

Determinazione del calore specifico dell'alluminio con il calorimetro di Regnault

Oggetto della prova

L'oggetto della prova è di misurare la capacità termica ed il calore specifico di una massa di alluminio grazie all'uso del calorimetro di Regnault. Come nelle precedenti prove acquisito o calcolato il risultato voluto si procede sempre, parallelamente, al calcolo degli errori che decreteranno la riuscita dell'esperimento stesso.

Cenni teorici

Premessa la teoria illustrata già ampiamente nelle due precedenti relazioni passiamo direttamente all'analisi dello strumento utilizzato per l'esperimento e delle leggi fisiche che esso chiama in gioco in questa esperienza.

Il calorimetro anzitutto si presenta come un sistema considerabile isolato, o meglio, i cui scambi di energia tra interno ed esterno sono trascurabili per le misurazioni da effettuarsi data la bassa tolleranza degli strumenti utilizzati e le modalità d'esecuzione (che saranno rapide).

Fatta questa premessa possiamo ora considerare in linea teorica il funzionamento di tale strumento: il sistema di base è costituito da un recipiente isolato, da un liquido (che farà da mezzo di trasmissione del calore e da massa che accumulerà tale calore) e da un mescolatore per favorire lo scambio di calore tra i corpi; aggiungendo ora al sistema un corpo – solido o liquido – di temperatura differente il sistema intero (monitorato per mezzo di un termometro) farà variare la temperatura del liquido del calorimetro (scambiando una quantità di calore precisa) e, dopo un certo periodo, essa si stabilizzerà su un valore che teoricamente rimarrà costante, la temperatura di equilibrio del sistema o temperatura ambiente.

Nello specifico andremo a calcolare la capacità termica, definita in con il rapporto tra calore e una differenza di temperatura:

$$C = \frac{Q}{\Delta t}$$

E il calore specifico, rapporto tra capacità termica e massa:

$$c = \frac{C}{m}$$

Basandoci su ciò si può considerare, dato il sistema isolato, che la quantità di calore che il corpo più caldo cede sarà assorbita dal corpo più freddo, da cui ricaviamo la capacità termica di un oggetto:

$$C_x(T_{eq} - T_1) = C_{ca}(T_2 - T_{eq}) \text{ con } C_{ca} = C_c + C_a$$

In maniera del tutto simile si può ricavare la capacità termica del calorimetro (in cui C_{ca} diventa semplicemente C_a). Da qui si ricava, conoscendo il calore specifico dell'acqua, il calore specifico dell'oggetto in esame, pari a:

$$c_x = \frac{C_a + C_c}{M_x} \cdot \frac{(T_{eq} - T_1)}{(T_2 - T_{eq})}$$

Riprendendo la teoria degli errori vista le volte precedenti e proposta nella dispensa teorica fornitaci arriviamo a definire l'errore relativo alla capacità termica del corpo analizzato, della capacità termica del calorimetro e del calorimetro pieno d'acqua.

Considerando quindi le variabili indipendenti utilizzate per il calcolo della capacità termica dell'oggetto in esame si arriva a ricavare l'errore del risultato:

$$r(C_x) \leq r(C_{cp}) + \left| \frac{T_2 - T_1}{(T_2 - T_{eq})(T_{eq} - T_1)} \right| \varepsilon(T_{eq}) + \left| \frac{1}{T_{eq} - T_1} \right| \varepsilon(T_1) + \left| \frac{1}{T_2 - T_{eq}} \right| \varepsilon(T_2)$$

Sapendo l'errore ε di sensibilità dello strumento utilizzato e considerando l'errore di calcolo del calorimetro pieno siamo dunque in grado di arrivare al risultato.

Analogamente si procederà per il calcolo d'errore assoluto del calorimetro pieno, quindi dell'errore relativo su C_x , obiettivo dell'esperienza.

Misure ed elaborazione dati

Per lo svolgimento della prova il gruppo si è servito dei seguenti strumenti:

- recipiente resistente al calore;
- fornello;
- termometro con sensibilità al decimo di grado e scala 0°-100° C;
- massa in alluminio (147 g);
- calorimetro di Regnault;
- bilancia con sensibilità al grammo;
- sensore di calore interfacciato al computer;
- computer per l'elaborazione dei dati raccolti.

Misure ed elaborazione dati

Misura della capacità termica e del calore specifico della massa di alluminio

Per procedere alla prima fase si sono misurate anzitutto le masse dell'oggetto di alluminio e, per differenza, la massa dell'acqua contenuta nel calorimetro.

