

标准铜-铜镍热电偶检定规程

JJG 115—1999

标准铜-铜镍热电偶检定规程

Verification Regulation of the Standard
Copper/Copper-Nickel Thermocouple

JJG 115—1999
代替 JJG 115—1990

本规程经国家质量技术监督局于 1999 年 05 月 14 日批准，并自 1999 年 09 月 01 日实施。

归口单位：全国温度标准器具计量技术委员会

起草单位：辽宁省质量计量检测研究院

本规程委托全国温度标准器具计量技术委员会负责解释

本规程主要起草人

孙云飞（辽宁省质量计量检测研究院）

宋德华（辽宁省质量计量检测研究院）

参加起草人

肖季春（辽宁省质量计量检测研究院）

吴桂霞（辽宁省质量计量检测研究院）

李宏伟（辽宁省质量计量检测研究院）

目 录

1 技术要求	886
2 检定设备	886
3 检定方法	887
4 检定结果的处理和检定周期	887
附录 A 铜-铜镍(康铜)热电偶(T型) $E(t)$, $S(t)$ 分度表	889
附录 B 标准铜-铜镍热电偶检定记录	892
附录 C 检定证书背面格式	892
附录 D 利用实际值计算内插公式系数 a_1 、 a_2 、 a_3 和 b_1 、 b_2 、 b_3 的方法	893

标准铜-铜镍热电偶检定规程

本规程适用于测量范围为 $-200^{\circ}\text{C} \sim 100^{\circ}\text{C}$ 的标准铜-铜镍（康铜）热电偶（以下简称热电偶）的首次检定、后续检定和使用中的检查。

1 技术要求

1.1 新制造的热电偶铜和铜镍两个电极的技术要求，应符合国家标准《GB 2903—1989》的要求。

1.2 新制热电偶全长不小于 1.2m ，电极直径可选 0.3mm 、 0.5mm 任一种，铜与铜镍极线径应一致。

1.3 热电偶测量端焊点应牢固、表面光滑、无气孔，焊点直径约为电极直径的两倍。电极不允许有折叠、扭曲现象，外部应有绝缘层或绝缘保护管。

1.4 新制热电偶的两个电极，其不均匀性热电势，应符合表1规定。

表 1

不均匀热电势值 μV	温度 $^{\circ}\text{C}$	
	-196	90
电极	铜	± 0.2
	铜镍	± 0.4

1.5 经过均匀性检查合格的偶丝焊成的热电偶，当参考端为 0°C 时，在 -196°C 的热电势值为 $(-5539 \pm 48) \mu\text{V}$ ，在 90°C 的热电势值为： $(3813 \pm 31) \mu\text{V}$ 。

1.6 按本规程检定热电偶给出的检定结果扩展不确定度，当置信概率为 $p = 0.99$ 时，在 $-120^{\circ}\text{C} \sim -180^{\circ}\text{C}$ 范围是 0.3°C ，在其他范围是 0.2°C 。

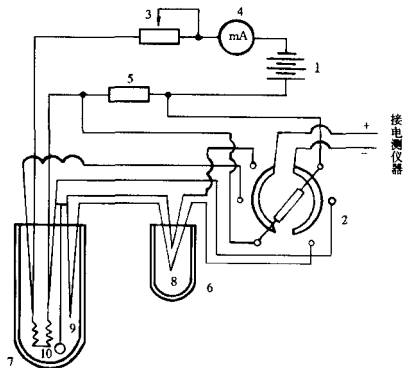


图 1

- 1—直流电源；2—多点转换开关；3—变阻器；4—毫安表；
5—标准电阻；6—冰点器；7—酒精低温槽；8—热电偶参
考端；9—热电偶测量端；10—标准电阻温度计

