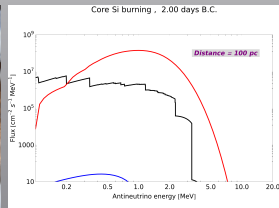
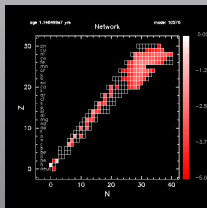


# PROJEKT GADZOOKS!

Andrzej Odrzywołek

IFT UJ

Seminarium astrofizyczne  
12:30, Środa, 21 października 2020



- lata 60-te:  $\nu$  detector na Plutonie konieczny, z powodu tła od neutrin słonecznych ( Chiu,H.-Y. Cosmic neutrinos and their detection (1964) NASA-TM-X-51721)
- 1978, S.E. Woosley ewidentnie zna potrzebne do analizy strumienie neutrin:
- 80- : Bahcall, *Neutrino astrophysics*: tylko **jedna strona** (z 567) poświęcona odległym gwiazdom; znormalizowane widmo neutrin CNO użyto do oszacowania szans detekcji ( J. Bahcall, *Neutrino Astrophysics*, §6.5 Fluxes from other stars)
- 1999: doktorant UJ natrafia na tabelkę, gdzie strumień  $\nu$  to  $10^{12} L_{\odot}$  na etapie spalania Si; Presupernova z odległości  $d = \sqrt{10^{12}/0.02} = 7 \times 10^6 \text{ AU} \simeq 35$  parseków świeci w neutrinach jaśniej niż Słońce. Niestety, nie ma takiej masywnej gwiazdy!
- 2000: inny doktorant: to nie są neutrina elektronowe, tylko **termiczna** emisja par  $\nu\bar{\nu}$ , *ozn.*,  $\sim 0.5$  strumienia to  $\bar{\nu}_e$ . Można użyć odwrotny rozpad  $\beta$   
 $p + \bar{\nu}_e \rightarrow n + e^+$  aby je wykryć! Ale czy energia antyneutrina jest wystarczająco duża? Czy można wykryć neutrony? (Można ... np: jądra chloru w NaCl )
- 2003: anihilacja par  $e^- + e^+ \rightarrow \nu_x + \bar{\nu}_x$  okazuje się dominującym źródłem  $\bar{\nu}_e$ ; widmo energetyczne oszacowane symulacją MonteCarlo  $\langle E_{\nu} \rangle \sim 4 \text{ kT} \simeq 2 \text{ MeV}$ ; Gigatonowy detektor potrzebny do monitorowania Galaktyki ( OMK, *Astroparticle Physics* )
- środowisko naukowe sceptyczne, niechęć do monitorowania (np. Beacom&Vagins, *comm* ) ale fizycy doświadczalni w ekstazie: czy będziemy prognozować supernowe?
- Beacom&Vagins proponują  $\text{GdCl}_3$  aby wychwycić neutrony; perfekcyjny kanał detekcji ( John F. Beacom and Mark R. Vagins *Phys. Rev. Lett.* 93, 171101 (2004) )

- lata 60-te:  $\nu$  detector na Plutonie konieczny, z powodu tła od neutrin słonecznych ( Chiu,H.-Y. Cosmic neutrinos and their detection (1964) NASA-TM-X-51721)
- 1978, S.E. Woosley ewidentnie zna potrzebne do analizy strumienie neutrin:

TABLE 1  
MAJOR NUCLEAR BURNING STAGES FOR 15 AND 25  $M_{\odot}$  POPULATION I STARS\*

Burning Stage	Central Temperature (K)	Central Density ( $g\ cm^{-3}$ )	Neutrino Luminosity <sup>†</sup> ( $erg\ s^{-1}$ )	Optical Luminosity ( $erg\ s^{-1}$ )	Effective Temperature (K)	Photospheric Radius (cm)	Time Scale (s)
Hydrogen	3.4 (7)	5.9 (0)	----	8.1 (37)	3.26 (4)	3.2 (11)	3.9 (14)
	3.7 (7)	3.8 (0)	----	3.1 (38)	3.98 (4)	4.2 (11)	2.3 (14)
Helium	1.6 (8)	1.3 (3)	3.9 (33)	2.3 (38)	1.59 (4)	2.2 (12)	4.2 (13)
	1.8 (8)	6.2 (2)	7.3 (34)	9.5 (38)	1.58 (4)	4.7 (12)	2.1 (13)
Carbon	6.2 (8)	1.7 (5)	3.4 (38)	3.3 (38)	4.26 (3)	3.7 (13)	2.0 (11)
	7.2 (8)	6.4 (5)	1.0 (40)	1.2 (39)	4.36 (3)	6.7 (13)	5.2 ( 9)
Neon	1.3 (9)	1.6 (7)	6.7 (41)	3.7 (38)	4.28 (3)	3.9 (13)	2.2 ( 8)
	1.4 (9)	3.7 (6)	7.8 (42)	1.2 (39)	4.36 (3)	6.7 (13)	3.9 ( 7)
Oxygen	1.9 (9)	9.7 (6)	7.9 (42)	3.7 (38)	4.28 (3)	3.9 (13)	5.5 ( 7)
	1.8 (9)	1.3 (7)	2.3 (43)	1.2 (39)	4.36 (3)	6.7 (13)	1.6 ( 7)
Silicon	3.1 (9)	2.3 (8)	3.4 (44)	3.7 (38)	4.28 (3)	3.9 (13)	5.2 ( 5)
	3.4 (9)	1.1 (8)	3.8 (45)	1.2 (39)	4.36 (3)	6.7 (13)	1.2 ( 5)
Collapse	8.3 (9)	6.0 (9)	6.8 (48)	3.7 (38)	4.28 (3)	3.9 (13)	3.0 (-1)
	8.3 (9)	3.5 (9)	8.1 (48)	1.2 (39)	4.36 (3)	6.7 (13)	3.5 (-1)

\*All physical parameters refer to conditions just after the core ignition of each fuel, except the time scale which is the period between successive ignitions. The value for the 15  $M_{\odot}$  star is listed first in each case.

<sup>†</sup>Excluding neutrino losses during hydrogen burning.

- lata 60-te:  $\nu$  detector na Plutonie konieczny, z powodu tła od neutrin słonecznych ( Chiu,H.-Y. Cosmic neutrinos and their detection (1964) NASA-TM-X-51721)
- 1978, S.E. Woosley ewidentnie zna potrzebne do analizy strumienie neutrin:
- 80- : Bahcall, *Neutrino astrophysics*: tylko **jedna strona** (z 567) poświęcona odległym gwiazdom; znormalizowane widmo neutrin CNO użyto do oszacowania szans detekcji ( J. Bahcall, *Neutrino Astrophysics*, §6.5 Fluxes from other stars)
- 1999: doktorant UJ natrafia na tabelkę, gdzie strumień  $\nu$  to  $10^{12} L_{\odot}$  na etapie spalania Si; Presupernova z odległości  $d = \sqrt{10^{12}/0.02} = 7 \times 10^6 \text{ AU} \simeq 35$  parseków świeci w neutrinach jaśniej niż Słońce. Niestety, nie ma takiej masywnej gwiazdy!
- 2000: inny doktorant: to nie są neutrina elektronowe, tylko **termiczna** emisja par  $\nu\bar{\nu}$ , *ozn.*,  $\sim 0.5$  strumienia to  $\bar{\nu}_e$ . Można użyć odwrotny rozpad  $\beta$   $p + \bar{\nu}_e \rightarrow n + e^+$  aby je wykryć! Ale czy energia antyneutrina jest wystarczająco duża? Czy można wykryć neutrony? (Można ... np: jądra chloru w NaCl )
- 2003: anihilacja par  $e^- + e^+ \rightarrow \nu_x + \bar{\nu}_x$  okazuje się dominującym źródłem  $\bar{\nu}_e$ ; widmo energetyczne oszacowane symulacją MonteCarlo  $\langle E_{\nu} \rangle \sim 4 \text{ kT} \simeq 2 \text{ MeV}$ ; Gigatonowy detektor potrzebny do monitorowania Galaktyki ( OMK, *Astroparticle Physics*)
- środowisko naukowe sceptyczne, ale niektórzy naukowcy (np. E. Woosley, *post-comm* ) ale fizycy doświadczalni w ekstazie: czy będziemy prognozować supernowe?
- Beacom&Vagins proponują  $\text{GdCl}_3$  aby wychwycić neutrony; perfekcyjny kanał detekcji ( John F. Beacom and Mark R. Vagins *Phys. Rev. Lett.* 93, 171101 (2004))