Dopo aver misurato la temperatura del calorimetro (o meglio del liquido contenutovi, d'ora in poi sia assimilerà la temperatura di tale liquido a quella dell'intero calorimetro) con un termometro analogico si è passati alla taratura dello strumento digitale che sostituirà il primo in fase sperimentale. Nel frattempo la massa, immersa in un pentolino con acqua in ebollizione, ha raggiunto una temperatura prossima ai 100°C (temperatura misurata con il termometro analogico

immerso nel pentolino stesso). Si hanno quindi i seguenti dati di partenza (con le relative tolleranze dello strumento riportate utilizzando il grado approssimazione corretto):

$$M_a = 763 \text{ g}$$

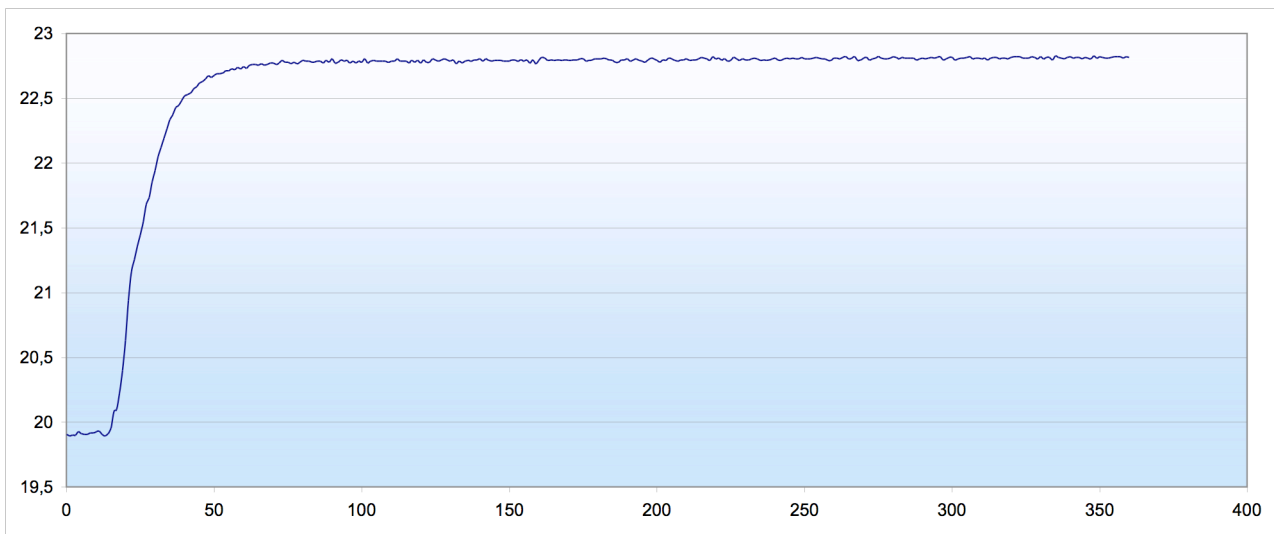
$$M_{ca} = 723 \text{ g}$$

$$M_{Al} = 147 \text{ g}$$

$$T_{ca} = 19,6 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{Al} = 98,6 \text{ }^\circ\text{C}$$

A questo punto, in maniera il più possibile veloce, si inserisce la massa di alluminio nel calorimetro, iniziando subito a manovrare il mescolatore, e si rileva per mezzo dello strumento elettronico il cambiamento della temperatura del liquido monitorato fino ad arrivare alla stabilità del sistema.



Il grafico qui sopra ripropone l'andamento della temperatura (*asse y*) in funzione del tempo (*asse x*), i dati sono riportati nell'*allegato 1*.

L'esperimento si è interrotto dopo 6 minuti esatti ($t_e = 360 \text{ sec.}$), quando il gruppo di lavoro ha constatato che la curva aveva assunto pendenza pari a 0 ed il valore a cui asintoticamente tendeva poteva essere preso come la temperatura di equilibrio.

In prima istanza quindi andremo a ricavarci affidandoci al termometro analogico la temperatura dell'acqua dopo l'inserimento della massa ed il suo errore:

$$T_{ca+Al} = 22,8 \text{ }^\circ\text{C}$$

Procediamo dunque al calcolo della capacità termica e del calore specifico della massa di alluminio in esame.