2 检定设备

2.1 热电偶的检定方法采用比较法原理（接线如图1所示）。

标准器与配套设备包括：

2.1.1 二等标准铂电阻温度计， $83.803\text{K} \sim 419.527^{\circ}\text{C}$ 范围。

2.1.2 0.01 级的低电势直流电位差计（最小步进值 $0.1 \mu\text{V}$ ）和配套设备，或不低于同等准确度的其他电测设备。

- 2.1.3 0.01级 10Ω 标准电阻, 0.5级毫安表和0.1级电阻箱各一只。
- 2.1.4 精密水银温度计, 测量范围(0~50)℃, 分度值为0.1℃或相当的数字温度计。
- 2.1.5 精密稳压电源(或甲电池), 其稳定度 $\leq 5 \times 10^{-6}/h$ 。
- 2.1.6 -80℃~0℃低温槽, 其有效工作区域内任意两点温差不得超过0.03℃。
- 2.1.7 液氮槽, 其中悬置一紫铜块, 铜块的直径为60mm, 长为150mm, 在上端面钻4个孔, 孔径为 $\phi 8\text{mm}$, 深120mm。
- 2.1.8 室温0℃~95℃恒温槽, 其有效工作区域内任意两点温差不得超过0.03℃。
- 2.1.9 水三相点瓶和冰点器及其保温装置。
- 2.1.10 换向开关和转换开关各一台, 寄生电势值小于 $0.4\mu\text{V}$ 。
- 2.2 检定环境应满足相应设备的要求。

3 检定方法

3.1 新制的热电偶首先做均匀性试验, 试验方法如下:

在-196℃和90℃温度下, 将被检热电偶(单丝)双绕在一根直径为(30~50)mm, 长度为800mm, 壁厚为(2~3)mm的玻璃筒上, 偶丝的间距一般15mm为宜, 其两端直接接到检流计上。把已绕好被测偶丝的圆筒从头开始, 每隔50mm分别均匀地插入液氮槽和水槽中, 放置5分钟稳定后读出热电势值, 取最大值作为不均匀性热电势值。

3.2 测量热电势的电测设备应放在室温为(20±2)℃的条件下, 至少恒温4小时。

3.3 用二等标准铂电阻温度计检定热电偶之前, 应先测其在水三相点的电阻值 $R(0.01^\circ\text{C})$ 。

3.4 标准铂电阻温度计与被检热电偶的安装:

3.4.1 将被检热电偶参考端两电极分别与铜导线连接后, 插入冰点器中, 插入深度不少于200mm, 即参考端温度应为0℃。

3.4.2 只用于0℃以上的热电偶, 可不在0℃以下检定, 只用于0℃以下的热电偶可不在0℃以上检定。

3.4.3 30℃、60℃、90℃3个点在恒温槽中进行检定。

将被检热电偶测量端和标准铂电阻温度计直接插入恒温槽中, 插入深度不少于200mm, 铂电阻温度计感温元件的中心与被检热电偶的测量端处于同一水平面。

3.4.4 -40℃、-79℃2个点在酒精低温槽内进行检定; -196℃点在液氮槽中检定。

铂电阻温度计与被检热电偶分别插入铜块上端面插孔内, 其插入深度不得少于200mm。-79℃点检定, 可在固态二氧化碳(干冰)中进行(测量端附近加入少许酒精)。

3.5 标准铂电阻温度计和被检热电偶应在检定点附近至少稳定10min, 槽温与检定点的偏差不应超过 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ 。

3.6 按照下列顺序, 分别测出标准电阻和标准铂电阻温度计的电压降, 以及被检热电偶的热电势; 每次不得少于两个循环, 按附录B表格记录。

标准电阻→标准铂电阻温度计→被检1→被检2...→被检 n → 换
 标准电阻←标准铂电阻温度计←被检1←被检2...←被检 n ← 向
 在读数过程中, 槽温变化不得超过 $\pm 0.1^\circ\text{C}$ 。

4 检定结果的处理和检定周期

4.1 先由(1)式计算标准铂电阻温度计的电阻值 $R(t)$ 。

$$R(t) = \frac{U_t}{U_N} R_N \quad (1)$$

式中： U_t 、 U_N ——分别为标准铂电阻温度计和标准电阻两端电压降测得的平均值；

R_N ——经过温度修正后的标准电阻实际值。

4.2 按 (2) 式和 (3) 式求出标准铂电阻温度计的电阻比 W_t 和槽温与检定点名义温度之差 Δt 。

$$W_t = \frac{R(t)}{R(0.01^\circ\text{C})} \quad (2)$$

$$\Delta t = (W_t - W_{t_n}) / (dW/dt)_{t_n} \text{ 或 } \Delta t = t - t_n (^\circ\text{C}) \quad (3)$$