- lata 60-te:  $\nu$  detector na Plutonie konieczny, z powodu tła od neutrino słonecznych ( Chiu,H.-Y. Cosmic neutrinos and their detection (1964) NASA-TM-X-51721)
- 1978, S.E. Woosley ewidentnie zna potrzebne do analizy strumienie neutrino:
- 80- : Bahcal, *Neutrino astrophysics*: tylko **jedna strona** (z 567) poświęcona odległym gwiazdom; znormalizowane widmo neutrino CNO użyto do oszacowania szans detekcji ( J. Bahcall, *Neutrino Astrophysics*, §6.5 Fluxes from other stars)
- 1999: doktorant UJ natrafia na tabelkę, gdzie strumień  $\nu$  to  $10^{12} L_{\odot}$  na etapie spalania Si; Presupernova z odległości  $d = \sqrt{10^{12}/0.02} = 7 \times 10^6 \text{ AU} \simeq 35$  parseków świeci w neutrino jaśniej niż Słońce. Niestety, nie ma takiej masywnej gwiazdy!

**Table 1** Burning stages in the evolution of a  $20-M_{\odot}$  star

Fuel	$\rho_c$ ( $\text{g cm}^{-3}$ )	$T_c$ ( $10^9 \text{ K}$ )	$\tau$ (yr)	$L_{\text{phot}}$ ( $\text{erg s}^{-1}$ )	$L_{\nu}$ ( $\text{erg s}^{-1}$ )
Hydrogen	5.6(0)	0.040	1.0(7)	2.7(38)	—
Helium	9.4(2)	0.19	9.5(5)	5.3(38)	<1.0(36)
Carbon	2.7(5)	0.81	3.0(2)	4.3(38)	7.4(39)
Neon	4.0(6)	1.7	3.8(−1)	4.4(38)	1.2(43)
Oxygen	6.0(6)	2.1	5.0(−1)	4.4(38)	7.4(43)
<u>Silicon</u>	4.9(7)	3.7	<u>2 days</u>	4.4(38)	<u>3.1(45)</u>

- 2000: inny doktorant: to nie są neutrino elektronowe, tylko termiczna emisja par  $\nu\bar{\nu}$ , tzn.,  $\sim 0.5$  strumienia to  $\bar{\nu}_e$ . Można użyć odwrotny rozpad  $\beta$   $p + \bar{\nu}_e \rightarrow n + e^+$  aby je wykryć! Ale czy energia antyneutrino jest wystarczająco

- lata 60-te:  $\nu$  detector na Plutonie konieczny, z powodu tła od neutrin słonecznych  
( Chiu,H.-Y. Cosmic neutrinos and their detection (1964) NASA-TM-X-51721)
- 1978, S.E. Woosley ewidentnie zna potrzebne do analizy strumienie neutrin:
- 80- : Bahcall, *Neutrino astrophysics*: tylko **jedna strona** (z 567) poświęcona odległym gwiazdom; znormalizowane widmo neutrin CNO użyto do oszacowania szans detekcji ( J. Bahcall, *Neutrino Astrophysics*, §6.5 Fluxes from other stars)
- 1999: doktorant UJ natrafia na tabelkę, gdzie strumień  $\nu$  to  $10^{12} L_{\odot}$  na etapie spalania Si; Presupernova z odległości  $d = \sqrt{10^{12}/0.02} = 7 \times 10^6 \text{ AU} \simeq 35$  parseków świeci w neutrinach jaśniej niż Słońce. Niestety, nie ma takiej masywnej gwiazdy!
- 2000: inny doktorant: to nie są neutrina elektronowe, tylko **termiczna emisja par  $\nu\bar{\nu}$ , tzn.,  $\sim 0.5$  strumienia to  $\bar{\nu}_e$ . Można użyć odwrotny rozpad  $\beta$**   
 $p + \bar{\nu}_e \rightarrow n + e^+$  aby je wykryć! Ale czy energia antyneutrina jest wystarczająco duża? Czy można wykryć neutrony? (Można . . . np: jądra chloru w NaCl )
- 2003: anihilacja par  $e^- + e^+ \rightarrow \nu_x + \bar{\nu}_x$  okazuje się dominującym źródłem  $\bar{\nu}_e$ ; widmo energetyczne oszacowane symulacją MonteCarlo  $\langle E_{\nu} \rangle \sim 4 \text{ kT} \simeq 2 \text{ MeV}$ ; Gigatonowy detector potrzebny do monitorowania Galaktyki ( oik *Antineutrino Physics*)
- niedługo później: M. Kasuya, T. Kajino, T. Kajino, T. Kajino (2003) (Phys. Rev. Lett. 91, 091101 (2003) comm ) ale fizycy doświadczalni w ekstazie: czy będziemy prognozować supernowe?
- Beacom&Vagins proponują  $\text{GdCl}_3$  aby wychwycić neutrony; perfekcyjny kanał detekcji (John F. Beacom and Mark R. Vagins Phys. Rev. Lett. 93, 171101 (2004))

