，对于透明物体则有一部分 $Q_{D\lambda}$ 透过这物体，对于不透明物体这个透过的能量则等于零，（例如，铁板、土豆并不能被红外线所穿透），还有一部分能量 $Q_{A\lambda}$ 则被物体所吸收。则有：

$$\frac{Q_{R\lambda}}{Q_{0\lambda}} + \frac{Q_{D\lambda}}{Q_{0\lambda}} + \frac{Q_{A\lambda}}{Q_{0\lambda}} = 1$$

其中 $\frac{Q_{A\lambda}}{Q_{0\lambda}} = A_\lambda$ 称物体对波长为 λ 的红外线的单色吸收率，它的数值在 0—1 之间。

下述实验指出，物体的单色辐射强度 E_λ 和单色吸收率 A_λ 之间有着一定的联系。假定将几个吸收率不同，温度不同的物体 B_1 、 B_2 、 B_3 用细丝悬挂在一个用不透明材料制成的封闭空腔内，空腔内抽成真空。则物体间主要靠辐射换热，经过一段时间后，所有的物体都具有相同的温度。由此可见，辐射较大的物体其吸收也比较多。

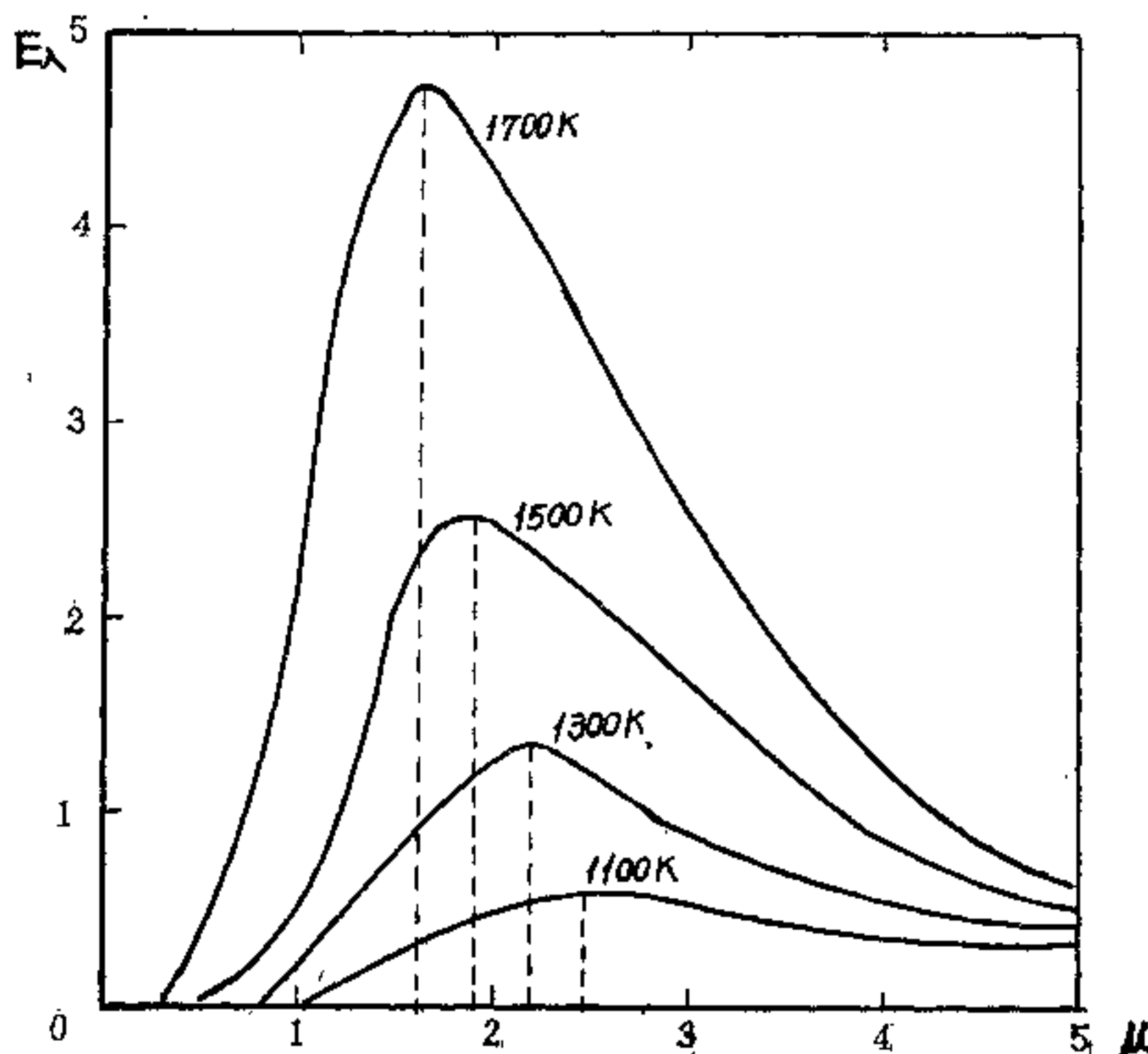


图 1-1

克希霍夫定律指出，物体的单色辐射强度 E_λ 和单色吸收率 A_λ 的比值，与物体的性质无关，对所有物体而言它只是波长和温度的函数。则有：

$$\frac{E_\lambda}{A_\lambda} = f(\lambda, T)$$

2. 普朗克定律

假定能有一个物体在各种温度时，对所有的波长而言，都有 $A_\lambda = 1$ ，也就是说，这种物体对所有波长的红外线都能完全吸收，人们将这种物体称为绝对黑体。绝对黑体的单色辐射强度 E_λ 随波长和温度而变化，即：

单色辐射强度		波 长 μ						
温 度 °K		9	10	20	40	60	80	100
300		0.312048 ÷ 09	0.314338 ÷ 09	0.116848 ÷ 09	0.157044 ÷ 08	0.391053 ÷ 07	0.138244 ÷ 07	0.604273 ÷ 06
400		0.119261 ÷ 10	0.105825 ÷ 10	0.231398 ÷ 09	0.249393 ÷ 08	0.582621 ÷ 07	0.199901 ÷ 07	0.858825 ÷ 06
500		0.270653 ÷ 10	0.223341 ÷ 10	0.362319 ÷ 09	0.345025 ÷ 08	0.777180 ÷ 07	0.262092 ÷ 07	0.111482 ÷ 07
600		0.474527 ÷ 10	0.373915 ÷ 10	0.502543 ÷ 09	0.442381 ÷ 08	0.973305 ÷ 07	0.324584 ÷ 07	0.137156 ÷ 07
700		0.718328 ÷ 10	0.548496 ÷ 10	0.648445 ÷ 09	0.540695 ÷ 08	0.117031 ÷ 08	0.387208 ÷ 07	0.162871 ÷ 07
800		0.991963 ÷ 10	0.740474 ÷ 10	0.798057 ÷ 09	0.639685 ÷ 08	0.136794 ÷ 08	0.449972 ÷ 07	0.188612 ÷ 07
900		0.128792 ÷ 11	0.945221 ÷ 10	0.950161 ÷ 09	0.739026 ÷ 08	0.156589 ÷ 08	0.512749 ÷ 07	0.214371 ÷ 07
1000		0.160091 ÷ 11	0.115942 ÷ 11	0.110408 ÷ 10	0.838695 ÷ 08	0.176402 ÷ 08	0.575599 ÷ 07	0.240142 ÷ 07
1100		0.192682 ÷ 11	0.138096 ÷ 11	0.125944 ÷ 10	0.938580 ÷ 08	0.196241 ÷ 08	0.638515 ÷ 07	0.265922 ÷ 07
1200		0.226309 ÷ 11	0.160813 ÷ 11	0.141562 ÷ 10	0.103867 ÷ 09	0.216094 ÷ 08	0.701431 ÷ 07	0.291708 ÷ 07
1300		0.260760 ÷ 11	0.183984 ÷ 11	0.157259 ÷ 10	0.113879 ÷ 09	0.235959 ÷ 08	0.764323 ÷ 07	0.317501 ÷ 07
1400		0.295832 ÷ 11	0.207502 ÷ 11	0.173022 ÷ 10	0.123906 ÷ 09	0.255831 ÷ 08	0.827268 ÷ 07	0.343296 ÷ 07
1500		0.331453 ÷ 11	0.231317 ÷ 11	0.188835 ÷ 10	0.133941 ÷ 09	0.275711 ÷ 08	0.890224 ÷ 07	0.369096 ÷ 07
1600		0.367555 ÷ 11	0.255378 ÷ 11	0.204699 ÷ 10	0.143991 ÷ 09	0.295613 ÷ 08	0.953195 ÷ 07	0.394899 ÷ 07
1700		0.403968 ÷ 11	0.279628 ÷ 11	0.220574 ÷ 10	0.154028 ÷ 09	0.315487 ÷ 08	0.101617 ÷ 08	0.420721 ÷ 07
1800		0.440718 ÷ 11	0.304051 ÷ 11	0.236488 ÷ 10	0.164073 ÷ 09	0.335381 ÷ 08	0.107915 ÷ 08	0.446507 ÷ 07
1900		0.477766 ÷ 11	0.328620 ÷ 11	0.252425 ÷ 10	0.174134 ÷ 09	0.355279 ÷ 08	0.114213 ÷ 08	0.472315 ÷ 07
2000		0.514975 ÷ 11	0.353305 ÷ 11	0.268382 ÷ 10	0.184191 ÷ 09	0.375178 ÷ 08	0.120513 ÷ 08	0.498124 ÷ 07
2100		0.552411 ÷ 11	0.378098 ÷ 11	0.284356 ÷ 10	0.194252 ÷ 09	0.395081 ÷ 08	0.126813 ÷ 08	0.523932 ÷ 07
2200		0.590021 ÷ 11	0.403022 ÷ 11	0.300345 ÷ 10	0.204324 ÷ 09	0.414987 ÷ 08	0.133113 ÷ 08	0.549745 ÷ 07
2300		0.627793 ÷ 11	0.427956 ÷ 11	0.316363 ÷ 10	0.214389 ÷ 09	0.434893 ÷ 08	0.139419 ÷ 08	0.575557 ÷ 07
2400		0.665714 ÷ 11	0.452999 ÷ 11	0.332374 ÷ 10	0.224458 ÷ 09	0.454801 ÷ 08	0.145714 ÷ 08	0.601387 ÷ 07
2500		0.703698 ÷ 11	0.478087 ÷ 11	0.348383 ÷ 10	0.234514 ÷ 09	0.474710 ÷ 08	0.152015 ÷ 08	0.627181 ÷ 07

单色辐射强度 温度 °K		波 长 μ						
		9	10	20	40	60	80	100
300		0.312048 ÷ 09	0.314338 + 09	0.116848 + 09	0.157044 ÷ 08	0.391053 + 07	0.138244 + 07	0.604273 ÷ 06
400		0.119261 ÷ 10	0.105825 + 10	0.231398 ÷ 09	0.249393 + 08	0.582621 + 07	0.199901 ÷ 07	0.858825 + 06
500		0.270653 ÷ 10	0.223341 + 10	0.362319 + 09	0.345025 + 08	0.777180 ÷ 07	0.262092 + 07	0.111482 + 07
600		0.474527 + 10	0.373915 + 10	0.502543 ÷ 09	0.442381 + 08	0.973305 ÷ 07	0.324584 + 07	0.137156 + 07
700		0.718328 + 10	0.548496 ÷ 10	0.648445 + 09	0.540695 + 08	0.117031 ÷ 08	0.387208 ÷ 07	0.162871 ÷ 07
800		0.991963 ÷ 10	0.740474 + 10	0.798057 + 09	0.639685 + 08	0.136794 ÷ 08	0.449972 ÷ 07	0.188612 ÷ 07
900		0.128792 ÷ 11	0.945221 + 10	0.950161 ÷ 09	0.739026 + 08	0.156589 ÷ 08	0.512749 ÷ 07	0.214371 ÷ 07
1000		0.160091 ÷ 11	0.115942 + 11	0.110408 ÷ 10	0.838695 + 08	0.176402 ÷ 08	0.575599 ÷ 07	0.240142 ÷ 07
1100		0.192682 + 11	0.138096 ÷ 11	0.125944 + 10	0.938580 ÷ 08	0.196241 + 08	0.638515 + 07	0.265922 ÷ 07
1200		0.226309 + 11	0.160813 ÷ 11	0.141562 ÷ 10	0.103867 + 09	0.216094 ÷ 08	0.701431 ÷ 07	0.291708 ÷ 07
1300		0.260760 + 11	0.183984 + 11	0.157259 + 10	0.113879 ÷ 09	0.235959 + 08	0.764323 ÷ 07	0.317501 ÷ 07
1400		0.295832 ÷ 11	0.207502 ÷ 11	0.173022 ÷ 10	0.123906 ÷ 09	0.255831 + 08	0.827268 ÷ 07	0.343296 ÷ 07
1500		0.331453 + 11	0.231317 ÷ 11	0.188835 + 10	0.133941 ÷ 09	0.275711 + 08	0.890224 + 07	0.369096 ÷ 07
1600		0.367555 + 11	0.255378 + 11	0.204699 + 10	0.143991 + 09	0.295613 + 08	0.953195 ÷ 07	0.394899 ÷ 07
1700		0.403968 + 11	0.279628 + 11	0.220574 + 10	0.154028 ÷ 09	0.315487 ÷ 08	0.101617 + 08	0.420721 ÷ 07
1800		0.440718 + 11	0.304051 ÷ 11	0.236488 + 10	0.164073 + 09	0.335381 ÷ 08	0.107915 + 08	0.446507 ÷ 07
1900		0.477766 + 11	0.328620 + 11	0.252425 + 10	0.174134 + 09	0.355279 ÷ 08	0.114213 + 08	0.472315 ÷ 07
2000		0.514975 + 11	0.353305 + 11	0.268382 + 10	0.184191 + 09	0.375178 + 08	0.120513 + 08	0.498124 ÷ 07
2100		0.552411 + 11	0.378098 + 11	0.284356 + 10	0.194252 ÷ 09	0.395081 + 08	0.126813 ÷ 08	0.523932 ÷ 07
2200		0.590021 + 11	0.403022 ÷ 11	0.300345 + 10	0.204324 ÷ 09	0.414987 ÷ 08	0.133113 + 08	0.549745 + 07
2300		0.627793 + 11	0.427956 + 11	0.316363 ÷ 10	0.214389 + 09	0.434893 + 08	0.139419 + 08	0.575557 ÷ 07
2400		0.665714 + 11	0.452999 + 11	0.332374 + 10	0.224458 + 09	0.454801 ÷ 08	0.145714 + 08	0.601387 + 07
2500		0.703698 + 11	0.478087 + 11	0.348383 + 10	0.234514 ÷ 09	0.474710 ÷ 08	0.152015 ÷ 08	0.627181 + 07