Partendo dalla relazione che lega la capacità termica dell'oggetto a quella del sistema del calorimetro ed alle temperature misurate e conoscendo che la capacità termica dell'acqua è approssimabile alla sua massa lavorando in un range tra 1 e 100°C si può applicare la seguente relazione:

$$C_{Al} = C_a \frac{T_{a+Al} - T_a}{T_{Al} - T_{a+Al}} = 32,2111 \frac{\text{cal}}{^\circ\text{C}}$$

Tenendo comunque presente che il C_a considerato non teneva conto della capacità termica del calorimetro, che, per quanto ridotta, andrebbe a sommarsi a tale valore.

Infine passiamo al calcolo del calore specifico, risultato del rapporto tra la capacità termica e la massa dell'oggetto:

$$c_{Al} = \frac{C_x}{m_x} = 0,2191 \frac{cal}{g \cdot ^\circ C}$$

Misura della capacità termica del calorimetro

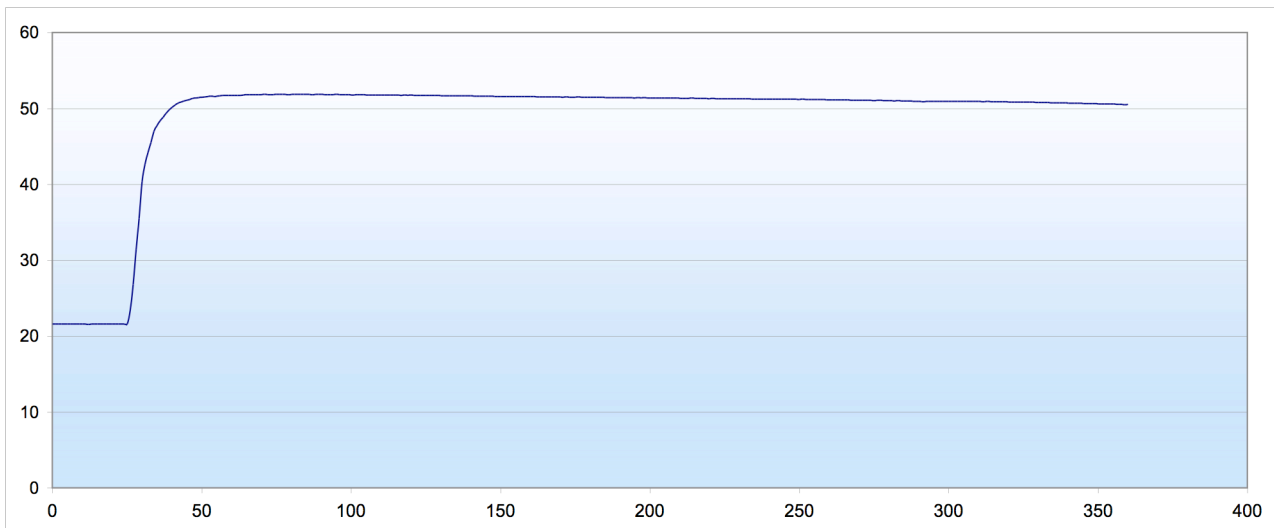
Durante questa fase, togliendo la massa di Alluminio dal calorimetro, si procede nell'inserire una certa quantità di acqua riscaldata nel calorimetro e di misurarne, ancora una volta, la differenza di temperatura. Ciò per arrivare a calcolare la capacità termica del calorimetro stesso, dato che avremo una capacità uguale per l'acqua già presente nel calorimetro e quella aggiunta successivamente.

$$M_{ca} = 763 \text{ g}$$

$$M_{aa} = 548 \text{ g}$$

$$T_{ca} = 21,6 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{aa} = 98,9 \text{ }^\circ\text{C}$$



Il grafico qui sopra ripropone l'andamento della temperatura (*asse y*) in funzione del tempo (*asse x*), i dati sono riportati nell'*allegato 2*.

Dopo un tempo di 6 minuti esatti ($t_e = 360 \text{ sec.}$) la curva si è stabilizzata e tende a scendere lentamente – per arrivare, se si continuasse con l'esperimento, alla temperatura ambientale esterna al calorimetro –.

