

Neutronová aktivační analýza

17.2.1992

Jan Vrzal

Úkol:

- 1) Naměřte rozpadovou křivku neutrony aktivovaného ^{107}Ag a ^{109}Ag v přirozené směsi Ag
- 2) Určete poměr $E_{\max} \beta^- ^{107}\text{Ag} / E_{\max} \beta^- ^{109}\text{Ag}$ a porovnejte s publikovanými údaji
- 3) Určete poločas rozpadu ^{108}Ag a ^{110}Ag z naměřené rozpadové křivky a srovnajte s publikovanými údaji
- 4) Určete aktivitu radioizotopů ^{108}Ag a ^{110}Ag ve stavu nasycení z naměřených hodnot a porovnejte je s hodnotami vypočtenými
- 5) Vypočtete samoabsorbci beta záření ve vzorku

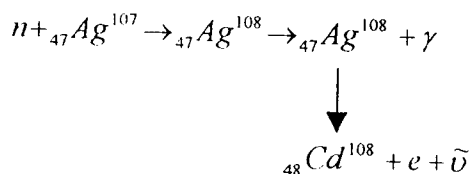
Úvod:

Ke kvalitativnímu a kvantitativnímu stanovení koncentrace prvků ve vzorcích se velmi často používá neutronová aktivační analýza založená na jaderných reakcích s tepelnými neutrony.

Vzhledem k tomu, že neutrony nemají náboj, velmi lehce proniknou do atomového jádra i když mají malou kinetickou energii. Při pohlcení neutronu terčíkovým jádrem (reakce radiačního zachytu (n, γ)) vznikne složené jádro ve vysokovzbuzeném stavu, z kterého přejde ve velmi krátké době ($\approx 10^{-14}$ s) vysláním jednoho nebo několika kvant gama do základního stavu. Toto jádro se odlišuje od původního tím, že má o jeden neutron více.

V případě, že vzniklé jádro je mimo oblast stability beta je radioaktivním a vrací se zpět vyzářením beta.

Např.:



Ve většině případů je rozpad beta složitější. Radioaktivní jádro nemusí přecházet pouze do základního stavu dceřinného jádra, ale i na některé jeho excitační hladiny. V tomto případě spolu s částicí beta je emitováno jedno nebo více kvant gama. Detekci částic beta nebo gama a měřením poločasu rozpadu můžeme pak určit které prvky a jaké koncentraci jsou přítomné ve vzorku.

Aktivaci vzorku provádíme ve vhodném neutronovém zdroji s dostatečnou hustotou toku neutronů $F [n \cdot s^{-1} \cdot m^{-2}]$. Za předpokladu, že neutronový tok se s časem nemění a terčík je tenký, pak počet vzniklých jader N_t za dobu t je roven

$$N_y = \frac{F\sigma_x N_x}{\lambda_y} (1 - \exp(-\lambda_y t))$$

a aktivita na konci ozařování je

$$A_y = F\sigma_x N_x (1 - \exp(-\lambda_y t))$$

kde $\sigma_x [m^2]$ je mikroskopický účinný průřez reakce $X(n, \gamma)Y$

N_x je počet jader

λ_y rozpadová konstanta

V předchozích vztazích místo rozpadové konstanty můžeme použít poločas rozpadu $T_y = \ln 2 / \lambda_y$.

S časem narůstá aktivita terčiku až do rovnovážného stavu t.j. při $t \rightarrow \infty$, kdy počet vzniklých jader se rovná počtu jader rozpadlých. Tento stav nazveme saturační.

Při použití tlustého terče dochází k zeslabení hustoty toku neutronů F a do výpočtu je nutno dosadit střední hodnotu \bar{F} .