漆的吸收光谱峰，更要考虑到综合吸收情况，能透过油漆的辐射，除反射一部分外，大部分被底材所吸收，也起到增加油漆温度的作用。从图四 1—17 可知，吸收较大的波段正是 2—12 μ 中红外范围。

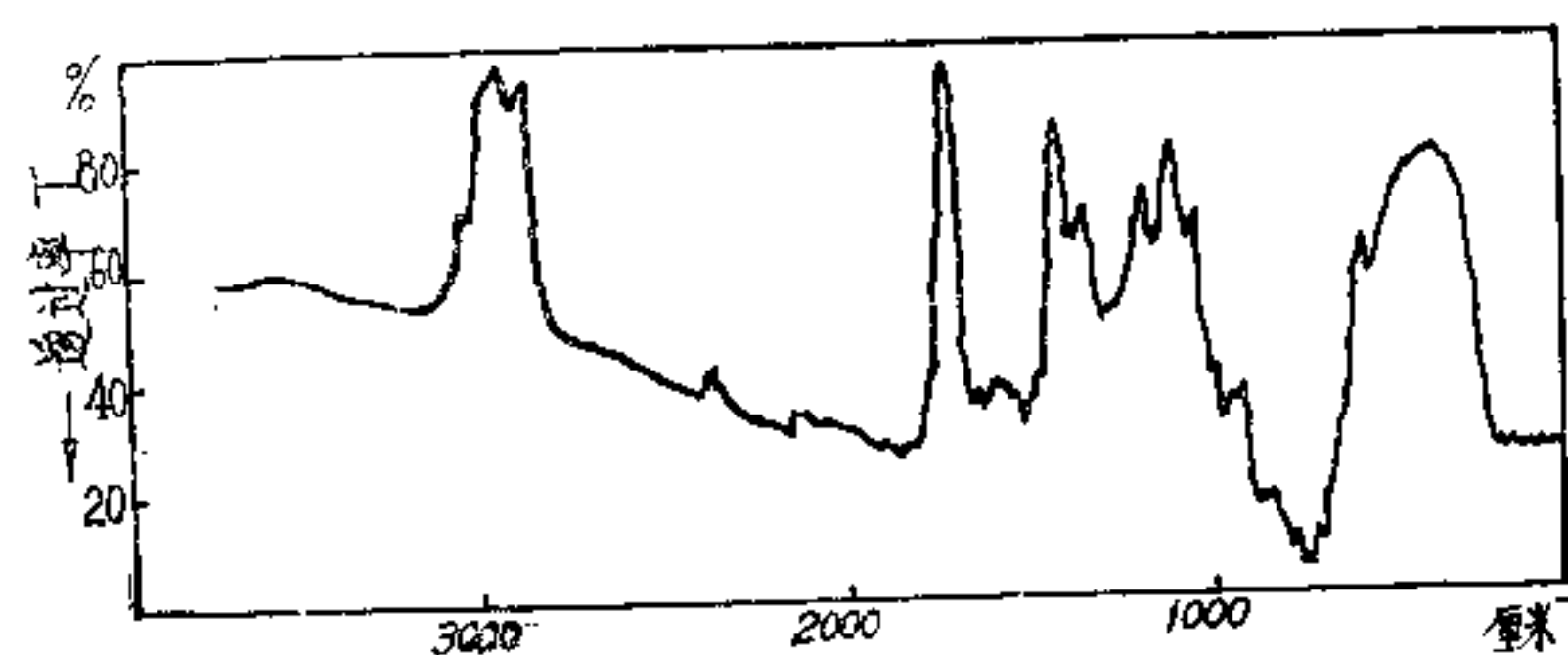


图 I—2

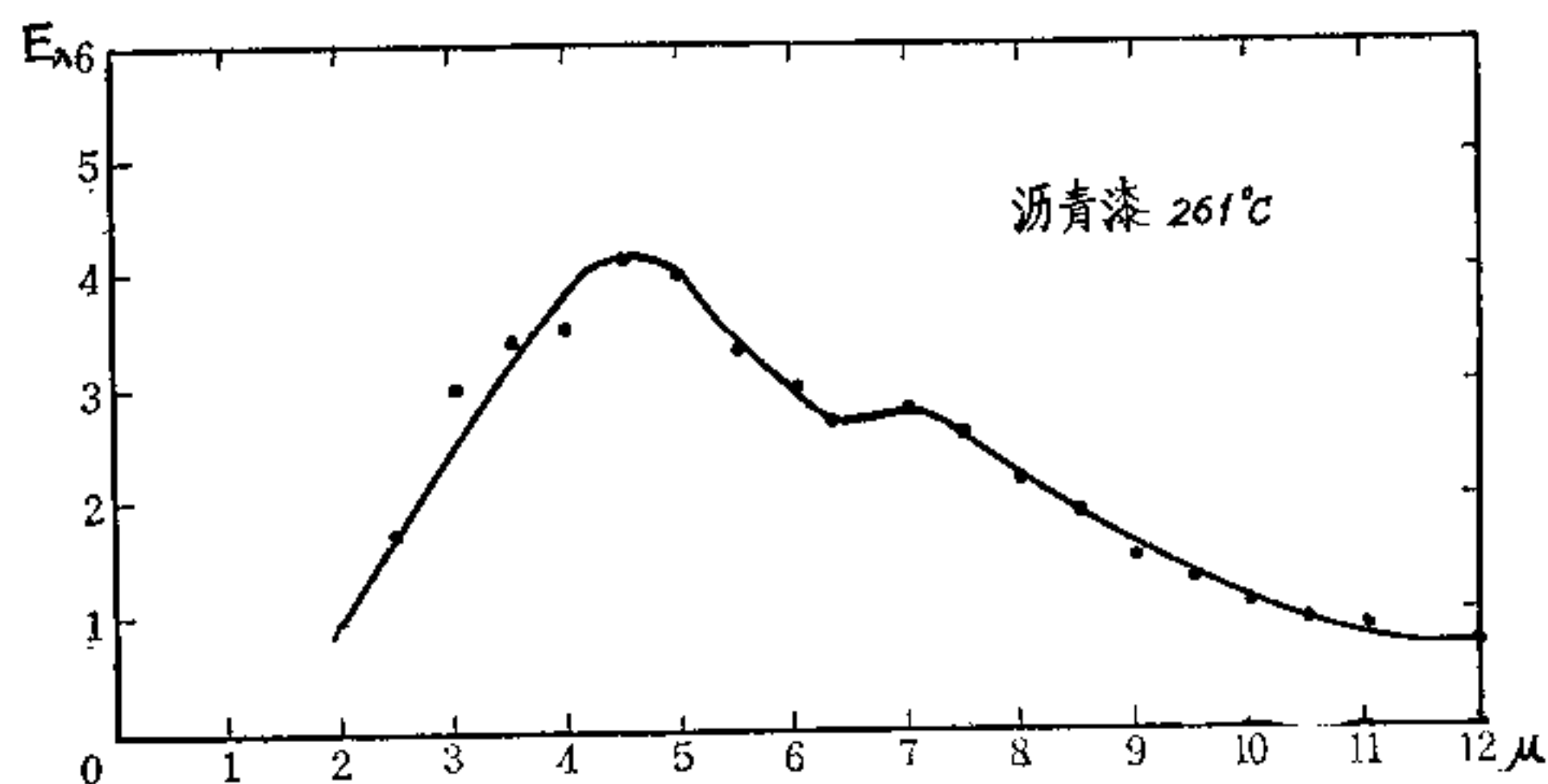


图 I—3

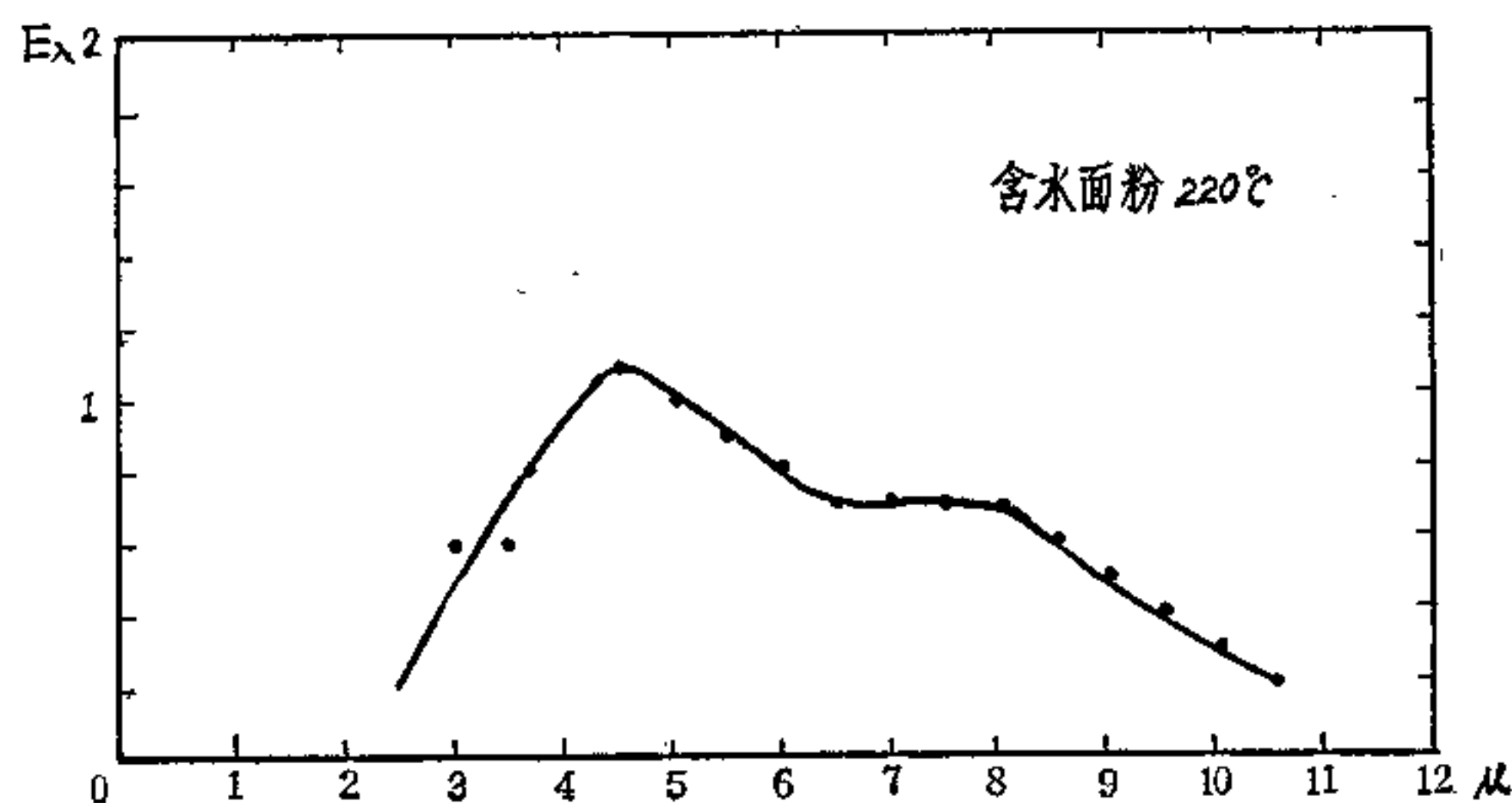


