POLITECHNIKA
LUBELSKA
WYDZIAŁ ELEKTROTECHNIKI
I INFORMATYKI

Ćwiczenie nr. 6

Członkowie grupy laboratoryjnej:

- Daniel Kadej

- Nikodem Goławski

- Tomasz Okniński

Cel ćwiczenia

Wyznaczenie wartości wielkości i ocena niedokładności.

Wstęp

Analiza opiera się na danych eksperymentalnych obejmujących pomiary napięcia przyspieszającego U oraz natężenia prądu I w diodzie próżniowej. Wartość ilorazu e/m wyznaczono na podstawie charakterystyki prądowo-napięciowej diody, wykorzystując zależności teoretyczne opisujące przepływ prądu w obszarze ograniczenia przestrzennego. Do oceny dokładności otrzymanych wyników zastosowano metodę propagacji niepewności.

Parametry:

- $r_a = 0{,}00592$ m— promień anody
- $r_k = 0{,}000318$ m— promień katody
- $\frac{r_a}{r_k} = 18{,}64$— stosunek promienia anody do promienia katody

- $L = 0{,}00534$ m— efektywna długość katody

Parametry fizyczne elektronu i próżni:

- $\varepsilon_0 = 8{,}854 \cdot 10^{-12}$ F/m— stała dielektryczna próżni
- $e = 1{,}602 \cdot 10^{-19}$ C— ładunek elementarny
- $m = 9{,}109 \cdot 10^{-31}$ kg— masa elektronu

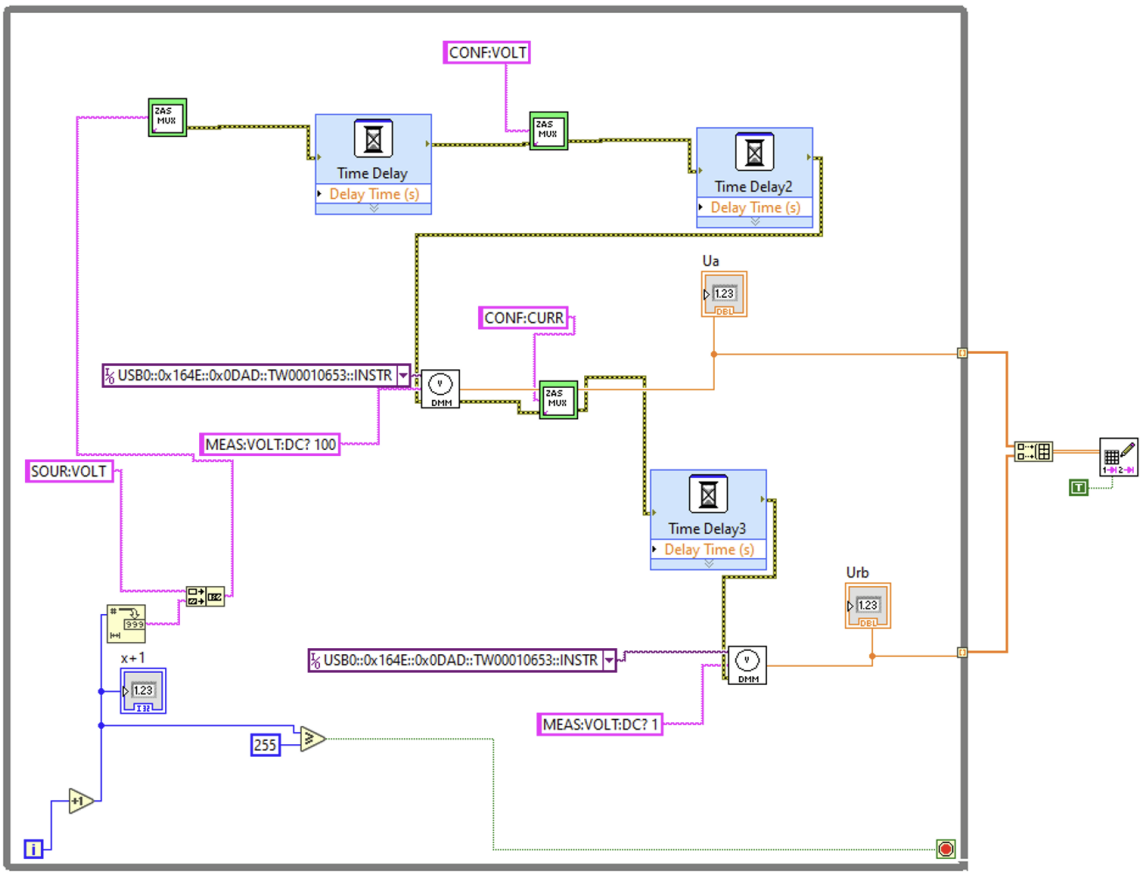
Współczynniki układu:

