

# Nuclear Astrophysics @ n\_TOF, CERN



**Tagliente Giuseppe**

*Istituto Nazionale Fisica Nucleare, Sez. di Bari  
(on behalf of the n\_TOF collaboration)*



**International School of Nuclear Physics  
36<sup>th</sup> Course:  
Nuclei in the laboratory and in the cosmos**

# The n\_TOF Collaboration

(~100 Researchers from 30 Institutes)

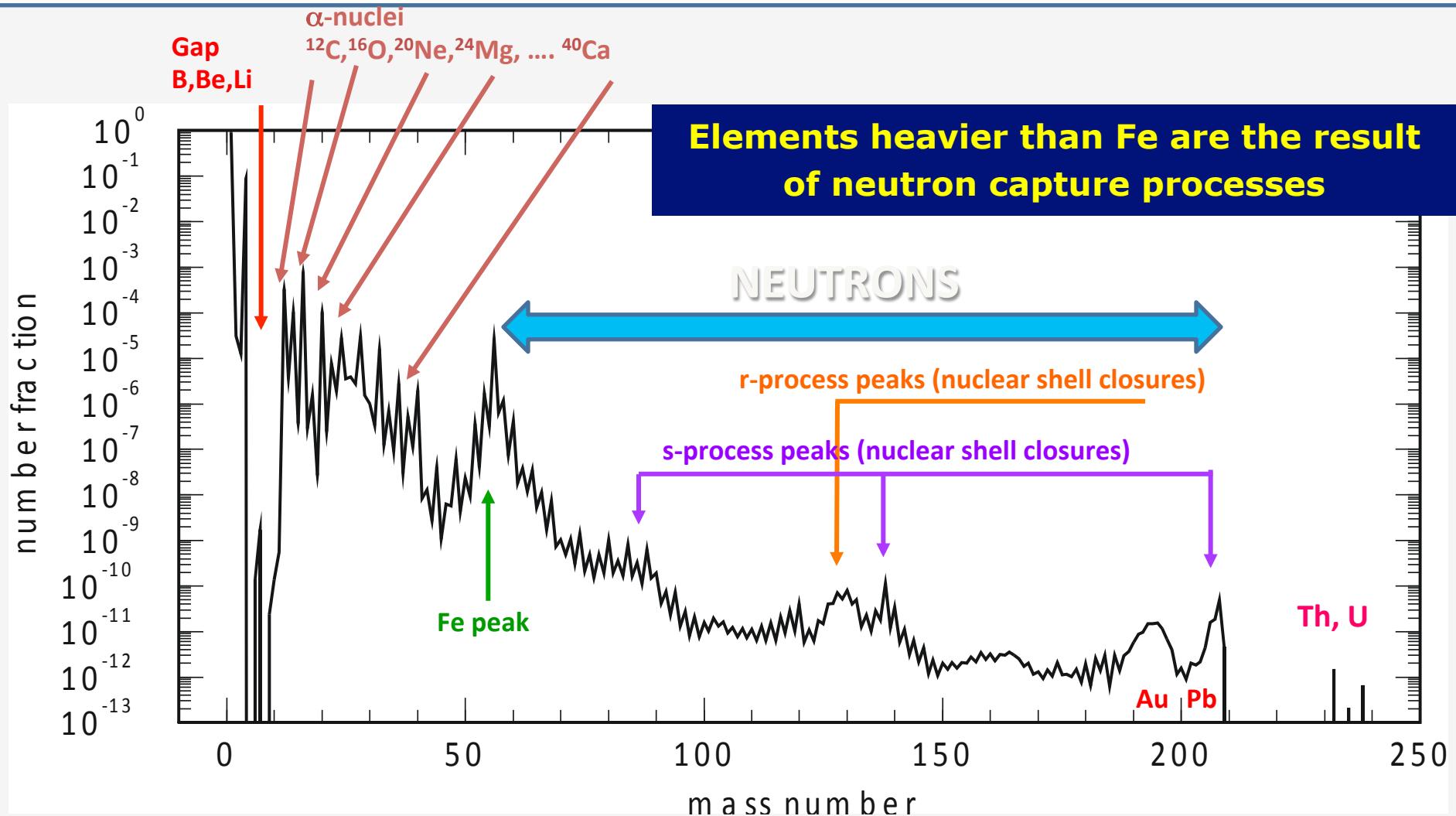
## CERN

Technische Universitat Wien	Austria
IRMM EC-Joint Research Center, Geel	Belgium
Charles Univ. (Prague)	Czech Republic
IN2P3-Orsay, CEA-Saclay	France
KIT – Karlsruhe, Goethe University, Frankfurt	Germany
Univ. of Athens, Ioannina, Demokritos	Greece
INFN Bari, Bologna, LNL, LNS, Trieste, ENEA – Bologna	Italy
Univ. of Tokio	Japan
Univ. of Lodz	Poland
ITN Lisbon	Portugal
IFIN – Bucarest	Rumania
CIEMAT, Univ. of Valencia, Santiago de Compostela, University of Cataluna, Sevilla	Spain
University of Basel, PSI	Switzerland
Univ. of Manchester, Univ. of York	UK

# n\_TOF Scientific Motivations

- Neutron cross sections relevant for Nuclear Astrophysics
- Measurements of neutron cross sections relevant for Nuclear Waste Transmutation and related Nuclear Technologies (ADS)
- Neutrons as probes for fundamental Nuclear Physics

# Abundances beyond Fe–ashes of stellar burning



# Nucleosynthesis

**s-process** lifetime  $10^4$  years  $n_n \approx 10^8$  neutron/cm $^3$

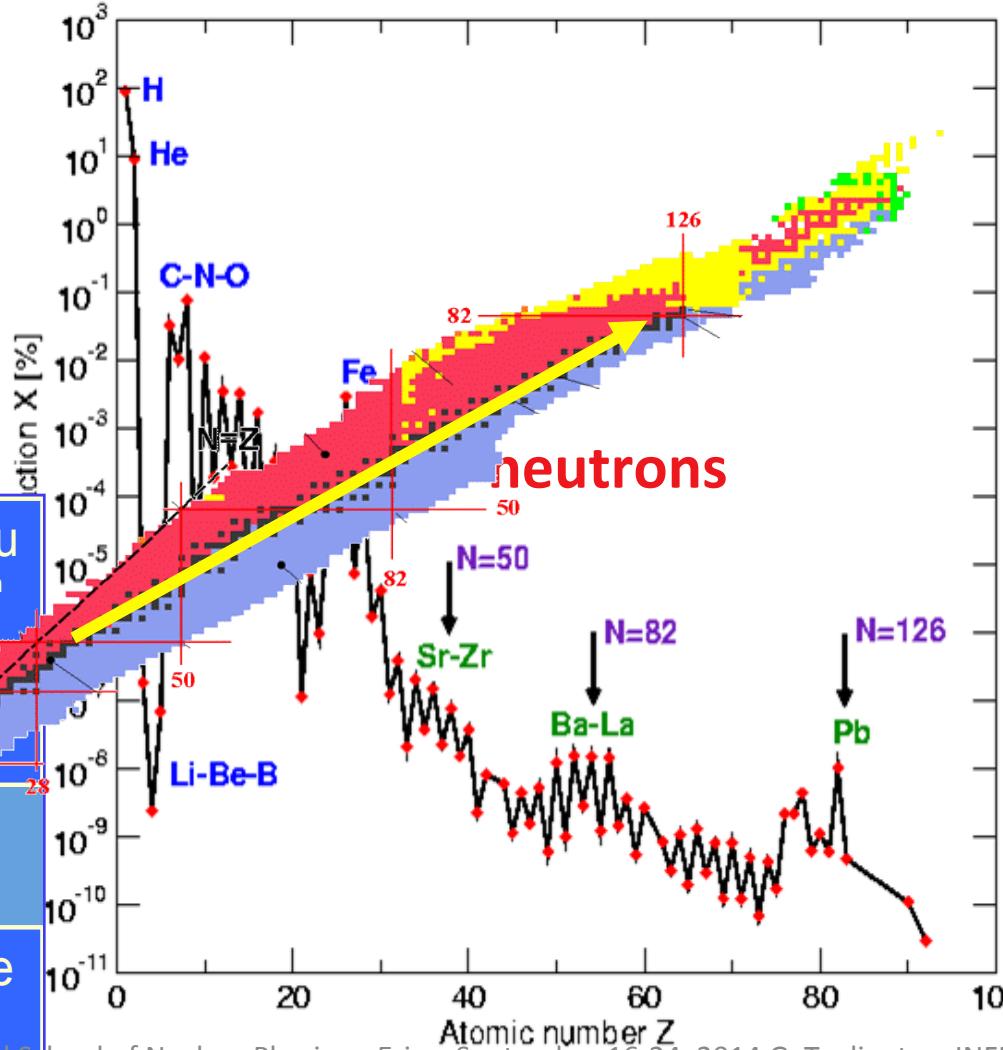
**r-process** lifetime  $\mu\text{s}$   $n_n \approx 10^{22}$  neutron/cm $^3$