图 I—4

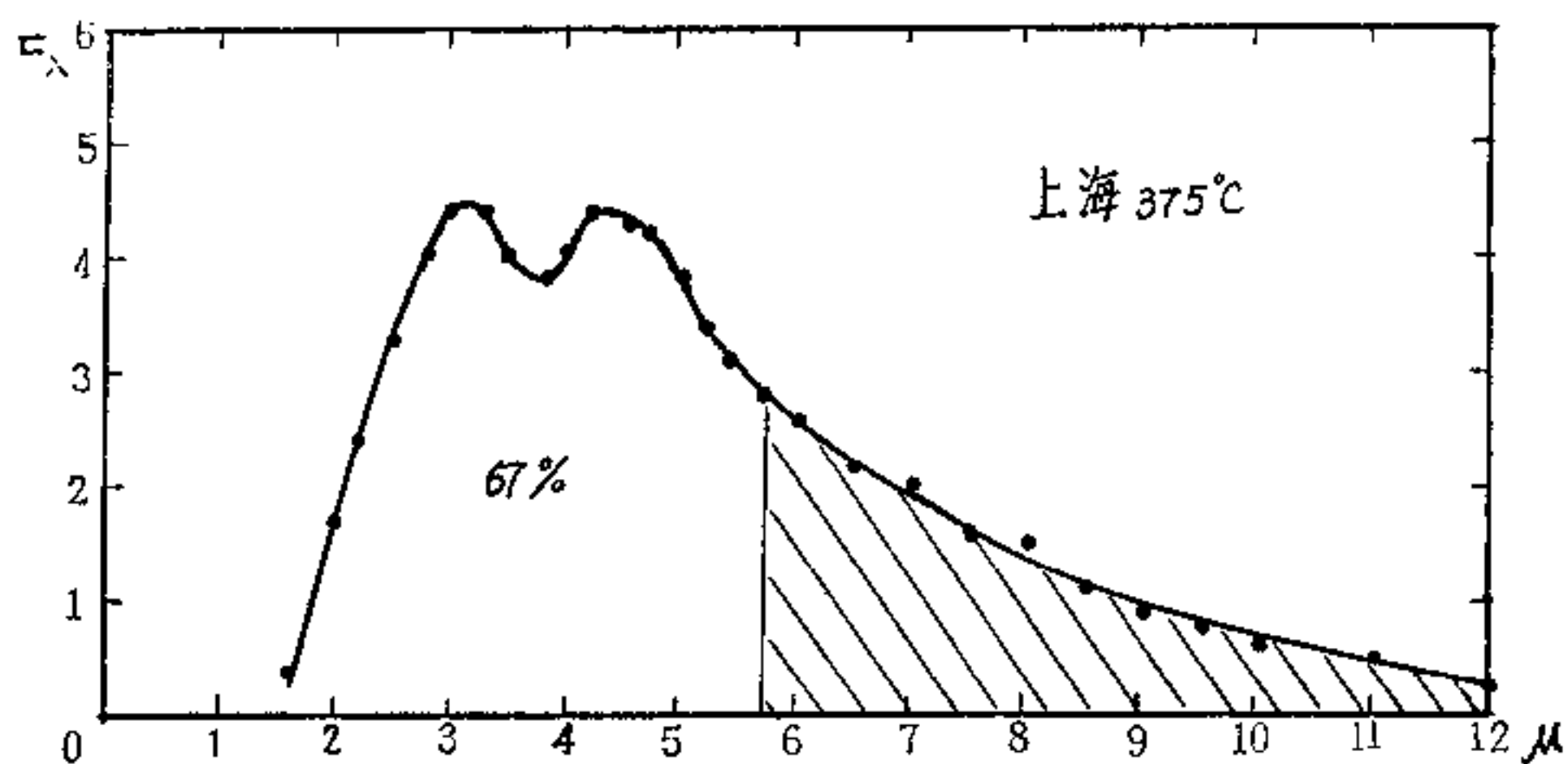


图 I-4(1)

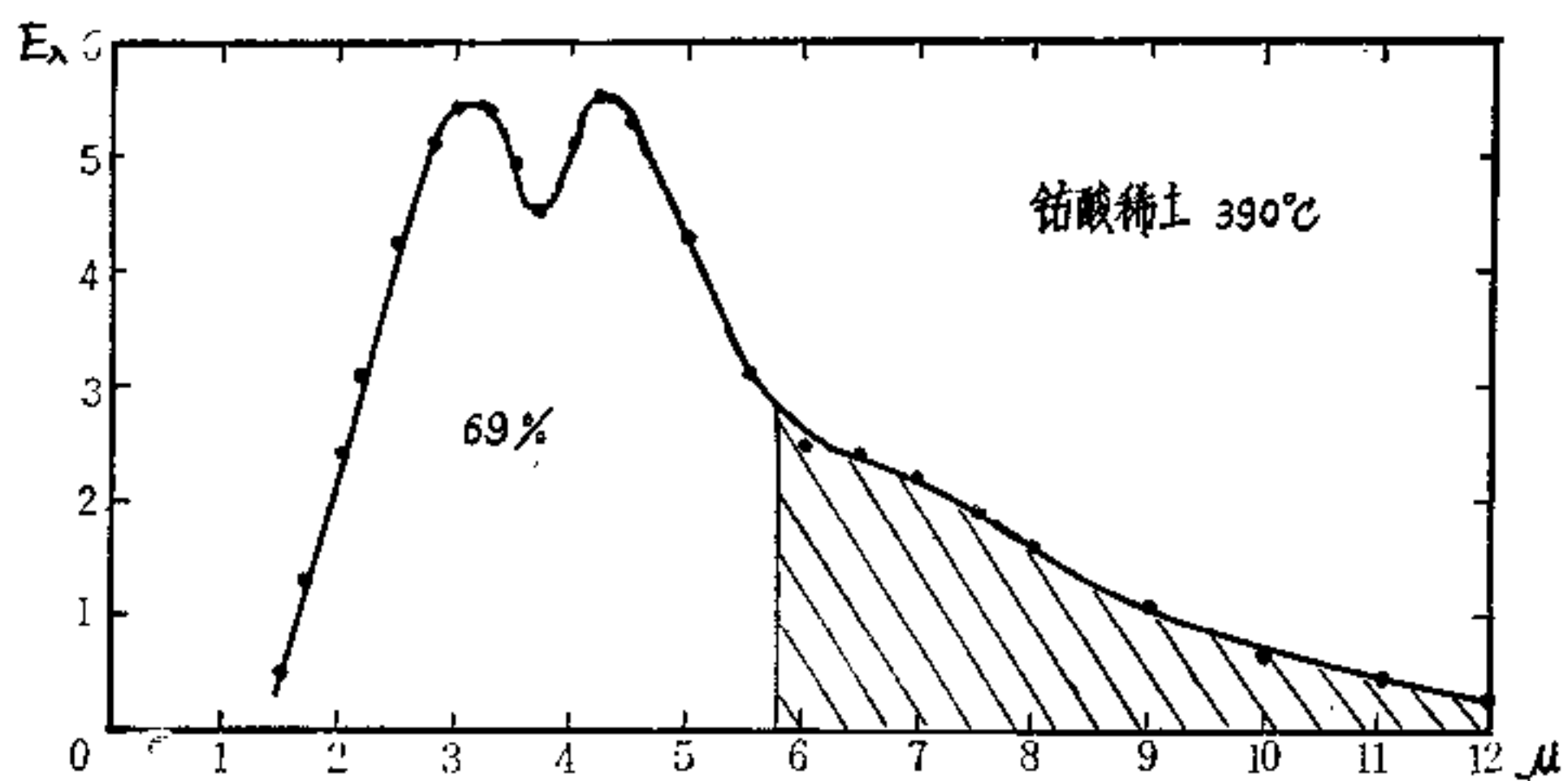


图 I-4(2)

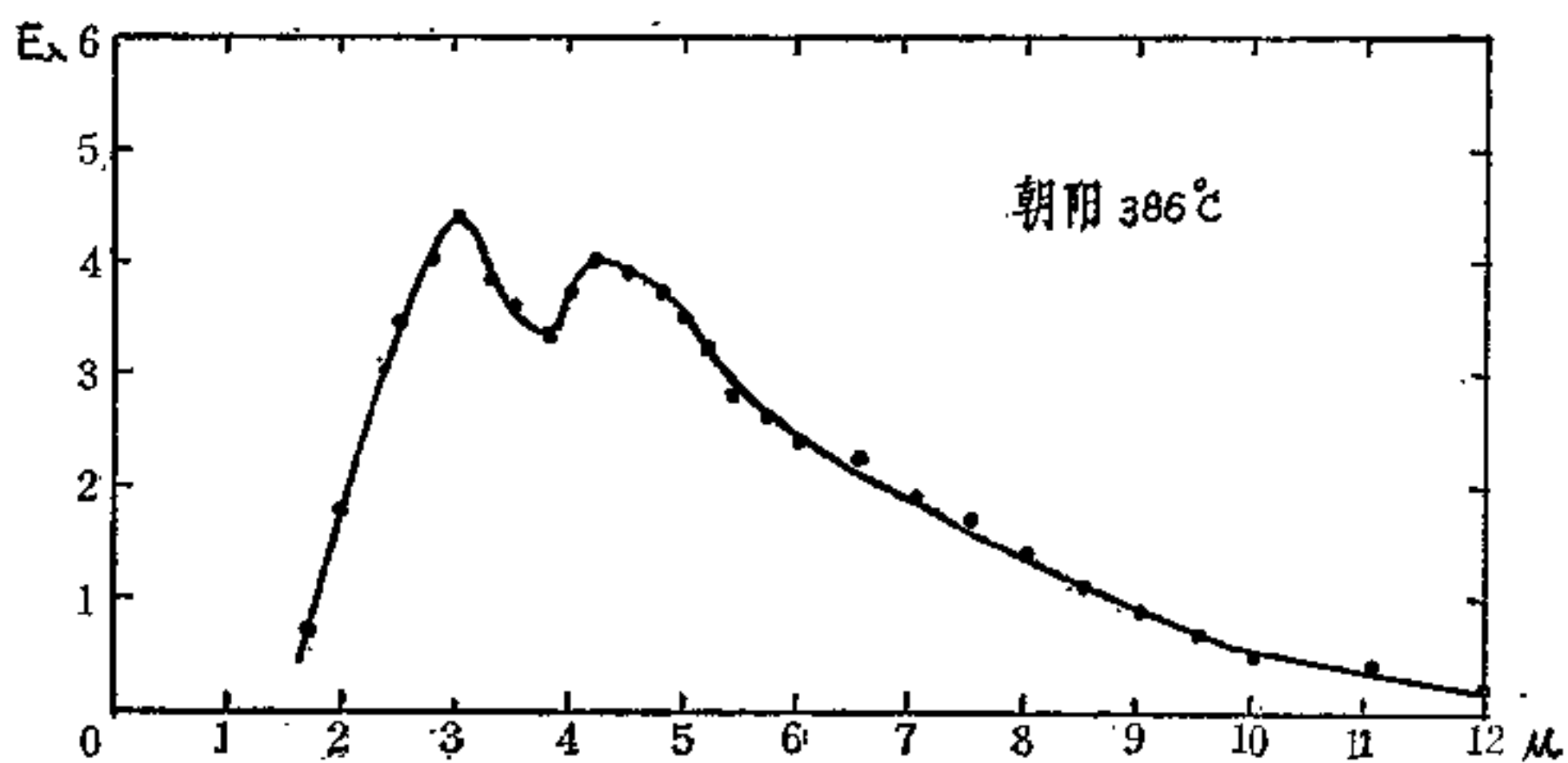


图 I-4(3)

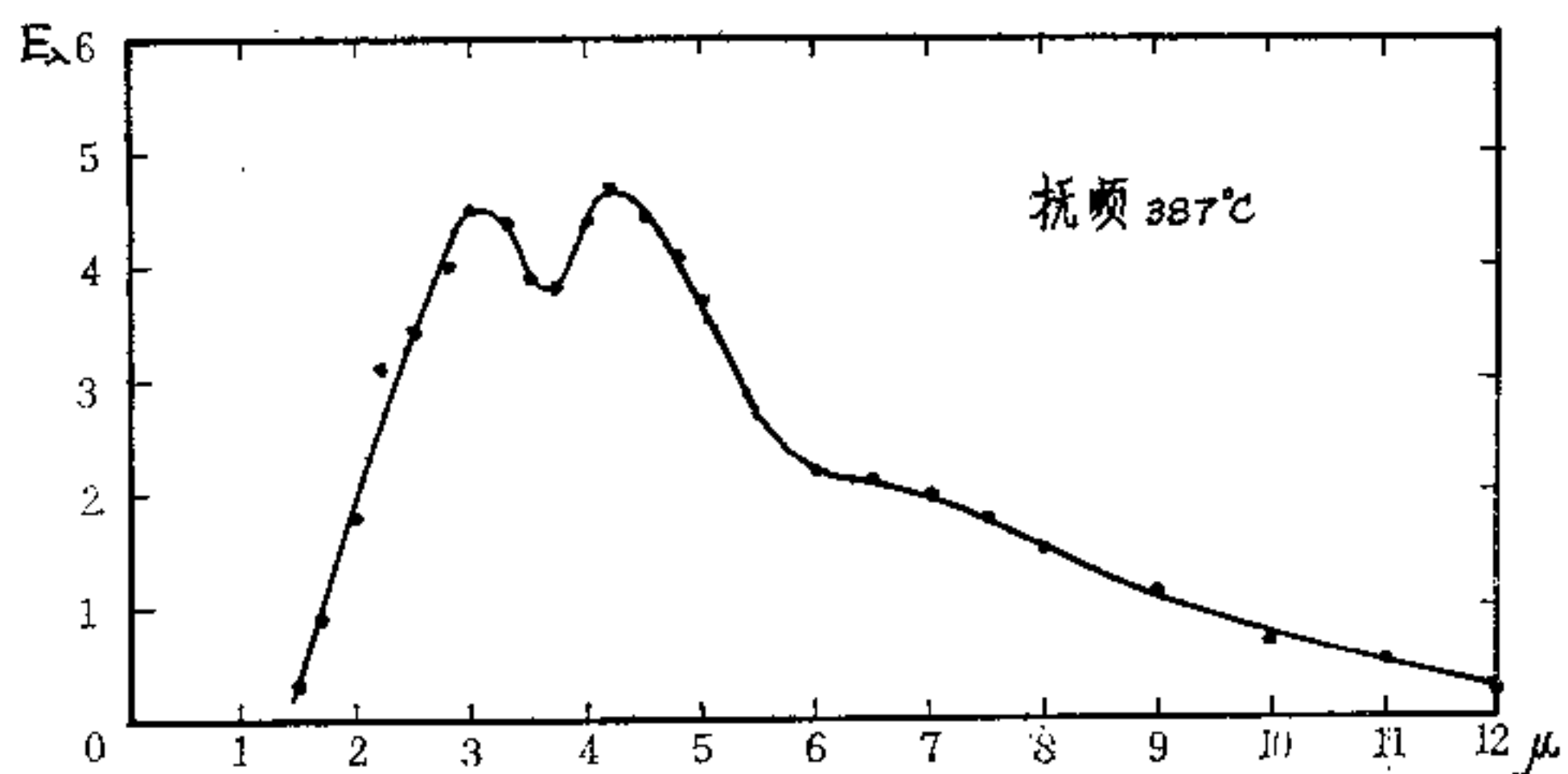


图 I-4(4)

