

# FYZIKÁLNÍ PRAKTIKUM

## Fyzikální praktikum 3

**Zpracoval:** Jakub Juránek

**Naměřeno:** 6. březen 2013

**Obor:** UF    **Ročník:** II    **Semestr:** IV

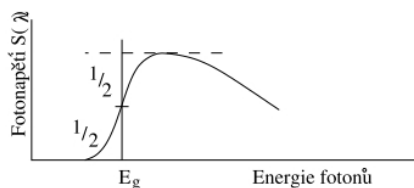
**Testováno:**

### Úloha č. 5: Šířka pásu zakázaných energií

#### 1. Teorie

Z hlediska šířky pásu zakázaných energií jsou polovodiče charakteristické tím, že je nenulový, ovšem nikterak velký. Dále jsou charakteristické tím, že u nich byl pozorován fotoelektrický jev, který použijeme právě ke změření šířky pásu zakázaných energií.

Měření budeme provádět na fotodiodě obsahující PN přechod, kterou budeme ozařovat monochromatickým zářením o různých vlnových délkách, díky němuž se na PN přechodu objeví fotonapětí  $U$ . Průběh fotonapětí připadajícího na jeden foton  $S$  v závislosti na jeho energii  $E$ , dle příslušné vlnové délky  $\lambda$ , má v našich podmínkách následující průběh:



Obrázek 1: Závislost fotonapětí v praktiku.

Dodejme, že energii fotonu o vlnové délce  $\lambda$  spočteme vzorcem:

$$E = \frac{hc}{\lambda} \quad (1)$$

V případě naší aparatury určíme šířku zakázaného pásu  $E_g$  jako energii fotonu, pro který je fotonapětí rovno polovině maxima.

Fotonapětí připadajícího na jeden foton v dané vlnové délce můžeme spočítat jako podíl měřeného fotonapětí  $U$  a počtu dopadajících fotonů  $N$ , tedy:

$$S = \frac{U}{N} \quad (2)$$

Jelikož ovšem nemáme přímo závislost počtu fotonů na vlnové délce, ale jen odpovídají závislost napětí halogenové žárovky  $U_{\text{hal}}$  použité jako zdroj fotonů, která je přímo úměrná tomuto počtu, nezbyvá nám než  $N$  a  $U_{\text{hal}}$  zaměnit, čímž dojde jen k roztáhnutí výše uvedené závislosti do výšky, ale potřebná poloha maxima i jeho poloviny vůči  $E$  se nezmění. V dalším tedy:

$$S \sim \frac{U}{U_{\text{hal}}} \rightarrow S = \frac{U}{U_{\text{hal}}} \quad (3)$$

Jelikož tím ale nedostaneme přesný výsledek v odpovídajících jednotkách, nebude u  $S$  jednotky psát. Tato vynucená záměna nám ale též umožňuje neurčovat přesně jednotkově ani fotonapětí, což nám usnadní práci tím, že není nutno převádět odečítané napětí na odpovídající nastavený rozsah. Jednotkově nepřesné hodnoty v protokolu budeme zapisovat bez jednotek.

## 2. Měření

Měření bude probíhat na aparatuře dle schématu v návodu.

Jelikož neměříme přímo vlnovou délku dopadajícího napětí, ale nastavujeme ji pomocí otočného mikrometrického šroubu, je potřeba určit převodní rovnici mezi polohou šroubu  $d$  v mm a vlnovou délkou  $\lambda$  v nm z hodnot uvedených v dodatku k návodu. Jelikož nemůže přesně určit, o jaký typ závislosti se jedná, použijeme polynomiální pátého stupně, jakožto náhradu Taylorovým polynomem dostatečné přesnosti. Tento trik bude používat i v dalším. Dostaneme tedy:

$$\lambda = -4706124 + 2036520d - 350753d^2 + 30086d^3 - 1286d^4 + 21d^5$$

Další závislost, kterou musíme z dodatku určit, je závislost halogenového napětí  $U_{\text{hal}}$  v mV na vlnové délce  $\lambda$  v nm, která je lineární a vychází:

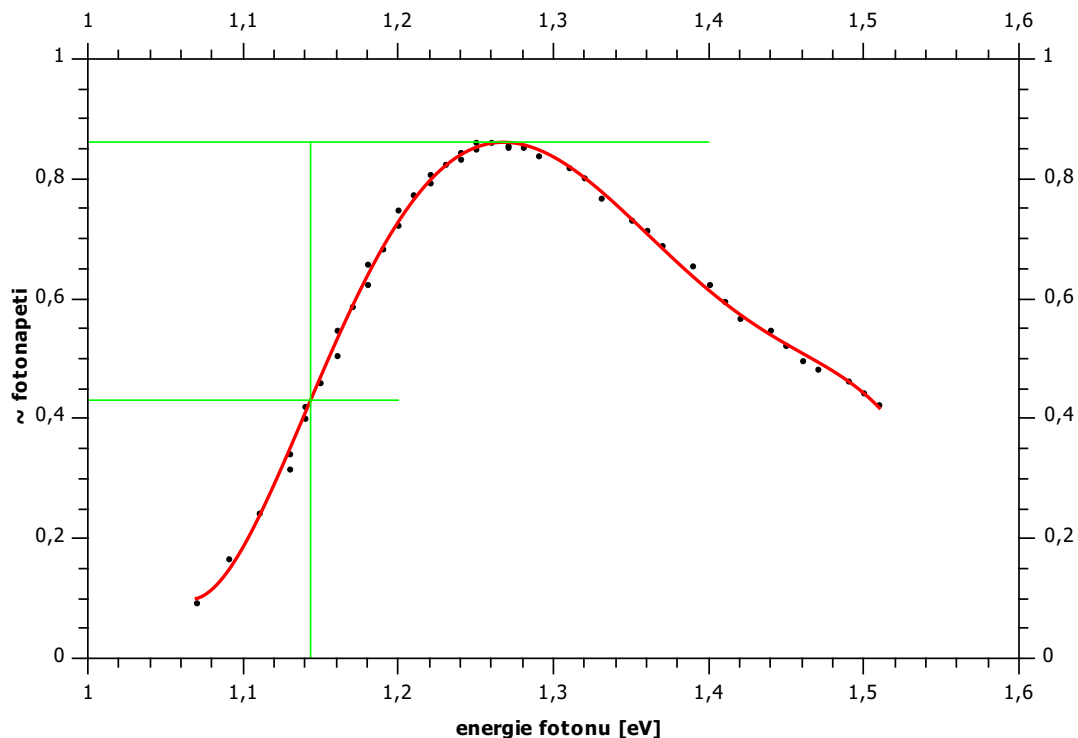
$$U_{\text{hal}} = 8,96717 + 0,00115\lambda$$

Nyní již budeme proměřovat závislost fotonapětí  $U$  při měnění  $d$ , přičemž tuto závislost proměříme dvakrát a pro každou polohu  $d$  dopočteme potřebné hodnoty  $\lambda$ ,  $U_{\text{hal}}$ ,  $S$  a  $E$ .

Prvně křemíková fotodioda.

Tabulka hodnot viz příloha 1.

Dostali jsme tuto závislost:

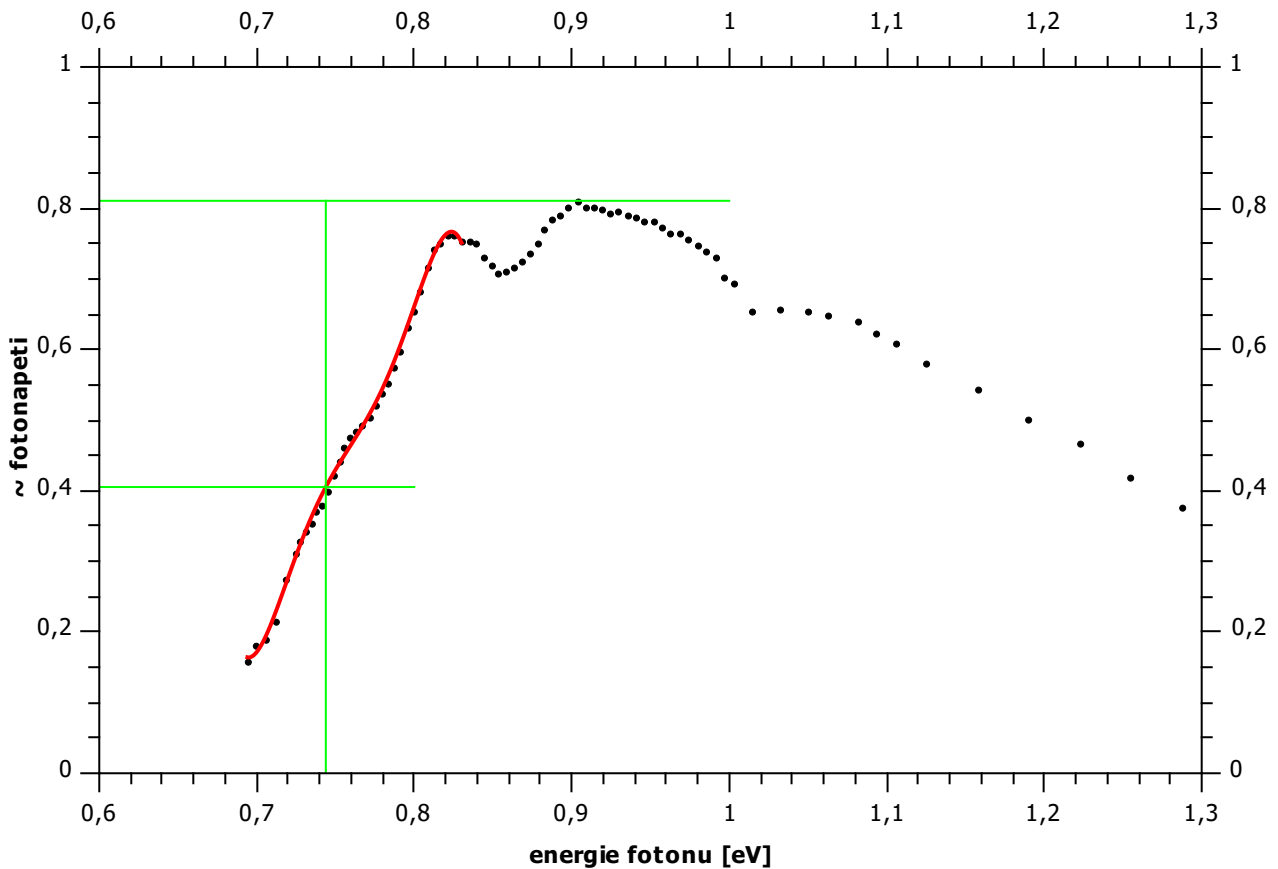


Obrázek 2: Závislost fotonapětí pro křemíkovou fotodiodu.

Abychom určili, pro kterou energii nabývá fotonapětí poloviny maxima, proložíme závislost opět polynomem pátého stupně.

$$\begin{aligned} S_{\text{max}} &= 0,8614 \\ S_{\text{max}}/2 &= 0,4307 \\ E_g &= 1,14 \text{ eV} \end{aligned}$$

Následně germaniová fotodioda.  
 Tabulka hodnot viz příloha 2.  
 Dostali jsme tuto závislost:



Obrázek 3: Závislost fotonapětí pro germaniová fotodiody.