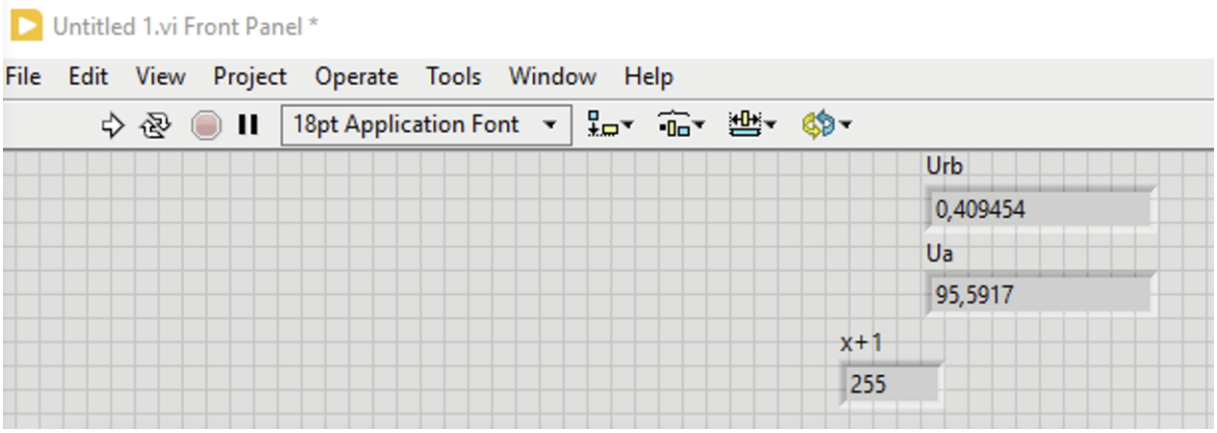
- $\beta = 1{,}081$— współczynnik geometryczny diody

Parametry przyrządu pomiarowego (multimetr):

- dokładność odczytu (*ppm of reading*): 0,0015%
- dokładność zakresu (*ppm of range*): 0,0006%

Schemat z programu LabView





Przykładowe obliczenia (pomiar nr 18):

- Napięcie:

$$U = 6{,}713\ \text{V}$$

- Natężenie prądu:

$$I = 0{,}013\ \text{A}$$

Stałe:

- Promień anody:

$$r_a = 0{,}00592\ \text{m}$$

- Efektywna długość katody:

$$L = 0{,}00534\ \text{m}$$

- Współczynnik geometryczny:

$$\beta = 1{,}081$$

- Przenikalność elektryczna próżni:

$$\varepsilon_0 = 8{,}854 \cdot 10^{-12}\ \text{F/m}$$

- Stała pomocnicza:

$$K = \frac{9r_a^2}{8\pi\varepsilon_0\beta L} = 2{,}46 \cdot 10^8$$

Użyte wzory

1. Iloraz ładunku i masy elektronu:

$$\frac{e}{m} = \frac{K^2}{2} \cdot \frac{I^2}{U^3}$$

2. Błąd graniczny wielkości złożonej:

$$\delta(e/m) = \left(2\frac{\Delta I}{I} + 3\frac{\Delta U}{U}\right) \cdot 100\%$$

3. Błędy graniczne pomiaru:

$$\Delta U = 1{,}5 \cdot 10^{-5} U + 0{,}0006$$
$$\Delta I = 1{,}5 \cdot 10^{-5} I + 0{,}0006$$