**$\beta$ -decay** lifetime: few hours to some months

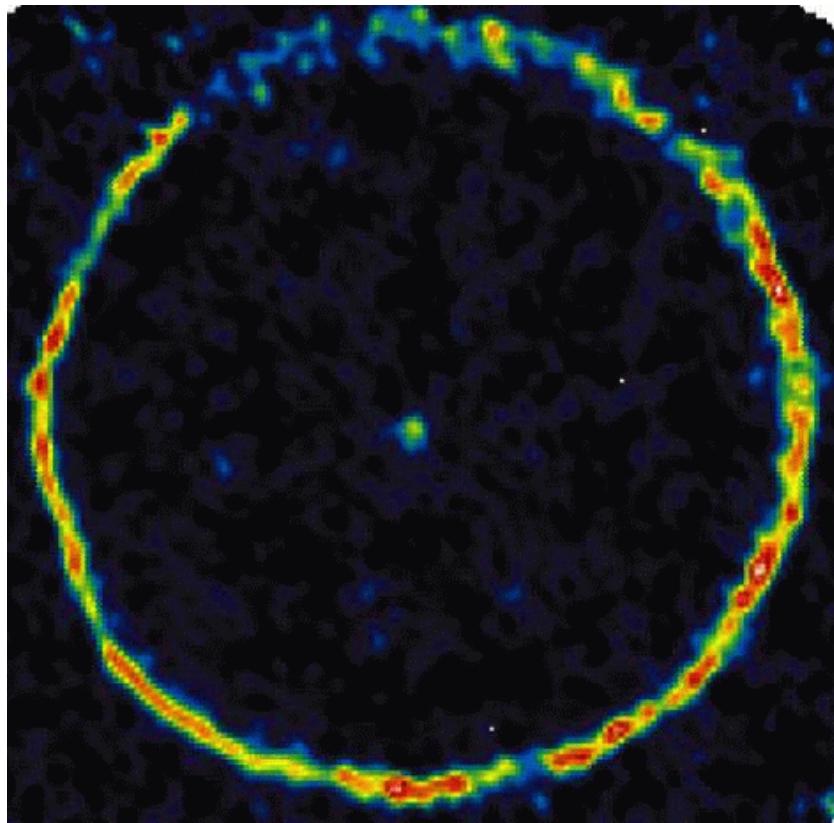
## The canonical s-process

Cu						
Ni		$60\text{Ni}$ 26.233	$61\text{Ni}$ 1.140	$62\text{Ni}$ 3.634	$63\text{Ni}$ 20.35	$64\text{Ni}$ 28
Co		$58\text{Co}$ 70.86 d	$59\text{Co}$ 100	$60\text{Co}$ 5.272 a	$61\text{Co}$ 1.65 h	$62\text{Co}$ 20
Fe	$56\text{Fe}$ 91.72	$57\text{Fe}$ 2.2	$58\text{Fe}$ 0.28	$59\text{Fe}$ 44.503 d	$60\text{Fe}$ $1.5 \cdot 10^6$ a	$61\text{Fe}$ 6 m

