

L'astrophysique nucléaire

L'astrophysique nucléaire

Sommaire

- Introduction
- Un exemple d'études réalisées au GANIL
- Conclusion



Introduction

118 ELEMENTS CHIMIQUES CONNUS

H																	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	57-71	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	89-103	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Nh	Fl	Mc	Lv	Ts	Og

- Non-metal
- Noble gas
- Alkali metal
- Alkaline earth metal
- Transition metal
- Metalloid
- Metal
- Halogen



VPRO / CC BY-SA 3.0

Iouri Oganessian

Oganesson

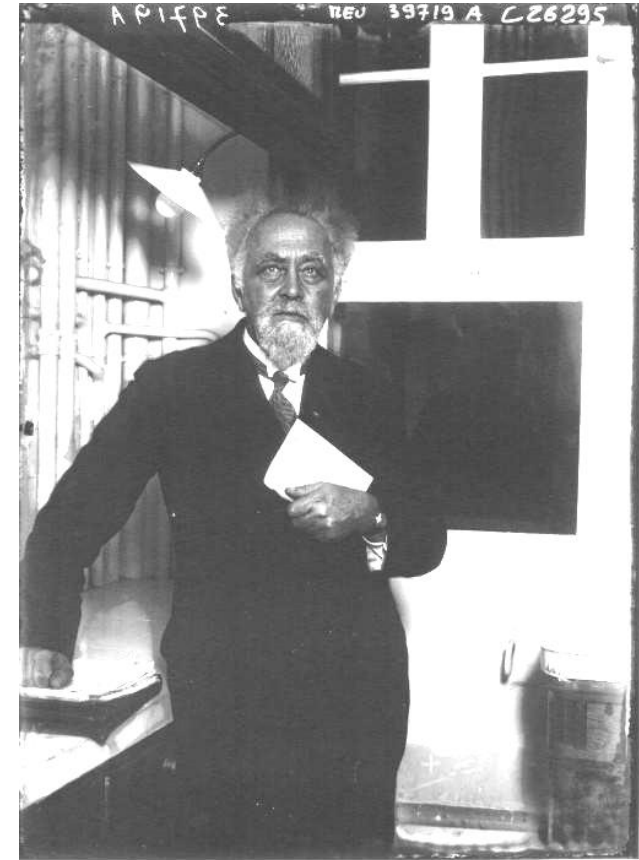
Lanthanides	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
Actinides	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

Introduction

1919: Jean Perrin propose, le premier, les réactions nucléaires pour expliquer l'énergie générée par le soleil

Il semble que nous pouvons lever la difficulté. Imaginons que les poussières minuscules ou les molécules isolées qui forment la nébuleuse primitive soient constituées par des atomes légers tels que ceux d'hydrogène, de nébularium ou d'hélium. En se heurtant les unes contre les autres avec les grandes vitesses qu'elles avaient peut-être déjà en venant du large, ou qu'elles prennent en tombant vers le centre de la nébuleuse, ces particules dégagent de la chaleur, et la température moyenne s'élève progressivement (1). Ainsi, d'une part, la nébuleuse se contractant, les conjonctions doivent devenir de plus en plus nombreuses entre atomes légers capables de se réunir en atomes lourds, et, d'autre part, la température s'élevant, l'intensité des radiations qui peuvent déterminer ces réunions va en croissant. Pour cette double raison, la formation d'atomes lourds devient notable, puis de plus en plus importante, s'accompagnant de rayons ultra X qui, pour la plus grande part, ne sortent pas de l'astre dont la température devient colossale : l'étoile s'est allumée.

H et ${}^4\text{He}$ = 99%
masse
baryonique de
l'Univers



Origine de la chaleur solaire
Annales de Physique, 1919
Tome XI

Introduction

Profs au **GANIL**

AUGUST 15, 1938

PHYSICAL REVIEW

VOLUME 54

The Formation of Deuterons by Proton Combination

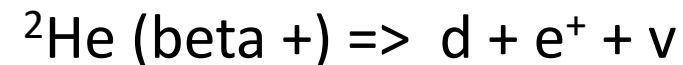
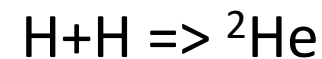
H. A. BETHE, *Cornell University, Ithaca, N. Y.*

AND

C. L. CRITCHFIELD, *George Washington University, Washington, D. C.*

(Received June 23, 1938)