4. Niepewność standardowa typu B:

$$u(e/m) = (e/m) \cdot \sqrt{\left(2\frac{u(I)}{I}\right)^2 + \left(3\frac{u(U)}{U}\right)^2}$$

gdzie:

$$u(U) = \frac{\Delta U}{\sqrt{3}}, u(I) = \frac{\Delta I}{\sqrt{3}}$$

Obliczenia

1. Obliczenie ilorazu e/m:

$$\frac{e}{m} = \frac{(2{,}46 \cdot 10^8)^2}{2} \cdot \frac{(0{,}013)^2}{(6{,}713)^3}$$
$$\frac{e}{m} = 1{,}68 \cdot 10^{10}\ \text{C/kg}$$

2. Obliczenie błędu granicznego $\delta(e/m)$:

$$\Delta U = 1{,}5 \cdot 10^{-5} \cdot 6{,}713 + 0{,}0006 = 0{,}00070\ \text{V}$$
$$\Delta I = 1{,}5 \cdot 10^{-5} \cdot 0{,}013 + 0{,}0006 = 0{,}00060\ \text{A}$$
$$\delta(e/m) = \left(2 \cdot \frac{0{,}00060}{0{,}013} + 3 \cdot \frac{0{,}00070}{6{,}713}\right) \cdot 100\%$$
$$\delta(e/m) = 9{,}27\%$$

3. Obliczenie niepewności standardowej $u(e/m)$:

$$u(U) = \frac{0{,}00070}{\sqrt{3}}, u(I) = \frac{0{,}00060}{\sqrt{3}}$$

$$u(e/m) = 1{,}68 \cdot 10^{10} \cdot \sqrt{\left(2 \cdot \frac{0{,}00060/\sqrt{3}}{0{,}013}\right)^2 + \left(3 \cdot \frac{0{,}00070/\sqrt{3}}{6{,}713}\right)^2}$$

$$u(e/m) = 8{,}98 \cdot 10^8 \text{ C/kg}$$

Lp.	U [V]	I [A]	e/m [C/kg]	δ(e/m) [%]	u(e/m)
1	0,345	0,001	7,34E+11	120,529239	5,09E+11
2	0,723	0,001	7,98E+10	120,256463	5,53E+10
3	1,084	0,002	9,47E+10	60,1735517	3,28E+10
4	1,468	0,002	3,81E+10	60,1301158	1,32E+10
5	1,828	0,003	4,44E+10	40,1059683	1,03E+10
6	2,207	0,003	2,52E+10	40,0890587	5,83E+09
7	2,567	0,004	2,85E+10	30,0776208	4,94E+09
8	2,994	0,004	1,80E+10	30,0676202	3,11E+09
9	3,355	0,005	2,00E+10	24,0611513	2,77E+09
10	3,732	0,006	2,09E+10	20,0557315	2,41E+09
11	4,093	0,006	1,58E+10	20,0514775	1,83E+09
12	4,479	0,007	1,64E+10	17,1905447	1,63E+09
13	4,838	0,008	1,70E+10	15,0447055	1,48E+09
14	5,217	0,009	1,72E+10	13,3753359	1,32E+09
15	5,577	0,01	1,74E+10	12,0397754	1,20E+09
16	5,976	0,011	1,71E+10	10,9467114	1,08E+09
17	6,335	0,012	1,71E+10	10,0359136	9,86E+08
18	6,713	0,013	1,68E+10	9,26508288	8,98E+08
19	7,072	0,013	1,44E+10	9,26372172	7,68E+08
20	7,458	0,014	1,42E+10	8,60306373	7,05E+08
21	7,816	0,015	1,42E+10	8,03052968	6,56E+08
22	8,195	0,017	1,58E+10	7,08828814	6,45E+08
23	8,554	0,018	1,56E+10	6,69520945	6,01E+08
24	8,983	0,019	1,50E+10	6,34332732	5,48E+08
25	9,342	0,02	1,48E+10	6,02676782	5,13E+08
26	9,719	0,021	1,45E+10	5,74030614	4,78E+08
27	10,078	0,023	1,56E+10	5,24275199	4,70E+08
28	10,466	0,024	1,51E+10	5,02469855	4,38E+08
29	10,824	0,025	1,49E+10	4,82412971	4,12E+08
30	11,203	0,026	1,45E+10	4,63895174	3,86E+08
31	11,561	0,027	1,42E+10	4,46751403	3,65E+08