Abychom určili, pro kterou energii nabývá fotonapětí poloviny maxima, proložíme závislost opět polynomem pátého stupně. Vzhledem ke tvaru závislosti, proložíme jen tu první část.

$$\begin{aligned}
 S_{\max} &= 0,8105 \\
 S_{\max}/2 &= 0,4052 \\
 E_g &= 0,74 \text{ eV}
 \end{aligned}$$

### 3. Závěr

Provedli jsme měření šířek zakázaných pásů elektronů křemíku a germania pomocí fotoelektrického jevu. Během zpracovávání jsme ne vždy určovali jednotky, ať už vynuceně nebo jen pro zjednodušení, což nám dovolil fakt, že se tím jen proměřovaná závislost měnila výškově, ale polohy maxima fotonapětí a jeho půlky se vůči energii fotonu neměnily.

U křemíku nám výstupní práce vyšla 1,14 eV, přičemž udávaná je hodnota 1,12 pro 300 K, což je malá odchylka způsobená nepřesností měření.

U germania nám vyšla 0,74 eV, přičemž udávaná je hodnota 0,67 pro 300 K. Zde je odchylka o něco větší, nejspíše způsobená větším vlivem nestálosti voltmetru při odečítání hodnot napětí.

## Příloha 1 - křemíková fotodioda

$d[\text{mm}]$	$U_1$	$U_2$	$U$	$\lambda[\text{nm}]$	$U_{\text{hal}}[\text{mV}]$	$S$	$E[\text{eV}]$
10,91	1,0	0,9	1,0	1160	10,30	0,0922	1,07
10,95	1,8	1,6	1,7	1134	10,27	0,1655	1,09
10,98	2,5	2,5	2,5	1115	10,25	0,2439	1,11
11,00	3,3	3,2	3,3	1102	10,24	0,3175	1,13
11,01	3,6	3,4	3,5	1096	10,23	0,3421	1,13
11,02	4,2	4,0	4,1	1090	10,22	0,4011	1,14
11,03	4,4	4,2	4,3	1084	10,22	0,4209	1,14
11,04	4,8	4,6	4,7	1078	10,21	0,4604	1,15
11,05	5,3	5,0	5,2	1072	10,20	0,5048	1,16
11,06	5,8	5,4	5,6	1066	10,19	0,5493	1,16
11,07	6,2	5,8	6,0	1060	10,19	0,5889	1,17
11,08	6,4	6,3	6,4	1054	10,18	0,6237	1,18
11,09	6,8	6,6	6,7	1048	10,17	0,6585	1,18
11,10	7,0	6,9	7,0	1042	10,17	0,6835	1,19
11,11	7,5	7,2	7,4	1037	10,16	0,7233	1,20
11,12	7,7	7,5	7,6	1031	10,16	0,7484	1,20
11,13	8,0	7,7	7,9	1026	10,15	0,7735	1,21
11,14	8,2	7,9	8,1	1020	10,14	0,7937	1,22
11,15	8,3	8,1	8,2	1015	10,14	0,8090	1,22
11,16	8,5	8,2	8,4	1009	10,13	0,8243	1,23
11,17	8,6	8,3	8,5	1004	10,12	0,8347	1,24
11,18	8,7	8,4	8,6	998	10,12	0,8451	1,24
11,19	8,7	8,5	8,6	993	10,11	0,8505	1,25
11,20	8,8	8,6	8,7	988	10,11	0,8609	1,25
11,21	8,8	8,6	8,7	983	10,10	0,8614	1,26
11,22	8,7	8,6	8,7	978	10,09	0,8570	1,27
11,23	8,7	8,5	8,6	973	10,09	0,8525	1,27
11,24	8,7	8,5	8,6	968	10,08	0,8530	1,28
11,25	8,5	8,4	8,5	963	10,08	0,8386	1,29
11,26	8,5	8,4	8,5	958	10,07	0,8390	1,29
11,28	8,3	8,2	8,3	948	10,06	0,8201	1,31
11,30	8,1	8,0	8,1	939	10,05	0,8011	1,32
11,32	7,7	7,7	7,7	930	10,04	0,7670	1,33
11,34	7,4	7,3	7,4	921	10,03	0,7329	1,35
11,36	7,2	7,1	7,2	912	10,02	0,7137	1,36
11,38	6,9	6,9	6,9	904	10,01	0,6894	1,37
11,40	6,6	6,5	6,6	895	10,00	0,6551	1,39
11,42	6,3	6,2	6,3	887	9,99	0,6257	1,40
11,44	6,0	5,9	6,0	879	9,98	0,5962	1,41
11,46	5,7	5,6	5,7	871	9,97	0,5667	1,42
11,48	5,4	5,5	5,5	863	9,96	0,5471	1,44
11,50	5,2	5,2	5,2	856	9,95	0,5224	1,45
11,52	5,0	4,9	5,0	849	9,95	0,4977	1,46
11,54	4,8	4,8	4,8	842	9,94	0,4831	1,47
11,56	4,6	4,6	4,6	835	9,93	0,4633	1,49
11,58	4,4	4,4	4,4	828	9,92	0,4435	1,50
11,60	4,2	4,2	4,2	821	9,91	0,4237	1,51