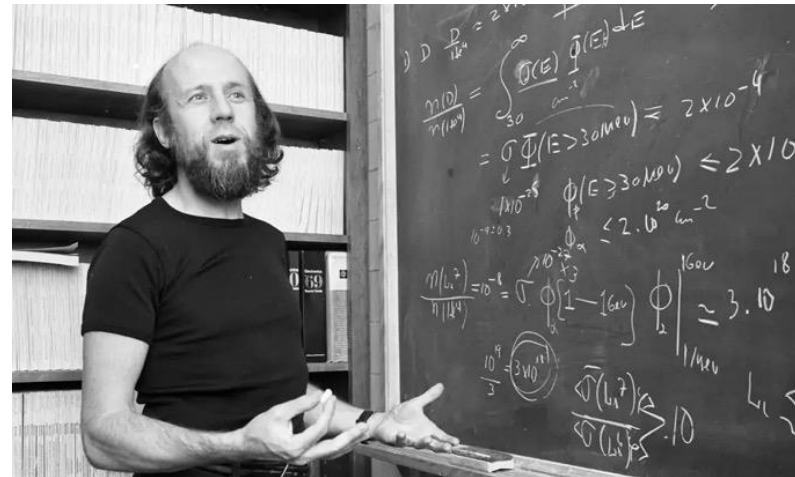
The probability of the astrophysically important reaction $H+H=D+\epsilon^+$ is calculated. For the probability of positron emission, Fermi's theory is used. The penetration of the protons through their mutual potential barrier, and the transition probability to the deuteron state, can be calculated exactly, using the known interaction between two protons. The energy evolution due to the reaction is about 2 ergs per gram per second under the conditions prevailing at the center of the sun (density 80, hydrogen content 35 percent by weight, temperature $2 \cdot 10^7$ degrees). This is almost but not quite sufficient to explain the observed average energy evolution of the sun (2 ergs/g sec.) because only a small part of the sun has high temperature and density. The reaction rate depends on the temperature approximately as $T^{3.5}$ for temperatures around $2 \cdot 10^7$ degrees.



Hans Bethe
(1906-2005)

Introduction

- Certains éléments légers (lithium, béryllium, bore) sont principalement produits par des **collisions (spallation)** entre noyaux atomiques.
- Il s'agit essentiellement de collisions entre des noyaux d'hydrogène et des noyaux de carbone et d'oxygène présents dans les nuages de gaz interstellaires.
- Particules accélérées = "rayons cosmiques".
- Elles proviennent de tout l'espace.