Solar system elemental abundances

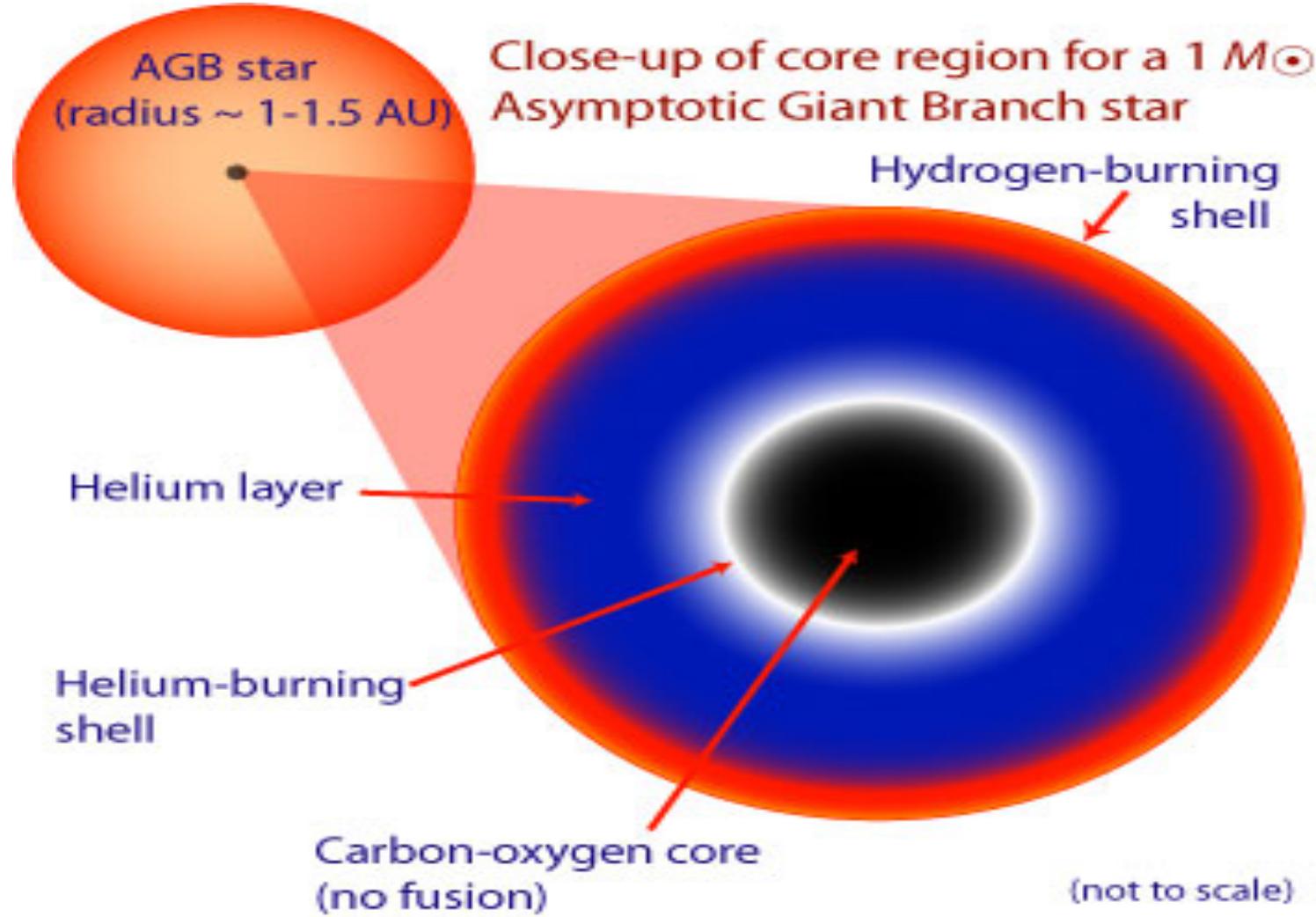


# Asymptotic Giant Branch (AGB)



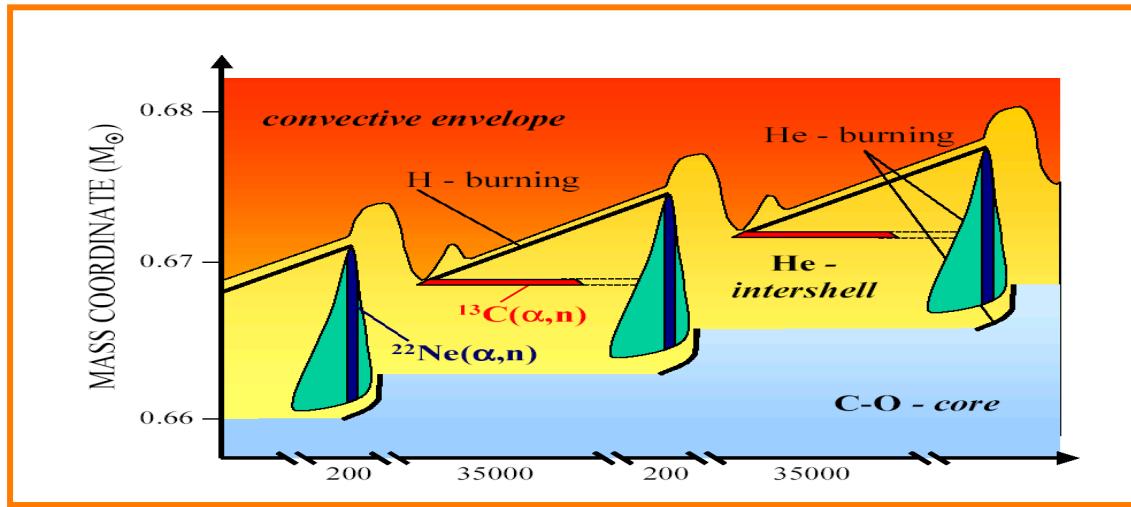
False-color picture of CO molecules tracing material around the AGB star TT-Cygni

# Asymptotic Giant Branch (AGB)



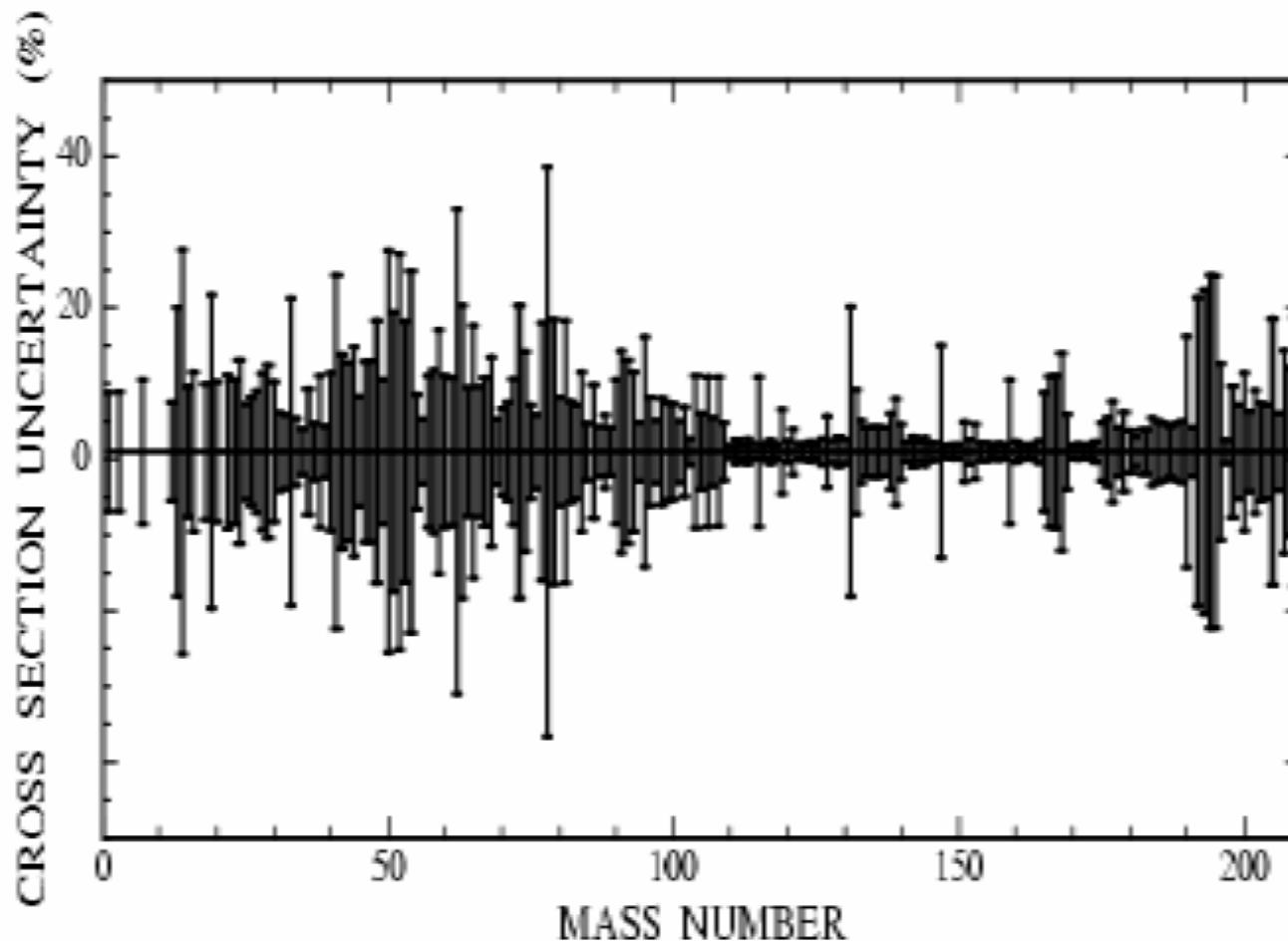
# Neutron sources in AGB stars

- $^{13}\text{C}(\alpha, \text{n})^{16}\text{O}$      $T \sim 10^8 \text{ K}$     $N_n < 10^7 \text{ neutron/cm}^3$



- $^{22}\text{Ne}(\alpha, \text{n})^{25}\text{Mg}$   $T > 3.5 \cdot 10^8 \text{ K}$     $N_n \sim 10^{10} \text{--} 10^{12} \text{ neutron/cm}^3$

