

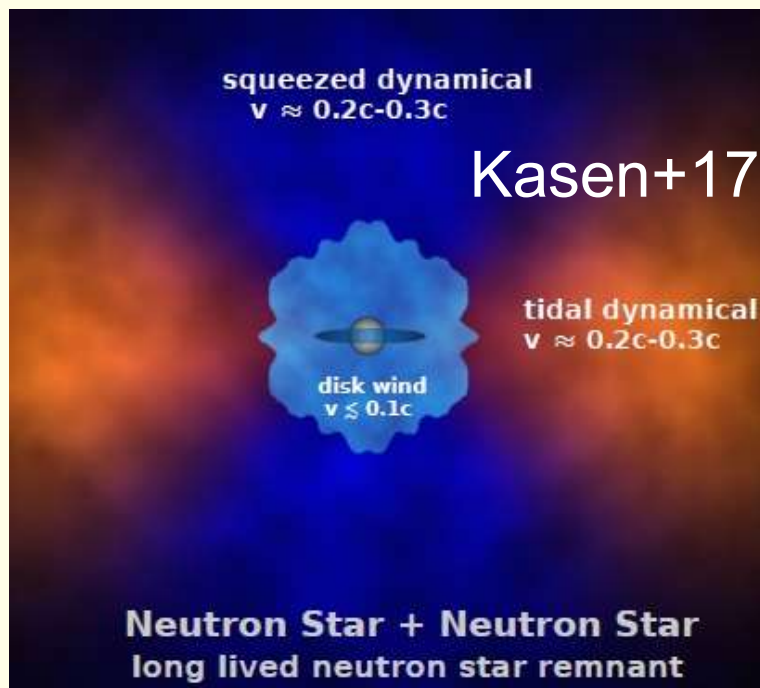
Impact of isomers on a kilonova light-curve

研究会「原子核物理でつむぐrプロセス」
2019.05.22-24 京都大学

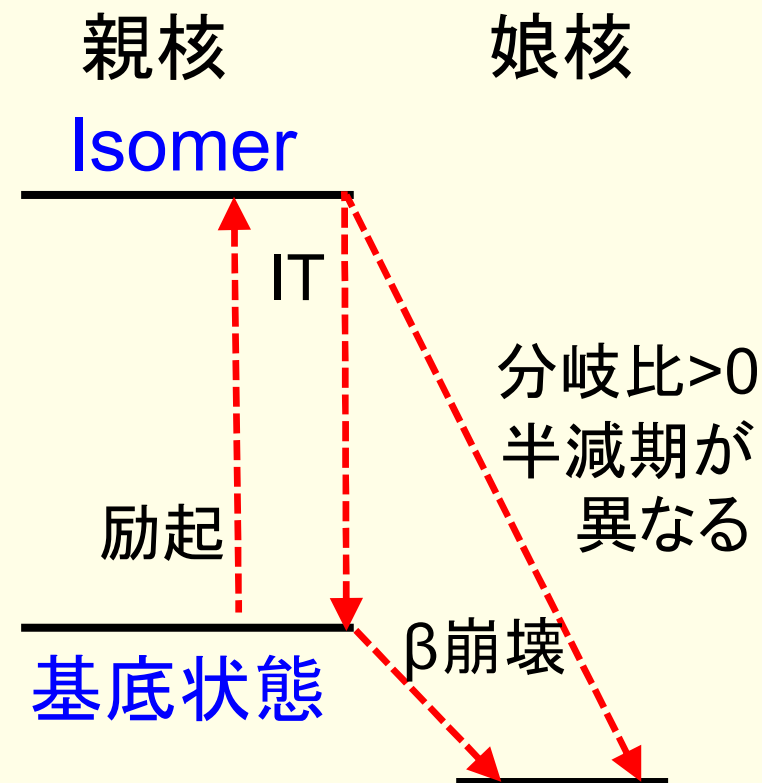
藤本 信一郎 (熊本高専)
橋本正章 (九州大学)

Kilonova model for GW170817

- 熱源=R過程元素の崩壊熱、可視光・赤外線放射
- 初期 blue 成分 (<1-3日)
 - $Y_e=0.25\sim 0.3$ (不透明度小)
 - $v\sim 0.3c$, $M\sim 0.03M_{\text{sun}}$
- 後期 red 成分 (>3日)
 - $Y_e < 0.2-0.25$ (不透明度大)
 - $v\sim 0.1c$, $M\sim 0.05M_{\text{sun}}$



核異性体(isomer)



isomerを考慮すると半減期が大きく変化する、光度曲線が変化する可能性

Isomerを考慮する原子核の性質

Selection Rules

- Kilonova光度への寄与が大きな $A=120-140$ な原子核
- Beta-崩壊の分岐比 >0
- 半減期 > 10 倍 or $< 1/10$ 倍
- 観測的に重要な
半減期 = 0.5h-200day