式中： W_t ——由 (2) 式得出的电阻比；

$R(t)$ ——由 (1) 式求出的标准铂电阻温度计的电阻值 (Ω)；

$R(0.01^\circ\text{C})$ ——标准铂电阻温度计在本装置上测得的水三相点电阻值 (Ω)；

t ——恒温槽内实际温度值 ($^\circ\text{C}$)，由标准铂电阻温度计的证书中 $W \sim t \sim dW/dt$ 表求得；

t_n ——检定点名义温度 ($^\circ\text{C}$)；

W_{t_n} ——在名义温度 t_n 时的电阻比；

$(dW/dt)_{t_n}$ ——在 t_n 时的微分电阻比。

4.3 采用 (4) 式将测得的热电势值，修正到各检定点时的热电势值。

$$e_{t_n} = e_t + \left(\frac{de}{dt} \right)_{t_n} \Delta t \quad (4)$$

式中： e_{t_n} ——检定点的热电势值 (μV)；

e_t ——检定点附近测得的热电势值 (μV)；

$(de/dt)_{t_n}$ ——检定点热电势变化率；

Δt ——由 (3) 式求得温差。

4.4 将每支被检热电偶所测得的 t_n 、 e_{t_n} 列成表 (见附录 C)，并按每 10°C 间隔打出 $-200^\circ\text{C} \sim 100^\circ\text{C}$ 范围内 t_n 、 e_{t_n} 值，按 (5) 式求出系数 a_i (见附录 D)。

$$e_i = \sum_{i=1}^3 a_i t^i \quad (5)$$

4.5 新制造的热电偶需检定 2 次，2 次检定结果之差相当于温度差不得超过 0.1°C ，取平均值后代入内插公式，求出 a_1 、 a_2 、 a_3 ， b_1 、 b_2 、 b_3 系数 (见附录 D)。

4.6 使用中的热电偶检定结果与其上次检定证书给出的结果之差，在 $-200^\circ\text{C} \sim 100^\circ\text{C}$ 范围内不得超过 0.2°C ，可只检 1 次，如果超过 0.2°C 需检定 2 次，2 次差超过 0.1°C ，即应降为工作级使用。

4.7 为了检查计算结果的可靠性，应按照所求的 $e \sim t$ 关系式计算出各检定点上的 e_t 值，所得计算值与测量值之差不大于 $\pm 1.5 \mu\text{V}$ 。