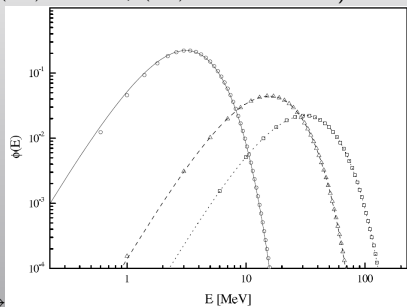
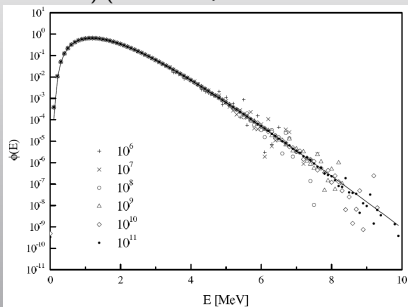
- lata 60-te:  $\nu$  detector na Plutonie konieczny, z powodu tła od neutrino słonecznych ( Chiu,H.-Y. Cosmic neutrinos and their detection (1964) NASA-TM-X-51721)
- 1978, S.E. Woosley ewidentnie zna potrzebne do analizy strumienie neutrino:
- 80- : Bahcall, *Neutrino astrophysics*: tylko **jedna strona** (z 567) poświęcona odległym gwiazdom; znormalizowane widmo neutrino CNO użyto do oszacowania szans detekcji ( J. Bahcall, *Neutrino Astrophysics*, §6.5 Fluxes from other stars)
- 1999: doktorant UJ natrafia na tabelkę, gdzie strumień  $\nu$  to  $10^{12} L_{\odot}$  na etapie spalania Si; Presupernova z odległości  $d = \sqrt{10^{12}/0.02} = 7 \times 10^6 \text{ AU} \simeq 35$  parseków świeci w neutrino jaśniej niż Słońce. Niestety, nie ma takiej masywnej gwiazdy!
- 2000: inny doktorant: to nie są neutrino elektronowe, tylko **termiczna emisja par  $\nu\bar{\nu}$** , *ozn.*,  $\sim 0.5$  strumienia to  $\bar{\nu}_e$ . Można użyć odwrotny rozpad  $\beta$   $p + \bar{\nu}_e \rightarrow n + e^+$  aby je wykryć! Ale czy energia antyneutrino jest wystarczająco duża? Czy można wykryć neutrino? (Można ... np: jądra chloru w NaCl )
- 2003: anihilacja par  $e^- + e^+ \rightarrow \nu_x + \bar{\nu}_x$  okazuje się dominującym źródłem  $\bar{\nu}_e$ ; widmo energetyczne oszacowane symulacją MonteCarlo  $\langle E_{\nu} \rangle \sim 4 \text{ kT} \simeq 2 \text{ MeV}$ ; Gigatonowy detektor potrzebny do monitorowania Galaktyki ( OMK, *Astroparticle Physics* 21, 303 (2004))
- **2004**: Beacom & Vagins ( *Phys. Rev. Lett.* 93, 171101 (2004) ) ( <http://arxiv.org/abs/hep-ph/0405107> ) ( <http://www.astro.umd.edu/~beacom/comm/> ) ale fizycy doświadczalni w ekstazie: czy będziemy prognozować supernowe?
- Beacom & Vagins proponują  $\text{GdCl}_3$  aby wychwycić neutrino; perfekcyjny kanał detekcji ( John F. Beacom and Mark R. Vagins *Phys. Rev. Lett.* 93, 171101 (2004) )

- lata 60-te:  $\nu$  detector na Plutonie konieczny, z powodu tła od neutrin słonecznych ( Chiu,H.-Y. Cosmic neutrinos and their detection (1964) NASA-TM-X-51721)
- 1978, S.E. Woosley ewidentnie zna potrzebne do analizy strumienie neutrin:
- 80- : Bahcall, *Neutrino astrophysics*: tylko **jedna strona** (z 567) poświęcona odległym gwiazdom; znormalizowane widmo neutrin CNO użyto do oszacowania szans detekcji ( J. Bahcall, *Neutrino Astrophysics*, §6.5 Fluxes from other stars)
- 1999: doktorant UJ natrafia na tabelkę, gdzie strumień  $\nu$  to  $10^{12} L_{\odot}$  na etapie spalania Si; Presupernova z odległości  $d = \sqrt{10^{12}/0.02} = 7 \times 10^6 \text{ AU} \simeq 35$  parseków świeci w neutrinach jaśniej niż Słońce. Niestety, nie ma takiej masywnej gwiazdy!
- 2000: inny doktorant: to nie są neutrina elektronowe, tylko **termiczna** emisja par  $\nu\bar{\nu}$ , *ozn.*,  $\sim 0.5$  strumienia to  $\bar{\nu}_e$ . Można użyć odwrotny rozpad  $\beta$   $p + \bar{\nu}_e \rightarrow n + e^+$  aby je wykryć! Ale czy energia antyneutrina jest wystarczająco duża? Czy można wykryć neutrony? (Można ... np: jądra chloru w NaCl )
- 2003: anihilacja par  $e^- + e^+ \rightarrow \nu_x + \bar{\nu}_x$  okazuje się dominującym źródłem  $\bar{\nu}_e$ ; widmo energetyczne oszacowane symulacją MonteCarlo  $\langle E_{\nu} \rangle \sim 4 \text{ kT} \simeq 2 \text{ MeV}$ ; Gigatonowy detektor potrzebny do monitorowania Galaktyki ( OMK, *Astroparticle Physics*)
- Środowisko A&A sceptyczne: „*absolutely undetectable*” (S. E. Woosley, priv. comm.) ale fizycy doświadczalni w ekstazie: czy będziemy prognozować supernowe?
- Beacom&Vagins proponują  $\text{GdCl}_3$  aby wychwycić neutrony; perfekcyjny kanał detekcji (John F. Beacom and Mark R. Vagins Phys. Rev. Lett. 93, 171101 (2004))



- lata 60-te:  $\nu$  detector na Plutonie konieczny, z powodu tła od neutrin słonecznych ( Chiu,H.-Y. Cosmic neutrinos and their detection (1964) NASA-TM-X-51721)
- 1978, S.E. Woosley ewidentnie zna potrzebne do analizy strumienie neutrin:
- 80- : Bahcall, *Neutrino astrophysics*: tylko **jedna strona** (z 567) poświęcona odległym gwiazdom; znormalizowane widmo neutrin CNO użyto do oszacowania szans detekcji ( J. Bahcall, *Neutrino Astrophysics*, §6.5 Fluxes from other stars)
- 1999: doktorant UJ natrafia na tabelkę, gdzie strumień  $\nu$  to  $10^{12} L_{\odot}$  na etapie spalania Si; Presupernova z odległości  $d = \sqrt{10^{12}/0.02} = 7 \times 10^6 \text{ AU} \simeq 35$  parseków świeci w neutrinach jaśniej niż Słońce. Niestety, nie ma takiej masywnej gwiazdy!
- 2000: inny doktorant: to nie są neutrina elektronowe, tylko **termiczna emisja par  $\nu\bar{\nu}$** , *ozn.*,  $\sim 0.5$  strumienia to  $\bar{\nu}_e$ . Można użyć odwrotny rozpad  $\beta$   $p + \bar{\nu}_e \rightarrow n + e^+$  aby je wykryć! Ale czy energia antyneutrina jest wystarczająco duża? Czy można wykryć neutrony? (Można ... np: jądra chloru w NaCl )
- 2003: anihilacja par  $e^- + e^+ \rightarrow \nu_x + \bar{\nu}_x$  okazuje się dominującym źródłem  $\bar{\nu}_e$ ; widmo energetyczne oszacowane symulacją MonteCarlo  $\langle E_{\nu} \rangle \sim 4 \text{ kT} \simeq 2 \text{ MeV}$ ; Gigatonowy detektor potrzebny do monitorowania Galaktyki ( OMK, *Astroparticle Physics*)
- **moderacja** (niezależnie od sposobu, jakiego użyjemy do oszacowania strumienia, np.  $\nu$  z  $\nu\bar{\nu}$  pair, comm ) ale fizycy doświadczalni w ekstazie: czy będziemy prognozować supernowe?
- Beacom&Vagins proponują  $\text{GdCl}_3$  aby wychwycić neutrony; perfekcyjny kanał detekcji ( John F. Beacom and Mark R. Vagins *Phys. Rev. Lett.* 93, 171101 (2004))

- lepsze zrozumienie procesu anihilacji par (MonteCarlo → momenty/fit → całkowanie 2D → tabularyzacja/interpolacja → całkowanie 2D) ( Misiaszek, Odrzywolek, Kutschera, PRD, 74, 043006 (2006), Kato et. al. ApJ (2017) 848 48; arXiv:1704.05480)