青: より長い半減期のisomer

赤: より短い半減期のisomer

安定核近傍の原子核,
主に中性子過剰核の
一連の β 崩壊により生成

Isomerを考慮した原子核	半減期 (基底状態)	半減期 (isomer)	励起エネルギー (MeV)	分岐比 (%)
^{121}Sn	<u>1.1d</u>	<u>44y</u>	0.006	22.4
^{123}Sn	<u>130d</u>	40m	0.025	100
^{125}Sn	<u>9.6d</u>	9.5m	0.028	100
^{127}Sn	<u>2.1h</u>	4.1m	0.0047	100
^{128}Sb	<u>9.0h</u>	10m	0.020	96.4
^{129}Sb	<u>4.4h</u>	18m	1.85	85.0
^{129}Te	1.2h	<u>34d</u>	0.11	36.0
^{131}Te	25m	<u>1.4d</u>	0.18	74.1
^{134}I	<u>0.9h</u>	3.5m	0.32	2.3

Ejecta dynamics

Analytical wind model

(Rosswog+17)

- v : constant
- $\rho \propto 1/r^3$, uniform
- T : with nuclear heating

Four parameters

- $M_w = 0.03 M_{\text{sun}}$
- $s_0 = 10\text{kB}$
- $V_w/c = 0.05, 0.1, 0.2$
- $Y_e = 0.1, 0.15, 0.2, 0.25, 0.3$

4

Reaction network

4070 nuclei (Z=0-100)

FRDM (Moller 1997)

Isomers

Nine nuclei are assumed to be always stayed in

(a) ground states
(Previous works)