4.8 将热电偶检定结果按要求 (见附录 C) 填写在检定证书上，其结果给出到微伏位。

4.9 经检定合格的热电偶发给检定证书，不合格但符合工作用的热电偶，可降级使用；不符合工作用的热电偶，给出检定结果通知书。

4.10 热电偶检定周期应根据具体情况确定，最长不超过 1 年。

附录 A

铜-铜镍(康铜)热电偶(T型) $E(t)$, $S(t)$ 分度表

参考温度: 0℃

t (℃)	E (mV)	S (μ V)	t (℃)	E (mV)	S (μ V)	t (℃)	E (mV)	S (μ V)
-200	-5.603	15.74	-165	-4.969	20.42	-130	-4.177	24.80
-199	-5.587	15.88	-164	-4.949	20.55	-129	-4.152	24.93
-198	-5.571	16.02	-163	-4.928	20.68	-128	-4.127	25.05
-197	-5.555	16.16	-162	-4.907	20.80	-127	-4.102	25.17
-196	-5.539	16.30	-161	-4.886	20.93	-126	-4.077	25.29
-195	-5.523	16.43	-160	-4.865	21.06	-125	-4.052	25.42
-194	-5.506	16.57	-159	-4.844	21.19	-124	-4.026	25.54
-193	-5.489	16.71	-158	-4.823	21.31	-123	-4.000	25.66
-192	-5.473	16.84	-157	-4.802	21.44	-122	-3.975	25.78
-191	-5.456	16.98	-156	-4.780	21.57	-121	-3.949	25.90
-190	-5.439	17.12	-155	-4.759	21.69	-120	-3.923	26.02
-189	-5.421	17.25	-154	-4.737	21.82	-119	-3.897	26.15
-188	-5.404	17.39	-153	-4.715	21.95	-118	-3.871	26.27
-187	-5.387	17.52	-152	-4.693	22.07	-117	-3.844	26.39
-186	-5.369	17.66	-151	-4.671	22.20	-116	-3.818	26.51
-185	-5.351	17.79	-150	-4.648	22.32	-115	-3.791	26.63
-184	-5.334	17.92	-149	-4.626	22.45	-114	-3.765	26.75
-183	-5.316	18.06	-148	-4.604	22.57	-113	-3.738	26.87
-182	-5.297	18.19	-147	-4.581	22.70	-112	-3.711	26.99
-181	-5.279	18.32	-146	-4.558	22.82	-111	-3.684	27.10
-180	-5.261	18.46	-145	-4.535	22.95	-110	-3.657	27.22
-179	-5.242	18.59	-144	-4.512	23.07	-109	-3.629	27.34
-178	-5.224	18.72	-143	-4.489	23.20	-108	-3.602	27.46
-177	-5.205	18.86	-142	-4.466	23.32	-107	-3.574	27.58
-176	-5.186	18.99	-141	-4.443	23.45	-106	-3.547	27.70
-175	-5.167	19.12	-140	-4.419	23.57	-105	-3.519	27.81
-174	-5.148	19.25	-139	-4.395	23.69	-104	-3.491	27.93
-173	-5.128	19.38	-138	-4.372	23.82	-103	-3.463	28.05
-172	-5.109	19.51	-137	-4.348	23.94	-102	-3.435	28.16
-171	-5.089	19.64	-136	-4.324	24.07	-101	-3.407	28.28
-170	-5.070	19.77	-135	-4.300	24.19	-100	-3.379	28.39
-169	-5.050	19.90	-134	-4.275	24.31	-99	-3.350	28.51
-168	-5.030	20.03	-133	-4.251	24.44	-98	-3.322	28.63
-167	-5.010	20.16	-132	-4.226	24.56	-97	-3.293	28.74
-166	-4.989	20.29	-131	-4.202	24.68	-96	-3.264	28.86

参考温度: 0℃

续表

t (℃)	E (mV)	S (μ V)	t (℃)	E (mV)	S (μ V)	t (℃)	E (mV)	S (μ V)
-95	-3.235	28.97	-60	-2.153	32.84	-25	-0.940	36.40
-94	-3.206	29.08	-59	-2.120	32.95	-24	-0.904	36.50
-93	-3.177	29.20	-58	-2.087	33.05	-23	-0.867	36.60
-92	-3.148	29.31	-57	-2.054	33.16	-22	-0.830	36.70
-91	-3.118	29.43	-56	-2.021	33.27	-21	-0.794	36.80
-90	-3.089	29.54	-55	-1.987	33.37	-20	-0.757	36.90
-89	-3.059	29.65	-54	-1.954	33.48	-19	-0.720	36.99
-88	-3.030	29.76	-53	-1.920	33.58	-18	-0.683	37.09
-87	-3.000	29.88	-52	-1.887	33.68	-17	-0.646	37.19
-86	-2.970	29.99	-51	-1.853	33.79	-16	-0.608	37.28
-85	-2.940	30.10	-50	-1.819	33.89	-15	-0.571	37.38
-84	-2.910	30.21	-49	-1.785	34.00	-14	-0.534	37.48
-83	-2.879	30.33	-48	-1.751	34.10	-13	-0.496	37.57
-82	-2.849	30.44	-47	-1.717	34.20	-12	-0.459	37.67
-81	-2.818	30.55	-46	-1.683	34.30	-11	-0.421	37.76
-80	-2.788	30.66	-45	-1.648	34.41	-10	-0.383	37.85
-79	-2.757	30.77	-44	-1.614	34.51	-9	-0.345	37.95
-78	-2.726	30.88	-43	-1.579	34.61	-8	-0.307	38.04
-77	-2.695	30.99	-42	-1.545	34.71	-7	-0.269	38.13
-76	-2.664	31.10	-41	-1.510	34.81	-6	-0.231	38.22
-75	-2.633	31.21	-40	-1.475	34.91	-5	-0.193	38.31
-74	-2.602	31.32	-39	-1.440	35.01	-4	-0.154	38.40
-73	-2.571	31.43	-38	-1.405	35.11	-3	-0.116	38.48
-72	-2.539	31.54	-37	-1.370	35.21	-2	-0.077	38.57
-71	-2.507	31.65	-36	-1.335	35.31	-1	-0.039	38.66
-70	-2.476	31.76	-35	-1.299	35.41	0	0.000	38.75
-69	-2.444	31.87	-34	-1.264	35.51	1	0.039	38.82
-68	-2.412	31.98	-33	-1.228	35.61	2	0.078	38.88
-67	-2.380	32.09	-32	-1.192	35.71	3	0.117	38.95
-66	-2.348	32.20	-31	-1.157	35.81	4	0.156	39.02
-65	-2.316	32.30	-30	-1.121	35.91	5	0.195	39.10
-64	-2.283	32.41	-29	-1.085	36.01	6	0.234	39.17
-63	-2.251	32.52	-28	-1.049	36.11	7	0.273	39.24
-62	-2.218	32.63	-27	-1.013	36.21	8	0.312	39.32
-61	-2.186	32.73	-26	-0.976	36.31	9	0.352	39.39