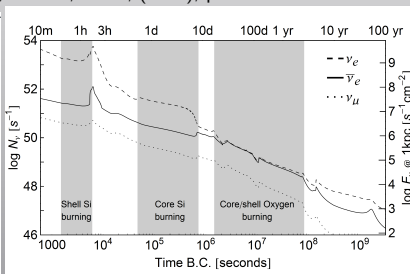
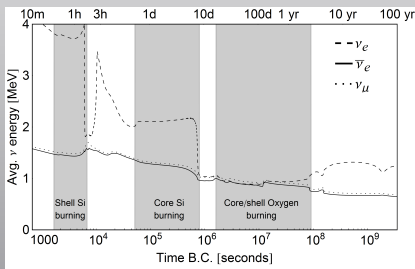


- widmo neutrin: od „one-zone model” (centralny punkt:  $kT=0.32$ ,  $\mu=0.85$  MeV) do pełnej ewolucji In: J. R.Wilkes, editor, NNN06, Volume 944 of AIP Conf. Series, 109–118, (2007).
- krzywe blasku neutrinowego  
A. Odrzywolek and A. Misiaszek, *Acta Phys. Pol. B*, Vol. 41, No. 2, (2010), p. 1511
- (10/11/2017)
- inne procesy termiczne (photo, plasma, deexcitation) Kelly M. Patton et. al. ApJ (2017) 840:2, G. W. Misch, Y. Sun, G. M. Fuller, arXiv:1708.08792
- oscylacje The KamLAND Collaboration, ApJ 818:91 (2016), Kato et. al. ApJ (2017) 808:2, Yoshida et. al., Phys. Rev. D 93 123012 (2016)

- lepsze zrozumienie procesu anihilacji par (MonteCarlo  $\rightarrow$  momenty/fit  $\rightarrow$  całkowanie 2D  $\rightarrow$  tabularyzacja/interpolacja  $\rightarrow$  całkowanie 2D) ( Misiaszek, Odrzywolek, Kutschera, PRD, 74, 043006 (2006), Kato et. al. ApJ (2017) 848 48; arXiv:1704.05480 )
- **widmo neutrin: od „one-zone model” (centralny punkt:  $kT=0.32$ ,  $\mu=0.85$  MeV) do pełnej ewolucji** In: J. R. Wilkes, editor, **NNN06**, Volume 944 of AIP Conf. Series, 109–118, (2007).
- krzywe blasku neutrinowego  
A. Odrzywolek and A. Heger, Acta Phys. Pol. B, Vol. 41, No. 7, (2010), p. 1611
- neutronizacja:  $\nu_e$  production&detection channel (Workshop Towards Neutrino Technologies, Trieste, Italy, 2009).
- inne procesy termiczne (photo, plasma, deexcitation) Kelly M. Patton et. al. ApJ (2017) 840:2, G. W. Misch, Y. Sun, G. M. Fuller, arXiv:1708.08792
- oscylacje The KamLAND Collaboration, ApJ 818:91 (2016), Kato et. al. ApJ (2017) 808:2, Yoshida et. al., Phys. Rev. D 93 123012 (2016)
- hydro O/Si (ostatnie 150 sec) Meakin & Arnett, ApJ, 667, 448 (2007), S. Couch, Chatzopoulos, Arnett & FXT, ApJ Letters, 808 Number 1, p. L21 (2015)
- 
- ONeMg vs Si-burning pre-supernowa Kato et al. (2017, 2019)
- konsystenentny post-processing przy użyciu MESA  $\beta^\pm$  Kelly Patton et. al. (2017)

- lepsze zrozumienie procesu anihilacji par (MonteCarlo  $\rightarrow$  momenty/fit  $\rightarrow$  całkowanie 2D  $\rightarrow$  tabularyzacja/interpolacja  $\rightarrow$  całkowanie 2D) ( Misiaszek, Odrzywolek, Kutschera, PRD, 74, 043006 (2006), Kato et. al. ApJ (2017) 848 48; arXiv:1704.05480)
- widmo neutrin: od „one-zone model” (centralny punkt:  $kT=0.32, \mu=0.85$  MeV) do pełnej ewolucji In: J. R.Wilkes, editor, NNN06, Volume 944 of AIP Conf. Series, 109–118, (2007).
- krzywe blasku neutrinowego

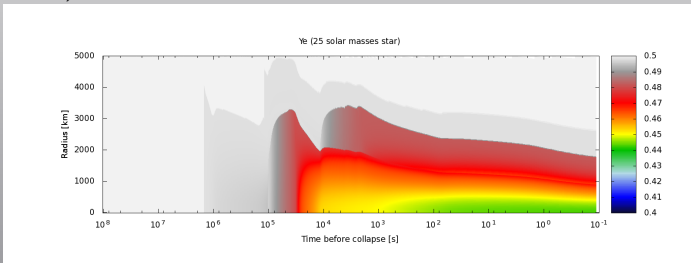
**A. Odrzywolek and A. Heger, Acta Phys. Pol. B, Vol. 41, No. 7, (2010), p. 1611**



- $\nu$  transport (Mihalas & Mihalas, 1984; Bruenn, 1985; Bruenn & Heger, 2002; Bruenn et al., 2003; Bruenn & Heger, 2007)
- inne procesy termiczne (photo, plasma, deexcitation) (Bruenn & Heger, 2007; Bruenn et al., 2003; Bruenn & Heger, 2007; W. Misch, Y. Sun, G. M. Fuller, arXiv 1708.08792)
- oscylacje The KamLAND Collaboration, ApJ 818:91 (2016), Kato et. al. ApJ (2017) 808:2, Yoshida et. al., Phys. Rev. D 93 123012 (2016)
- hydro O/Si (ostatnie 150 sec) Meakin & Arnett, ApJ, 667, 448 (2007), S. Couch, Chatzopoulos, Arnett & FXT, ApJ Letters, 808, Number 1, L31 (2015)

# Zrozumienie ewolucji gwiazd

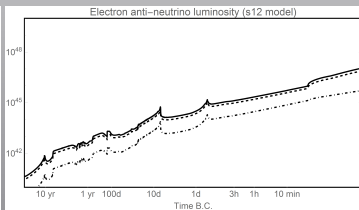
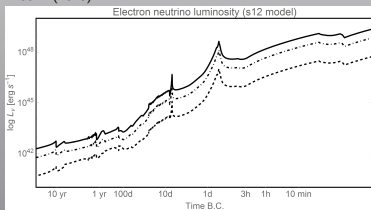
- lepsze zrozumienie procesu anihilacji par (MonteCarlo  $\rightarrow$  momenty/fit  $\rightarrow$  całkowanie 2D  $\rightarrow$  tabularyzacja/interpolacja  $\rightarrow$  całkowanie 2D) ( Misiaszek, Odrzywolek, Kutschera, PRD, 74, 043006 (2006), Kato et. al. ApJ (2017) 848 48; arXiv:1704.05480 )
- widmo neutrin: od „one-zone model” (centralny punkt:  $kT=0.32$ ,  $\mu=0.85$  MeV) do pełnej ewolucji In: J. R.Wilkes, editor, NNN06, Volume 944 of AIP Conf. Series, 109–118, (2007).
- krzywe blasku neutrinowego  
A. Odrzywolek and A. Heger, Acta Phys. Pol. B, Vol. 41, No. 7, (2010), p. 1611
- neutronizacja:  $\nu_e$  production& detection channel (Workshop Towards Neutrino Technologies, Trieste, Italy, 2009).