Servendoci nuovamente del termometro analogico andremo a misurare la temperatura del sistema ormai stabilizzatosi ed il relativo errore:

$$T_{ca+Al} = 50,7 \text{ }^\circ\text{C}$$

Procediamo dunque al calcolo della capacità termica e del calorimetro vuoto con le stesse modalità di prima:

$$C_{ca} = 907,6838 \text{ cal/}^\circ\text{C}$$

Andando quindi per differenza tra la capacità del calorimetro con acqua (C_{ca}) e dell'acqua stessa (che coincide come già detto con il valore della massa M_a) si otterrà la capacità termica del calorimetro vuoto:

$$C_c = 144,6838 \text{ cal/}^\circ\text{C}$$

Avendo dunque a disposizione ora anche la capacità termica del calorimetro possiamo ricalcolare la capacità della massa:

$$C_{Al} = 0,2607 \text{ cal/}^\circ\text{C}$$

Nota: tale valore, nonostante dovrebbe avvicinarsi di più al dato reale, si discosta maggiormente da quello (0,210) fornito dalle tabelle di calori specifici riportate comunemente sui libri di testo (e verificato sperimentalmente con una maggior precisione della nostra esperienza).

Concludiamo dunque con il calcolo degli errori della capacità termica della massa in esame e del calorimetro stesso.

L'errore relativo della capacità termica dell'acqua aggiunta, ottenuto semplicemente con il rapporto tra sensibilità dello strumento e massa, è di $0,000182 \text{ cal/}^\circ\text{C}$.

Calcoliamo dunque l'errore relativo del calorimetro con l'acqua (ed il relativo errore assoluto):

$$r(C_{ca}) = 0,003151 \text{ cal/}^\circ\text{C}$$

$$a(C_{ca}) = 2,868514 \text{ cal/}^\circ\text{C}$$

Proseguiamo con il calcolo della capacità termica del calorimetro vuoto, pari a $2,860514 \text{ cal/}^\circ\text{C}$.

Infine giungiamo al risultato, l'errore della capacità termica della massa di alluminio:

$$r(C_{Al}) = 0,0141732 \text{ cal/}^\circ\text{C}$$

Allegato 1

Tabella di dati
(prima fase)

<i>tempo (s)</i>	<i>temp (°C)</i>				
0	19,907	52	22,692	110	22,787
1	19,895	53	22,698	111	22,787
2	19,901	54	22,715	112	22,804
3	19,901	55	22,715	113	22,787
4	19,925	56	22,727	114	22,787
5	19,913	57	22,721	115	22,787
6	19,907	58	22,739	116	22,775
7	19,907	59	22,727	117	22,793
8	19,919	60	22,745	118	22,781
9	19,919	61	22,733	119	22,793
10	19,925	62	22,757	120	22,775
11	19,931	63	22,763	121	22,798
12	19,907	64	22,763	122	22,781
13	19,895	65	22,757	123	22,781
14	19,913	66	22,769	124	22,804
15	19,955	67	22,757	125	22,798
16	20,085	68	22,763	126	22,787
17	20,097	69	22,775	127	22,798
18	20,228	70	22,775	128	22,804
19	20,4	71	22,763	129	22,798
20	20,631	72	22,775	130	22,787
21	20,94	73	22,793	131	22,798
22	21,16	74	22,781	132	22,769
23	21,255	75	22,781	133	22,787
24	21,356	76	22,769	134	22,775
25	21,445	77	22,781	135	22,787
26	21,546	78	22,769	136	22,793
27	21,682	79	22,781	137	22,787
28	21,736	80	22,793	138	22,798
29	21,854	81	22,787	139	22,798
30	21,944	82	22,787	140	22,804
31	22,05	83	22,781	141	22,787
32	22,122	84	22,781	142	22,804
33	22,193	85	22,787	143	22,793
34	22,264	86	22,787	144	22,787
35	22,335	87	22,775	145	22,793
36	22,377	88	22,793	146	22,793
37	22,43	89	22,781	147	22,793
38	22,448	90	22,804	148	22,787
39	22,484	91	22,775	149	22,787
40	22,519	92	22,781	150	22,787
41	22,531	93	22,798	151	22,798
42	22,543	94	22,787	152	22,798
43	22,573	95	22,793	153	22,787
44	22,591	96	22,775	154	22,798
45	22,62	97	22,787	155	22,787
46	22,632	98	22,775	156	22,798
47	22,65	99	22,787	157	22,775
48	22,674	100	22,781	158	22,798
49	22,662	101	22,804	159	22,769
50	22,68	102	22,775	160	22,793
51	22,692	103	22,787	161	22,816
		104	22,793	162	22,81
		105	22,787	163	22,793
		106	22,787	164	22,798
		107	22,787	165	22,793
		108	22,787	166	22,798
		109	22,781	167	22,798
				168	22,793
				169	22,798
				170	22,793
				171	22,793
				172	22,798
				173	22,798
				174	22,804
				175	22,804
				176	22,787
				177	22,793
				178	22,798
				179	22,804
				180	22,804
				181	22,804
				182	22,81
				183	22,804
				184	22,798
				185	22,793
				186	22,781
				187	22,781
				188	22,798
				189	22,798
				190	22,804
				191	22,787
				192	22,798
				193	22,804
				194	22,793
				195	22,787
				196	22,781
				197	22,798
				198	22,81
				199	22,804
				200	22,793
				201	22,781
				202	22,798
				203	22,793
				204	22,81
				205	22,804
				206	22,793
				207	22,787
				208	22,798
				209	22,798
				210	22,804
				211	22,793
				212	22,798
				213	22,798
				214	22,804
				215	22,816
				216	22,81
				217	22,804
				218	22,793
				219	22,822
				220	22,804
				221	22,81
				222	22,798
				223	22,804
				224	22,787
				225	22,793