32	11,96	0,028	1,38E+10	4,30826445	3,42E+08
33	12,32	0,029	1,36E+10	4,16004142	3,24E+08
34	12,697	0,03	1,33E+10	4,02167658	3,06E+08
35	13,057	0,031	1,30E+10	3,89225345	2,91E+08
36	13,441	0,032	1,27E+10	3,77089186	2,75E+08
37	13,8	0,034	1,33E+10	3,54995524	2,70E+08
38	14,177	0,035	1,30E+10	3,44876805	2,57E+08
39	14,537	0,036	1,27E+10	3,35321553	2,45E+08
40	14,965	0,037	1,23E+10	3,26277131	2,31E+08
41	15,325	0,038	1,21E+10	3,17714025	2,21E+08
42	15,701	0,04	1,25E+10	3,01896424	2,16E+08
43	16,061	0,041	1,22E+10	2,94553654	2,07E+08
44	16,448	0,042	1,20E+10	2,87558644	1,97E+08
45	16,806	0,044	1,23E+10	2,74548319	1,94E+08
46	17,184	0,045	1,20E+10	2,68464153	1,85E+08
47	17,543	0,046	1,18E+10	2,62645615	1,78E+08
48	17,946	0,048	1,20E+10	2,51753009	1,74E+08
49	18,304	0,049	1,18E+10	2,46631351	1,67E+08
50	18,681	0,051	1,20E+10	2,37007663	1,64E+08
51	19,039	0,052	1,18E+10	2,32464659	1,58E+08
52	19,425	0,054	1,20E+10	2,23898863	1,54E+08
53	19,783	0,055	1,18E+10	2,1984169	1,49E+08
54	20,161	0,057	1,20E+10	2,12169129	1,45E+08
55	20,519	0,059	1,21E+10	2,05017066	1,43E+08
56	20,948	0,061	1,22E+10	1,98330582	1,39E+08
57	21,306	0,062	1,20E+10	1,9514322	1,34E+08
58	21,683	0,064	1,21E+10	1,89080143	1,31E+08
59	22,042	0,065	1,19E+10	1,86182007	1,27E+08
60	22,431	0,067	1,20E+10	1,80656938	1,24E+08
61	22,788	0,069	1,21E+10	1,75452933	1,22E+08
62	23,167	0,071	1,22E+10	1,70541052	1,19E+08
63	23,525	0,072	1,20E+10	1,6818181	1,16E+08
64	24,02	0,075	1,22E+10	1,61499376	1,13E+08
65	24,378	0,076	1,20E+10	1,59383108	1,10E+08
66	24,753	0,078	1,21E+10	1,55323338	1,08E+08
67	25,113	0,08	1,22E+10	1,5146676	1,06E+08
68	25,497	0,081	1,19E+10	1,49604114	1,02E+08
69	25,855	0,083	1,20E+10	1,46024504	1,01E+08
70	26,232	0,085	1,21E+10	1,42612655	9,86E+07
71	26,591	0,086	1,19E+10	1,40961804	9,57E+07
72	27,022	0,088	1,18E+10	1,3777976	9,34E+07
73	27,38	0,09	1,19E+10	1,34740748	9,18E+07
74	27,755	0,092	1,19E+10	1,31833314	9,01E+07
75	28,115	0,093	1,17E+10	1,30422486	8,76E+07
76	28,503	0,095	1,17E+10	1,27697302	8,59E+07
77	28,861	0,096	1,16E+10	1,26373679	8,36E+07
78	29,238	0,098	1,16E+10	1,23814617	8,21E+07