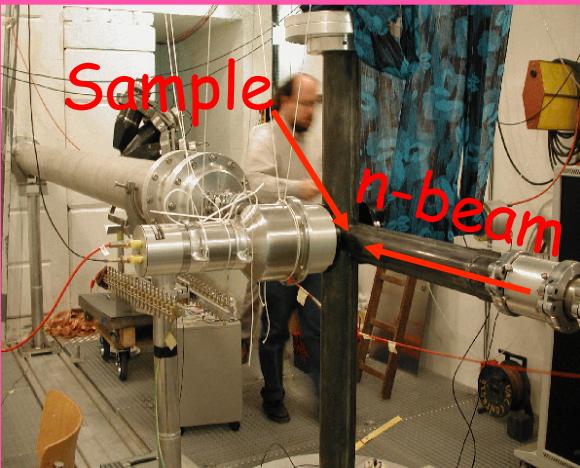
# n TOF Goal



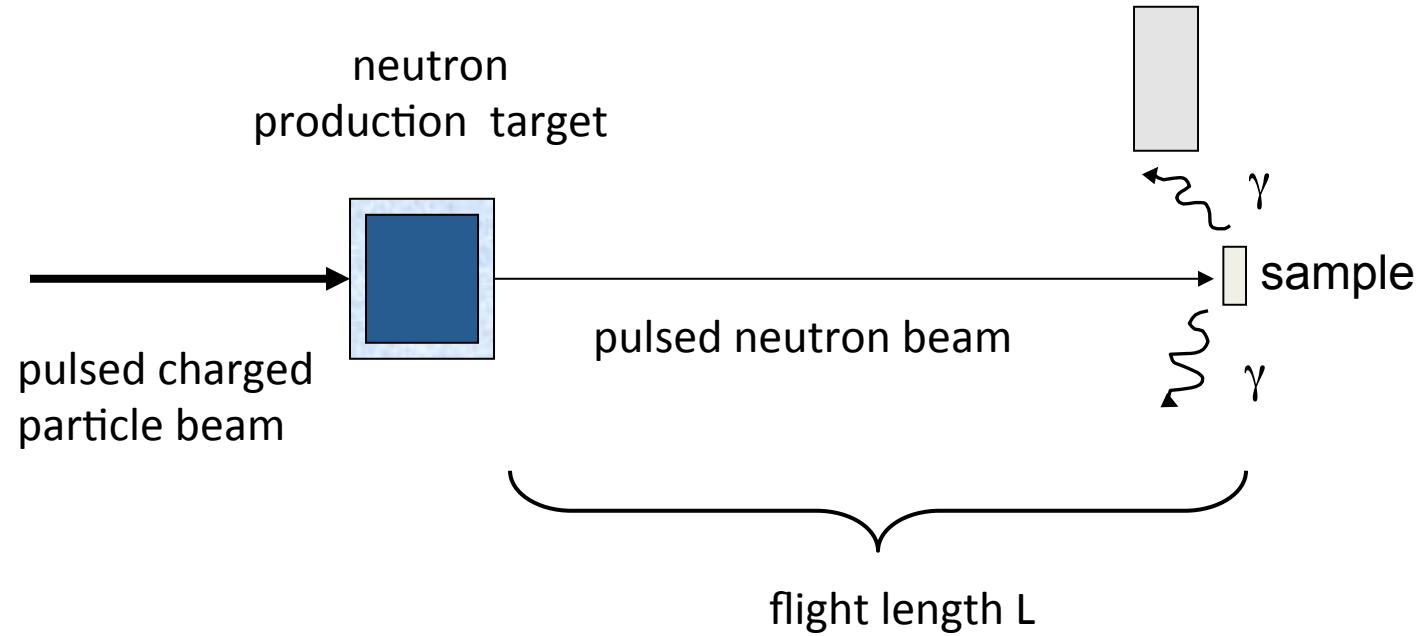
\*\*\* cross section uncertainties <5%

\*\*\* safe control of systematic uncertainties

# n\_TOF Facility

n_TOF features		Use
	broad neutron energy range	proton beam, neutron capture, s-process studies
	n_TOF 200m	intensity (dedicated capture mode)
	high instantaneous flux	grappling hook feed enriched samples) pulse width
	Proton Beam 20 GeV/c $7 \times 10^{12}$ ppp	radioactive samples (low intrinsic ground state density target dimensions 80x80x60 cm <sup>3</sup> )
		balance dominated cross sections H <sub>2</sub> O
		material
		rate cross section measurements
		target thickness in 5 cm
		the exit face capture
		50 MeV
		PS/20GeV
		©2006 Google - Imagenes ©2006 DigitalGlobe - Terminos de uso

# The time-of-flight technique

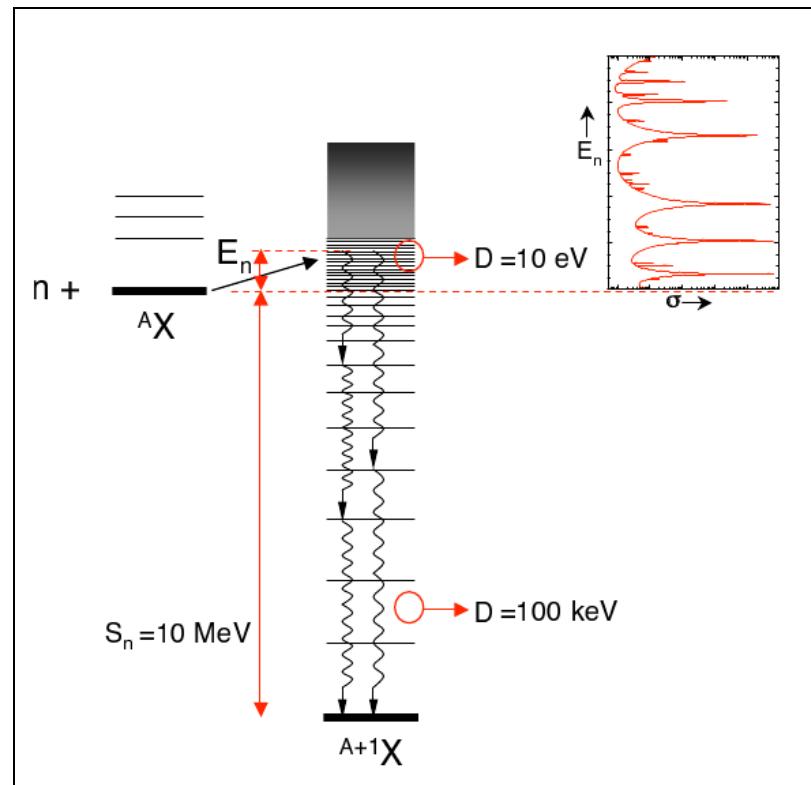


$$tof = t_{\text{reaction}} - t_{\text{production}} \longrightarrow v = L / tof$$

$$E_n = mc^2(\gamma - 1) \quad \text{with} \quad \gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

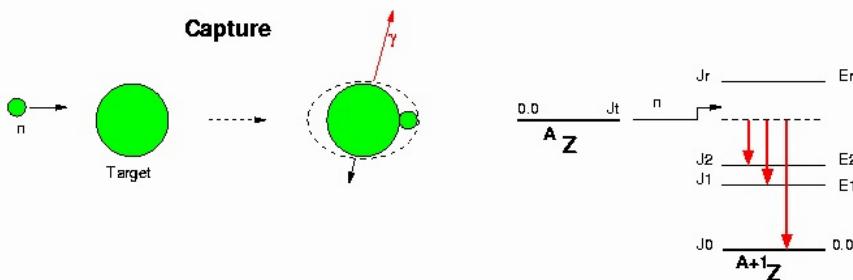
# The time-of-flight technique

- Excitation Energy:  $E_c = \sum E_\gamma = E_n + S_n$

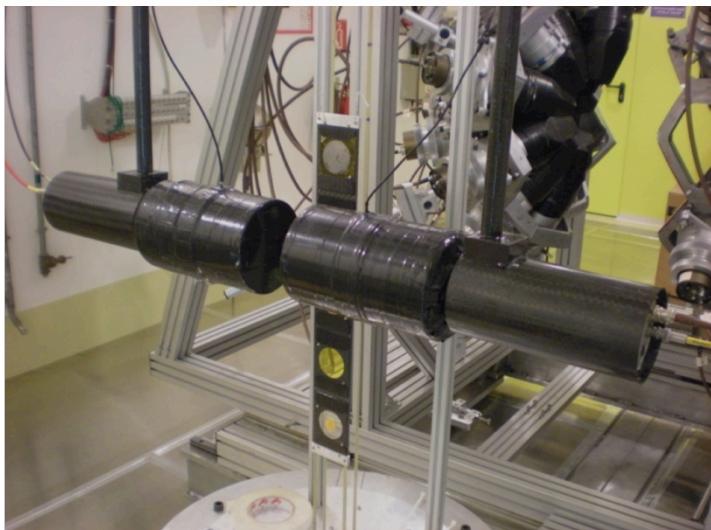


- **detection of full  $\gamma$  cascade**  
 $\epsilon_c \sim 100 \%$   
4π detector array
- **detection of single  $\gamma$ 's**  
e.g. apply pulse height weighting technique:  
pulse height dependent weight on signals to achieve
$$\epsilon_\gamma = k * E_\gamma$$
so that:  $\epsilon_c = k * (E_n + S_n)$