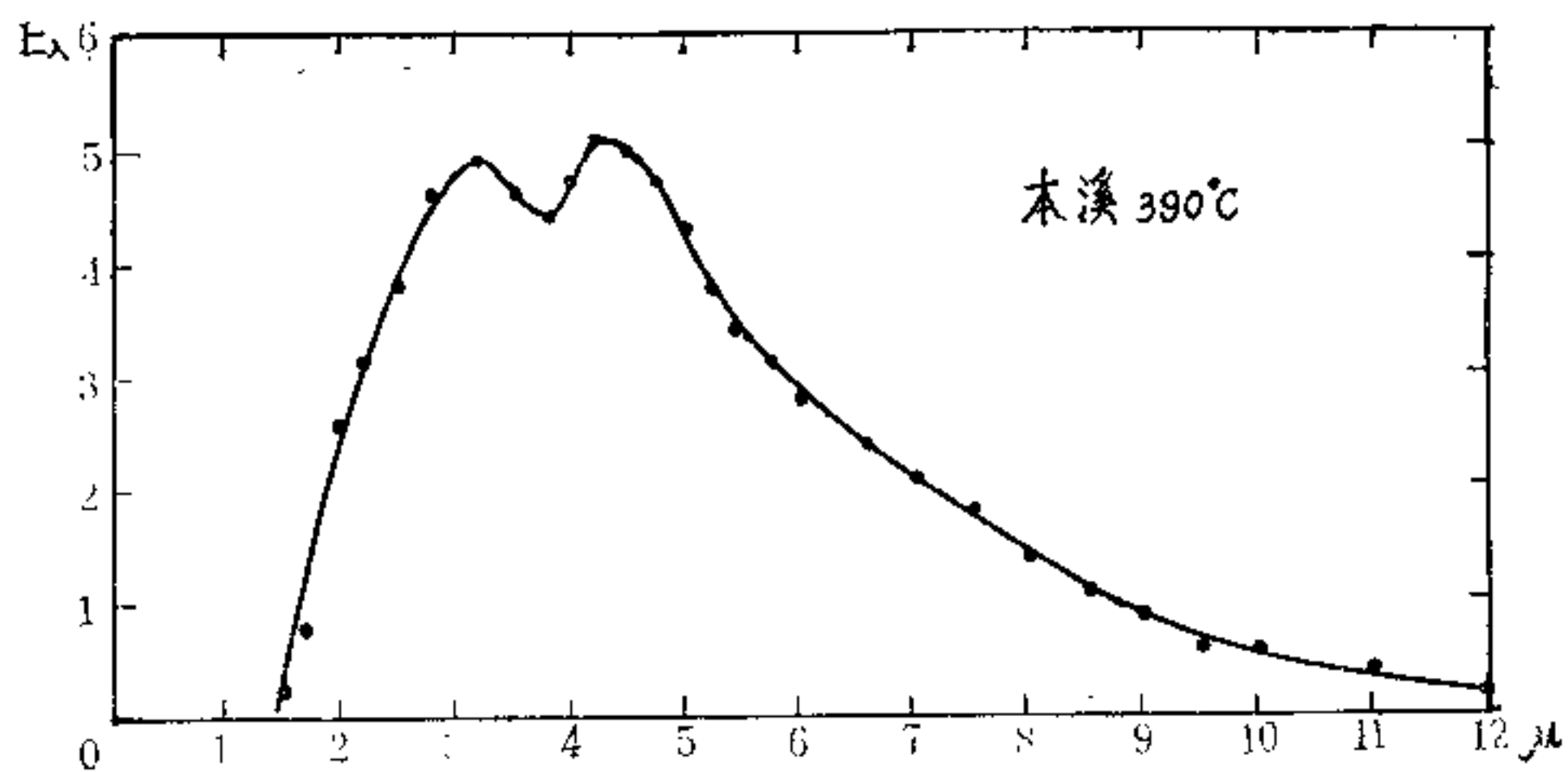


图 I-4(5)

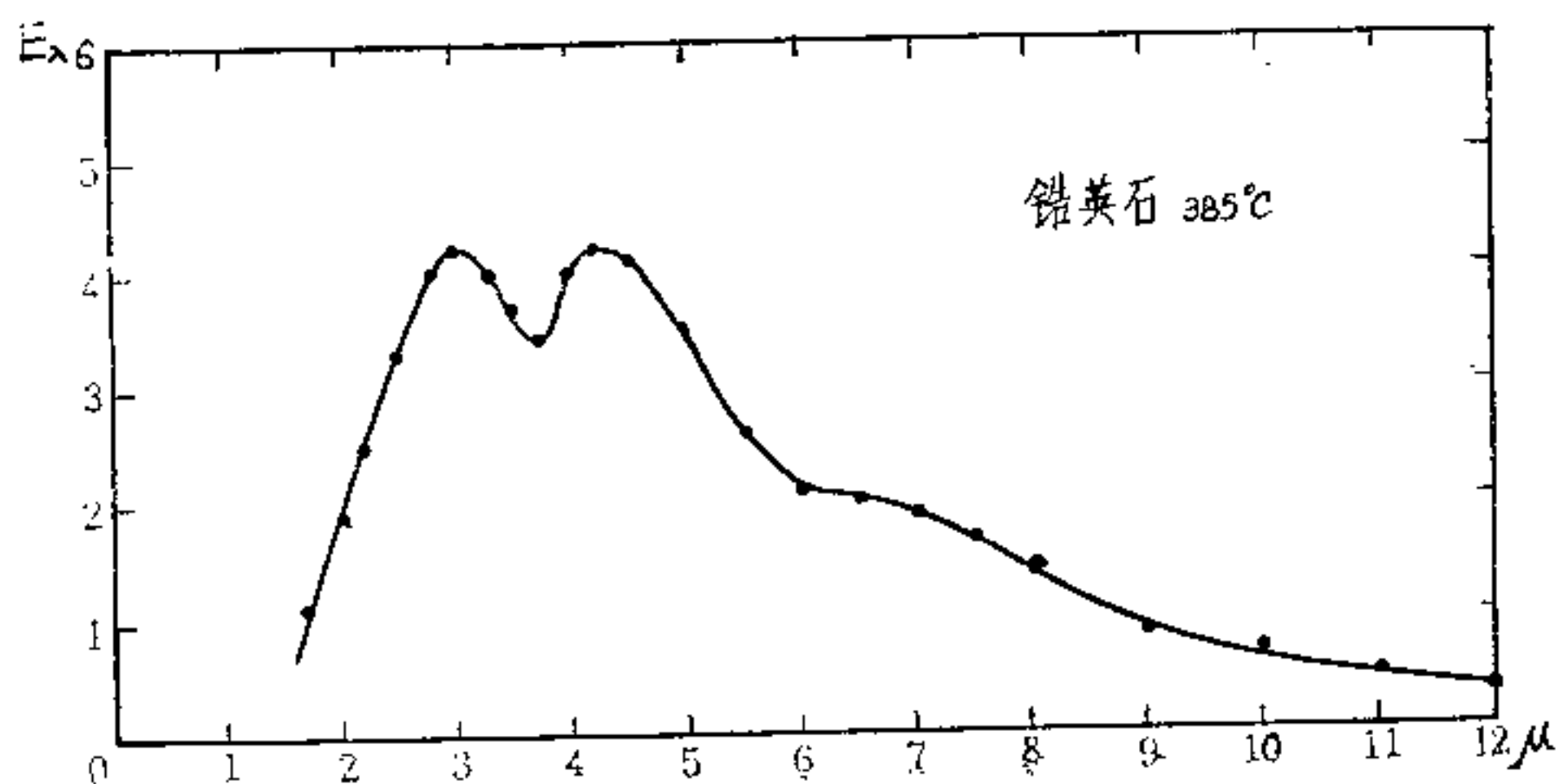


图 I-4(6)

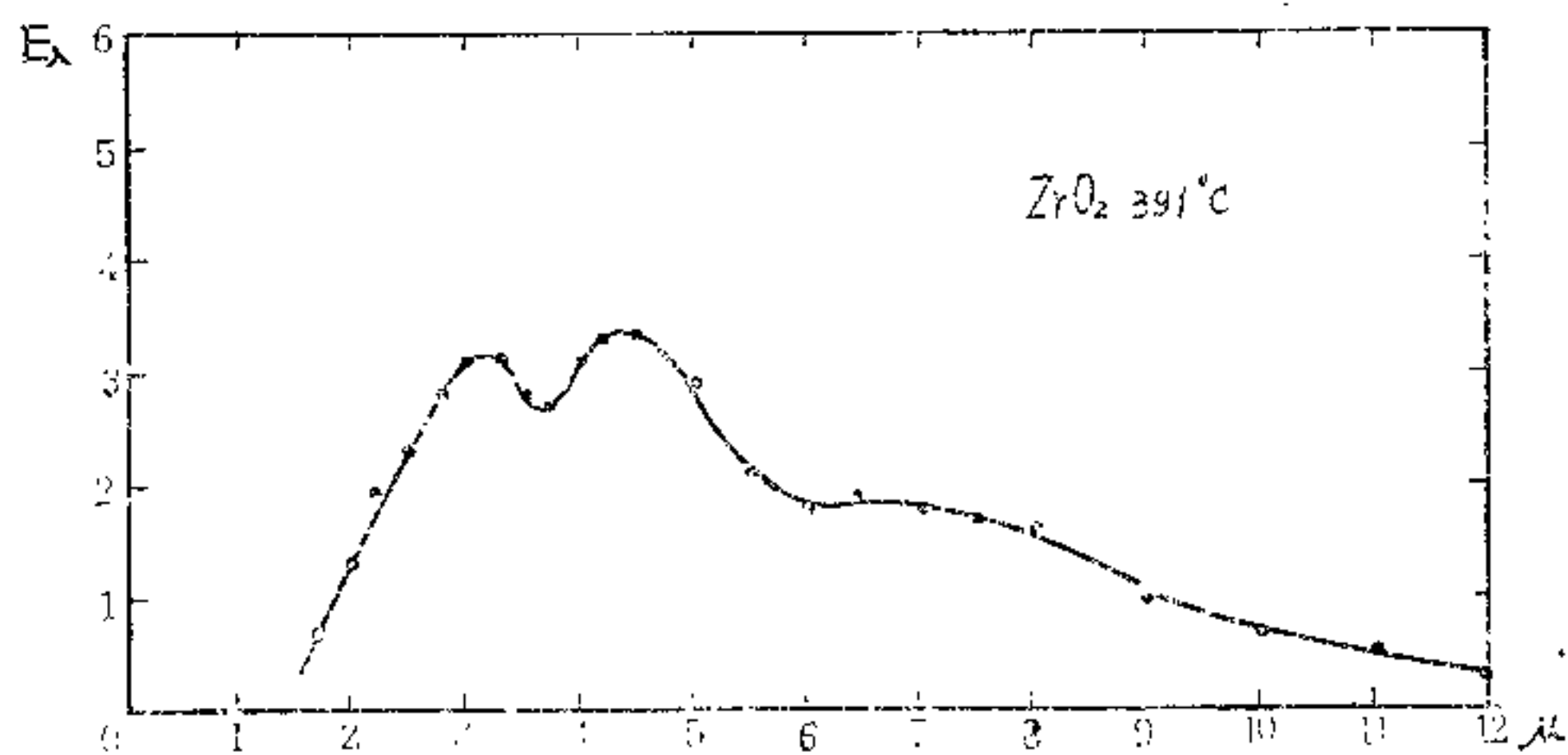


图 1-4(7)

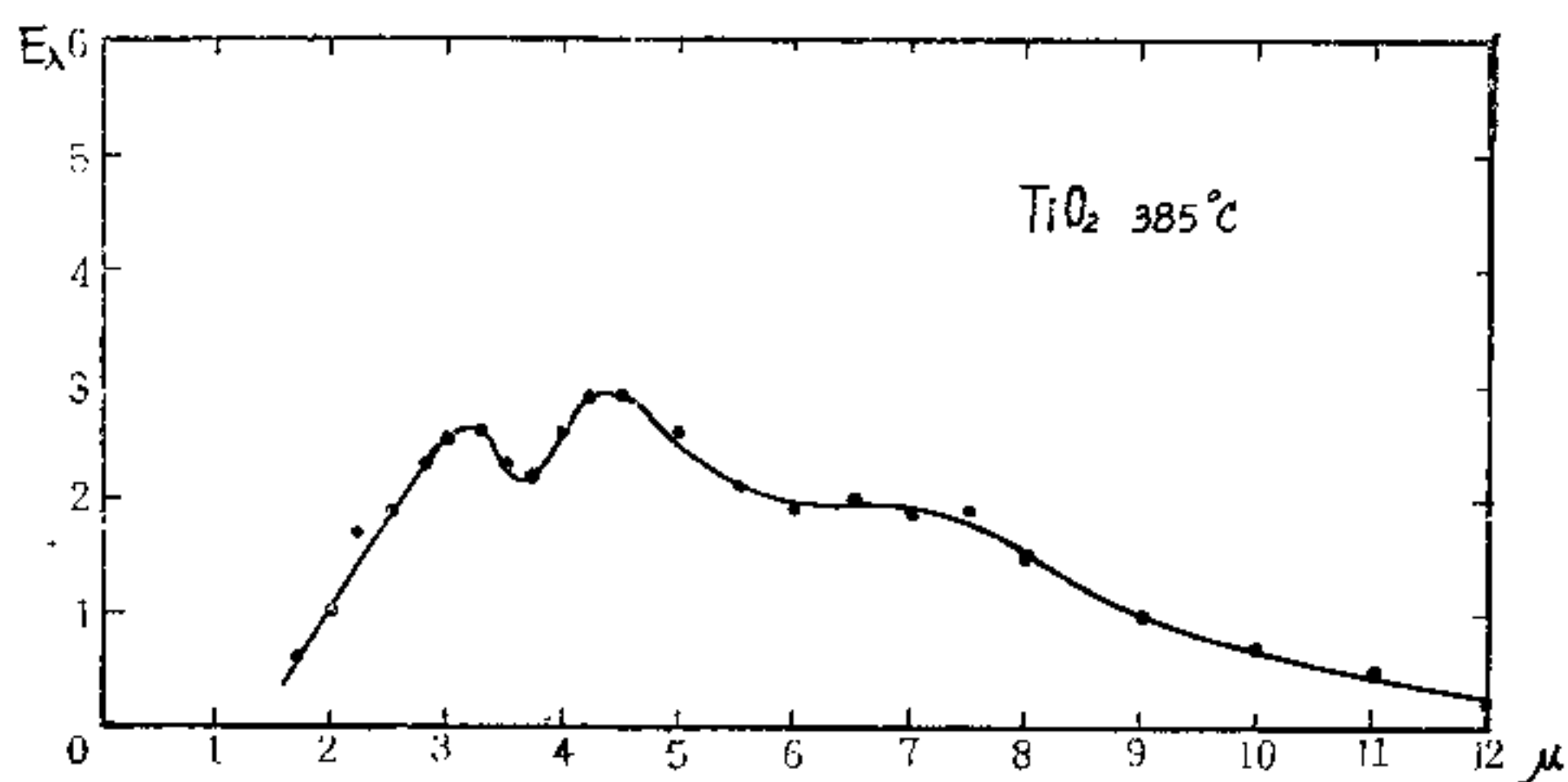


图 1-4(8)