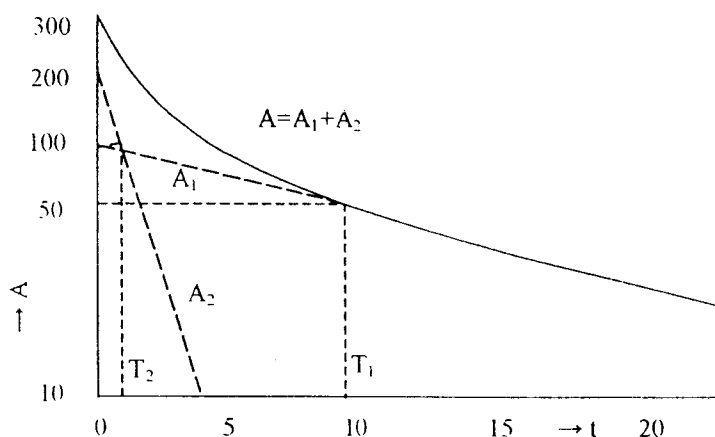
Aktivovaná vzorek se zpravidla nevyužívá po skončení ozařování, nýbrž po určité době potřebné např. k jeho transportu, úpravě, měření atd. Je-li aktivační doba t_1 a čas, který uplynul od skončení aktivace až po okamžité využití, t_2 pak aktivita vzorku je

$$A_y = F\sigma_x N_x (1 - \exp(-\lambda_y t_1)) \exp(-\lambda_y t_2)$$

Pro směs dvou radionuklidů X_1 a X_2 , které nejsou vázány genetickou souvislostí, platí vzhledem k vzájemné nezávislosti jejich přeměny vztah pro celkovou aktivitu

$$A = A_1 + A_2 = \lambda_1 N_1 + \lambda_2 N_2 = {}^0A_1 \exp(-\lambda_1 t) + {}^0A_2 \exp(-\lambda_2 t)$$

kde 0A_1 a 0A_2 jsou hodnoty aktivit v čase $t = 0$



Průběh aktivity v soustavě dvou na sobě nezávislých radionuklidů X_1 a X_2

${}^0A_1 = 100$, ${}^0A_2 = 200$, $T_1 = 10$, $T_2 = 1$ (v libovolných jednotkách)

Experimentální uspořádání

Vzorek se ozařuje v neutronovém tanku o průměru 1m výšce 1m. Uprostřed se nachází Pu-Be neutronový zdroj rychlých neutronů o aktivitě $1,1 \cdot 10^8 \text{ n.s}^{-1}$. Je obklopen parafinovým moderátorem zpomalujícím neutrony na energii tepelnou. Asi 10cm od zdroje se umísťuje vzorek, kde hustota toku tepelných neutronů je $8,7 \cdot 10^8 \text{ n.s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$. Doprava vzorku do měřicího zařízení se provádí pneumatickou poštou, přičemž všechny činnosti jsou řízeny počítačem. Ozářený vzorek je po transportu automaticky vsypán z přepravního kontejneru do studnového scintilačního detektoru s plastickým scintilátorem, kterým se měří aktivita beta na povrchu vzorku v geometrii 4π se 100% účinností. Informace z detektoru je zpracována spektrometrem.

Postup měření

Do počítače nahrajeme program ovládající pneumatickou poštu. Po spuštění programu nastavíme klávesnicí na monitoru dobu ozařování a měření tak, aby chyba aktivity vzorku od aktivity ve stavu nasycení byla menší než 1%.

Spektrometr nastavíme takto: v módu PHA (ampl.analyz) nastavíme rozsah měřených energií β od 0 do max.(F9, F10). Přejdeme do módu MCS (časová analýza) a nastavíme Passes na hodnotu 1 a Dwell na hodnotu 1s.

Před odesláním vzorku k ozařování je nutno připojit ovládací ventily pneuposťy na síť a poté se řiďte pokyny uvedenými na monitoru.

Zpracování

Naměřené hodnoty rozpadové křivky vyneseme do grafu na semilogaritmický papír. Z grafu určíme směrnice přímek, určíme poločasy rozpadu a interpolací do počátku pro $t = 0$ určíme aktivitu jednotlivých radionuklidů ve stavu nasycení. Tyto výsledky je možno získat snadněji i počítačovým zpracováním, např.Excel. Porovnejte výsledky s výpočtem a publikovanými údaji. Proved'te diskusi.