# Detectors for capture reactions

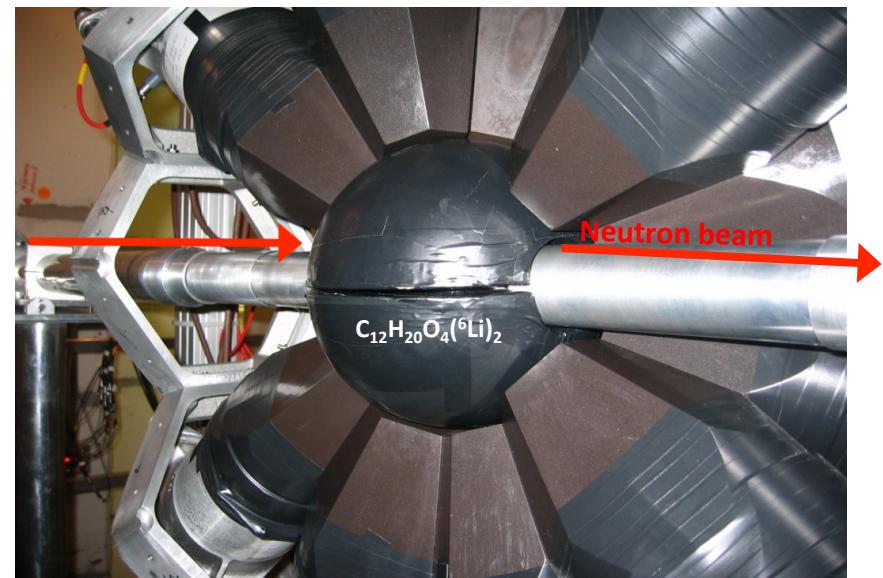


Capture reactions are measured by detecting  $\gamma$ -rays emitted in the de-excitation process. At  $n_{TOF}$ , two detection systems are used, for different purposes.



**$C_6D_6$  (deuterated liquid scintillators)**

- low neutron sensitivity device
- used for low cross-section samples



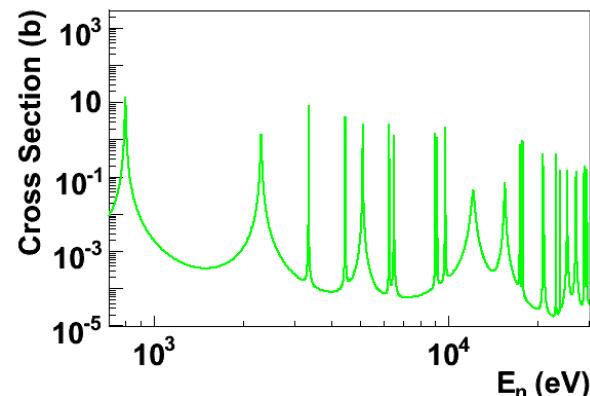
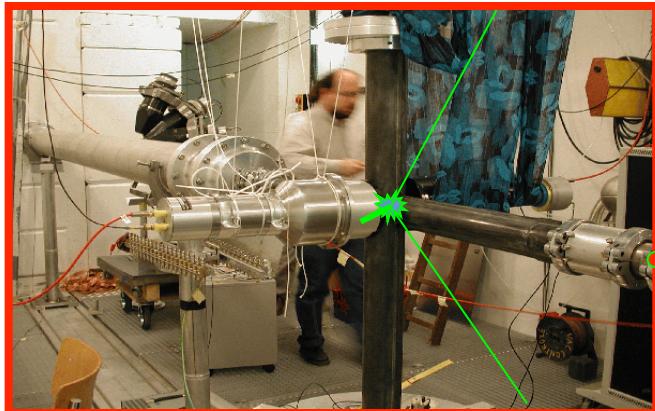
## Total Absorption Calorimeter (TAC)

- High-efficiency  $4\pi$  detector ( $40$   $BaF_2$  scintillators with neutron shielding)
- mostly used for fissile isotopes (actinides)

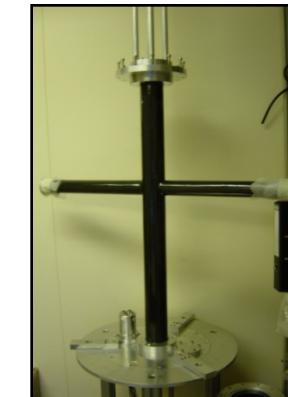
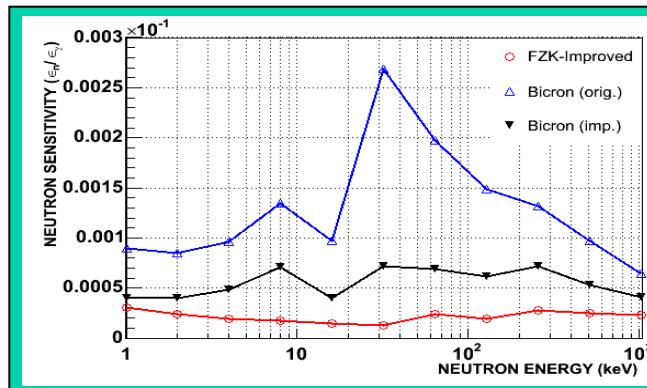
# (n, $\gamma$ ) Total energy detection @ n\_TOF

Improvements in the Experimental Setup & Data Analysis

- Lowest neutron sensitivity  $\rightarrow$  No neutron background corrections !



(n, $\gamma$ )

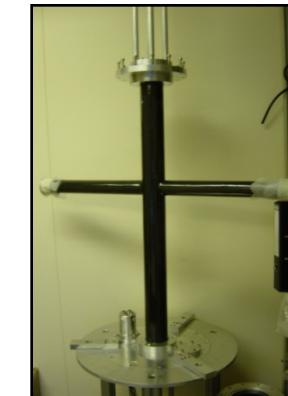
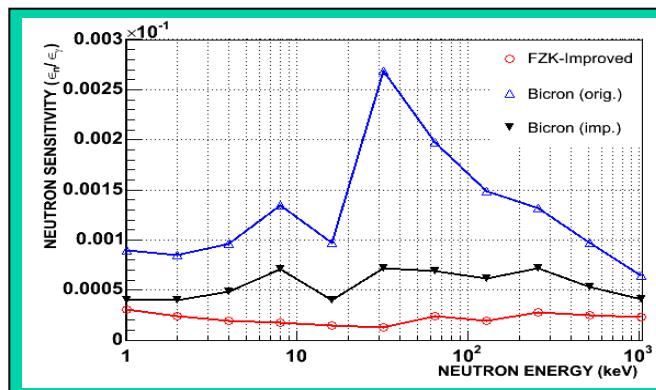
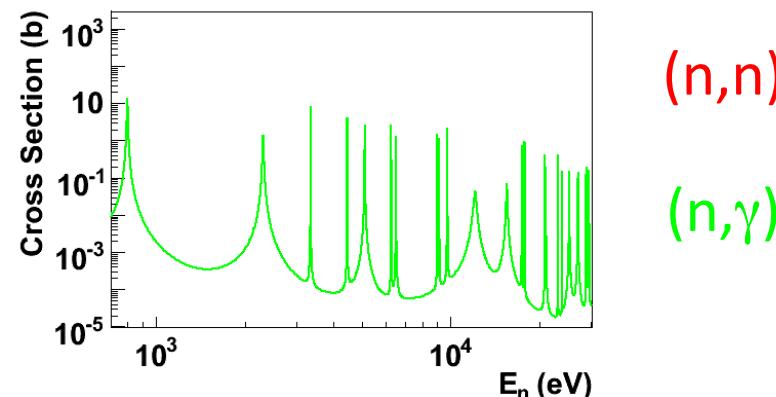
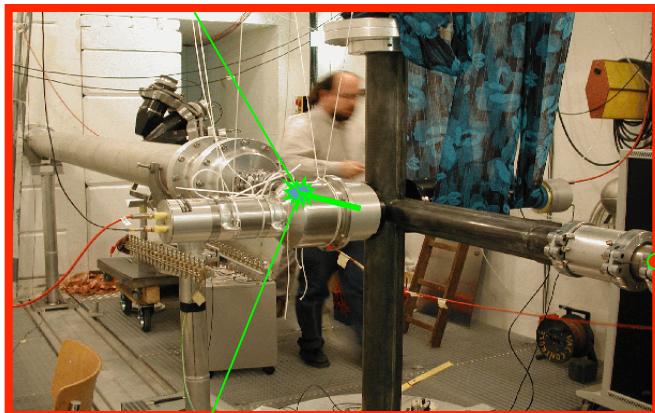