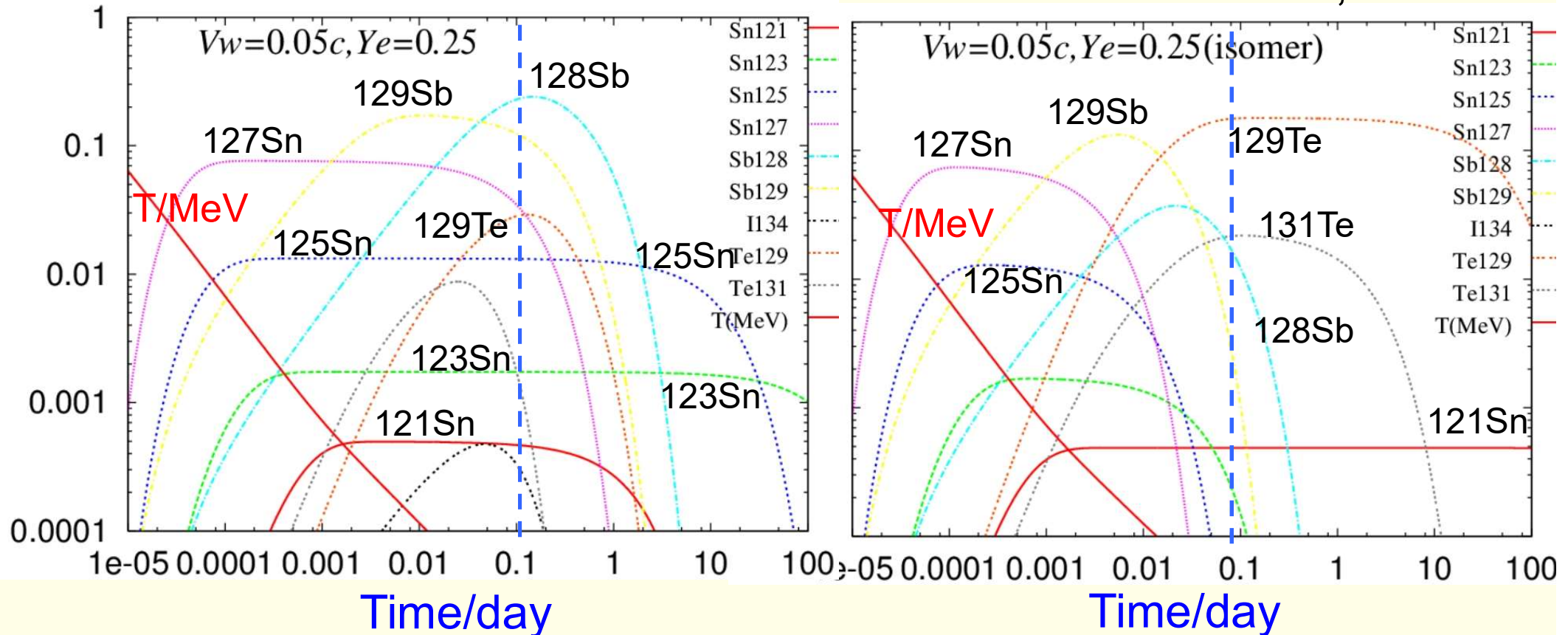
(b) isometric states

Evolution of T and abundances

(a) Ground state

(b) Isomer

T/MeV, Mass Fractions $V_w=0.05c, Y_e=0.25$



崩壊のタイミング

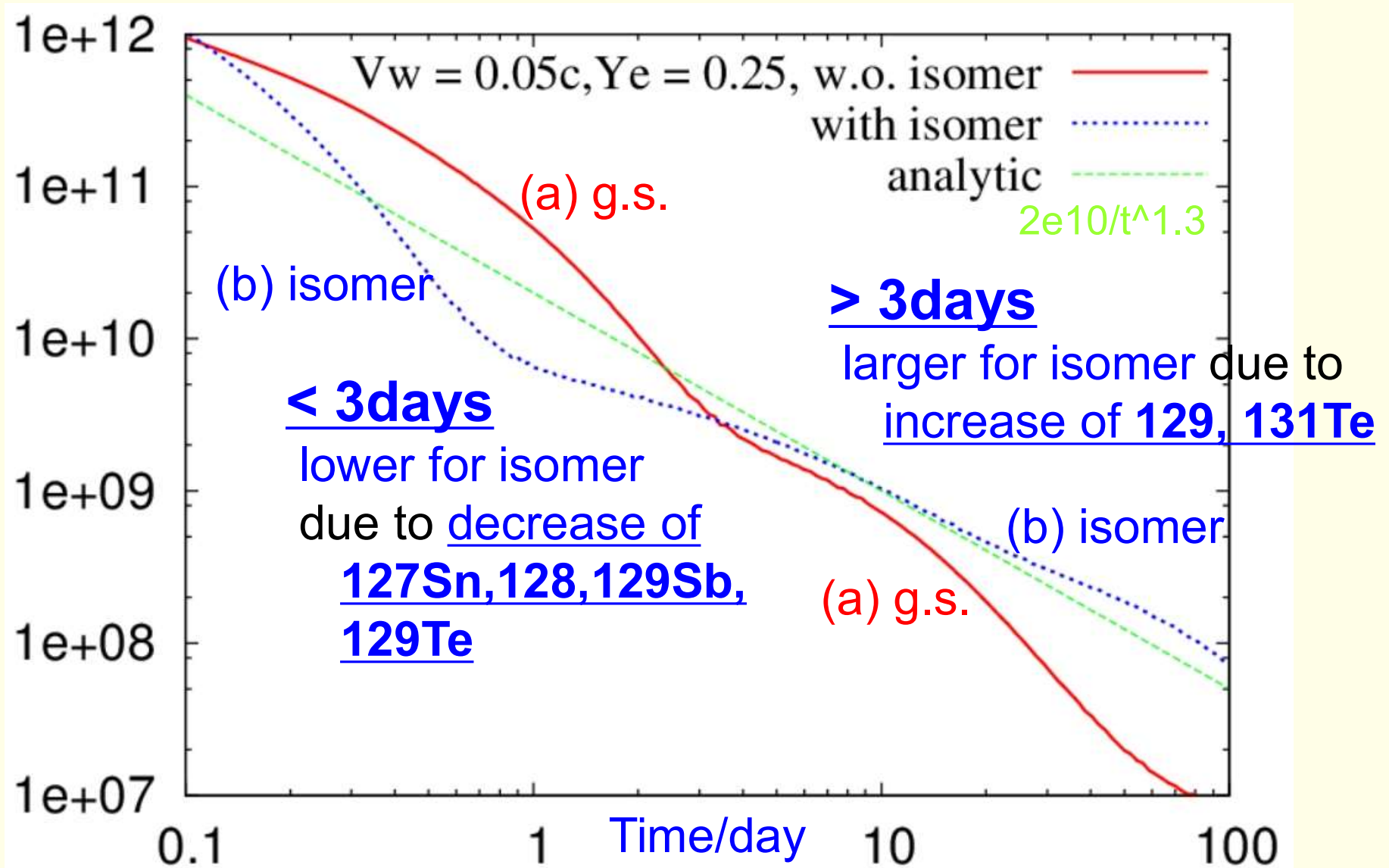
0.1-3day: **127Sn, 128, 129Sb**, 129Te
 >3day: **125Sn, 123Sn**