226	22,816	284	22,81	342	22,816
227	22,804	285	22,81	343	22,816
228	22,793	286	22,81	344	22,804
229	22,804	287	22,81	345	22,816
230	22,798	288	22,798	346	22,81
231	22,798	289	22,804	347	22,804
232	22,804	290	22,81	348	22,828
233	22,81	291	22,804	349	22,81
234	22,804	292	22,81	350	22,822
235	22,793	293	22,816	351	22,816
236	22,798	294	22,81	352	22,81
237	22,793	295	22,816	353	22,81
238	22,798	296	22,822	354	22,816
239	22,804	297	22,798	355	22,822
240	22,81	298	22,804	356	22,822
241	22,798	299	22,816	357	22,822
242	22,793	300	22,816	358	22,81
243	22,804	301	22,798	359	22,822
244	22,81	302	22,804	360	22,816
245	22,804	303	22,81		
246	22,81	304	22,81		
247	22,804	305	22,816		
248	22,804	306	22,822		
249	22,816	307	22,804		
250	22,804	308	22,81		
251	22,804	309	22,81		
252	22,804	310	22,804		
253	22,81	311	22,81		
254	22,816	312	22,798		
255	22,81	313	22,81		
256	22,804	314	22,816		
257	22,804	315	22,816		
258	22,793	316	22,804		
259	22,793	317	22,81		
260	22,81	318	22,81		
261	22,81	319	22,804		
262	22,804	320	22,816		
263	22,816	321	22,822		
264	22,822	322	22,822		
265	22,804	323	22,822		
266	22,81	324	22,81		
267	22,822	325	22,81		
268	22,793	326	22,81		
269	22,798	327	22,822		
270	22,81	328	22,816		
271	22,816	329	22,804		
272	22,798	330	22,822		
273	22,804	331	22,804		
274	22,81	332	22,816		
275	22,822	333	22,816		
276	22,81	334	22,798		
277	22,804	335	22,828		
278	22,804	336	22,816		
279	22,81	337	22,81		
280	22,822	338	22,804		
281	22,816	339	22,816		
282	22,804	340	22,822		
283	22,816	341	22,81		

Allegato 2

Tabella di dati
(seconda fase)

<i>tempo (s)</i>	<i>temp (°C)</i>
0	21,621
1	21,609
2	21,609
3	21,634
4	21,621
5	21,621
6	21,609
7	21,615
8	21,621
9	21,615
10	21,621
11	21,615
12	21,585
13	21,609
14	21,609
15	21,621
16	21,634
17	21,621
18	21,609
19	21,615
20	21,609
21	21,609
22	21,603
23	21,609
24	21,615
25	21,627
26	23,428
27	26,846
28	31,46
29	35,526
30	40,323
31	42,685
32	44,199
33	45,511
34	46,97
35	47,721
36	48,392
37	48,874
38	49,369
39	49,827
40	50,156
41	50,467
42	50,699
43	50,876
44	51,023
45	51,114
46	51,212
47	51,322
48	51,383
49	51,444
50	51,499
51	51,554