	%	σ_c [Barn]
^{107}Ag	51,83	37
^{109}Ag	48,17	88

	$t_{1/2}$	β_{\max} [MeV]
^{108}Ag	2,37 min	1,650
^{110}Ag	24,42 s	2,891

Aparatura a pomůcky

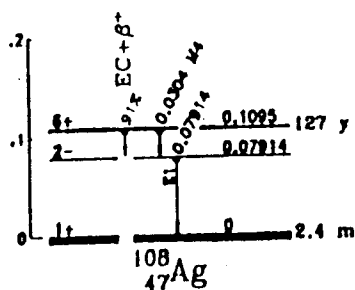
- 1) Neutronový zdroj Pu-Be s moderátorem
- 2) Pneumatická pošta řízená počítačem
- 3) Beta spektrometr
- 4) Vzorek stříbra o průměru 0,5 a délce 50mm.

Literatura

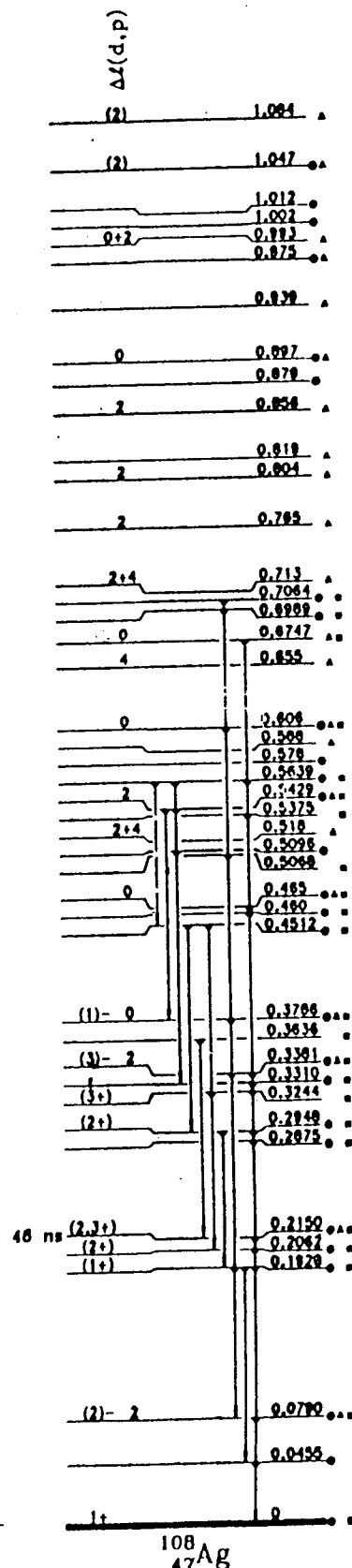
- 1) Úlehla, Suk, Trka: Atomy, jádra, částice; Akademia Praha 1990
- 2) Majer a kol.: Základy jaderné chemie; SNTL, Praha 1981

^{47}Ag

PR 65 142(52)]
 77(8): [C173 Tbil 55, PR C7.774(73), HPA 164 545(71)]
 L_{YN}(events): 0.079: <1 ns delay coinc {PR 143 918(66)]
 0.215: 45.8 ns delay coinc {PJdo 41 1830(76)}, 483 ns delay
 coinc {Izf 32 81(66)}, 467 ns delay coinc {RRou 19 733(74)},
 553 ns delay coinc {MPA 229 72(74)}, 548 ns delay coinc
 {CJP 49 747(71)}

 $^{107}\text{Ag}(\text{d}, \text{p})$
 $^{100}\text{Pd}(\text{p}, \text{n}\gamma)$