0.1-3day: 128Sb, 129Sb
 >3day: 131Te, 129Te

Energy generation rates

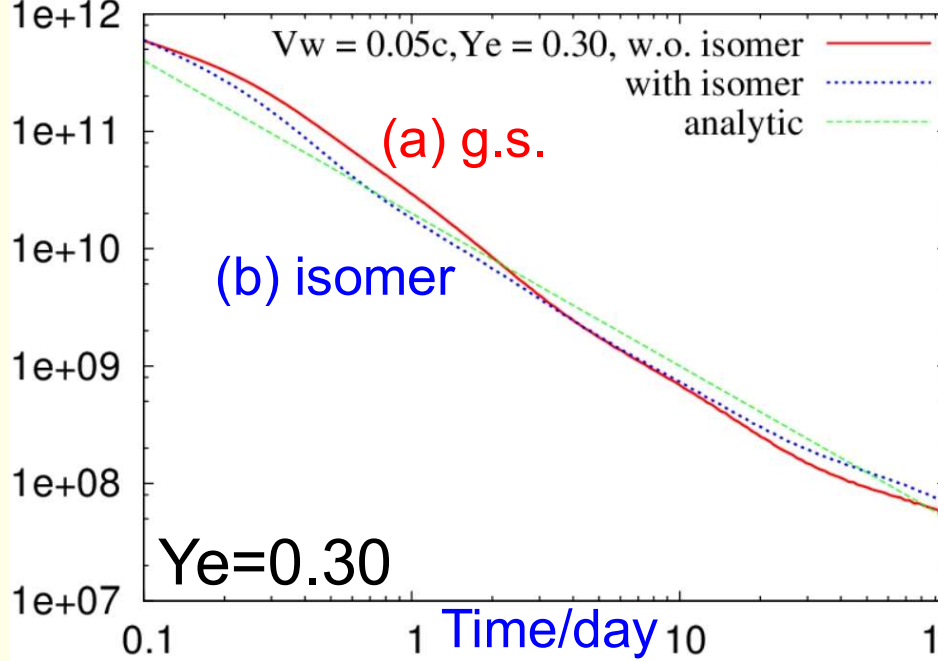
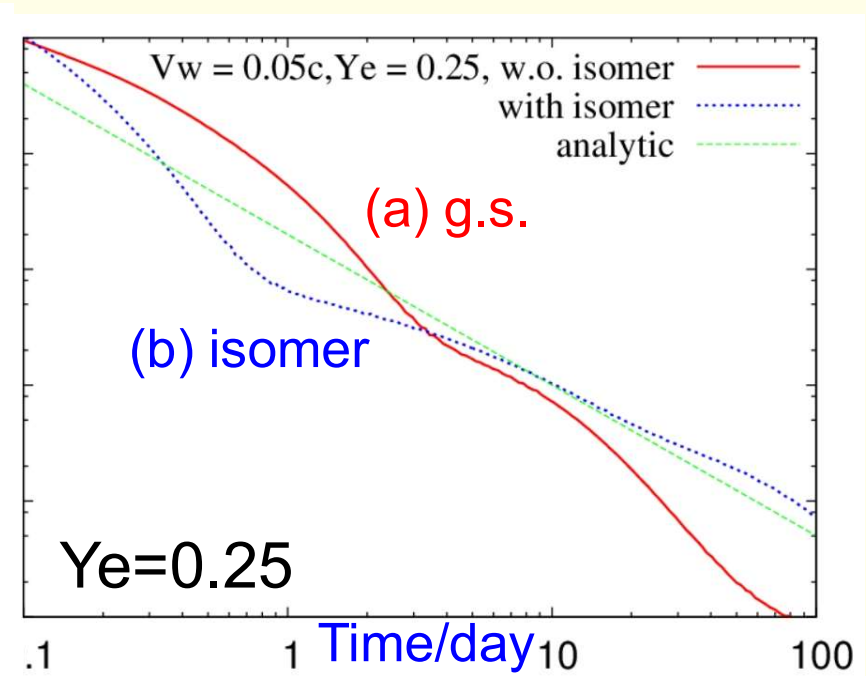
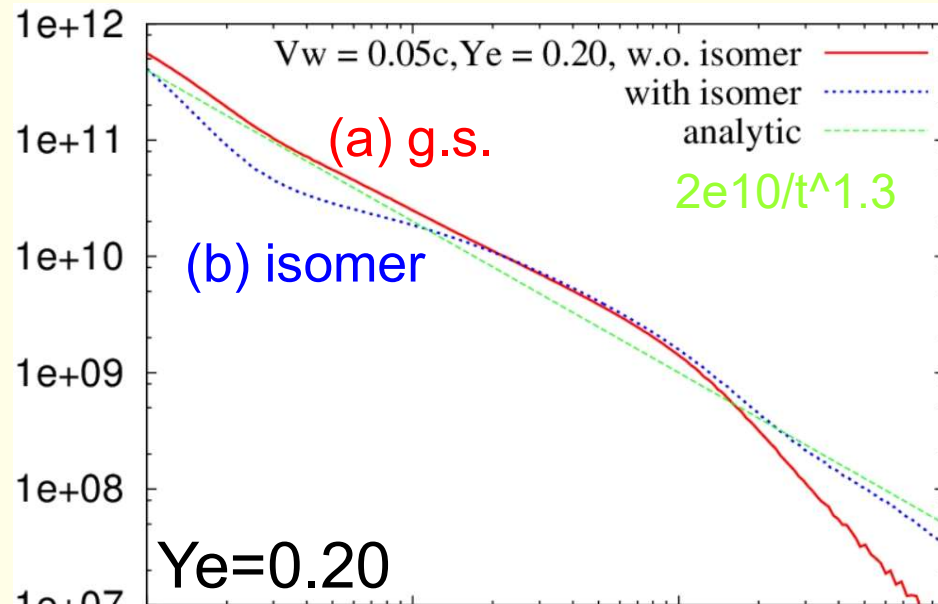
$V_w=0.05c$, $Y_e=0.25$