R. Plag et al., Nucl. Instr. & Methods A, 496 (2003) 425

# (n, $\gamma$ ) Total energy detection @ n\_TOF

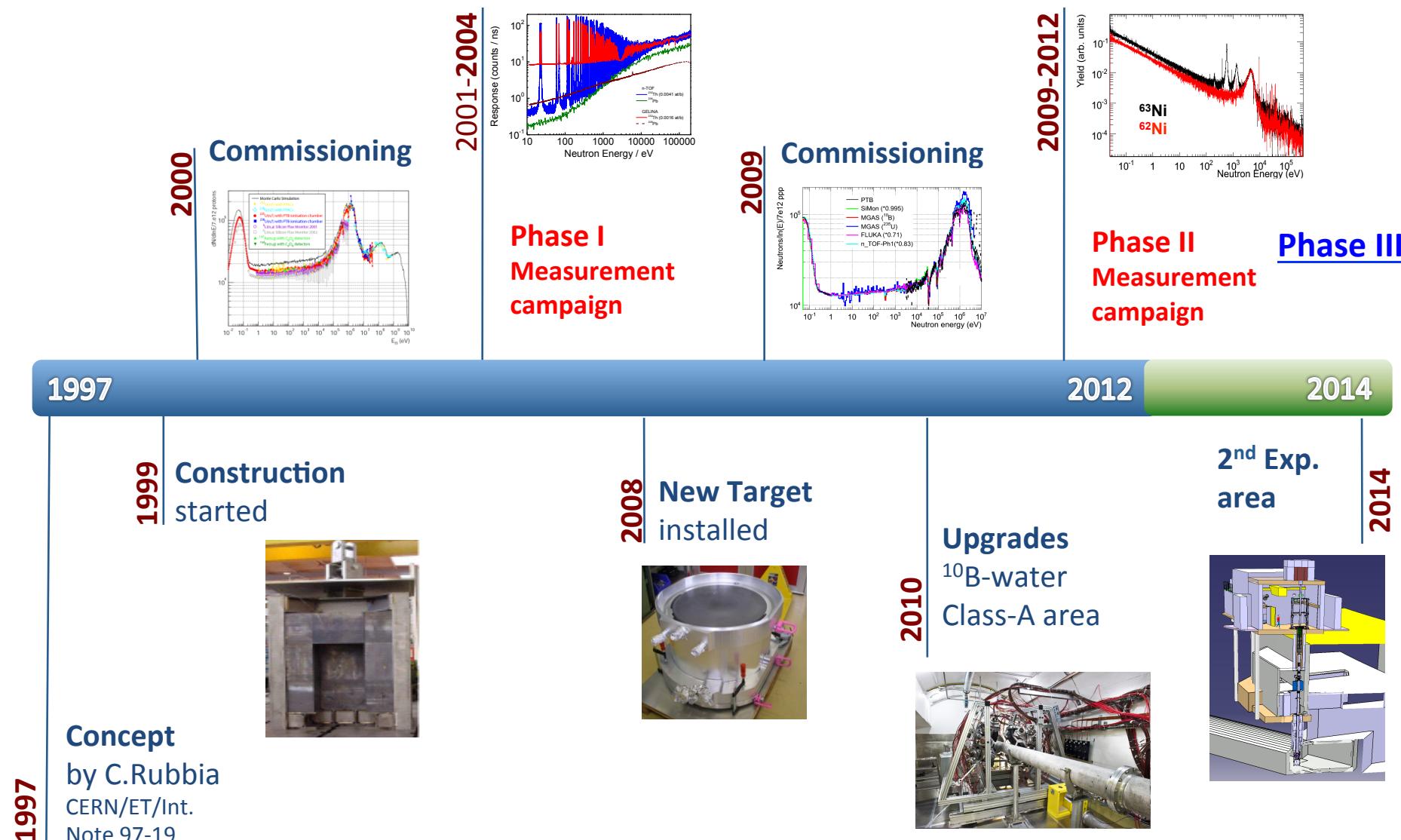
## Improvements in the Experimental Setup & Data Analysis

- Lowest neutron sensitivity  $\rightarrow$  No neutron background corrections !



- n\_TOF: first facility with a neutron sensitivity optimized below measurable levels.
- All the (n, $\gamma$ ) measurements with C<sub>6</sub>D<sub>6</sub> (since start in 2002) were made with this improved setup.

# n\_TOF Time line



# The experimental activity at n\_TOF: Ph I

- Cross sections relevant in Nuclear Astrophysics
  - s-process: branchings
  - abundancies in presolar grains
  - Magic nuclei
  - Isotopes of particular interest