79	29,597	0,1	1,16E+10	1,2135817	8,08E+07
80	30,001	0,102	1,16E+10	1,18997039	7,91E+07
81	30,359	0,103	1,14E+10	1,17847759	7,71E+07
82	30,735	0,105	1,14E+10	1,15621366	7,57E+07
83	31,093	0,106	1,13E+10	1,14536456	7,39E+07
84	31,481	0,108	1,13E+10	1,12432885	7,25E+07
85	31,838	0,11	1,13E+10	1,10406271	7,14E+07
86	32,215	0,111	1,11E+10	1,09416854	6,95E+07
87	32,574	0,113	1,11E+10	1,07497278	6,85E+07
88	33,006	0,115	1,11E+10	1,05643181	6,70E+07
89	33,364	0,116	1,09E+10	1,0473778	6,54E+07
90	33,74	0,118	1,09E+10	1,02978407	6,44E+07
91	34,098	0,12	1,10E+10	1,0127789	6,34E+07
92	34,49	0,121	1,08E+10	1,00445444	6,18E+07
93	34,847	0,123	1,08E+10	0,98827519	6,09E+07
94	35,225	0,125	1,08E+10	0,97261001	5,99E+07
95	35,583	0,126	1,06E+10	0,96493955	5,86E+07
96	35,983	0,128	1,06E+10	0,95000236	5,76E+07
97	36,343	0,13	1,06E+10	0,93552973	5,68E+07
98	36,716	0,131	1,05E+10	0,92843303	5,55E+07
99	37,078	0,133	1,05E+10	0,91461027	5,47E+07
100	37,461	0,135	1,05E+10	0,90119389	5,38E+07
101	37,82	0,136	1,03E+10	0,89461233	5,27E+07
102	38,196	0,138	1,03E+10	0,88177775	5,19E+07
103	38,556	0,139	1,02E+10	0,87547789	5,08E+07
104	38,987	0,141	1,01E+10	0,86318075	4,99E+07
105	39,347	0,143	1,01E+10	0,85123552	4,92E+07
106	39,721	0,145	1,01E+10	0,83961781	4,85E+07
107	40,083	0,146	9,98E+09	0,83390849	4,75E+07
108	40,469	0,148	9,96E+09	0,82275866	4,68E+07
109	40,829	0,15	9,97E+09	0,81190863	4,62E+07
110	41,205	0,151	9,83E+09	0,80657039	4,53E+07
111	41,566	0,153	9,83E+09	0,79614419	4,47E+07
112	41,971	0,155	9,80E+09	0,78598222	4,40E+07
113	42,33	0,156	9,67E+09	0,78098307	4,31E+07
114	42,705	0,158	9,66E+09	0,77120863	4,25E+07
115	43,066	0,16	9,66E+09	0,76167963	4,20E+07
116	43,45	0,161	9,53E+09	0,75698431	4,12E+07
117	43,81	0,163	9,53E+09	0,74780497	4,07E+07
118	44,187	0,165	9,51E+09	0,73884632	4,01E+07
119	44,547	0,167	9,51E+09	0,73010355	3,96E+07
120	44,976	0,169	9,46E+09	0,72156131	3,90E+07
121	45,336	0,17	9,35E+09	0,71735271	3,83E+07
122	45,712	0,172	9,34E+09	0,70911212	3,78E+07
123	46,073	0,174	9,33E+09	0,70106202	3,73E+07
124	46,462	0,176	9,31E+09	0,69319232	3,68E+07
125	46,822	0,177	9,20E+09	0,68931045	3,62E+07