Energy generation rate (erg/g/s)



Energy generation rates: Ye dep.

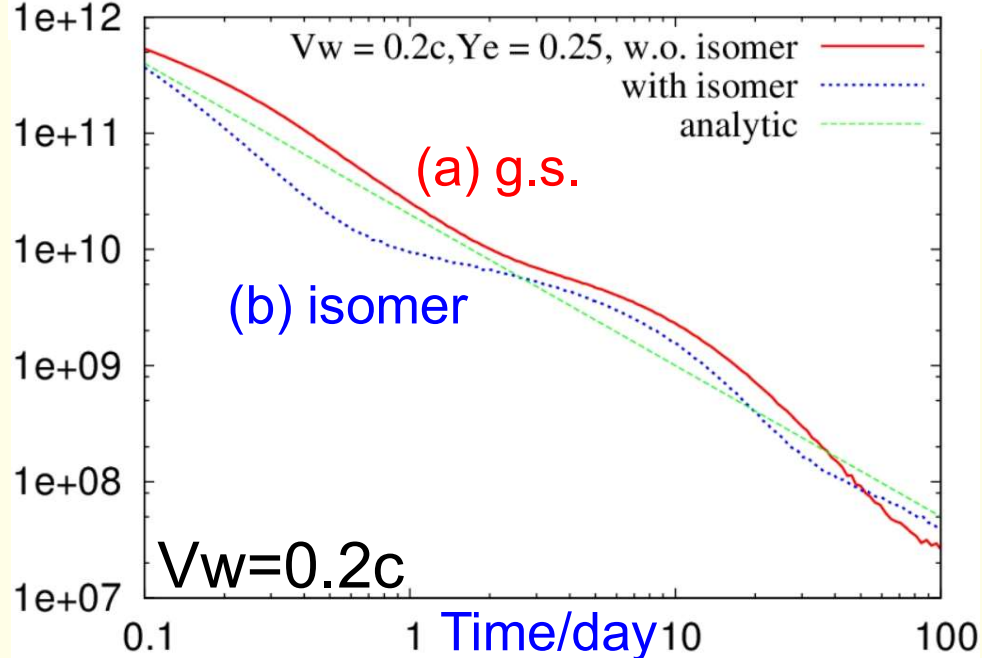
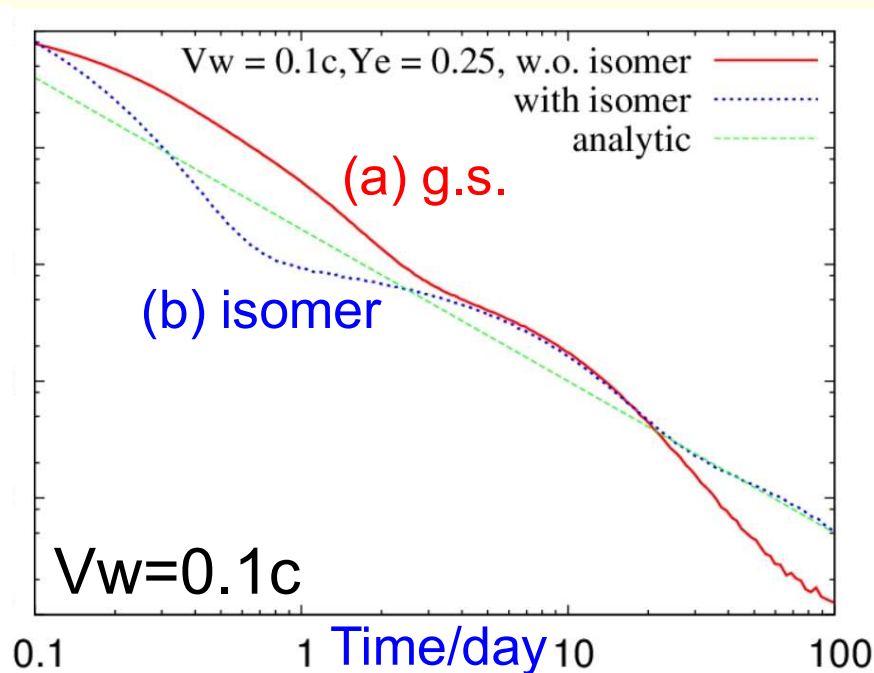
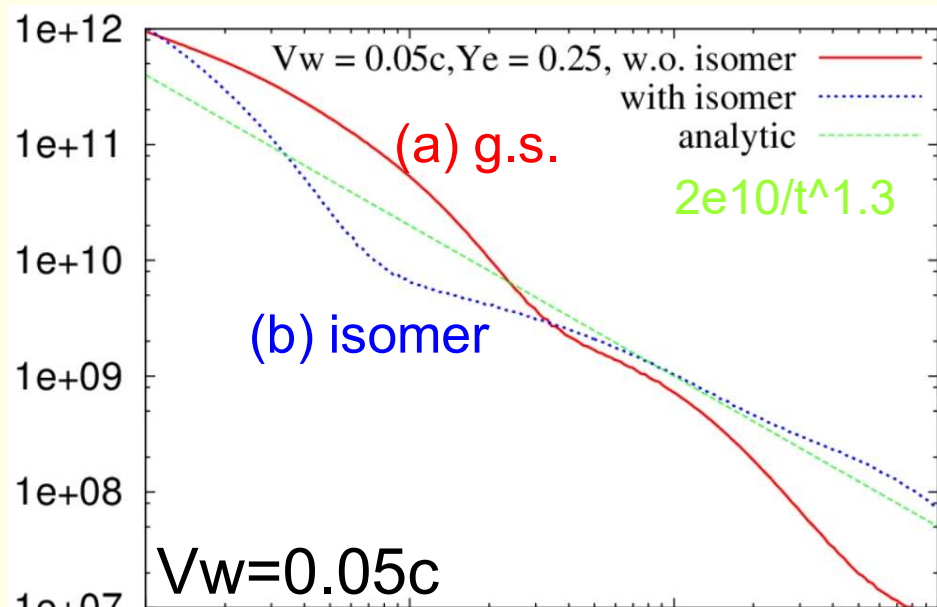
Energy generation rate(erg/g/s) $V_w=0.05c$, $Y_e = 0.2, 0.25, 0.3$