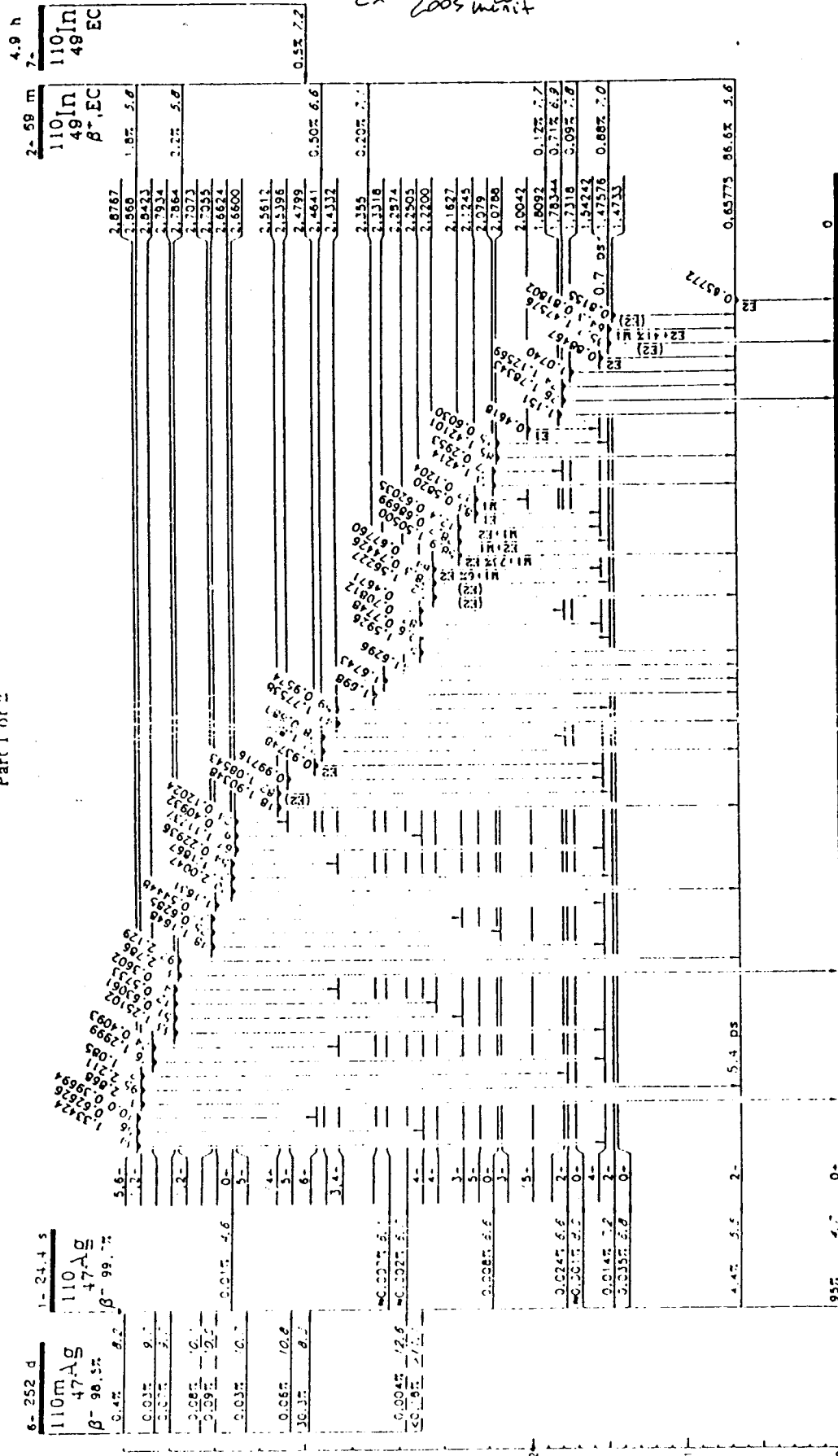
Additional levels above 1.084 MeV: 9 in (n, γ), 43 in (d,p).