126	47,2	0,179	9,19E+09	0,68170462	3,57E+07
127	47,56	0,181	9,18E+09	0,67426812	3,53E+07
128	47,976	0,183	9,14E+09	0,66698958	3,48E+07
129	48,334	0,184	9,04E+09	0,663398	3,42E+07
130	48,709	0,186	9,03E+09	0,65635671	3,38E+07
131	49,068	0,188	9,02E+09	0,64946625	3,34E+07
132	49,455	0,19	9,00E+09	0,64271862	3,30E+07
133	49,813	0,191	8,90E+09	0,63938577	3,24E+07
134	50,189	0,193	8,88E+09	0,6328481	3,20E+07
135	50,547	0,195	8,88E+09	0,62644566	3,17E+07
136	50,976	0,197	8,83E+09	0,62016813	3,12E+07
137	51,334	0,199	8,83E+09	0,61402152	3,09E+07
138	51,71	0,201	8,81E+09	0,60799588	3,05E+07
139	52,068	0,202	8,71E+09	0,60501642	3,00E+07
140	52,457	0,204	8,69E+09	0,59916668	2,97E+07
141	52,815	0,206	8,68E+09	0,59343239	2,94E+07
142	53,191	0,208	8,67E+09	0,58780711	2,90E+07
143	53,549	0,21	8,66E+09	0,58228998	2,87E+07
144	53,957	0,212	8,63E+09	0,57687373	2,83E+07
145	54,315	0,213	8,54E+09	0,57419428	2,79E+07
146	54,689	0,215	8,52E+09	0,56893087	2,76E+07
147	55,047	0,217	8,51E+09	0,56376532	2,73E+07
148	55,437	0,219	8,49E+09	0,55869213	2,70E+07
149	55,794	0,221	8,48E+09	0,55371258	2,67E+07
150	56,169	0,222	8,38E+09	0,55124516	2,63E+07
151	56,527	0,224	8,37E+09	0,5463986	2,61E+07
152	56,958	0,226	8,33E+09	0,54163367	2,57E+07
153	57,315	0,228	8,32E+09	0,53695633	2,54E+07
154	57,69	0,23	8,31E+09	0,53235926	2,52E+07
155	58,048	0,232	8,30E+09	0,52784226	2,49E+07
156	58,439	0,234	8,27E+09	0,52340065	2,46E+07
157	58,796	0,235	8,19E+09	0,52119973	2,43E+07
158	59,172	0,237	8,17E+09	0,51687109	2,40E+07
159	59,529	0,239	8,16E+09	0,51261579	2,38E+07
160	59,942	0,241	8,13E+09	0,50842821	2,35E+07
161	60,3	0,243	8,12E+09	0,50431224	2,33E+07
162	60,675	0,244	8,04E+09	0,5022699	2,30E+07
163	61,033	0,246	8,02E+09	0,4982541	2,27E+07
164	61,422	0,248	8,00E+09	0,49430151	2,25E+07
165	61,78	0,25	7,99E+09	0,49041356	2,23E+07
166	62,155	0,252	7,97E+09	0,48658646	2,21E+07
167	62,514	0,253	7,90E+09	0,48468766	2,18E+07
168	62,944	0,256	7,92E+09	0,47910968	2,16E+07
169	63,302	0,257	7,85E+09	0,47726958	2,13E+07
170	63,677	0,259	7,83E+09	0,47364723	2,11E+07
171	64,036	0,26	7,76E+09	0,47184938	2,08E+07
172	64,427	0,26	7,62E+09	0,47183232	2,04E+07

173	64,786	0,262	7,61E+09	0,46829365	2,03E+07
174	65,161	0,264	7,59E+09	0,46480784	2,01E+07
175	65,519	0,265	7,53E+09	0,46307748	1,98E+07
176	65,93	0,267	7,50E+09	0,45966837	1,96E+07
177	66,287	0,269	7,49E+09	0,45631212	1,94E+07
178	66,662	0,271	7,47E+09	0,45300462	1,92E+07
179	67,02	0,273	7,46E+09	0,44974621	1,91E+07
180	67,411	0,274	7,39E+09	0,44812639	1,88E+07
181	67,767	0,276	7,38E+09	0,44493877	1,87E+07
182	68,143	0,278	7,36E+09	0,44179618	1,85E+07
183	68,5	0,28	7,35E+09	0,43869917	1,83E+07
184	68,932	0,282	7,32E+09	0,43564318	1,81E+07
185	69,289	0,284	7,31E+09	0,43263303	1,80E+07
186	69,664	0,285	7,24E+09	0,43113646	1,77E+07
187	70,021	0,287	7,23E+09	0,42818912	1,76E+07
188	70,414	0,289	7,21E+09	0,42528122	1,74E+07
189	70,77	0,291	7,20E+09	0,42241458	1,73E+07
190	71,146	0,293	7,19E+09	0,41958632	1,71E+07
191	71,503	0,295	7,18E+09	0,41679704	1,70E+07
192	72,026	0,298	7,16E+09	0,41268366	1,68E+07
193	72,384	0,3	7,15E+09	0,40998674	1,66E+07
194	72,758	0,302	7,14E+09	0,40732495	1,65E+07
195	73,118	0,303	7,08E+09	0,40600138	1,63E+07
196	73,508	0,304	7,01E+09	0,40468556	1,61E+07
197	73,867	0,305	6,96E+09	0,40337944	1,59E+07
198	74,244	0,306	6,90E+09	0,4020813	1,57E+07
199	74,601	0,308	6,89E+09	0,39952323	1,56E+07
200	75,037	0,307	6,73E+09	0,4007783	1,53E+07
201	75,395	0,31	6,76E+09	0,3969842	1,52E+07
202	75,768	0,314	6,83E+09	0,39204128	1,52E+07
203	76,124	0,316	6,82E+09	0,3896114	1,51E+07
204	76,521	0,314	6,63E+09	0,3920179	1,48E+07
205	76,878	0,316	6,63E+09	0,38958821	1,46E+07
206	77,254	0,317	6,57E+09	0,38837887	1,45E+07
207	77,612	0,32	6,60E+09	0,38481923	1,44E+07
208	78,024	0,322	6,58E+09	0,38247779	1,43E+07
209	78,381	0,324	6,57E+09	0,38016685	1,42E+07
210	78,755	0,326	6,56E+09	0,37788373	1,41E+07
211	79,113	0,329	6,59E+09	0,37451687	1,40E+07
212	79,501	0,339	6,89E+09	0,36374642	1,42E+07
213	79,855	0,332	6,53E+09	0,37119987	1,37E+07
214	80,239	0,331	6,39E+09	0,37228106	1,35E+07
215	80,596	0,334	6,42E+09	0,3690148	1,34E+07
216	81,029	0,336	6,40E+09	0,36686428	1,33E+07
217	81,386	0,338	6,39E+09	0,36474127	1,32E+07
218	81,76	0,341	6,41E+09	0,36160772	1,31E+07
219	82,118	0,343	6,41E+09	0,3595462	1,31E+07