0.2 < Y_e < 0.3: important
Y_e ~ 0.25: significant

Energy generation rates: V_w dep.

Energy generation rate(erg/g/s) $Y_e=0.25$, $V_w/c = 0.05, 0.1, 0.2$



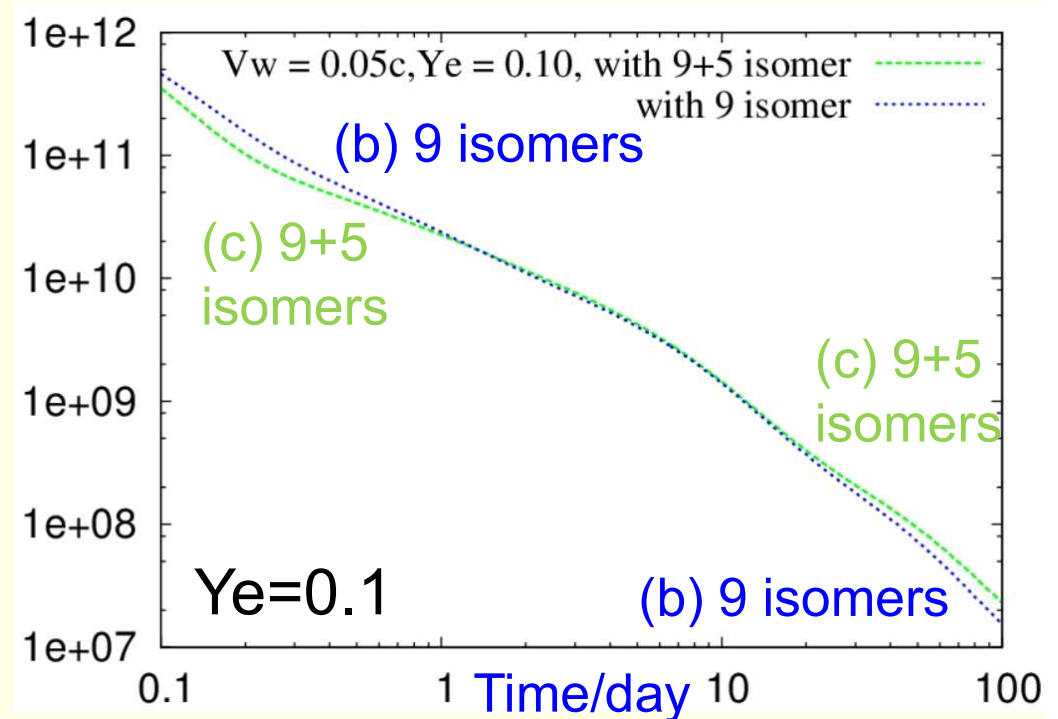
Slower ejecta: more important
due to higher T,
Faster reactions,
more abundant $^{128,129}\text{Sb}$