Tabulka 1: Naměřená a dopočítaná data pro křemíkovou fotodiodu.

## Příloha 2 - germaniová fotodioda

$d$ [mm]	$U_1$	$U_2$	$U$	$\lambda$ [nm]	$U_{\text{hal}}$ [mV]	$S$	$E$ [eV]
10,10	1,8	1,7	1,8	1786	11,03	0,1587	0,69
10,12	2,0	2,0	2,0	1772	11,01	0,1817	0,70
10,14	2,1	2,1	2,1	1757	10,99	0,1910	0,71
10,16	2,4	2,3	2,4	1742	10,97	0,2141	0,71
10,18	3,0	3,0	3,0	1727	10,96	0,2738	0,72
10,20	3,4	3,4	3,4	1712	10,94	0,3108	0,72
10,21	3,6	3,6	3,6	1704	10,93	0,3293	0,73
10,22	3,8	3,7	3,8	1696	10,92	0,3434	0,73
10,23	3,9	3,8	3,9	1689	10,91	0,3528	0,73
10,24	4,1	4,0	4,1	1681	10,90	0,3714	0,74
10,25	4,2	4,1	4,2	1673	10,89	0,3809	0,74
10,26	4,4	4,3	4,4	1665	10,89	0,3996	0,74
10,27	4,6	4,6	4,6	1657	10,88	0,4229	0,75
10,28	4,8	4,8	4,8	1649	10,87	0,4417	0,75
10,29	5,0	5,0	5,0	1641	10,86	0,4605	0,76
10,30	5,2	5,1	5,2	1633	10,85	0,4747	0,76
10,31	5,3	5,2	5,3	1625	10,84	0,4844	0,76
10,32	5,4	5,3	5,4	1617	10,83	0,4940	0,77
10,33	5,5	5,4	5,5	1608	10,82	0,5037	0,77
10,34	5,7	5,6	5,7	1600	10,81	0,5226	0,77
10,35	5,8	5,8	5,8	1592	10,80	0,5370	0,78
10,36	6,0	5,9	6,0	1584	10,79	0,5513	0,78
10,37	6,2	6,2	6,2	1576	10,78	0,5750	0,79
10,38	6,5	6,4	6,5	1568	10,77	0,5987	0,79
10,39	6,8	6,8	6,8	1559	10,76	0,6317	0,80
10,40	7,1	7,0	7,1	1551	10,75	0,6555	0,80
10,41	7,4	7,3	7,4	1543	10,75	0,6840	0,80
10,42	7,7	7,7	7,7	1535	10,74	0,7172	0,81
10,43	8,0	7,9	8,0	1527	10,73	0,7412	0,81
10,44	8,1	8,0	8,1	1518	10,72	0,7512	0,82
10,45	8,2	8,1	8,2	1510	10,71	0,7612	0,82
10,46	8,2	8,1	8,2	1502	10,70	0,7618	0,83
10,47	8,1	8,0	8,1	1494	10,69	0,7532	0,83
10,48	8,1	8,0	8,1	1486	10,68	0,7538	0,83
10,49	8,0	8,0	8,0	1478	10,67	0,7498	0,84
10,50	7,8	7,8	7,8	1469	10,66	0,7317	0,84
10,51	7,7	7,6	7,7	1461	10,65	0,7183	0,85
10,52	7,6	7,5	7,6	1453	10,64	0,7095	0,85
10,53	7,6	7,5	7,6	1445	10,63	0,7101	0,86
10,54	7,6	7,6	7,6	1437	10,62	0,7154	0,86
10,55	7,7	7,7	7,7	1429	10,61	0,7255	0,87
10,56	7,8	7,8	7,8	1421	10,60	0,7356	0,87
10,57	8,0	7,9	8,0	1413	10,59	0,7504	0,88
10,58	8,2	8,1	8,2	1405	10,59	0,7699	0,88
10,59	8,3	8,3	8,3	1397	10,58	0,7848	0,89
10,60	8,4	8,3	8,4	1389	10,57	0,7902	0,89
10,61	8,5	8,4	8,5	1381	10,56	0,8003	0,90