- [https://arxiv.org/abs/1708.06702](#)
- [https://arxiv.org/abs/1708.06702](#)
- oscylacje The KamLAND Collaboration, ApJ 818:91 (2016), Kato et. al. ApJ (2017) 808:2, Yoshida et. al., Phys. Rev. D 93 123012 (2016)
- hydro O/Si (ostatnie 150 sec) Meakin & Arnett, ApJ, 667, 448 (2007), S. Couch, Chatzopoulos, Arnett & FXT, ApJ Letters, 808 Number 1, p. L21 (2015)

- lepsze zrozumienie procesu anihilacji par (MonteCarlo  $\rightarrow$  momenty/fit  $\rightarrow$  całkowanie 2D  $\rightarrow$  tabularyzacja/interpolacja  $\rightarrow$  całkowanie 2D) ( Misiaszek, Odrzywolek, Kutschera, PRD, 74, 043006 (2006), Kato et. al. ApJ (2017) 848 48; arXiv:1704.05480 )
- widmo neutrin: od „one-zone model” (centralny punkt:  $kT=0.32$ ,  $\mu=0.85$  MeV) do pełnej ewolucji In: J. R.Wilkes, editor, NNN06, Volume 944 of AIP Conf. Series, 109–118, (2007).
- krzywe blasku neutrinowego  
A. Odrzywolek and A. Heger, Acta Phys. Pol. B, Vol. 41, No. 7, (2010), p. 1611
- neutronizacja:  $\nu_e$  production& detection channel (Workshop Towards Neutrino Technologies, Trieste, Italy, 2009).
- inne procesy termiczne (photo, plasma, deexcitation) Kelly M. Patton et. al. ApJ (2017) 840:2, G. W. Misch, Y. Sun, G. M. Fuller, arXiv:1708:08792
- oscylacje The KamLAND Collaboration, ApJ 818:91 (2016), Kato et. al. ApJ (2017) 808:2, Yoshida et. al., Phys. Rev. D 93 123012 (2016)
- hydro O/Si (ostatnie 150 sec) Meakin & Arnett, ApJ, 667, 448 (2007), S. Couch, Chatzopoulos, Arnett & FXT, ApJ Letters, 808 Number 1, p. L21 (2015)
- 
- ONeMg vs Si-burning pre-supernowa Kato et al. (2017)
- konsystenentny post-processing przy użyciu MESA  $\beta^\pm$  Kelly Patton et. al. (2017)

- lepsze zrozumienie procesu anihilacji par (MonteCarlo  $\rightarrow$  momenty/fit  $\rightarrow$  całkowanie 2D  $\rightarrow$  tabularyzacja/interpolacja  $\rightarrow$  całkowanie 2D) ( Misiaszek, Odrzywolek, Kutschera, PRD, 74, 043006 (2006), Kato et. al. ApJ (2017) 848 48; arXiv:1704.05480)
- widmo neutrin: od „one-zone model” (centralny punkt:  $kT=0.32$ ,  $\mu=0.85$  MeV) do pełnej ewolucji In: J. R.Wilkes, editor, NNN06, Volume 944 of AIP Conf. Series, 109–118, (2007).
- krzywe blasku neutrinowego  
A. Odrzywolek and A. Heger, Acta Phys. Pol. B, Vol. 41, No. 7, (2010), p. 1611
- neutronizacja:  $\nu_e$  production& detection channel (Workshop Towards Neutrino Technologies, Trieste, Italy, 2009).
- inne procesy termiczne (photo, plasma, deexcitation) Kelly M. Patton et. al. ApJ (2017) 840:2, G. W. Misch, Y. Sun, G. M. Fuller, arXiv:1708.08792
- **osycylacje** The KamLAND Collaboration, ApJ 818:91 (2016), Kato et. al. ApJ (2017) 808:2, Yoshida et. al., Phys. Rev. D 93 123012 (2016)

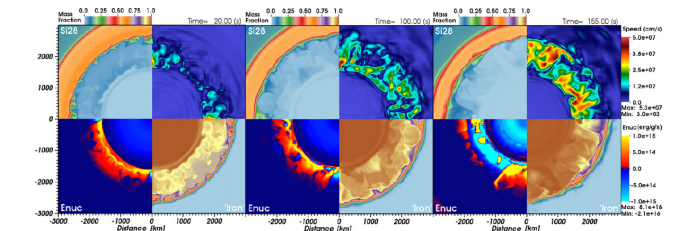


- hydro O/Si (ostatnie 150 sec) Meakin & Arnett, ApJ, 667, 448 (2007), S. Couch, Charzopoulos, Arnett & FXT, ApJ Letters, 808 Number 1, p. L21 (2015)
- współczesne kody do ewolucji gwiazd Yoshida et. al., Patton et. al., Kato et. al. (2016-2017)
- ONeMg vs Si-burning pre-supernowa Kato et. al. (2016-2017)

- lepsze zrozumienie procesu anihilacji par (MonteCarlo → momenty/fit → całkowanie 2D → tabularyzacja/interpolacja → całkowanie 2D) ( Misiaszek, Odrzywolek, Kutschera, PRD, 74, 043006 (2006), Kato et. al. ApJ (2017) 848 48; arXiv:1704.05480)
- widmo neutrin: od „one-zone model” (centralny punkt:  $kT=0.32$ ,  $\mu=0.85$  MeV) do pełnej ewolucji In: J. R.Wilkes, editor, NNN06, Volume 944 of AIP Conf. Series, 109–118, (2007).
- krzywe blasku neutrinowego  
A. Odrzywolek and A. Heger, Acta Phys. Pol. B, Vol. 41, No. 7, (2010), p. 1611
- neutronizacja:  $\nu_e$  production& detection channel (Workshop Towards Neutrino Technologies, Trieste, Italy, 2009).
- inne procesy termiczne (photo, plasma, deexcitation) Kelly M. Patton et. al. ApJ (2017) 840:2, G. W. Misch, Y. Sun, G. M. Fuller, arXiv:1708.08792
- oscylacje The KamLAND Collaboration, ApJ 818:91 (2016), Kato et. al. ApJ (2017) 808:2, Yoshida et. al., Phys. Rev. D 93 123012 (2016)
- hydro O/Si (ostatnie 150 sec) Meakin & Arnett, ApJ, 667, 448 (2007), S. Couch, Chatzopoulos, Arnett & FXT, ApJ Letters, 808 Number 1, p. L21 (2015)

THE ASTROPHYSICAL JOURNAL LETTERS, 808:L21 (7pp), 2015 July 20

COUCH ET AL.