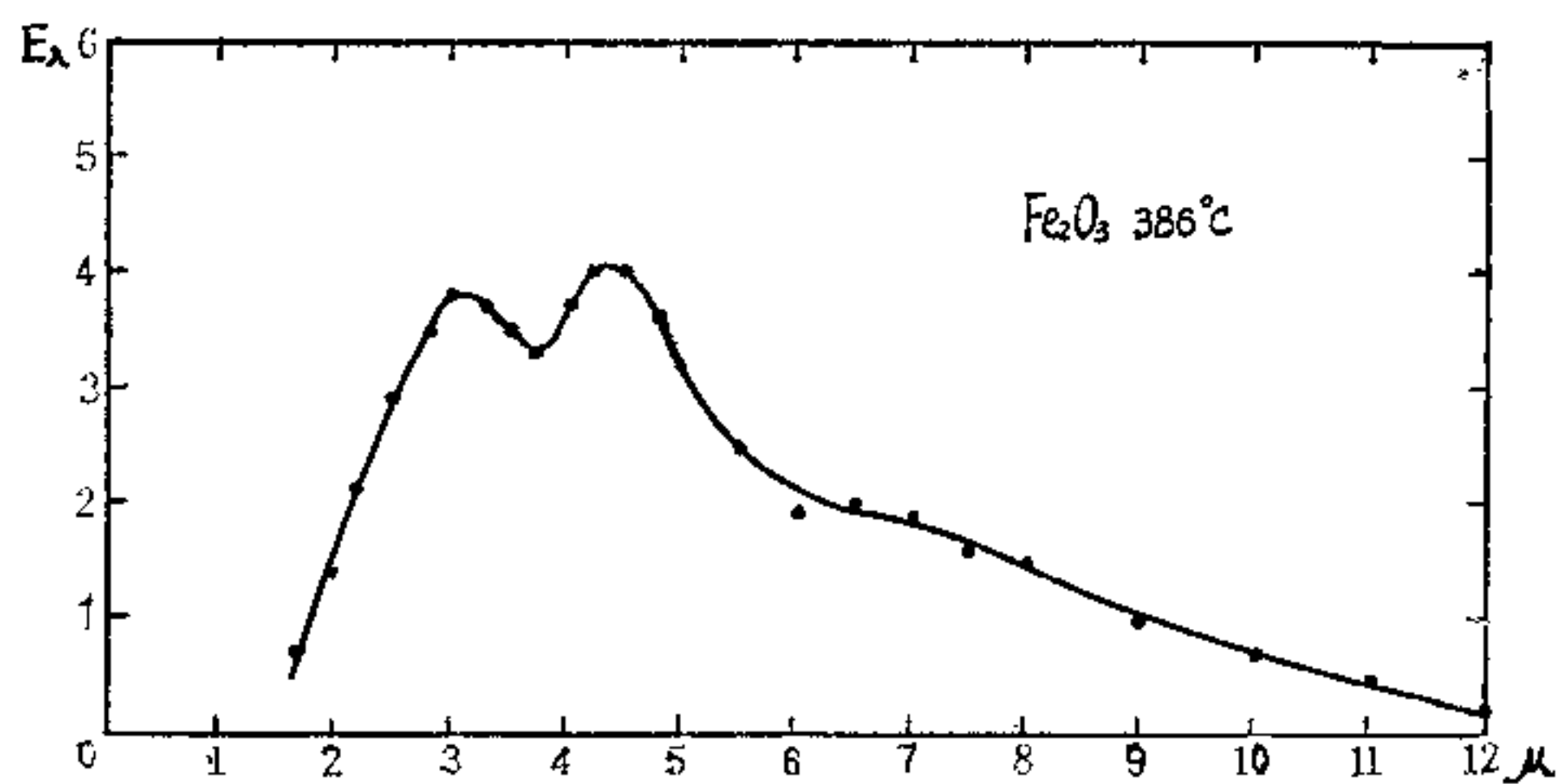


图 1-4(9)

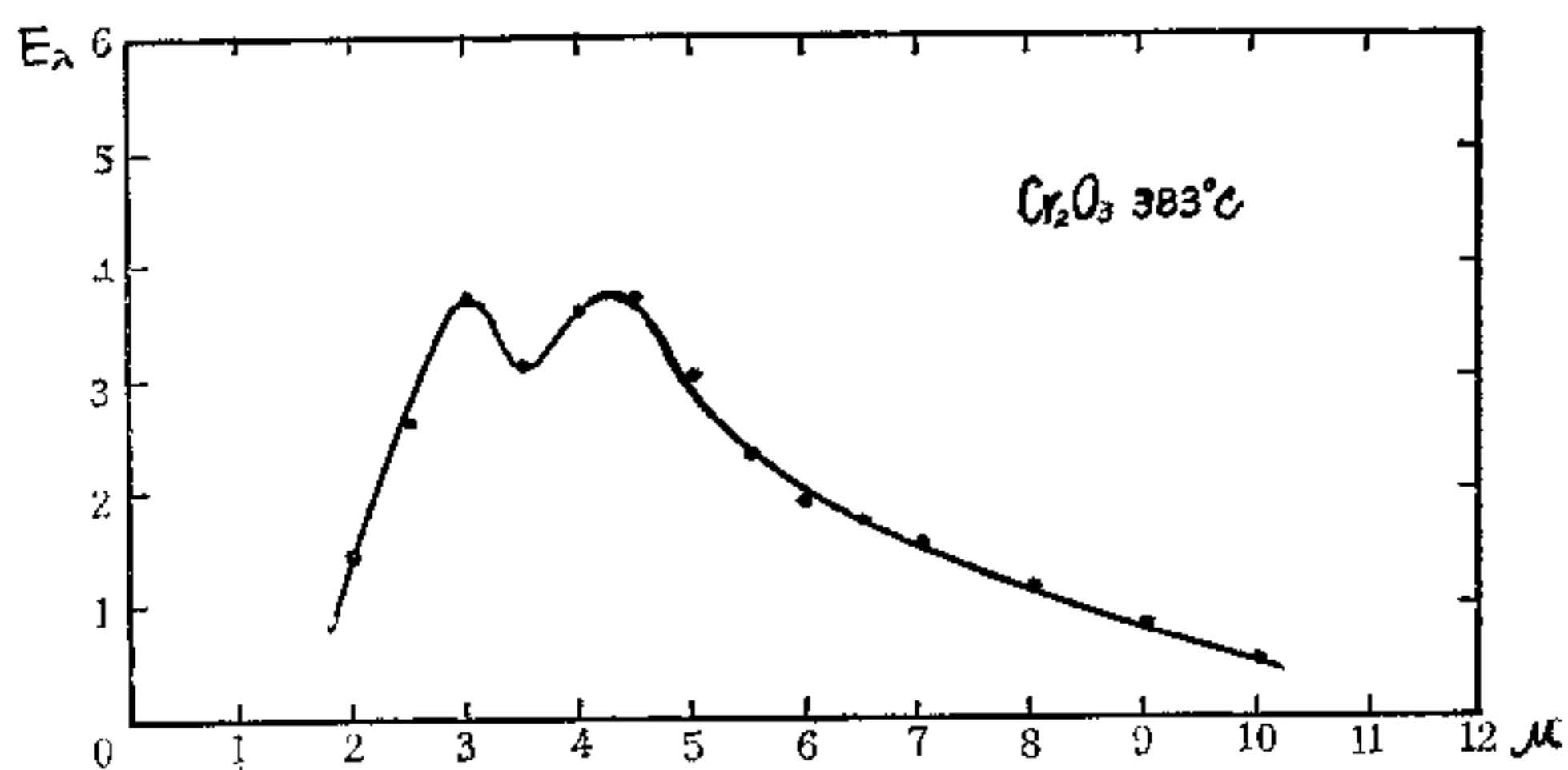


图 I-4 (10)

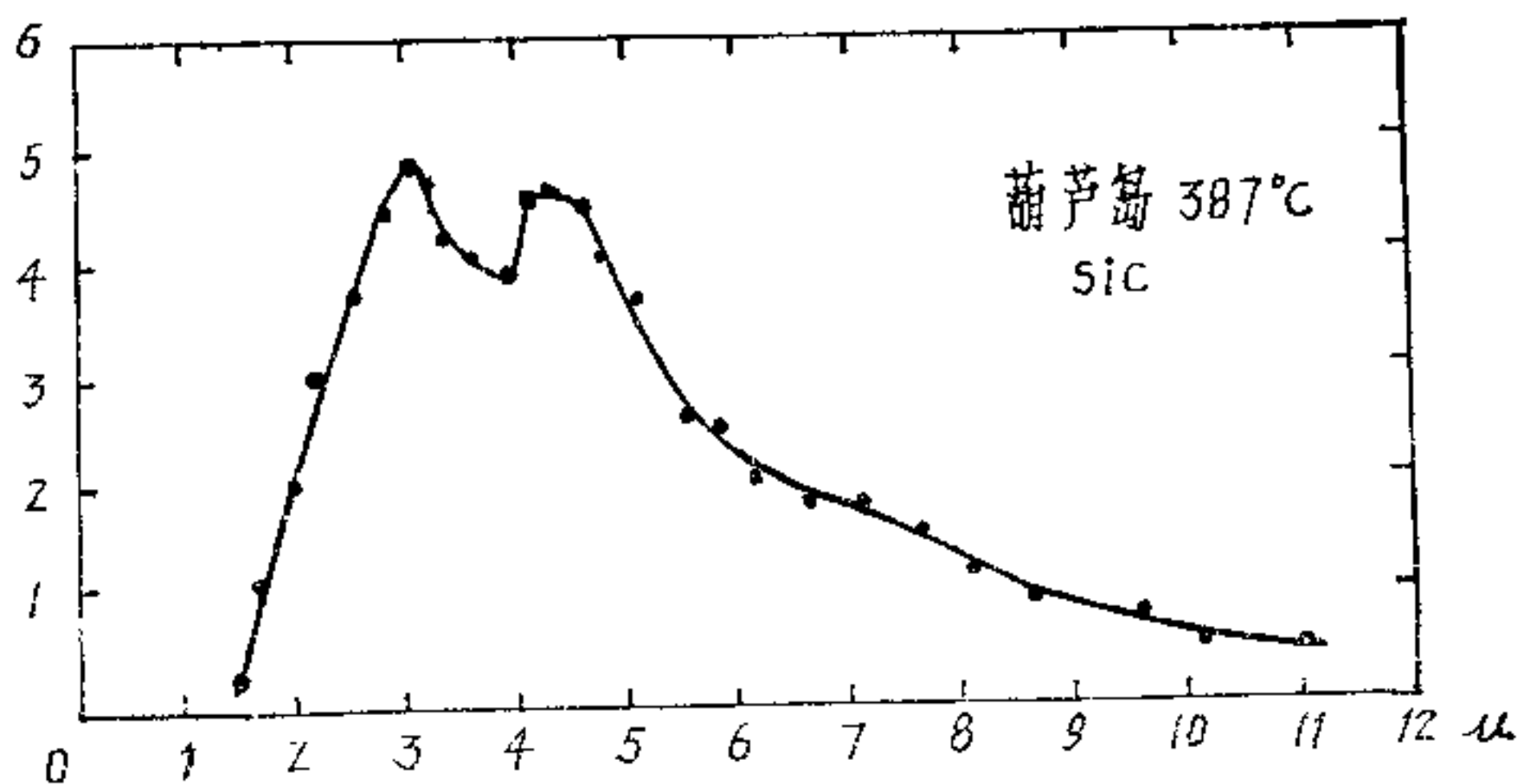


图 I-4 (11)