$^{151}\text{Sm}$

$^{204,206,207,208}\text{Pb}, ^{209}\text{Bi}$

$^{24,25,26}\text{Mg}$

$^{90,91,92,94,96}\text{Zr}, ^{93}\text{Zr}$

$^{139}\text{La}$

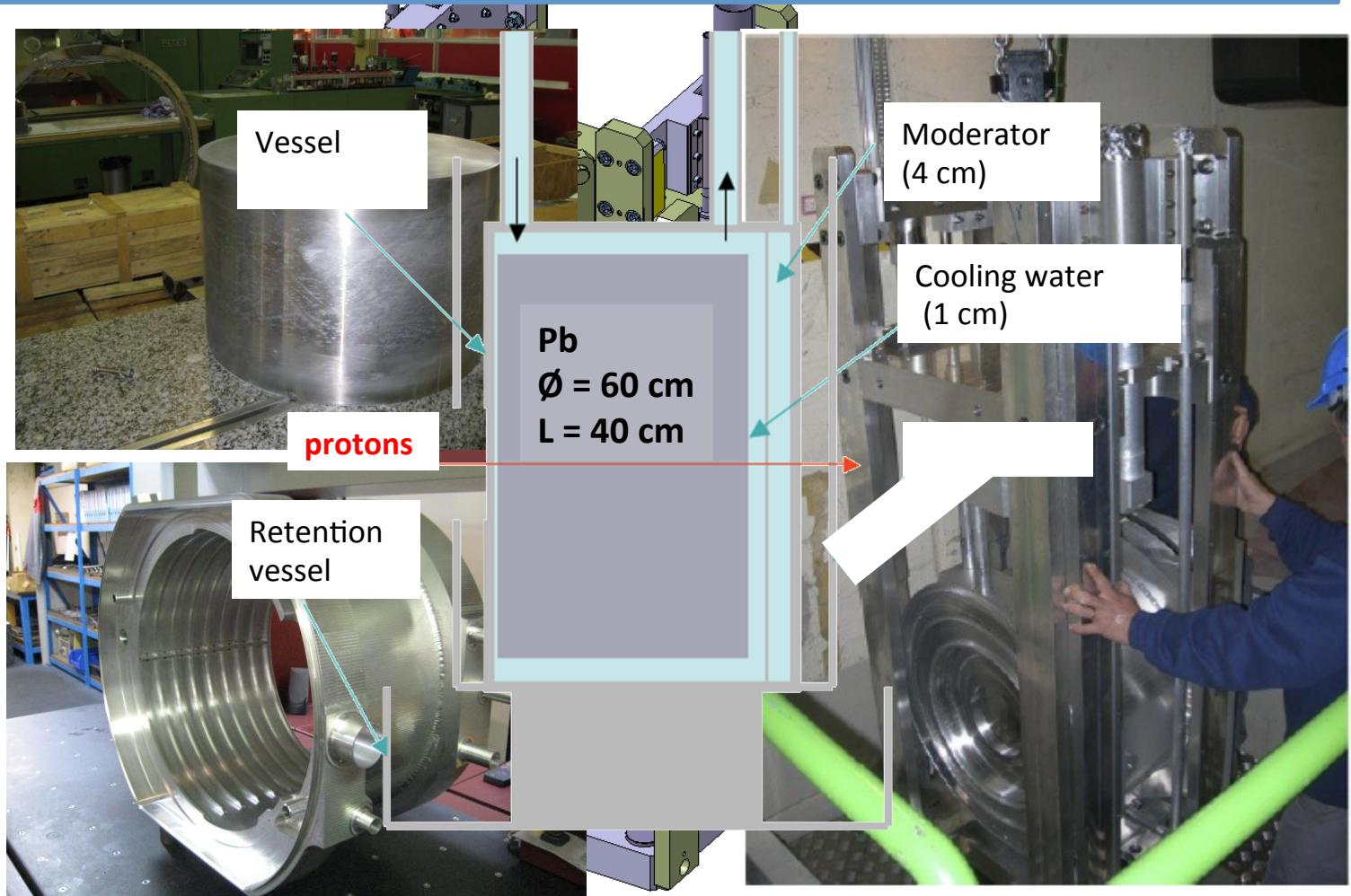
$^{186,187,188}\text{Os}$

- In the period 2002-2004 measured long-needed **capture and fission** cross-sections for **36 isotopes**, 18 of which radioactive.
- The unprecedented combination of **excellent resolution, unique brightness** and **low background** has allowed to collect **high-accuracy data**, in some cases for the **first time ever**.

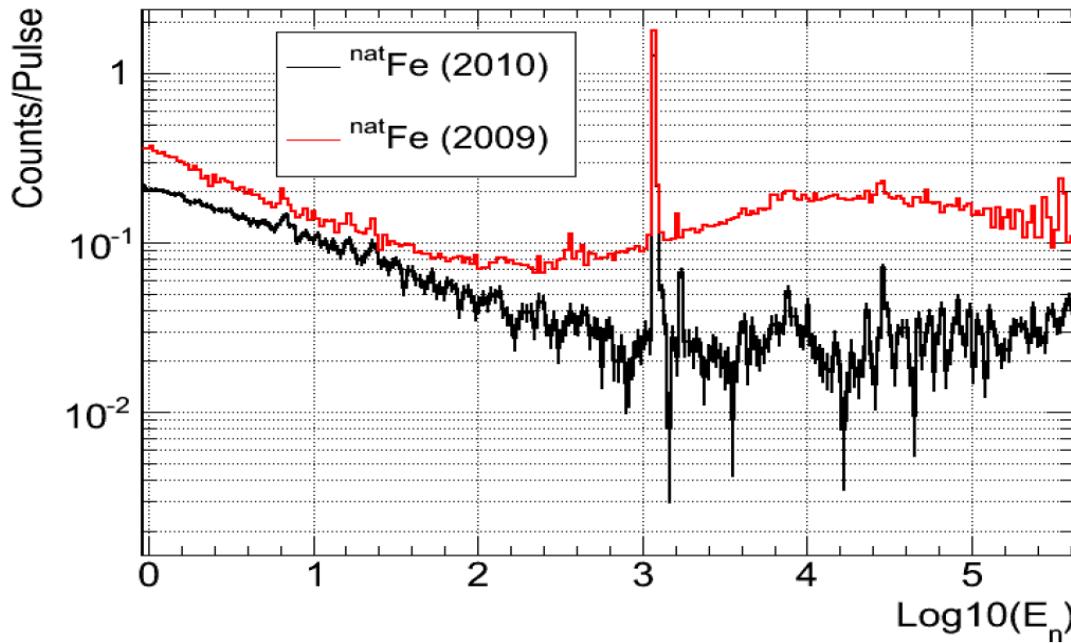
## **n\_TOF Phase II**

# The new spallation Target

The cooling and the moderator systems in the target are separated, so to optimize neutron spectrum or minimize background



# The new spallation Target



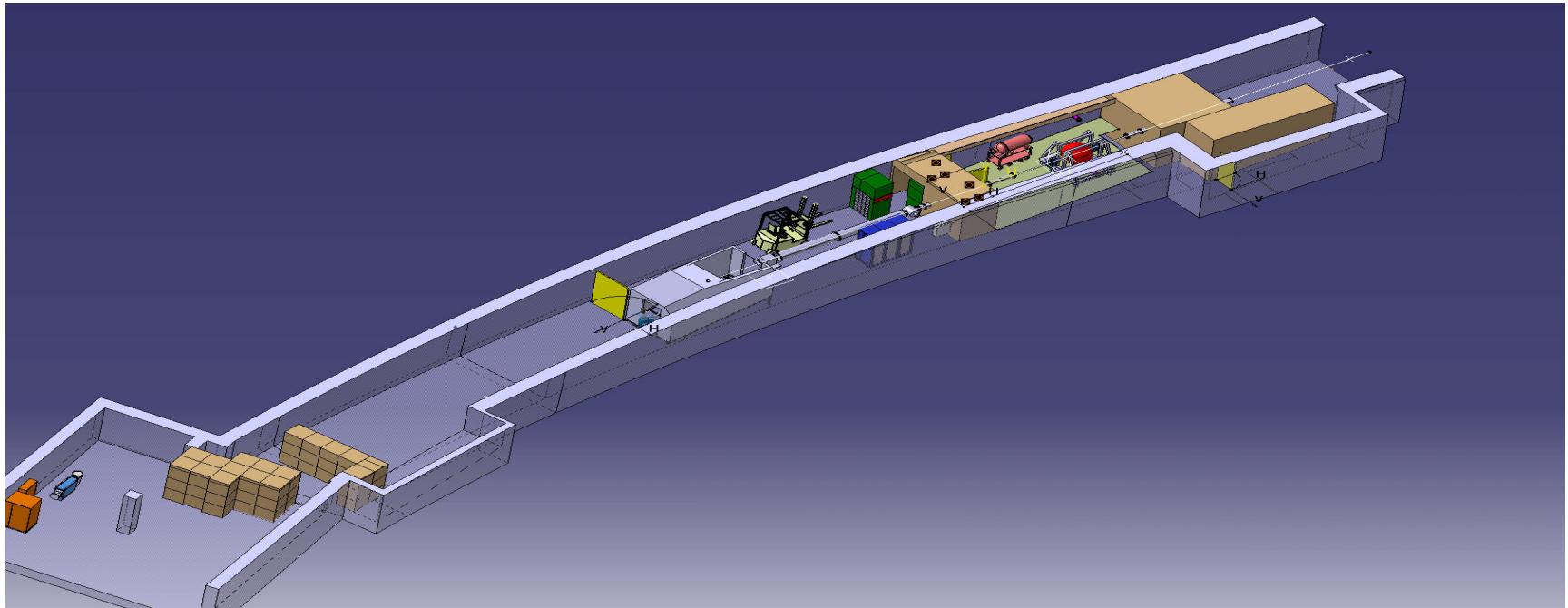
Moderator

2009  $\text{H}_2\text{O}$

2010  $\text{H}_2\text{O} + \text{H}_3\text{BO}_3$  (borated water)

The borated water as moderator reduces the background of a factor 10!!  
In the energy region 1-100 keV !

# Work Sector of Type A



Since 2010 the n\_TOF experimental area was transformed in work sector type A. It allows to measure sample with very high activity.