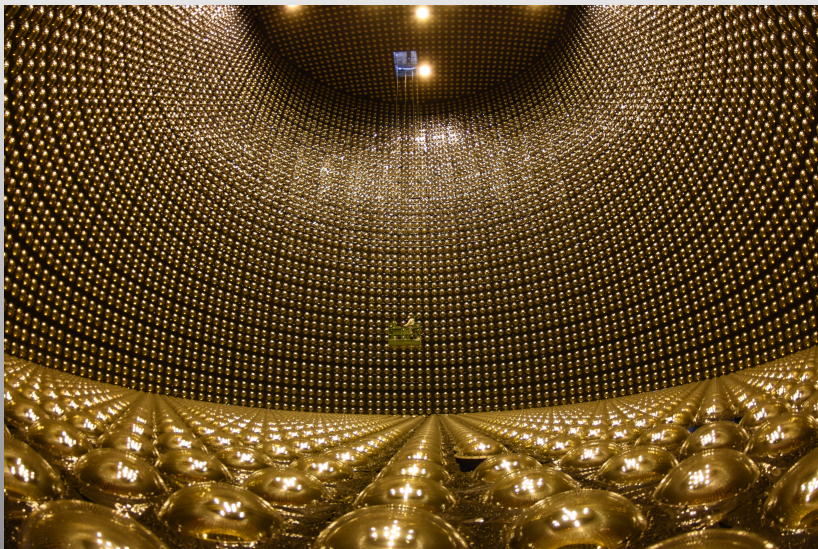


- lepsze zrozumienie procesu anihilacji par (MonteCarlo → momenty/fit → całkowanie 2D → tabularyzacja/interpolacja → całkowanie 2D) ( Misiaszek, Odrzywolek, Kutschera, PRD, 74, 043006 (2006), Kato et. al. ApJ (2017) 848 48; arXiv:1704.05480)
- widmo neutrin: od „one-zone model” (centralny punkt:  $kT=0.32$ ,  $\mu=0.85$  MeV) do pełnej ewolucji In: J. R.Wilkes, editor, NNN06, Volume 944 of AIP Conf. Series, 109–118, (2007).
- krzywe blasku neutrinowego  
A. Odrzywolek and A. Heger, Acta Phys. Pol. B, Vol. 41, No. 7, (2010), p. 1611
- neutronizacja:  $\nu_e$  production& detection channel (Workshop Towards Neutrino Technologies, Trieste, Italy, 2009).
- inne procesy termiczne (photo, plasma, deexcitation) Kelly M. Patton et. al. ApJ (2017) 840:2, G. W. Misch, Y. Sun, G. M. Fuller, arXiv:1708.08792
- oscylacje The KamLAND Collaboration, ApJ 818:91 (2016), Kato et. al. ApJ (2017) 808:2, Yoshida et. al., Phys. Rev. D 93 123012 (2016)
- hydro O/Si (ostatnie 150 sec) Meakin & Arnett, ApJ, 667, 448 (2007), S. Couch, Chatzopoulos, Arnett & FXT, ApJ Letters, 808 Number 1, p. L21 (2015)
- współczesne kody do ewolucji gwiazd Yoshida et. al., Patton et. al., Kato et. al. (2016-2017)
- ONeMg vs Si-burning pre-supernowa Kato et. al. (2016-2017)
- konsyistentny post-processing przy użyciu MESA  $\beta^\pm$  Kelly Patton et. al. (2017)

- lepsze zrozumienie procesu anihilacji par (MonteCarlo → momenty/fit → całkowanie 2D → tabularyzacja/interpolacja → całkowanie 2D) ( Misiaszek, Odrzywolek, Kutschera, PRD, 74, 043006 (2006), Kato et. al. ApJ (2017) 848 48; arXiv:1704.05480 )
- widmo neutrin: od „one-zone model” (centralny punkt:  $kT=0.32$ ,  $\mu=0.85$  MeV) do pełnej ewolucji In: J. R.Wilkes, editor, NNN06, Volume 944 of AIP Conf. Series, 109–118, (2007).
- krzywe blasku neutrinowego  
A. Odrzywolek and A. Heger, Acta Phys. Pol. B, Vol. 41, No. 7, (2010), p. 1611
- neutronizacja:  $\nu_e$  production& detection channel (Workshop Towards Neutrino Technologies, Trieste, Italy, 2009).
- inne procesy termiczne (photo, plasma, deexcitation) Kelly M. Patton et. al. ApJ (2017) 840:2, G. W. Misch, Y. Sun, G. M. Fuller, arXiv:1708.08792
- oscylacje The KamLAND Collaboration, ApJ 818:91 (2016), Kato et. al. ApJ (2017) 808:2, Yoshida et. al., Phys. Rev. D 93 123012 (2016)
- hydro O/Si (ostatnie 150 sec) Meakin & Arnett, ApJ, 667, 448 (2007), S. Couch, Chatzopoulos, Arnett & FXT, ApJ Letters, 808 Number 1, p. L21 (2015)
- 
- ONeMg vs Si-burning pre-supernowa Kato et. al. (2016-2017)
- konsystenentny post-processing przy użyciu MESA  $\beta^\pm$  Kelly Patton et. al. (2017)

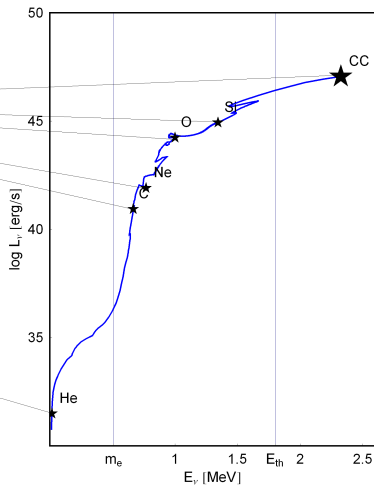
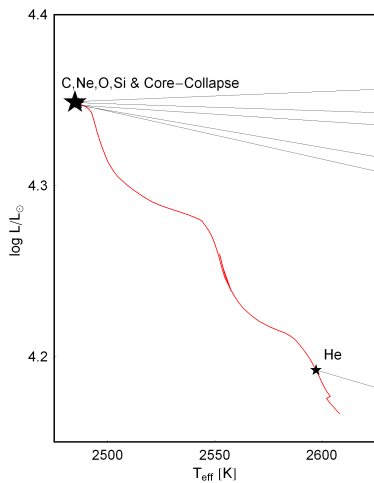
- lepsze zrozumienie procesu anihilacji par (MonteCarlo  $\rightarrow$  momenty/fit  $\rightarrow$  całkowanie 2D  $\rightarrow$  tabularyzacja/interpolacja  $\rightarrow$  całkowanie 2D) ( Misiaszek, Odrzywolek, Kutschera, PRD, 74, 043006 (2006), Kato et. al. ApJ (2017) 848 48; arXiv:1704.05480 )
- widmo neutrin: od „one-zone model” (centralny punkt:  $kT=0.32$ ,  $\mu=0.85$  MeV) do pełnej ewolucji In: J. R.Wilkes, editor, NNN06, Volume 944 of AIP Conf. Series, 109–118, (2007).
- krzywe blasku neutrinowego  
A. Odrzywolek and A. Heger, Acta Phys. Pol. B, Vol. 41, No. 7, (2010), p. 1611
- neutronizacja:  $\nu_e$  production& detection channel (Workshop Towards Neutrino Technologies, Trieste, Italy, 2009).
- inne procesy termiczne (photo, plasma, deexcitation) Kelly M. Patton et. al. ApJ (2017) 840:2, G. W. Misch, Y. Sun, G. M. Fuller, arXiv:1708.08792
- oscylacje The KamLAND Collaboration, ApJ 818:91 (2016), Kato et. al. ApJ (2017) 808:2, Yoshida et. al., Phys. Rev. D 93 123012 (2016)
- hydro O/Si (ostatnie 150 sec) Meakin & Arnett, ApJ, 667, 448 (2007), S. Couch, Chatzopoulos, Arnett & FXT, ApJ Letters, 808 Number 1, p. L21 (2015)
- 
- ONeMg vs Si-burning pre-supernova model arXiv:1601.02001
- konsystentny post-processing przy użyciu MESA  $\beta^\pm$  Kelly Patton et. al. (2017)