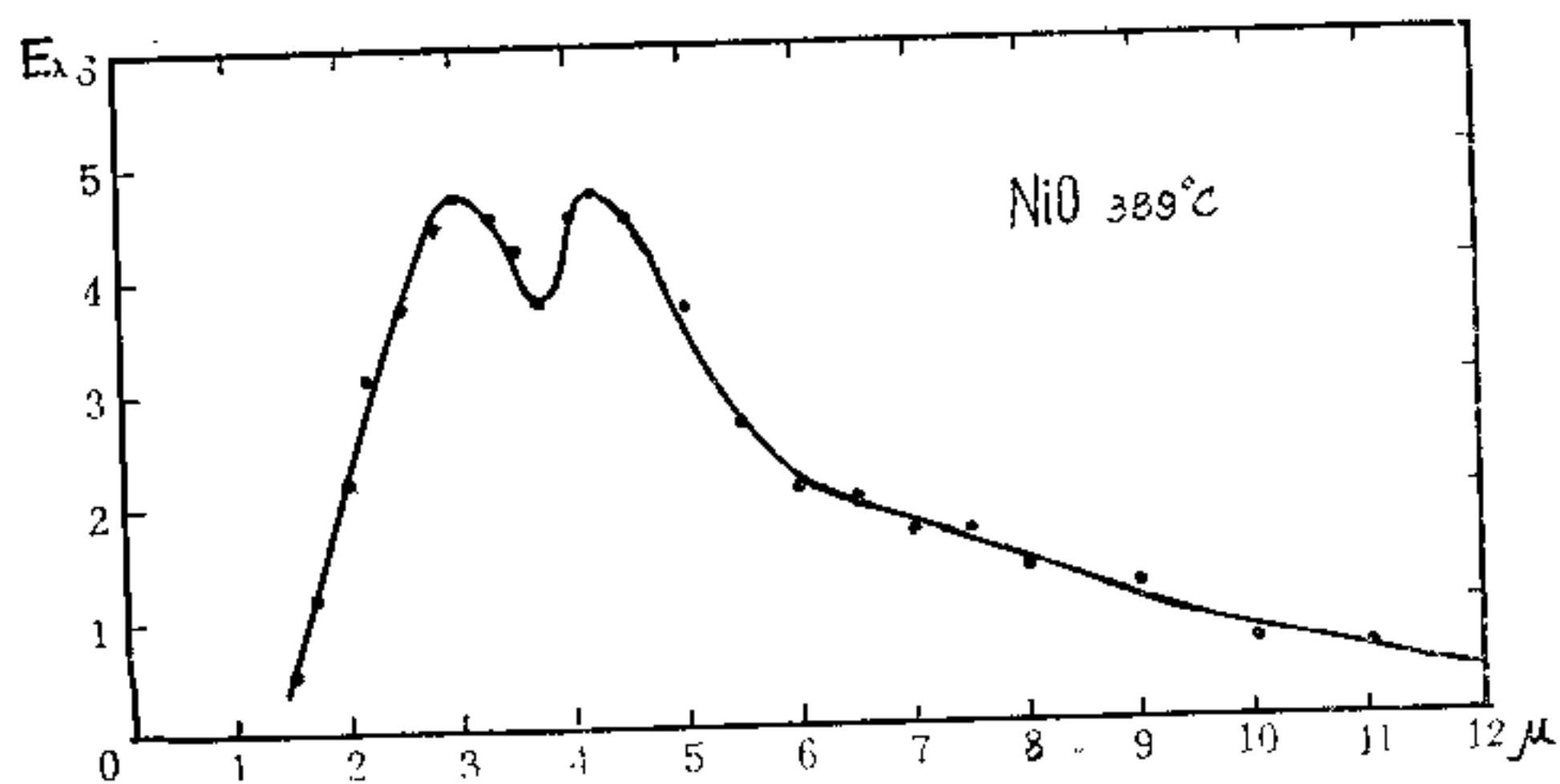


图 I-4 (12)

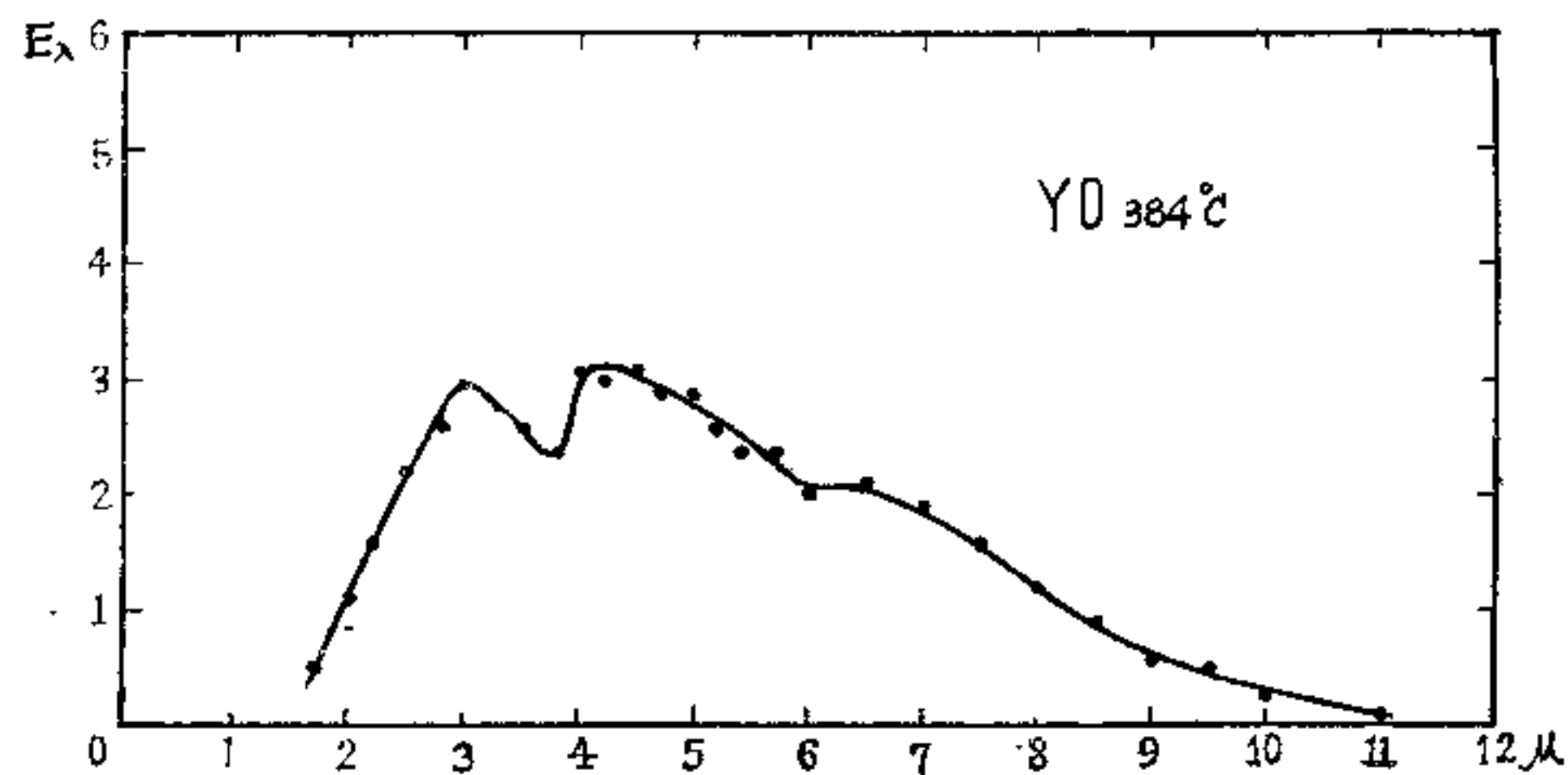


图 I-4 (13)

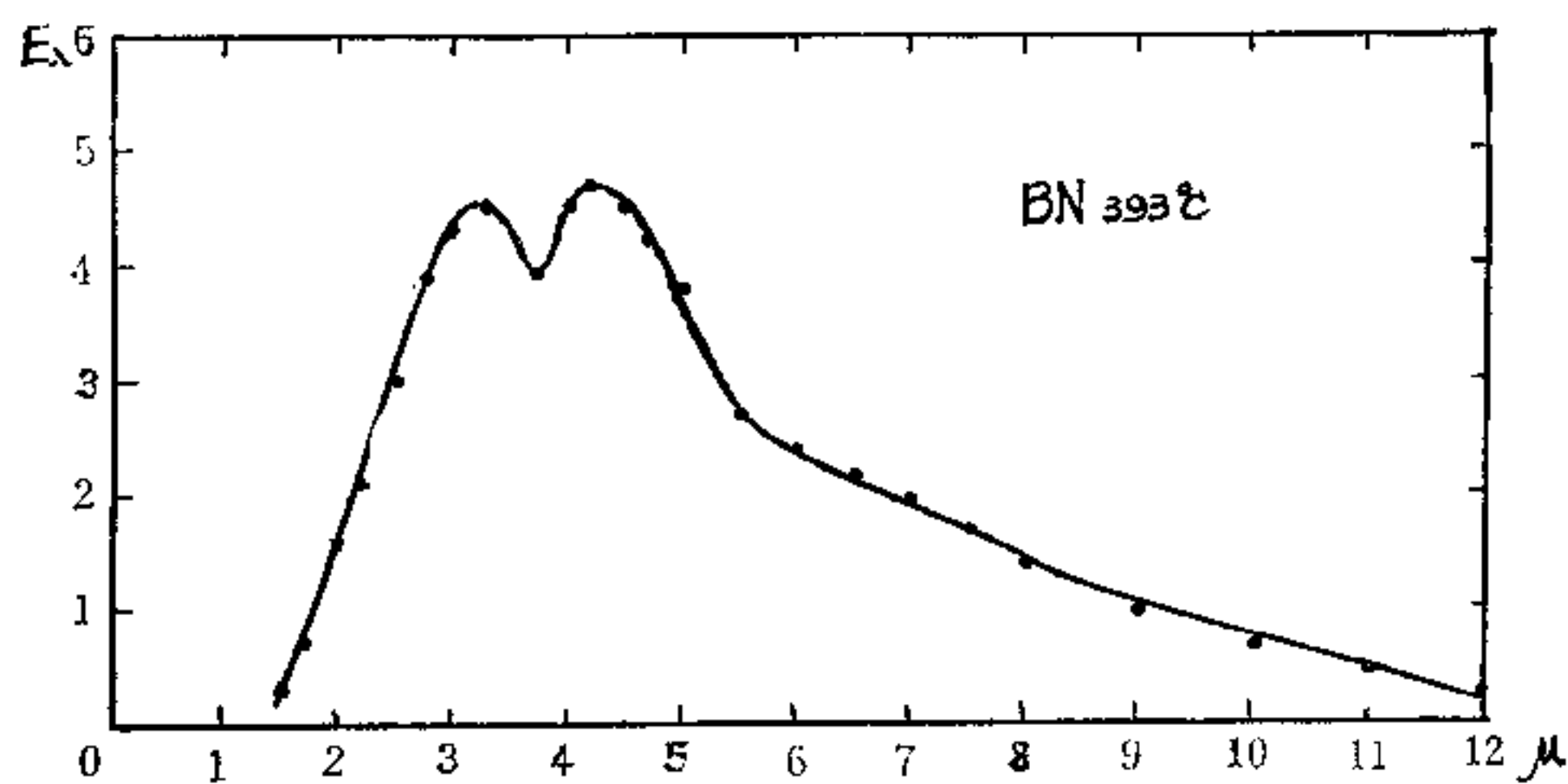


图 I-4 (14)

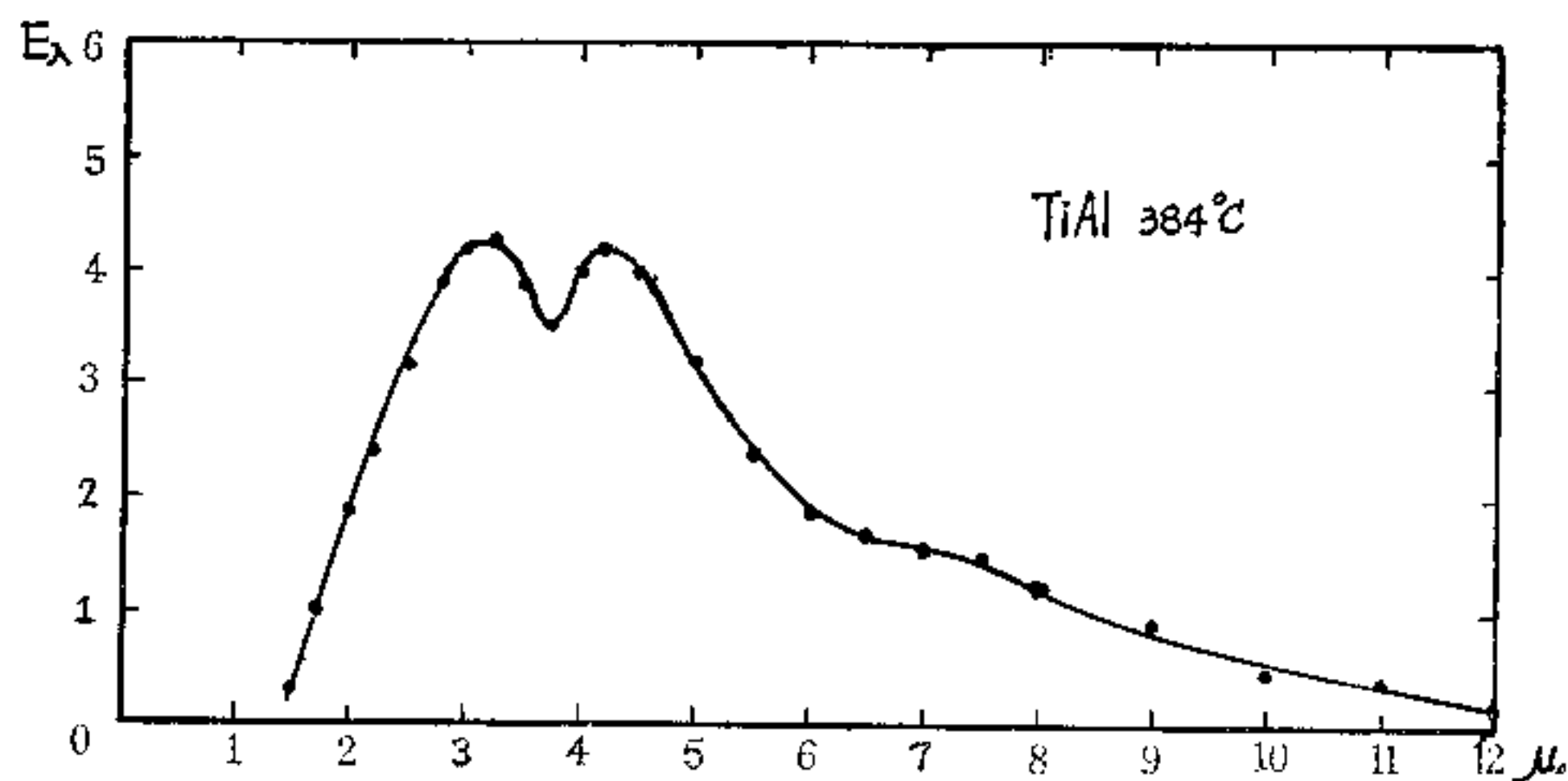


图 I-4 (15)