A<120,A>140の核のIsomerの影響

追加した5核種

Energy generation rate(erg/g/s)

Nuclei	Half life (ground state)	Half life (isomer)	Excitatio n energy (MeV)	分岐 比 (%)
106Rh	30.1s	<u>131m</u>	0.134	100
115Cd	<u>2.23d</u>	<u>44.6d</u>	0.181	100
177Lu	6.65h	<u>160d</u>	0.970	78.6
194Ir	<u>19.3h</u>	<u>171d</u>	0.15?	100
200Au	48.4m	<u>18.7h</u>	0.962	84



$s_0=10\text{kB}$, $M_w=0.03M_{\text{sun}}$, $V_w=0.05c$, $Y_e=0.1, 0.15, 0.2, 0.25, 0.3$ に対して

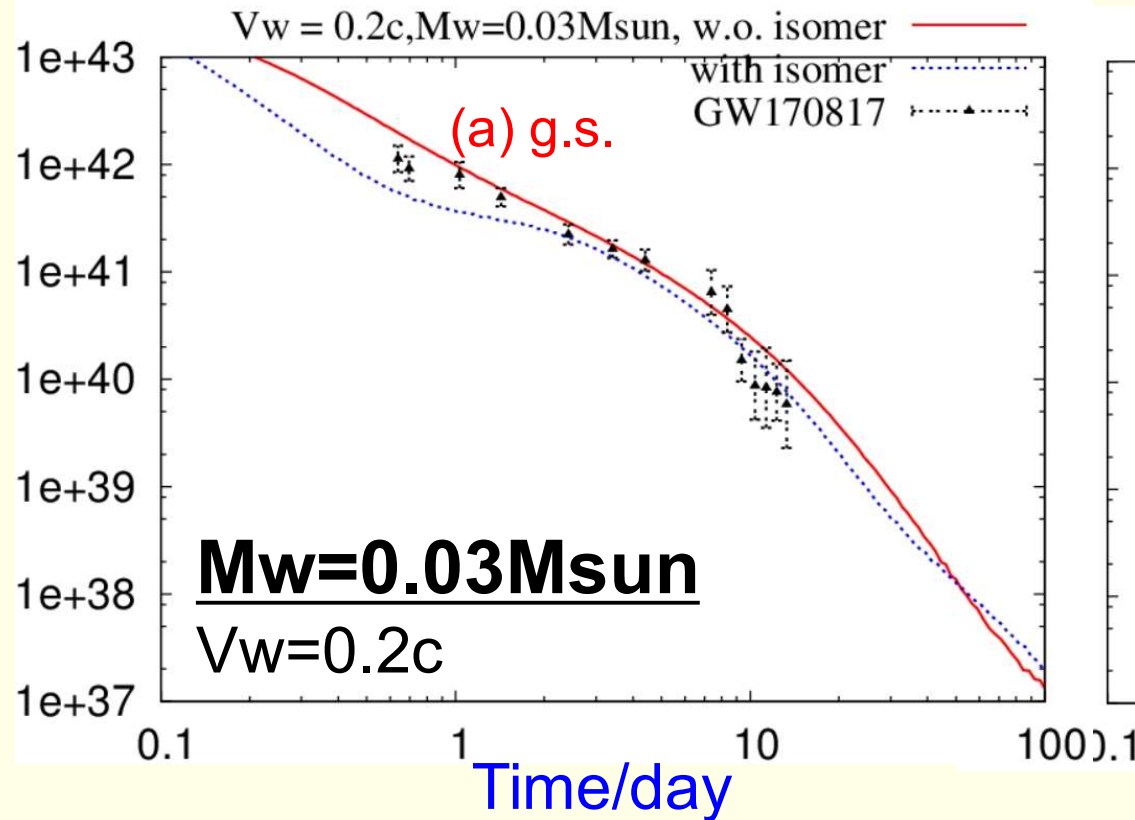
$Y_e=0.1$ の場合、115Cd($X\sim 1e-3$)のisomerの影響で
加熱率が若干変化