220	82,512	0,345	6,39E+09	0,35750759	1,29E+07
221	82,868	0,347	6,38E+09	0,35549345	1,28E+07
222	83,243	0,349	6,37E+09	0,35350189	1,27E+07
223	83,6	0,351	6,36E+09	0,35153345	1,27E+07
224	84,018	0,353	6,33E+09	0,34958574	1,25E+07
225	84,376	0,356	6,36E+09	0,34671196	1,25E+07
226	84,746	0,368	6,71E+09	0,33571095	1,27E+07
227	85,104	0,36	6,34E+09	0,34294839	1,23E+07
228	85,503	0,358	6,18E+09	0,34480072	1,21E+07
229	85,86	0,361	6,21E+09	0,34200641	1,20E+07
230	86,235	0,363	6,19E+09	0,34016583	1,19E+07
231	86,593	0,365	6,19E+09	0,33834581	1,19E+07
232	87,025	0,368	6,19E+09	0,33565533	1,18E+07
233	87,383	0,37	6,19E+09	0,33388422	1,17E+07
234	87,756	0,373	6,21E+09	0,33126696	1,16E+07
235	88,111	0,383	6,46E+09	0,3228588	1,18E+07
236	88,501	0,378	6,21E+09	0,32699419	1,15E+07
237	88,869	0,376	6,07E+09	0,32867439	1,13E+07
238	89,242	0,378	6,06E+09	0,3269773	1,12E+07
239	89,6	0,381	6,08E+09	0,32446956	1,12E+07
240	90,012	0,384	6,10E+09	0,32199973	1,11E+07
241	90,37	0,386	6,09E+09	0,32037264	1,10E+07
242	90,743	0,388	6,07E+09	0,31876197	1,10E+07
243	91,102	0,388	6,00E+09	0,31875416	1,08E+07
244	91,497	0,39	5,99E+09	0,31715959	1,07E+07
245	91,852	0,394	6,04E+09	0,3140282	1,07E+07
246	92,225	0,398	6,09E+09	0,31095929	1,07E+07
247	92,58	0,401	6,11E+09	0,30869613	1,07E+07
248	93,014	0,402	6,05E+09	0,30794266	1,05E+07
249	93,374	0,401	5,95E+09	0,3086796	1,04E+07
250	93,748	0,404	5,97E+09	0,30644974	1,03E+07
251	94,104	0,407	5,99E+09	0,30425307	1,03E+07
252	94,497	0,412	6,06E+09	0,30066696	1,03E+07
253	94,846	0,427	6,44E+09	0,29042826	1,06E+07
254	95,221	0,409	5,84E+09	0,30278887	1,00E+07
255	95,592	0,409	5,77E+09	0,30278154	9,88E+06

Podsumowanie

Otrzymane wyniki ilorazu e/m są zgodne z teorią. Dla większych napięć przyspieszających wartości e/m stabilizują się, co potwierdza poprawność zastosowanego modelu teoretycznego. Odchylenia widoczne przy małych napięciach wynikają z dużych błędów pomiarowych i niespełnienia założeń modelu. W granicach niepewności pomiarowej uzyskane wyniki można uznać za zgodne z teorią.