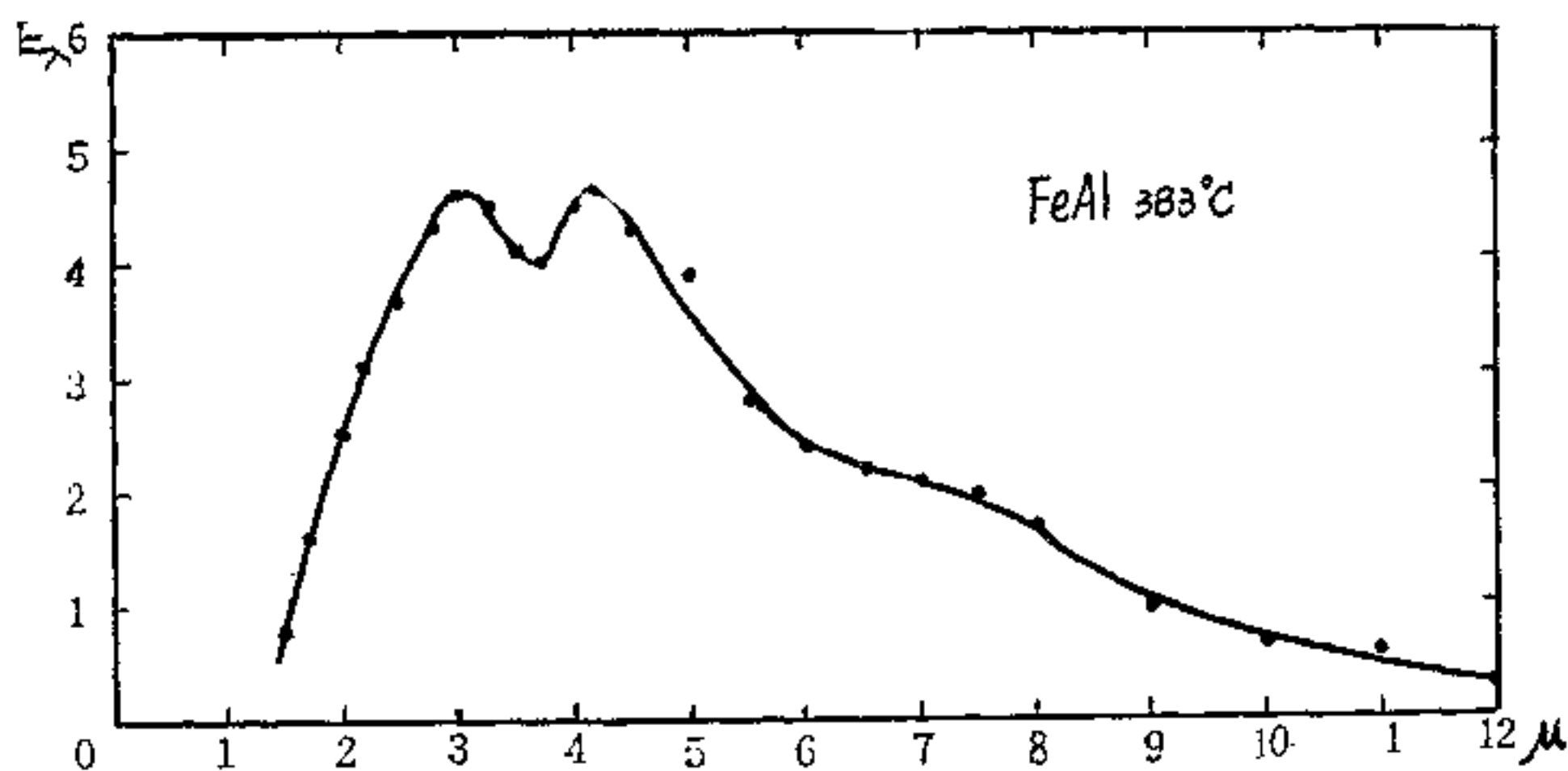


图 I—4 (16)

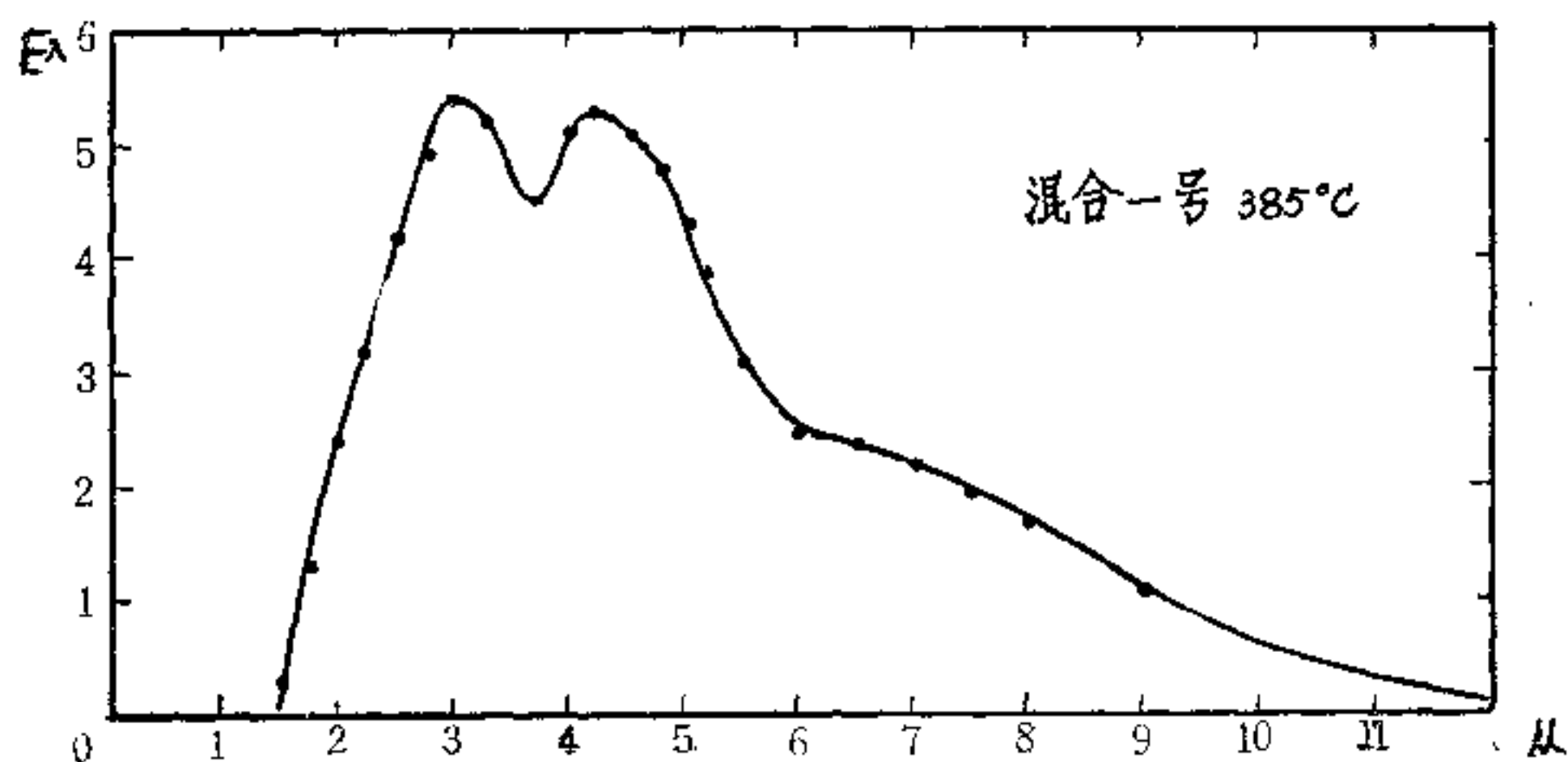


图 I—4 (17)

六十年代以前使用较多的红外灯泡，灯丝温度比较高（约 2800°C 即 3073K ），根据维恩位移定律， $\lambda_m = \frac{2886}{3073} = 0.93\mu$ ；这种灯泡辐射能量绝大部分在 2.5μ 以内的近红外区，所以使用红外灯泡时辐射与吸收就不能很好的匹配。六十年代以后在烘烤中用表面温度为数百度的热元件代替原来的红外灯泡，根据维恩位移定律，当温度为 700K （ 427°C ）时，

$$\lambda_m = \frac{2886}{700} = 4.1\mu,$$

从表一，绝对黑体 E_λ 随波长而变化的曲线示于图 I—5，比较图 I—2、I—3、I—4、I—5 可知，数百度的热元件的辐射波段与要求烘烤温度约数百度的有机物质等的吸收波段已经是很好的匹配了。因此，从主要辐射近红外线的红外灯泡改为主要辐射中红外线的数百度的热元件，使波长匹配上有了明显的改进，起到了高效节能的作用，这就是不少国外资料所述的从近红外源到“远红外源”的跃进。

图 I—5 中曲线下面阴影部分是说明如果以 5.6 微米以远称远红外线的话，数百度的热元件被称为远红外源也是不够确切的，因为远红外区能量也只是占了一半。

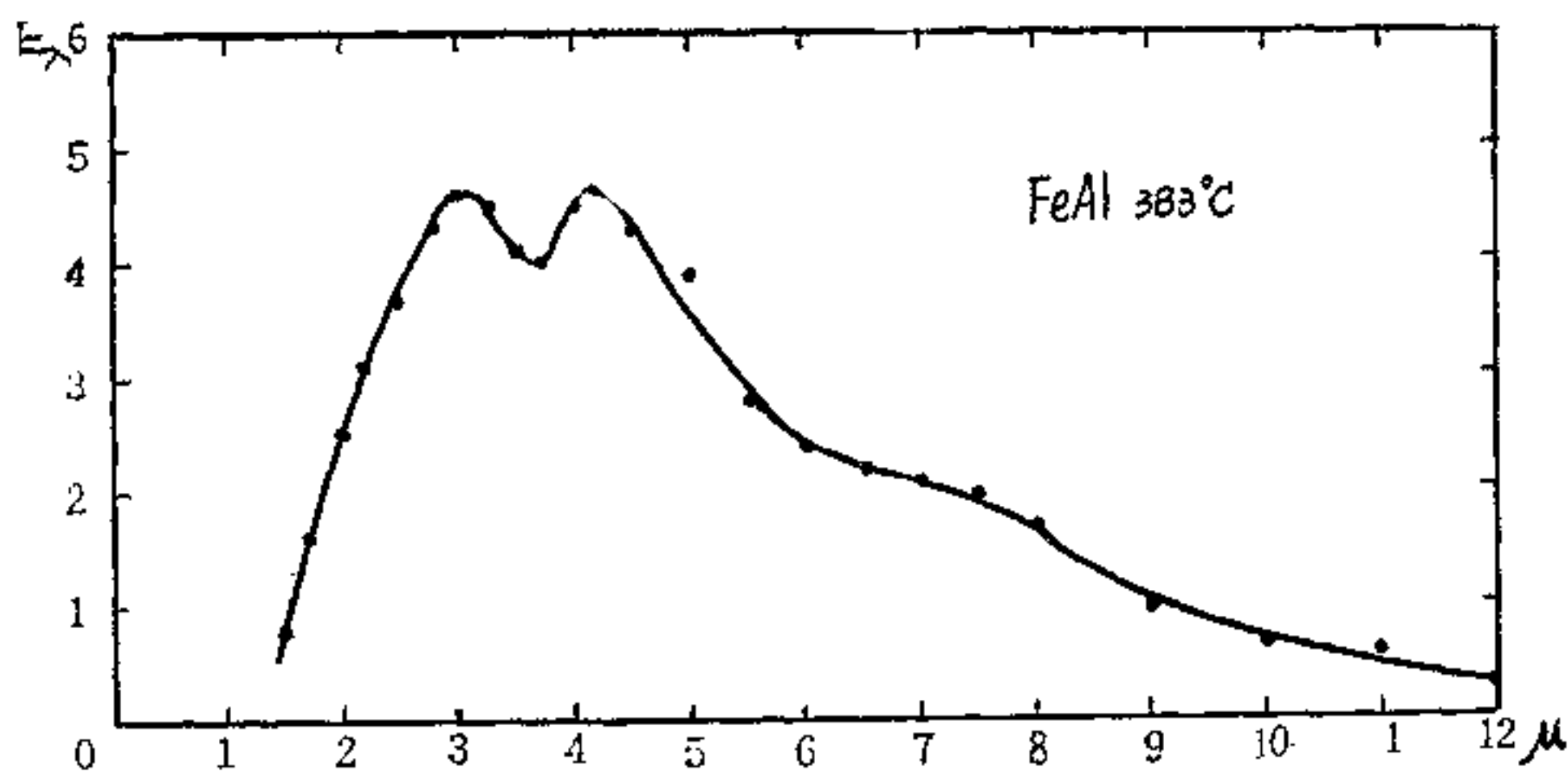


图 I—4 (16)