$Y_e\geq 0.15$ の場合、加熱率の変化は非常に小さい

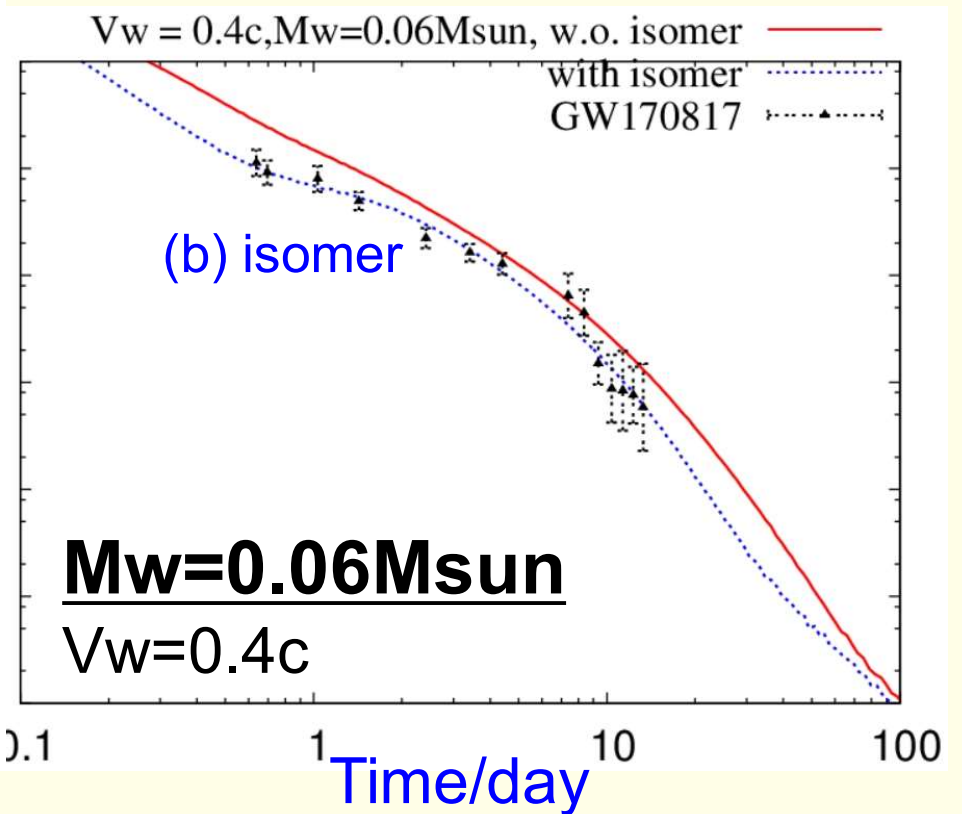
Impact on Estimate to Ejecta Mass

dQ/dt VS L_{bol} (GW170817)

Fitted with Ground state model



Fitted with Isomer model



Larger masses are required if isomers are included

$dQ/dt = M_w * \text{Energy generation rate} * \text{Thermalization factor (erg/s)}$

$s_0 = 10 \text{ kB}, Y_e = 0.25$

原子核データの影響

- 選んだ(9+5)核種の原子核は安定核近傍
 - 反応率などの不定性は比較的小さい
- これら14核種の生成量
 - 中性子過剰核の中性子捕獲反応などに強く依存
- $Y_e=0.1$ のときの ^{115}Cd
 - Fission Yieldの可能性が高い(確認中)
- 未知のisomer

Isomerの影響の原子核データ依存性は決して小さくない

Summary

14核種 (121Sn, 123Sn, 125Sn, 127Sn, 128Sb, 129Sb, 129Te, 131Te, 134I +106Rh, 115Cd, 177Lu, 194Ir, 200Au) の **isomer** を考慮して、組成進化とエネルギー生成率進化を計算し、isomerのKilonova光度曲線への影響を調査した。

結果

- 初期(<3日)のエネルギー生成率が減少し、Kilonova光度も減少
- GW170817のEarly Blue成分へ影響し、より速く、より多量の放出ガスが必要
- 主に $Y_e=0.2-0.3$ (特に $Y_e\sim 0.25$)の放出ガスに対して影響する
- 以上の結果は定量的には原子核データに依存する

今後

- GSとisomer間の遷移
- Isomerへの β 崩壊
- X線バーストへの影響