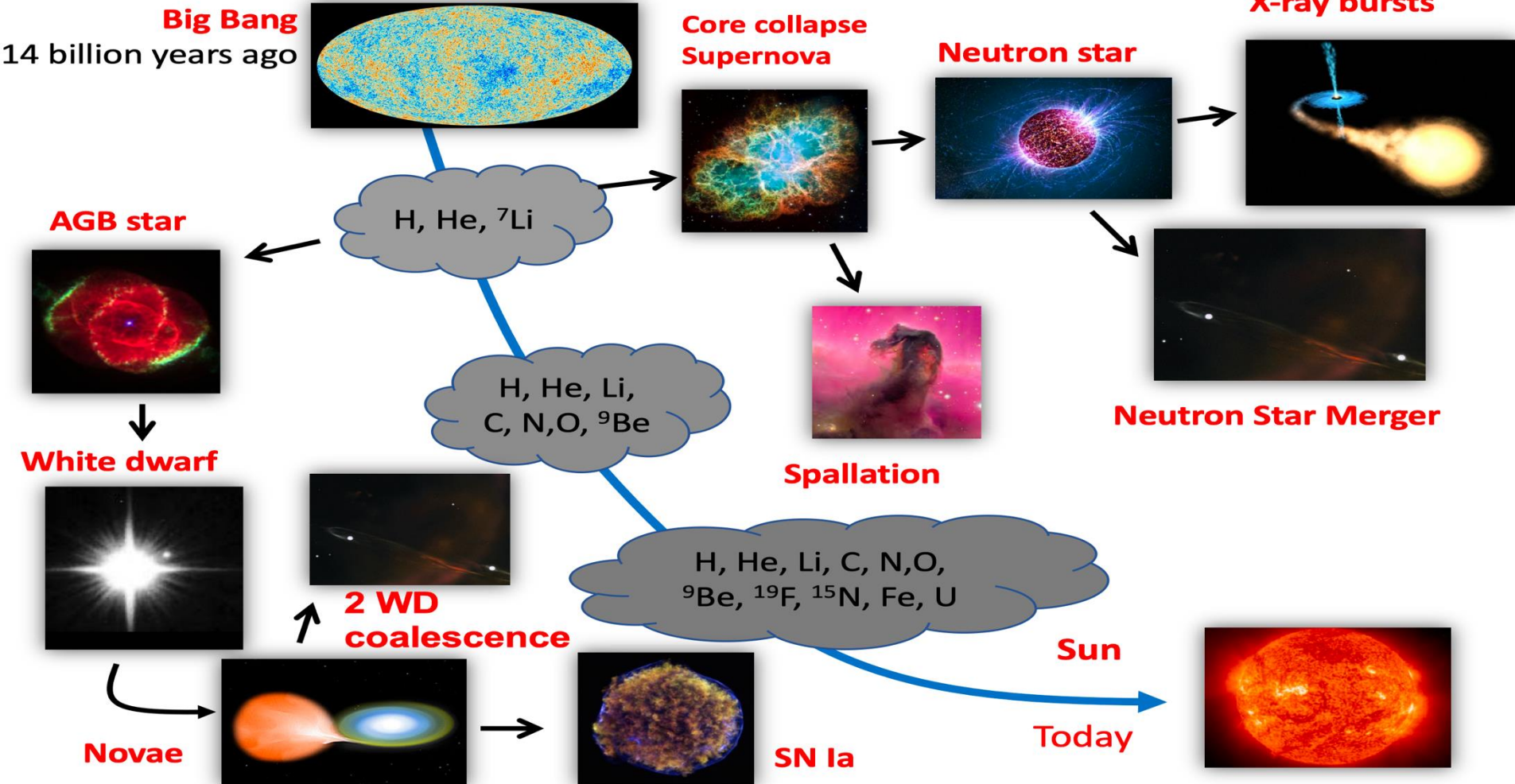


Hubert Reeves

PHOTO MICHEL GRAVEL, ARCHIVES LA PRESSE



Introduction

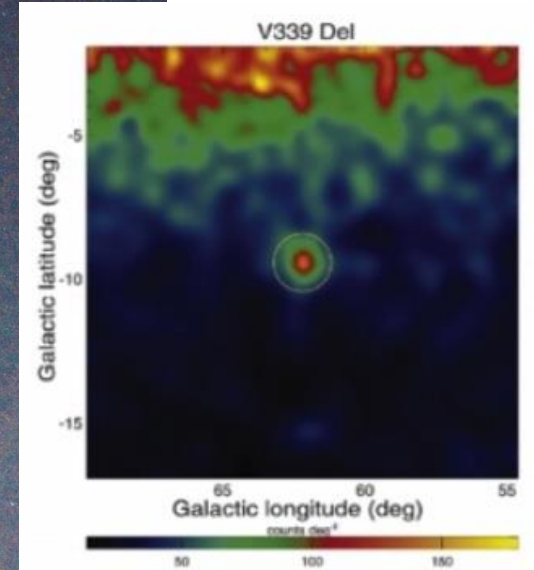
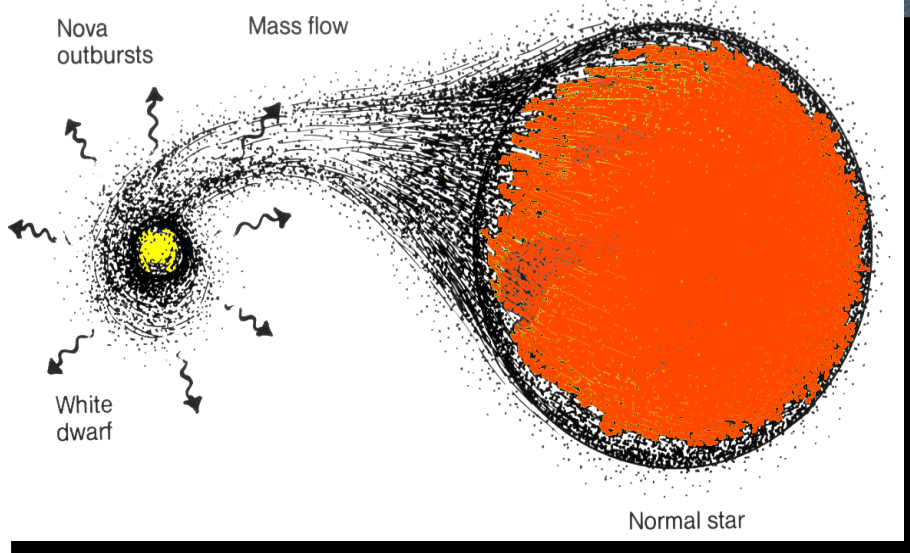