¹⁰⁰Ag levels - References

Decay: PR 143 918(66)
¹⁰⁷Ag(n,γ): CJP 49 747(71), PR 157 1131(67), Izf 36 620(72); others:
 NP A131 303(69), Izf 30 359(66), Yodf 4 22(66),
 ZEIf 43 1378(62)
¹⁰⁷Ag(d,p): PR C6 1837(72), PC72 Lopez; others: PR 178 1836(69),
 AR67 MIT 59, NP A90 473(67), AR65 MIT 44, AR59 MIT 105
¹⁰⁶Pd(p,n,γ): JPB 41 1830(76); others: NP A229 72(74)

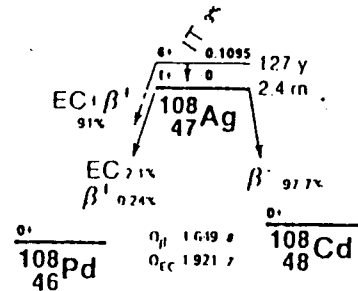
Part 1 of 2



$${}_{17}^{107}\text{Ag}$$

X: 51.03 | PHL - HCS - 50605(77)|
A: -88.4046 | ANDI 19 175(77)|
I: 1/2 0 | PRSI 158A 372(37), CJR 28A 558(50)|

$\sigma_{\alpha}(10^{100}\text{Ag}) = 37.4$ [PC77 Holden] b.
 $\sigma_{\alpha}(10^{100}\text{Ag}) = 0.31$ (subcadmium) [PC77 Holden]
 $t_{1/2}(\text{levels}): 0.126: 2.85 \text{ ns delay coinc } [\text{C170 Madura2 411},$
 $\text{HP A178 437(72)}, 136 \text{ ns delay coinc } [\text{HP J5 587(62)}, 1.1 \text{ ns}$
 $\text{delay coinc } [\text{LZU: 1969n4 47(69)}]$
 $0.325: 5.79 \text{ ps Coulomb excit } [\text{HP A150 225(70)}, 5.09 \text{ ps}$
 $\text{recoil dist Doppler } [\text{HP A221 392(74)}, 5.93 \text{ ps Coulomb}$
 $\text{excit } [\text{PR 109 901(58)}]$
 $0.423: 40.3 \text{ ps Coulomb excit } [\text{HP A150 225(70)}, 302 \text{ ps recoil}$
 $\text{dist Doppler } [\text{HP A221 392(74)}, 33.8 \text{ ps Coulomb excit}$
 $[\text{PR 109 901(58)}]$
 $0.707: 0.278 \text{ ps Doppler } [\text{HP A150 225(70)}, 0.217 \text{ ps Doppler}$
 $[\text{LZU 38 1679(74)}]$
 $0.922: \pm 0.6 \text{ ns delay coinc } [\text{LZU 1969n4 47(69)}]$
 $0.950: 1.301 \text{ ps Coulomb excit } [\text{HP A150 225(70)}, 1.446 \text{ ps}$
 $\text{Doppler } [\text{LZU 38 1679(74)}, 0.8427 \text{ ps Doppler}$
 $[\text{HP A150 225(70)}]$
 $1.465: < 0.6 \text{ ps Coulomb excit } [\text{HP A150 225(70)}]$
 $\text{others: } [\text{HP A93 1(67)}]$

 $^{109}_{47}\text{Ag}$

1 2: 48.17 [BIL. HCS 50605(77)]
A: 88.7224 [ANDI 19 175(77)]
I: 1/2 O [PESI 158A 372(37), CJR 28A 558(50)]