# Super-Kamiokande (detektor neutrin)

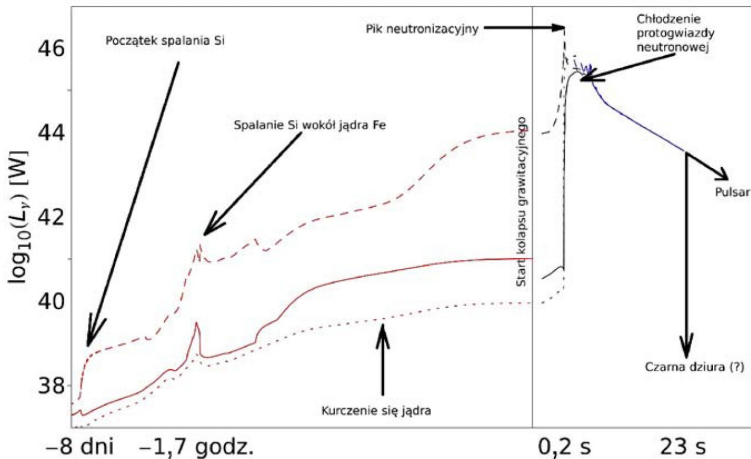


- 1 motywacja wychwytu neutronów w Super-Kamiokande (wodnych detektorach promieniowania Czerenkowa):
  - **pre-supernowe**,
  - tło kosmologicznych supernowych,
  - geoneutrina,
  - reaktory jądrowe i inne źródła wytworzone przez ludzi
  - neutrina atmosferyczne
  - nieoczekiwane odkrycia (Głos Pana)
- 2 wyboista droga do działającego detektora
  - pierwszy pomysł NaCl, OMK 2001
  - drugi pomysł,  $\text{GdCl}_3$ , Beacom&Vagins 2001
  - trzeci pomysł,  $\text{Gd}_2(\text{SO}_4)_3$ , ???, 2015
  - EAGDS
  - Sk-Gd (już działa)

# Photon & neutrino HR diagram

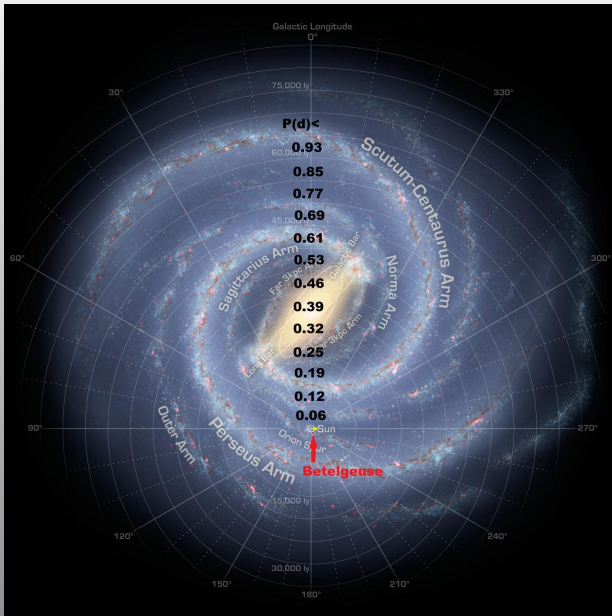


## Jasność neutronowa przed i po kolapsie grawitacyjnym



Rys. 1. Jasność neutronowa przed, w trakcie i po wybuchu supernowej typu implozyjnego

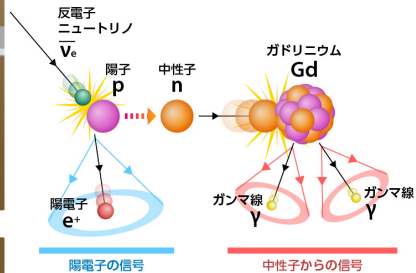
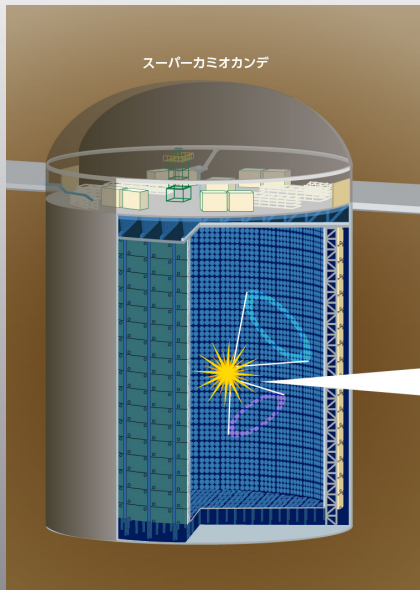
Kiedy eksploduje Betelgeza? Foton 107, 2009



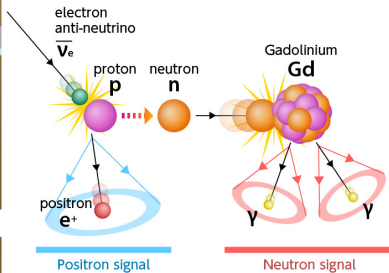
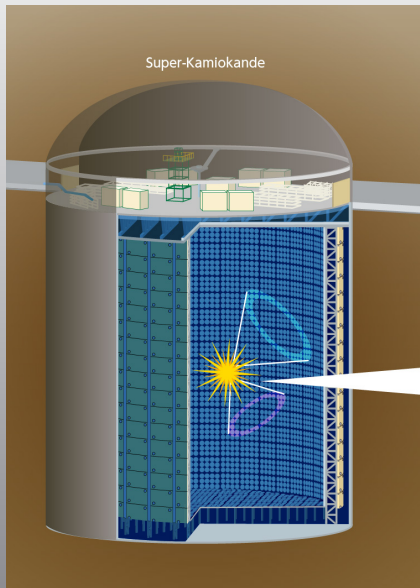
NASA/JPL-Caltech/R. Hurt (SSC/Caltech)



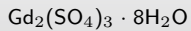
# SK-Gd (detektor antyneutrino)



# SK-Gd (detektor antyneutrino)



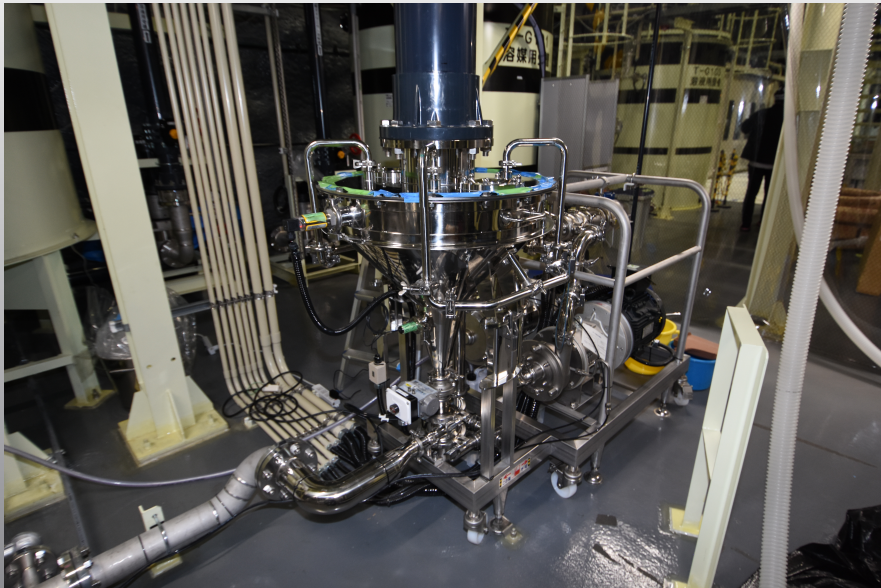
# Ośmiowodny siarczan gadolinu (Gadolinium sulfate octahydrate)