参考温度: 0℃

续表

t (℃)	E (mV)	S (μ V)	t (℃)	E (mV)	S (μ V)	t (℃)	E (mV)	S (μ V)
10	0.391	39.47	40	1.612	41.96	70	2.909	44.48
11	0.431	39.54	41	1.654	42.05	71	2.953	44.56
12	0.470	39.62	42	1.696	42.14	72	2.998	44.64
13	0.510	39.70	43	1.738	42.22	73	3.043	44.72
14	0.549	39.78	44	1.780	42.31	74	3.087	44.80
15	0.589	39.86	45	1.823	42.39	75	3.132	44.88
16	0.629	39.94	46	1.865	42.48	76	3.177	44.96
17	0.669	40.02	47	1.908	42.56	77	3.222	45.04
18	0.709	40.10	48	1.950	42.65	78	3.267	45.12
19	0.749	40.18	49	1.993	42.74	79	3.312	45.20
20	0.790	40.27	50	2.036	42.82	80	3.358	45.28
21	0.830	40.35	51	2.079	42.91	81	3.403	45.36
22	0.870	40.43	52	2.122	42.99	82	3.448	45.43
23	0.911	40.51	53	2.165	43.07	83	3.494	45.51
24	0.951	40.60	54	2.208	43.16	84	3.539	45.59
25	0.992	40.68	55	2.251	43.24	85	3.585	45.66
26	1.033	40.77	56	2.294	43.33	86	3.631	45.74
27	1.074	40.85	57	2.338	43.41	87	3.677	45.82
28	1.114	40.94	58	2.381	43.50	88	3.722	45.89
29	1.155	41.02	59	2.425	43.58	89	3.768	45.97
30	1.196	41.11	60	2.468	43.66	90	3.814	46.04
31	1.238	41.19	61	2.512	43.75	91	3.860	46.12
32	1.279	41.28	62	2.556	43.83	92	3.907	46.19
33	1.320	41.36	63	2.600	43.91	93	3.953	46.27
34	1.362	41.45	64	2.643	43.99	94	3.999	46.34
35	1.403	41.53	65	2.687	44.08	95	4.046	46.42
36	1.445	41.62	66	2.732	44.16	96	4.092	46.49
37	1.486	41.71	67	2.776	44.24	97	4.138	46.57
38	1.528	41.79	68	2.820	44.32	98	4.185	46.64
39	1.570	41.88	69	2.864	44.40	99	4.232	46.71
						100	4.279	46.78

附录 B
标准铜-铜镍热电偶检定记录 No

湿度 (RH)%		电测设备:		标准电阻温度: ℃			环境温度: ℃		
温度计号		标准电阻	标准温度计	被检 1	被检 2	被检 3	被检 4	被检 5	被检 6
		No	No	No	No	No	No	No	No
测量值 μV	1								
	2								
	3								
	4								
平均值									
修正值									
实际值									

$$R(t) = \frac{U_t}{U_N} R_N = W_t = R(t)/R(0.01^\circ\text{C}) \quad \Delta t = (W_t - W_{t_n}) / (dW/dt)_{t_n} \quad \Delta e = \Delta t \times (dW/dt)_{t_n}$$

检定: 记录: 计算: 复核:
 年 月 日 年 月 日 年 月 日

附录 C
检定证书背面格式
检定结果

温度 (℃)	热电动势 (μV)	温度 (℃)	热电动势 (μV)
-40		30	
-79		60	
-196		90	
热电偶测量范围		0℃以下	
$e_i = a_1 t + a_2 t^2 + a_3 t^3$			
$a_1 =$	$a_2 =$	$a_3 =$	
0℃以上			
$e_i = b_1 t + b_2 t^2 + b_3 t^3$			
$b_1 =$	$b_2 =$	$b_3 =$	
参考端温度为 0℃			