σ_c (to ^{110}Ag): 88.3 [PC77 Holden]
 σ_a (to ^{110m}Ag): 4.1 [PC77 Holden]
 $t_{1/2}$ (levels): 0.133: 7.6912 ns delay coinc [HP A178 432(72)]. 9.
 delay coinc [C168 Rigo 41]
 0.311: 5.97 ps recoil dist Doppler [HP A221 392(74)].
 Coulomb excit [HP A150 225(70)]
 0.415: 357 ps recoil dist Doppler [HP A221 392(74)].
 Coulomb excit [HP A150 225(70)]
 0.702: 0.57 ps Coulomb excit [HP A150 225(70)]
 0.863: 1.83 ps Coulomb excit [HP A150 225(70)]
 1.324: 0.319 ns Coulomb excit [HP A150 225(70)]
 others: [IZM 1579(74), PR 109 901(58)]

 ${}^{110}_{47}\text{Ag}$

A: -87.4564 [ATM] 19 175(77)
 I: 1.40 [HAI 2 650(69)]
 Y: 89.70% [C 0.306%] [P 182.439(65)]
 Z: 24.4275 [H 38 196(67)]; 24.9325 [H A94 442(67)]; 24.725
 [PR C 1 186(70)]; others: [H A93 652(67)], 4.414 22 127(62),
 1.07P 51 630(57), [P 94 1078(54)], [H A 20 375(47)],
 12P 32 888(47), [H A 9 1214(46)], [H A 5 32 50(44)],
 PR 53 116(38), PR 49 793(36), [H A 5 149A 522(35)]

Class: A; Ident: n capt [PRSI 149A 522(35)]; sep isotopes, n capt
[Hais 32 70(44)]; chem, genet [PR 79 40 3(50)]
Prod: daughter ^{110m}Aq [PR 79 40 3(50)]; ¹⁰⁹Aq(n, γ)
[PRSI 149A 522(35), PR 49 79 4(36), Hais 32 70(44),
PR 73 88(42)]

μ^- : $2.891 \pm (9.5, 20\%)$, $2.221 \pm (6.5, 6\%) \text{ mag}$ [H β 699, 652 (6.7)]
 $2.871 \pm (8.2, 2\%)$, $2.168 \pm (1.2, 2\%) \text{ mag}$ [H γ 575 (6.3)]
 $2.867 \pm (8.2, 2\%)$, $2.223 \pm (1.8, 1\%) \text{ mag}$ [F 434 202 (6.5)]
 2.87 (9.5%), 2.213 (6.5%) mag [H δ 551, 1.86 (5.4)]
 others: [H α 94 10/8 (5.4), D α 172 41 (5.1), F 482 759 (5.1),
 Z 111 21 13/6 (5.1), F 437 233 (5.0), F 435 15 12/2 (4.9)]

γ with β^- : (norms: $\gamma_{0,000}$ (4.4%), from test scheme) 0.65782 (1,100),
0.81555 (1,0.794), 0.81748 (1,0.199), 1.12559 (1,0.364),
1.16647 (1,0.05620), 1.42181 (1,0.0144), 1.47581
(1,0.115), 1.63007 (1,0.01020), 1.674292 (1,0.156),
1.78331 (1,0.179) GeV , scint scint $\gamma\gamma$ conv
IPR C 118611/01

(intensities relative to f_{100} for $\gamma_{0.658}$) 0.295308 ($f_{0.117}$), 1.07400 ($f_{0.021}$), 1.42140 ($f_{0.011}$), 1.78360 ($f_{0.100}$), 2.00440 ($f_{0.000}$), other γ 's observed $\text{Ge}(I)$, $\text{Ge}(II)$ were $\gamma_{0.658}$ and $\gamma_{0.117}$ ($f_{0.117}$)

0.658 (γ 4.5%), 1.474 (α 0.9%) *cont* [7P 15.23 (63)]
others: 10H 104.18 (2), 10H 128.21 (69), 10A 104 (68),
10H 699.652 (6'), 1165.633 (25.56), 1189.110 (6.4),
1188.729 (51)]

$$\gamma_T(\theta): \{\sin(100\pi T/3), \cos(100\pi T/3), \sin(200\pi T/3), \cos(200\pi T/3)\}$$
[illegible]