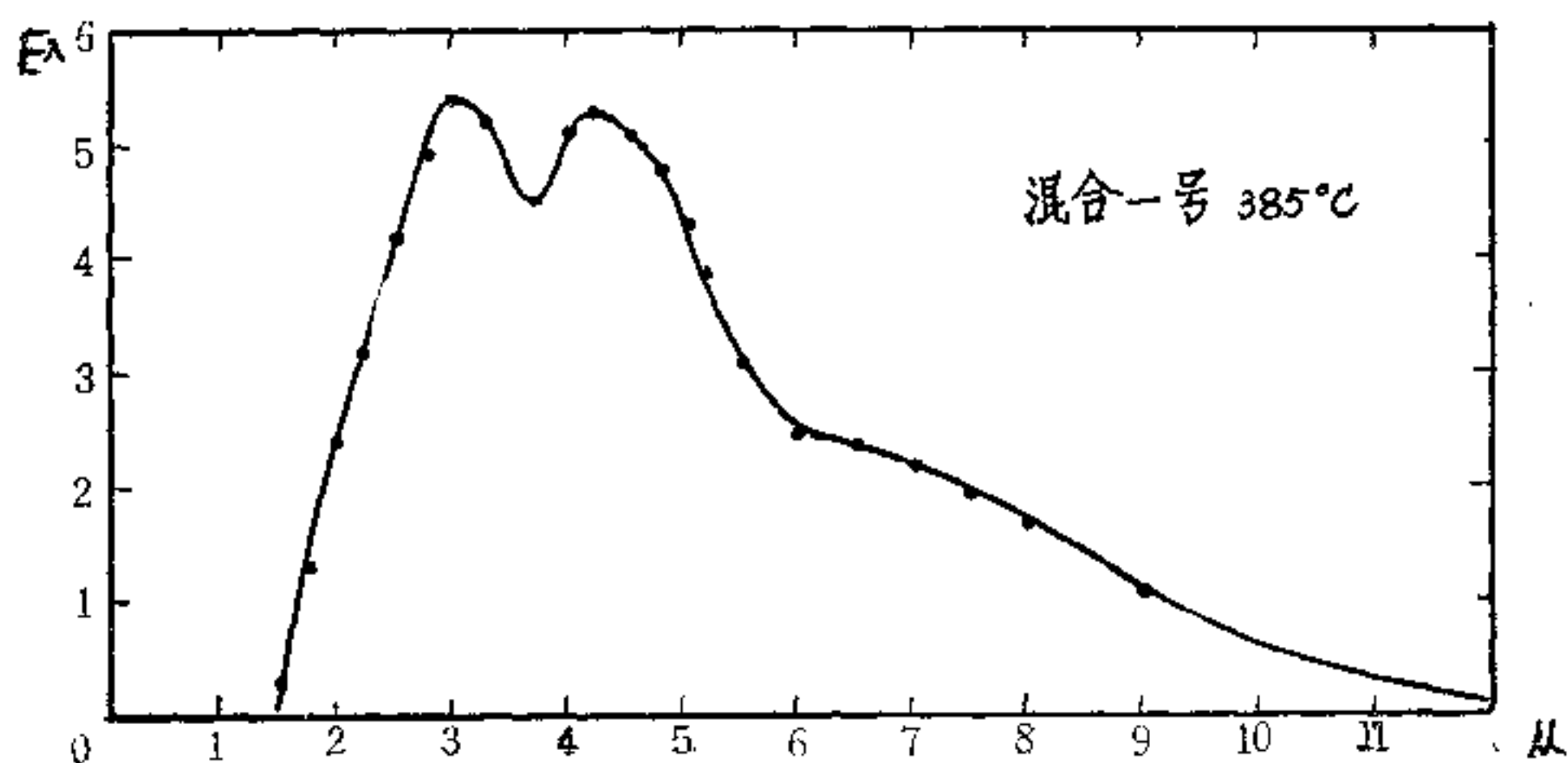


图 I—4 (17)

六十年代以前使用较多的红外灯泡，灯丝温度比较高（约2800°C 即 3073K），根据维恩位移定律， $\lambda_m = \frac{2886}{3073} = 0.93\mu$ ；这种灯泡辐射能量绝大部分在 2.5μ 以内的近红外区，所以使用红外灯泡时辐射与吸收就不能很好的匹配。六十年代以后在烘烤中用表面温度为数百度的热元件代替原来的红外灯泡，根据维恩位移定律，当温度为700K（427°C）时，

$$\lambda_m = \frac{2886}{700} = 4.1\mu,$$

从表一，绝对黑体 E_{λ} 随波长而变化的曲线示于图 I—5，比较图 I—2、I—3、I—4、I—5 可知，数百度的热元件的辐射波段与要求烘烤温度约数百度的有机物质等的吸收波段已经是很好的匹配了。因此，从主要辐射近红外线的红外灯泡改为主要辐射中红外线的数百度的热元件，使波长匹配上有了明显的改进，起到了高效节能的作用，这就是不少国外资料所述的从近红外源到“远红外源”的跃进。

图 I—5 中曲线下面阴影部分是说明如果以 5.6 微米以远称远红外线的话，数百度的热元件被称为远红外源也是不够确切的，因为远红外区能量也只是占了一半。

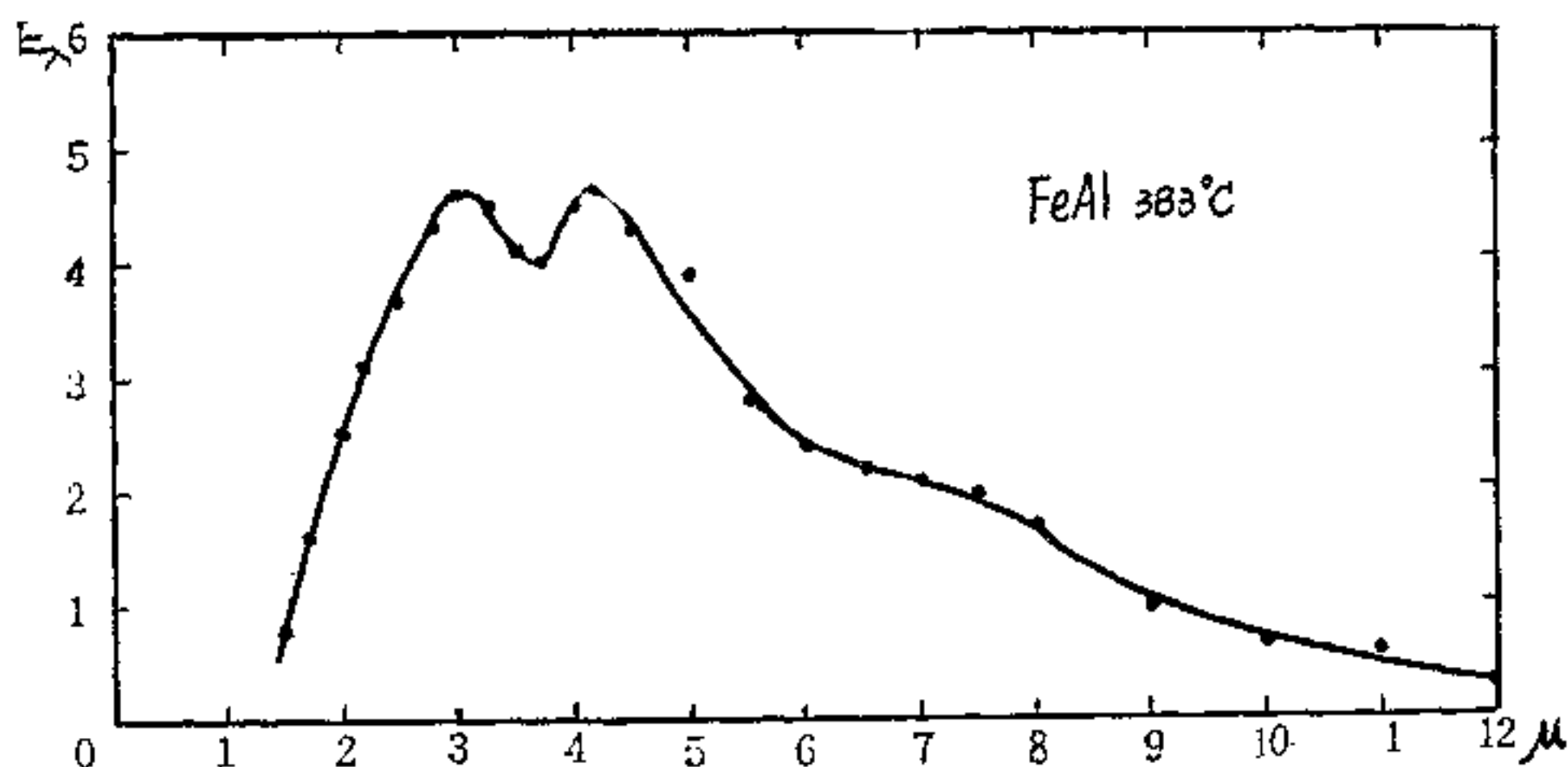


图 I—4 (16)

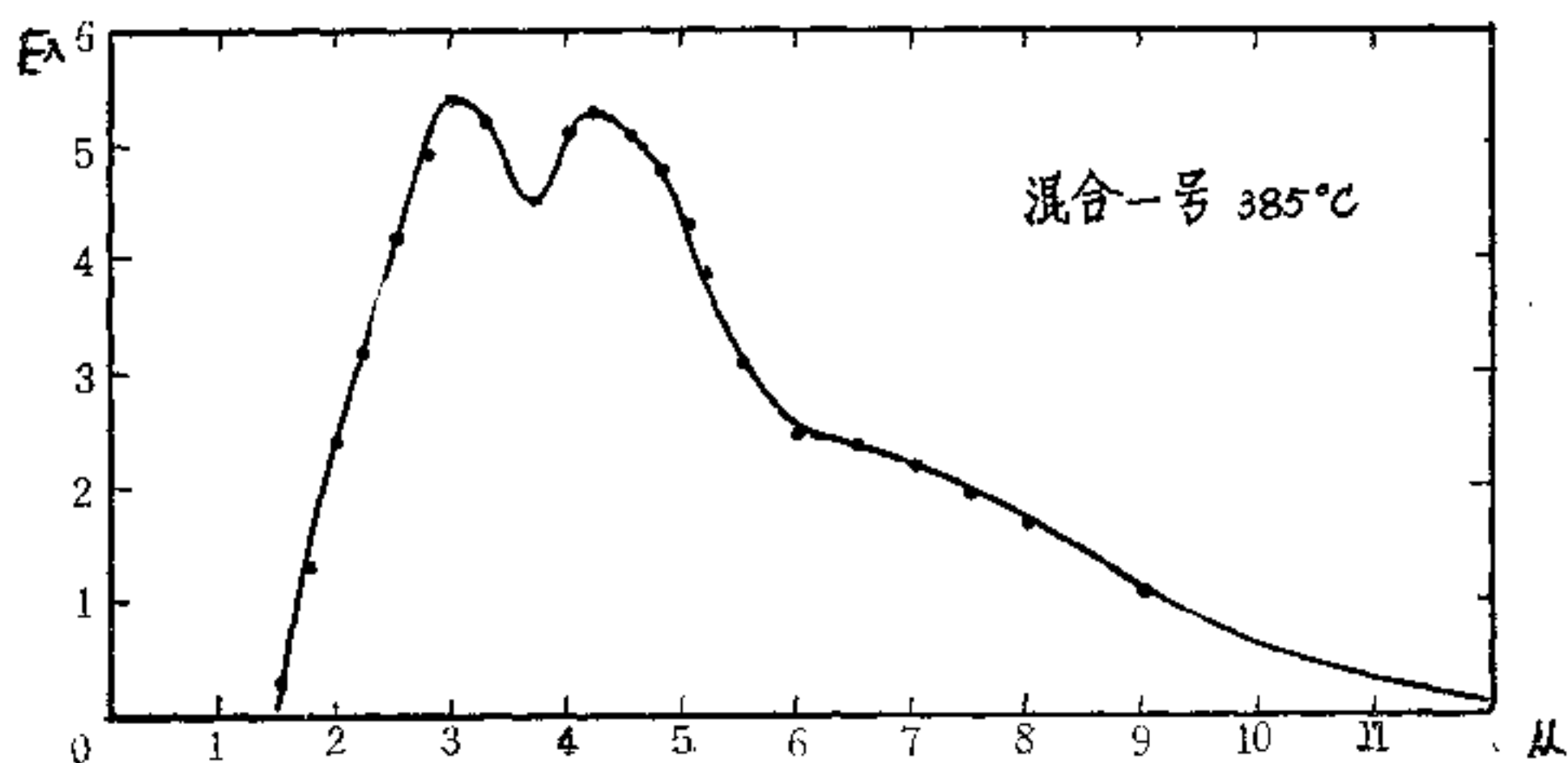


图 I—4 (17)

六十年代以前使用较多的红外灯泡，灯丝温度比较高（约 2800°C 即 3073K ），根据维恩位移定律， $\lambda_m = \frac{2886}{3073} = 0.93\mu$ ；这种灯泡辐射能量绝大部分在 2.5μ 以内的近红外区，所以使用红外灯泡时辐射与吸收就不能很好的匹配。六十年代以后在烘烤中用表面温度为数百度的热元件代替原来的红外灯泡，根据维恩位移定律，当温度为 700K （ 427°C ）时，

$$\lambda_m = \frac{2886}{700} = 4.1\mu,$$

从表一，绝对黑体 E_λ 随波长而变化的曲线示于图 I—5，比较图 I—2、I—3、I—4、I—5 可知，数百度的热元件的辐射波段与要求烘烤温度约数百度的有机物质等的吸收波段已经是很好的匹配了。因此，从主要辐射近红外线的红外灯泡改为主要辐射中红外线的数百度的热元件，使波长匹配上有了明显的改进，起到了高效节能的作用，这就是不少国外资料所述的从近红外源到“远红外源”的跃进。

图 I—5 中曲线下面阴影部分是说明如果以 5.6 微米以远称远红外线的话，数百度的热元件被称为远红外源也是不够确切的，因为远红外区能量也只是占了一半。