Nova et temps de vie nucléaire

Profs au **GANIL**



Thèse de Chloé Fougères (2022)

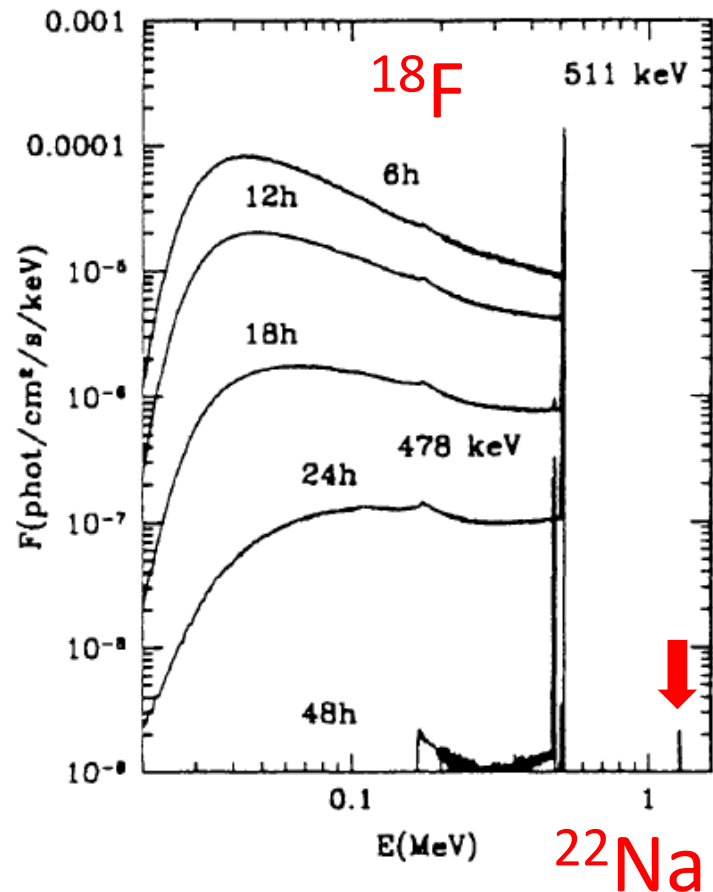


Fermi Establishes Classical Novae as a Distinct Class of Gamma-Ray Sources, The Fermi-LAT Collaboration, Science, 1er Août 2014

Nova et temps de vie nucléaire

Profs au **GANIL**

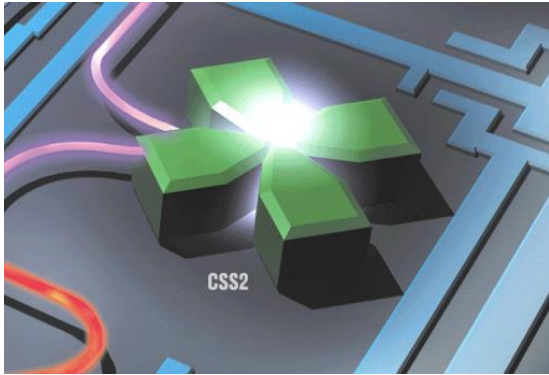
Rayonnements γ des novae



- ^{22}Na est radioactif, avec une durée de vie de 3,25 ans, il émet un rayonnement gamma à 1275 keV
- $^{22}\text{Na}(p,\gamma)^{23}\text{Mg}$ est une réaction qui détruit le ^{22}Na
- Le taux de la réaction dépend de la durée de vie d'un état excité nucléaire du ^{23}Mg