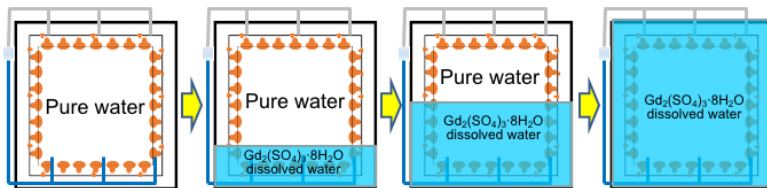


# „Młyneczek” (powder feeder) i pompa próżniowa



# „Młynek” (powder feeder) i pompa próżniowa





- różnica temperatur  $\pm 0.3^\circ C$  utrzymuje roztwór gadolinu na dnie
- cały proces napełniania trwa 35 dni i jest odwracalny
- masa siarczanu Gd: 14 ton
- stężenie: 0.026%  $Gd_2(SO_4)_3$  co jest równoważne 0.01% samego Gd (masowo)
- skuteczność wychwytu neutronów 50% (reszta na protonach  $H_2O$ , niewidoczna)

- KamLAND: system monitorowania Betelgezy KamLAND Collaboration, ApJ 818:91 (2016)
- kilka mniejszych ważnych detektorów zdolnych do detekcji niskoenergetycznych (poniżej  $\sim 2$  MeV) dużych detektorów: **Borexino**, JUNO, rozpraszanie koherentne, poszukiwania Ciemnej Materii ...
- DUNE LAr detector
- EGADS — stare Kamiokande z gadolinem (zakończone 100% sukcesem)
- Super-Kamiokande +  $\text{Gd}_2(\text{SO}_4)_3$  — SK-Gd (rozpuszczanie od 14 lipca do 17 sierpnia 2020)
- Hyper-Kamiokande project ma zostać rozpoczęty w przyszłym roku, gotowy w 2027

## System monitorowania pre-supernowych: od sci-fi do rzeczywistości w 20 lat

Obecnie, bliska ( $d \ll 1$  kpc) Galaktyczna supernowa będzie obserwowana w neutrinach, zaczynając od spalania Si, poprzez kolaps grawitacyjny tydzień później (obserwacje fal grawitacyjnych) a następnie przez wiele lat przez klasyczne teleskopy i detektory promieni kosmicznych

Po 30 latach stagnacji, astronomia fal grawitacyjnych (GW 170817) wyprzedziła astronomię neutrinową (SN 1987A). Czy teraz sytuacja ponownie się odwróci?

- **Gadolinium**
- Antineutrino
- Detector
- Zealously
- Outperforming
- Old
- Kamiokande
- Super
- ! ... ? ...

<http://www-sk.icrr.u-tokyo.ac.jp/sk/news/2020/08/sk-gd-detail-e.html>



- **Gadolinium**
- **Antineutrino**
- Detector
- Zealously
- Outperforming
- Old
- Kamiokande
- Super
- ! ... ? ...

<http://www-sk.icrr.u-tokyo.ac.jp/sk/news/2020/08/sk-gd-detail-e.html>

- **Gadolinium**
- **Antineutrino**
- **Detector**
- Zealously
- Outperforming
- Old
- Kamiokande
- Super
- ! ... ? ...

<http://www-sk.icrr.u-tokyo.ac.jp/sk/news/2020/08/sk-gd-detail-e.html>

- **Gadolinium**
- **Antineutrino**
- **Detector**
- **Zealously**
- Outperforming
- Old
- Kamiokande
- Super
- ! ... ? ...

<http://www-sk.icrr.u-tokyo.ac.jp/sk/news/2020/08/sk-gd-detail-e.html>

- **Gadolinium**
- **Antineutrino**
- **Detector**
- **Zealously**
- **Outperforming**
- Old
- Kamiokande
- Super
- ! ... ? ...

<http://www-sk.icrr.u-tokyo.ac.jp/sk/news/2020/08/sk-gd-detail-e.html>

- **Gadolinium**
- **Antineutrino**
- **Detector**
- **Zealously**
- **Outperforming**
- **Old**
- Kamiokande
- Super
- ! ... ? ...

<http://www-sk.icrr.u-tokyo.ac.jp/sk/news/2020/08/sk-gd-detail-e.html>

- **Gadolinium**
- **Antineutrino**
- **Detector**
- **Zealously**
- **Outperforming**
- **Old**
- **Kamiokande**
- Super
- I ...? ...

<http://www-sk.icrr.u-tokyo.ac.jp/sk/news/2020/08/sk-gd-detail-e.html>

- Gadolinium
- Antineutrino
- Detector
- Zealously
- Outperforming
- Old
- Kamiokande
- Super
- I ...? ...

<http://www-sk.icrr.u-tokyo.ac.jp/sk/news/2020/08/sk-gd-detail-e.html>

- Gadolinium
- Antineutrino
- Detector
- Zealously
- Outperforming
- Old
- Kamiokande
- Super
- ! ... ? ...

<http://www-sk.icrr.u-tokyo.ac.jp/sk/news/2020/08/sk-gd-detail-e.html>



- [1] Chiu,H.-Y. Cosmic neutrinos and their detection (1964) NASA-TM-X-51721
- [2] J. Bahcall, Neutrino Astrophysics, §6.5 Fluxes from other stars
- [3] OMK, Astroparticle Physics **21**, 303 (2004)
- [4] Misiaszek, Odrzywolek, Kutschera, PRD, 74, 043006 (2006)
- [5] OMK, *Future neutrino observations of nearby pre-supernova stars before core-collapse*, In: J. R.Wilkes, editor, NNN06, Volume 944 of AIP Conf. Series, 109–118, (2007).
- [6] John F. Beacom and Mark R. Vagins Phys. Rev. Lett. 93, 171101 (2004)
- [7] Kunugise&Iwamoto, Publications of the Astronomical Society of Japan, Vol.59, No.6, L57 (2007)
- [8] Odrzywolek&Plewa, A&A, **529**, id.A156
- [9] I. Seitzzahl et. al., Phys. Rev. D, Volume 92, Issue 12, id.124013
- [10] Wright et. al., Phys. Rev. D, Volume 94, Issue 2, id.025026
- [11] Odrzywolek&Heger, *Neutrino Signatures of Dying Massive Stars*, Acta Phys. Pol. B, **41**, No. 7, (2010), p. 1611.
- [12] Yoshida et. al., Phys. Rev. D **93** 123012 (2016)
- [13] The KamLAND Collaboration, ApJ 818:91 (2016)
- [14] Chinami Kato et. al. ApJ (2017) 808:2
- [15] Kelly M. Patton et. al. ApJ (2017) 840:2
- [16] Chinami Kato et. al. ApJ (2017) **848** 48; arXiv:1704.05480
- [17] Kelly M. Patton et. al. (2017); arXiv:1709.01877, ApJ, 851:6
- [18] G. W. Misch, Y. Sun, G. M. Fuller, arXiv:1708.08792

Neutrino spectra animation  
Reference stellar model animation