附录 D

利用实际值计算内插公式系数 a_1 、 a_2 、 a_3 和 b_1 、 b_2 、 b_3 的方法

D1 在 $(-200 \sim 0)^\circ\text{C}$ 范围内, 利用 (1) 式计算 a_1 、 a_2 、 a_3 系数:

$$\begin{aligned} a_1 &= -0.0636259e_{-40} + 0.0217490e_{-79} - 0.000883320e_{-196} \\ a_2 &= -1.13001 \times 10^{-3}e_{-40} + 6.54690 \times 10^{-4}e_{-79} - 3.32600 \times 10^{-5}e_{-196} \\ a_3 &= -4.10914 \times 10^{-6}e_{-40} + 2.77410 \times 10^{-6}e_{-79} - 2.79533 \times 10^{-7}e_{-196} \end{aligned} \quad (1)$$

D2 在 $(0 \sim 100)^\circ\text{C}$ 范围内, 利用 (2) 式计算 b_1 、 b_2 、 b_3 系数:

$$\begin{aligned} b_1 &= 0.1000000e_{30} - 0.0500000e_{60} + 0.0111111e_{90} \\ b_2 &= -2.77778 \times 10^{-3}e_{30} + 2.22222 \times 10^{-3}e_{60} - 5.55556 \times 10^{-4}e_{90} \\ b_3 &= 1.85185 \times 10^{-5}e_{30} - 1.85185 \times 10^{-5}e_{60} + 6.17284 \times 10^{-6}e_{90} \end{aligned} \quad (2)$$

D3 举例

D3.1 首次检定的热电偶取两次检定结果之差不得超过 0.1°C , 取平均值; 使用中的热电偶与原证书相差不得超过 0.2°C , 取该次检定结果, 修正后计算内插系数。

具体修正步骤与方法参看表 D1 的举例:

表 D1

t ($^\circ\text{C}$)	e_t (μV)	$\Delta t = t - t_n$ ($^\circ\text{C}$)	$(de/dt)_n$ (μV)	Δe_t (μV)	e_{tn} (μV)
-40.20	-1482.7	-0.20	-35	7.0	-1475.7
-79.15	-2763.0	-0.15	-31	4.6	-2758.4
-195.50	-5544.5	0.50	-16	-8.0	-5552.5

D3.2 利用表 D2 进行计算, 可得热电偶的热电势与温度的内插公式:

$$e_t = 38.805044t + 0.0463351t^2 - 0.00003611t^3 \quad (3)$$

表 D2

$-0.0636259e_{-40}$ $0.02174896e_{-79}$ $-0.00088332e_{-196}$	93.892741 -59.992331 4.904634
$a_1 = \sum a_i e_i = 38.805044$	
$-0.00113001e_{-40}$ $0.00065469e_{-79}$ $-0.00003326e_{-196}$	1.6675558 -1.8058969 0.1846762
$a_2 = \sum a_i e_i = 0.0463351$	
$-4.10914 \times 10^{-6}e_{-40}$ $2.77410 \times 10^{-6}e_{-79}$ $-2.79533 \times 10^{-7}e_{-196}$	0.003063858 -0.007652077 0.001552107

$$a_3 = \sum a_i e_i = -0.00003611$$

D3.3 为了检查计算结果的可靠性，应按照所求得的 $e \sim t$ 关系式 (3) 计算各检定点上的 e_t 值，所得计算值和测量值之差不得超过 $\pm 1.5 \mu\text{V}$ ；检查结果列入表 D3。

表 D3

t ($^{\circ}\text{C}$)	测量值 (μV)	计算值 (μV)	差值 (μV)
-40	-1475.7	$e_t = a_1 (-40) + a_2 1600 + a_3 (-64000) = -1475.75$	0.05
-79	-2758.4	$e_t = a_1 (-79) + a_2 6241 + a_3 (-493039) = -2758.61$	0.21
-196	-5552.5	$e_t = a_1 (-196) + a_2 38416 + a_3 (-7529536) = -5553.89$	1.39