10,62	8,6	8,5	8,6	1373	10,55	0,8105	0,90
10,63	8,5	8,4	8,5	1365	10,54	0,8017	0,91
10,64	8,5	8,4	8,5	1357	10,53	0,8024	0,91
10,65	8,4	8,4	8,4	1349	10,52	0,7983	0,92
10,66	8,4	8,3	8,4	1342	10,51	0,7942	0,92
10,67	8,4	8,3	8,4	1334	10,50	0,7949	0,93
10,68	8,3	8,3	8,3	1326	10,50	0,7908	0,93
10,69	8,3	8,2	8,3	1319	10,49	0,7867	0,94
10,70	8,2	8,2	8,2	1311	10,48	0,7826	0,95
10,71	8,2	8,2	8,2	1303	10,47	0,7833	0,95
10,72	8,1	8,1	8,1	1296	10,46	0,7744	0,96
10,73	8,0	8,0	8,0	1288	10,45	0,7654	0,96
10,74	8,0	8,0	8,0	1281	10,44	0,7661	0,97
10,75	7,9	7,9	7,9	1273	10,43	0,7571	0,97
10,76	7,8	7,8	7,8	1266	10,43	0,7481	0,98
10,77	7,7	7,7	7,7	1259	10,42	0,7392	0,99
10,78	7,6	7,6	7,6	1251	10,41	0,7301	0,99
10,79	7,3	7,3	7,3	1244	10,40	0,7019	1,00
10,80	7,2	7,2	7,2	1237	10,39	0,6928	1,00
10,82	6,8	6,8	6,8	1222	10,38	0,6554	1,01
10,85	6,8	6,8	6,8	1201	10,35	0,6569	1,03
10,88	6,7	6,8	6,8	1180	10,33	0,6536	1,05
10,90	6,7	6,7	6,7	1167	10,31	0,6498	1,06
10,93	6,6	6,6	6,6	1147	10,29	0,6415	1,08
10,95	6,4	6,4	6,4	1134	10,27	0,6230	1,09
10,97	6,3	6,2	6,3	1121	10,26	0,6092	1,11
11,00	6,0	5,9	6,0	1102	10,24	0,5812	1,13
11,05	5,6	5,5	5,6	1072	10,20	0,5440	1,16
11,10	5,1	5,1	5,1	1042	10,17	0,5016	1,19
11,15	4,8	4,7	4,8	1015	10,14	0,4686	1,22
11,20	4,3	4,2	4,3	988	10,11	0,4206	1,25
11,25	3,8	3,8	3,8	963	10,08	0,3771	1,29

Tabulka 2: Naměřená a dopočítaná data pro germaniovou fotodiodu.