Nova et temps de vie nucléaire

Profs au **GANIL**



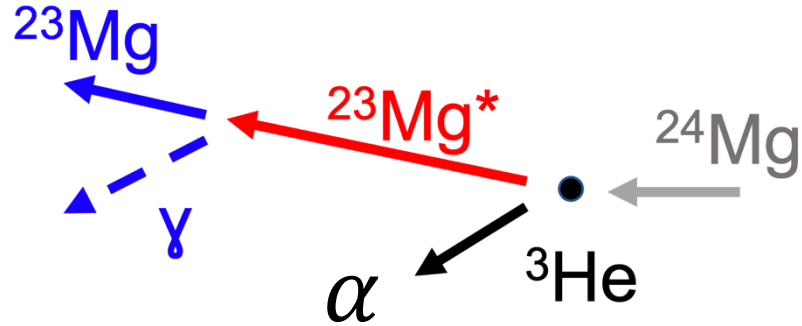
Spectromètre magnétique VAMOS++



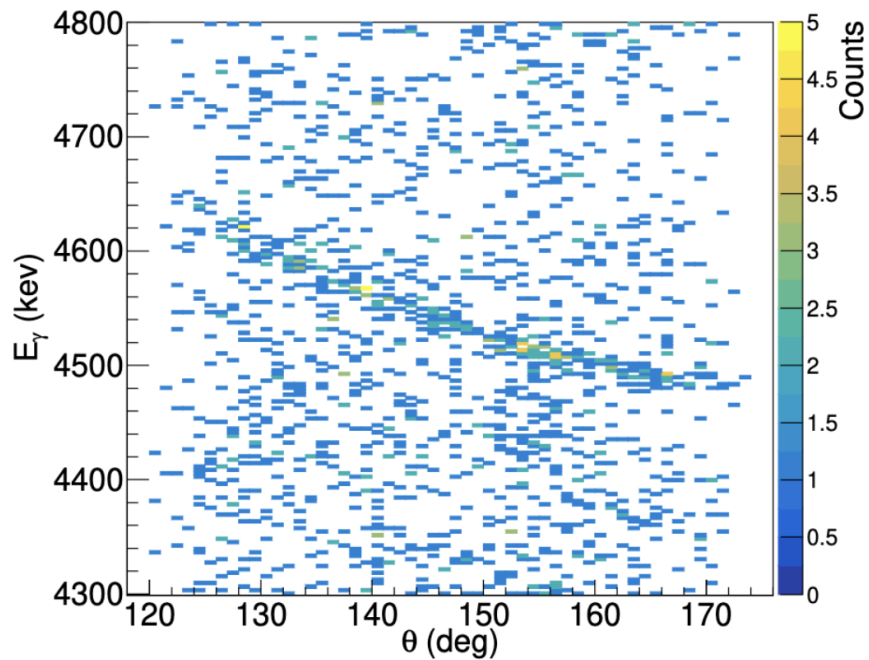
Nova et temps de vie nucléaire

Profs au **GANIL**

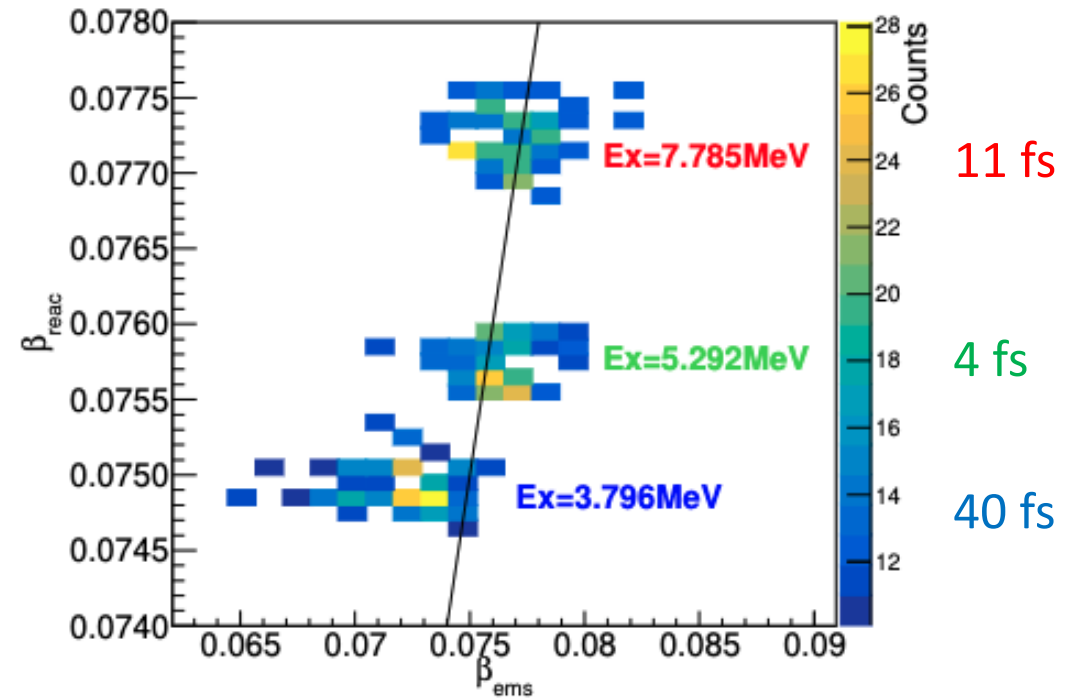
Décalage Doppler



$$\beta = \frac{R^2 \cos(\theta_{DS}) + \sqrt{1 + R^2 \cos(\theta_{DS})^2 - R^2}}{R^2 \cos(\theta_{DS})^2 + 1} \quad R = \frac{E_\gamma}{E_{\gamma,0}}$$