52	51,597	110	51,786	168	51,542
53	51,627	111	51,798	169	51,548
54	51,603	112	51,774	170	51,542
55	51,639	113	51,761	171	51,511
56	51,7	114	51,768	172	51,523
57	51,725	115	51,768	173	51,493
58	51,737	116	51,78	174	51,505
59	51,737	117	51,755	175	51,505
60	51,737	118	51,78	176	51,517
61	51,749	119	51,743	177	51,499
62	51,737	120	51,768	178	51,505
63	51,743	121	51,755	179	51,499
64	51,761	122	51,737	180	51,499
65	51,816	123	51,725	181	51,475
66	51,81	124	51,743	182	51,468
67	51,829	125	51,713	183	51,475
68	51,841	126	51,719	184	51,505
69	51,829	127	51,713	185	51,462
70	51,835	128	51,719	186	51,45
71	51,871	129	51,725	187	51,462
72	51,853	130	51,706	188	51,438
73	51,829	131	51,694	189	51,432
74	51,847	132	51,694	190	51,444
75	51,871	133	51,7	191	51,45
76	51,865	134	51,7	192	51,42
77	51,865	135	51,694	193	51,444
78	51,859	136	51,694	194	51,426
79	51,841	137	51,682	195	51,413
80	51,859	138	51,664	196	51,42
81	51,871	139	51,664	197	51,401
82	51,877	140	51,664	198	51,426
83	51,896	141	51,652	199	51,413
84	51,865	142	51,633	200	51,413
85	51,877	143	51,627	201	51,395
86	51,871	144	51,627	202	51,395
87	51,847	145	51,645	203	51,383
88	51,859	146	51,627	204	51,383
89	51,859	147	51,615	205	51,371
90	51,877	148	51,609	206	51,383
91	51,853	149	51,609	207	51,395
92	51,847	150	51,609	208	51,371
93	51,841	151	51,609	209	51,377
94	51,841	152	51,597	210	51,359
95	51,859	153	51,591	211	51,365
96	51,829	154	51,597	212	51,365
97	51,822	155	51,578	213	51,359
98	51,816	156	51,584	214	51,371
99	51,822	157	51,591	215	51,334
100	51,804	158	51,572	216	51,365
101	51,804	159	51,566	217	51,328
102	51,81	160	51,578	218	51,346
103	51,822	161	51,566	219	51,328
104	51,829	162	51,56	220	51,316
105	51,804	163	51,554	221	51,322
106	51,798	164	51,542	222	51,31
107	51,798	165	51,536	223	51,316
108	51,768	166	51,548	224	51,31
109	51,78	167	51,548	225	51,31

226	51,31	284	51,011	342	50,693
227	51,31	285	51,011	343	50,705
228	51,279	286	50,986	344	50,712
229	51,298	287	50,98	345	50,681
230	51,279	288	50,956	346	50,663
231	51,279	289	50,962	347	50,644
232	51,273	290	50,937	348	50,638
233	51,273	291	50,913	349	50,644
234	51,267	292	50,913	350	50,608
235	51,249	293	50,931	351	50,614
236	51,261	294	50,95	352	50,596
237	51,236	295	50,937	353	50,614
238	51,249	296	50,95	354	50,608
239	51,224	297	50,937	355	50,602
240	51,236	298	50,956	356	50,565
241	51,23	299	50,968	357	50,553
242	51,236	300	50,962	358	50,571
243	51,224	301	50,956	359	50,535
244	51,243	302	50,968	360	50,547
245	51,23	303	50,944		
246	51,23	304	50,944		
247	51,236	305	50,974		
248	51,236	306	50,95		
249	51,224	307	50,962		
250	51,218	308	50,968		
251	51,23	309	50,968		
252	51,194	310	50,937		
253	51,194	311	50,907		
254	51,2	312	50,925		
255	51,194	313	50,931		
256	51,2	314	50,919		
257	51,182	315	50,907		
258	51,182	316	50,901		
259	51,163	317	50,901		
260	51,157	318	50,901		
261	51,151	319	50,882		
262	51,145	320	50,876		
263	51,145	321	50,876		
264	51,133	322	50,852		
265	51,127	323	50,852		
266	51,139	324	50,834		
267	51,108	325	50,834		
268	51,121	326	50,852		
269	51,121	327	50,84		
270	51,121	328	50,834		
271	51,084	329	50,828		
272	51,096	330	50,821		
273	51,09	331	50,797		
274	51,096	332	50,797		
275	51,072	333	50,797		
276	51,078	334	50,779		
277	51,078	335	50,767		
278	51,053	336	50,767		
279	51,072	337	50,767		
280	51,029	338	50,754		
281	51,029	339	50,754		
282	51,017	340	50,712		
283	51,029	341	50,718		