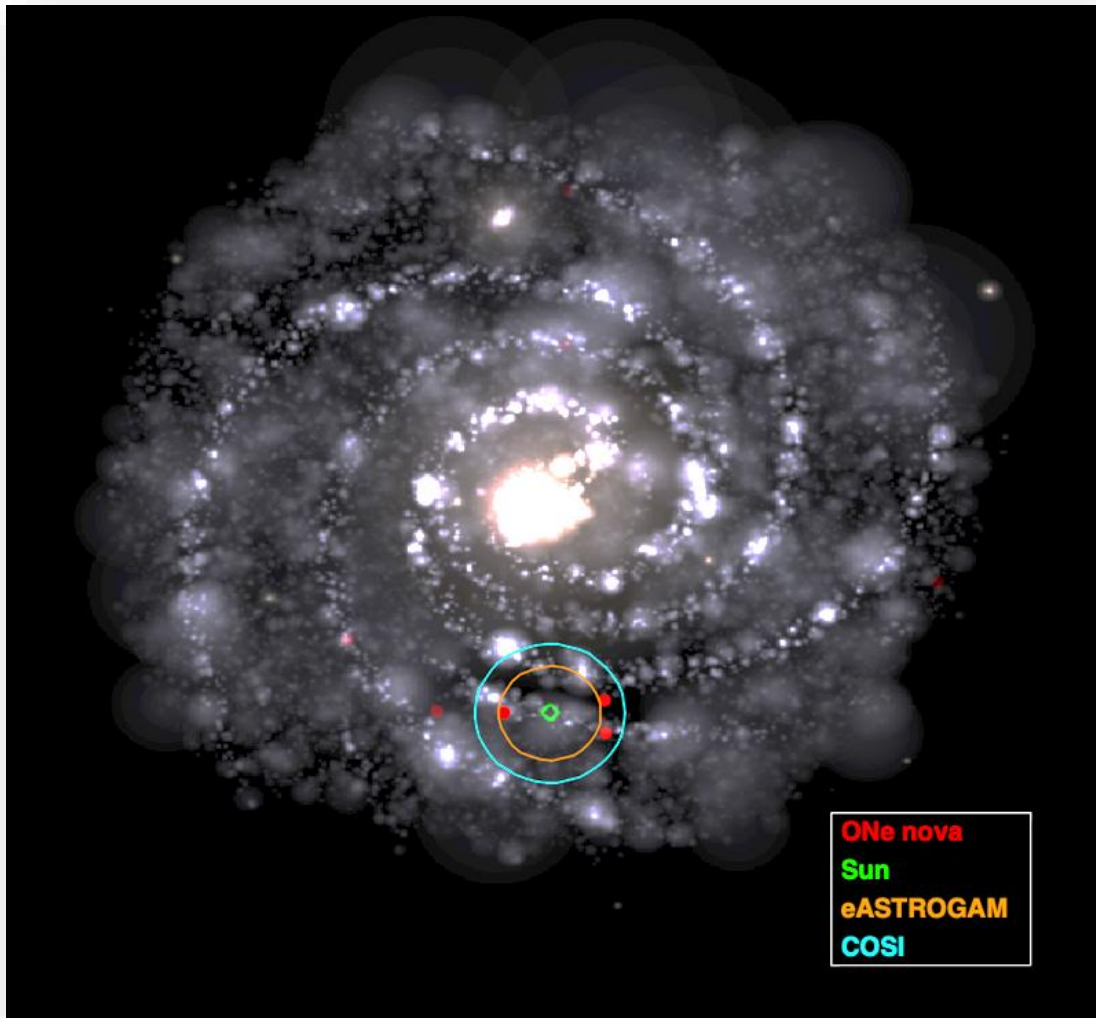
Vitesse au moment de la réaction



Vitesse au moment de l'émission γ

Nova et temps de vie nucléaire

Profs au **GANIL**

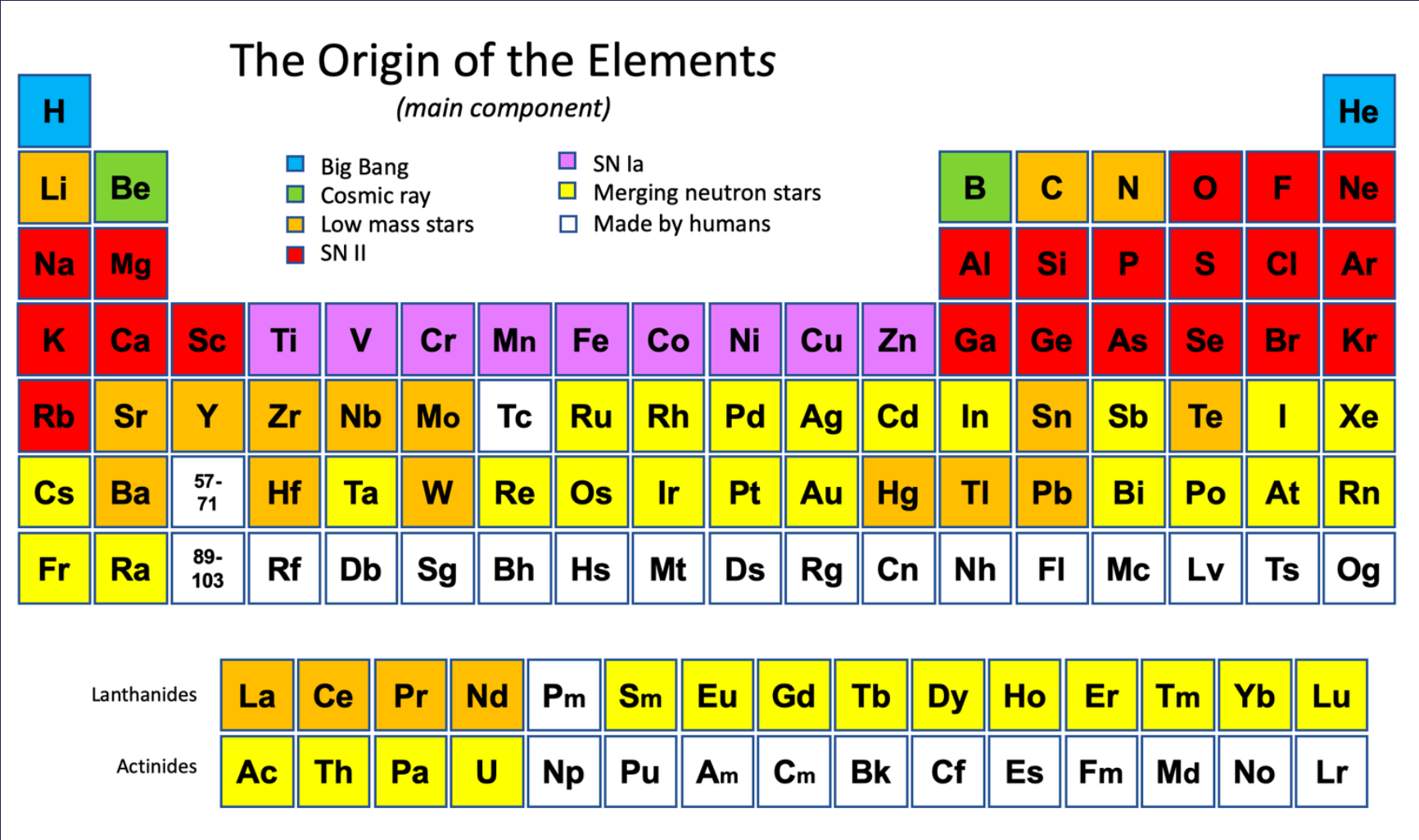


Distance maximale de détection
= 4 kpc (COSI)

1 observation / 20 ans

C. Fougères et al Nature Com. 2023

Conclusion



Profs au GANIL

Merci pour votre attention