# The experimental activity @ n\_TOF: Ph II

- Cross sections relevant in Nuclear Astrophysics
  - s-process: seeds isotopes

$^{54,56,57}\text{Fe}$

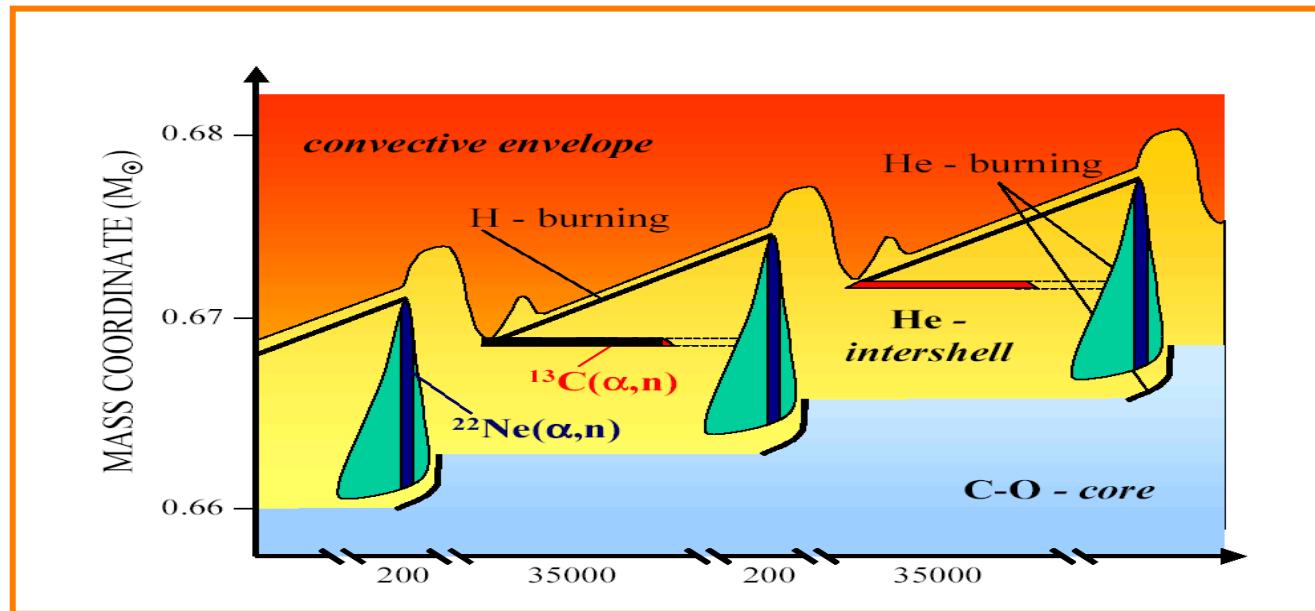
$^{58,60,62}\text{Ni}$ ,  $^{63}\text{Ni}$

$^{25}\text{Mg}$

$^{93}\text{Zr}$

In the period 2009-2012 measured long-needed **capture and fission** cross-sections for **22 isotopes**, 14 of which radioactive.

# **Experimental results**



$^{92}\text{Mo}$ 14.84	$^{93}\text{Mo}$ 4.00 ka	$^{94}\text{Mo}$ 9.25	$^{95}\text{Mo}$ 15.92	$^{96}\text{Mo}$ 16.68	$^{97}\text{Mo}$ 9.55	$^{98}\text{Mo}$ 24.13	$^{99}\text{Mo}$ 2.75 d	$^{100}\text{Mo}$ 9.63
$^{91}\text{Nb}$ 680.04 a	$^{92}\text{Nb}$ 34.70 Ma	$^{93}\text{Nb}$ 100	$^{94}\text{Nb}$ 20.30 ka	$^{95}\text{Nb}$ 34.99 d	$^{96}\text{Nb}$ 23.35 h	$^{97}\text{Nb}$ 1.20 h	$^{98}\text{Nb}$ 2.86 s	$^{99}\text{Nb}$ 15.00 s
$^{90}\text{Zr}$ 51.45	$^{91}\text{Zr}$ 11.22	$^{92}\text{Zr}$ 17.15	$^{93}\text{Zr}$ 1.53 Ma	$^{94}\text{Zr}$ 17.38	$^{95}\text{Zr}$ 64.03 d	$^{96}\text{Zr}$ 2.8	$^{97}\text{Zr}$ 13.74 h	$^{98}\text{Zr}$ 30.70 s
$^{89}\nu$ 100	$^{90}\gamma$ 2.67 d	$^{91}\gamma$ 58.51 d	$^{92}\gamma$ 3.54 h	$^{93}\gamma$ 10.18 h	$^{94}\gamma$ 18.70 m	$^{95}\gamma$ 10.30 m	$^{96}\gamma$ 5.34 s	$^{97}\gamma$ 3.75 s

# The experimental results: Zr isotopes

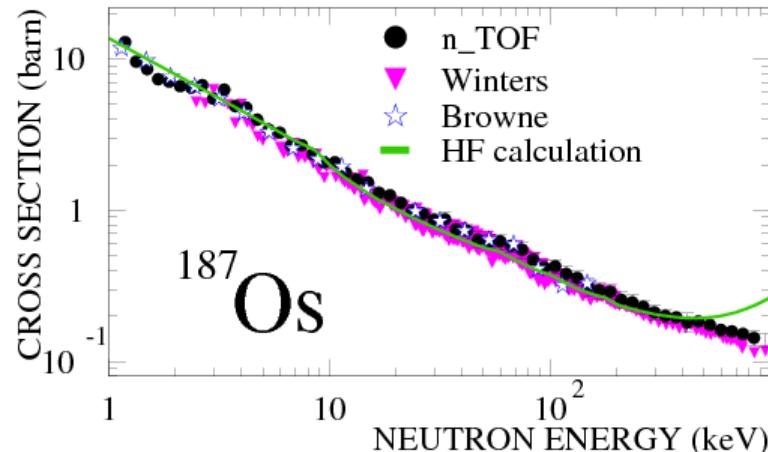
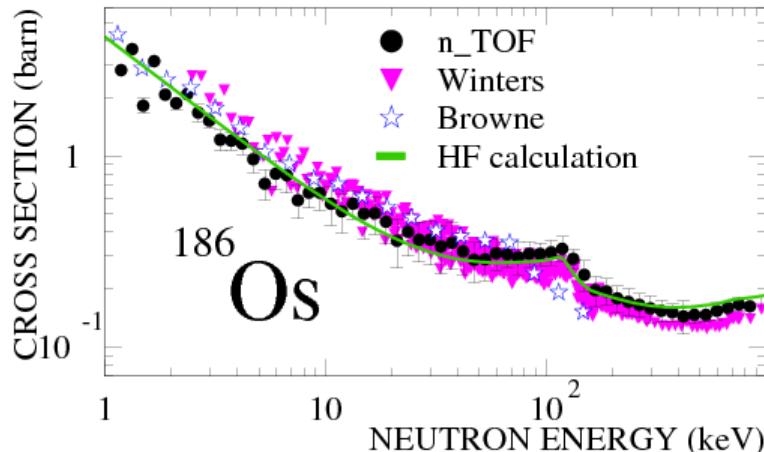
Courtesy of R. Gallino and S. Bisterzio

Nucleus	$N_{\odot}$	$N_s / N_{\odot} \%$ Old	$N_s / N_{\odot} \%$ $n_{TOF}$
Normalized to $N(Si)=10^6$ atoms			
$^{90}\text{Zr}$	<b>5.546</b>	<b>0.789</b>	<b>0.844</b>
$^{91}\text{Zr}$	<b>1.21</b>	<b>1.066</b>	<b>1.024</b>
$^{92}\text{Zr}$	<b>1.848</b>	<b>1.052</b>	<b>0.981</b>
$^{94}\text{Zr}$	<b>1.873</b>	<b>1.217</b>	<b>1.152</b>
$^{96}\text{Zr}$	<b>0.302</b>	<b>0.842</b>	<b>0.321</b>

Solar abundances,  $N_{\odot}$ , from Lodders 2009, accuracy 10%

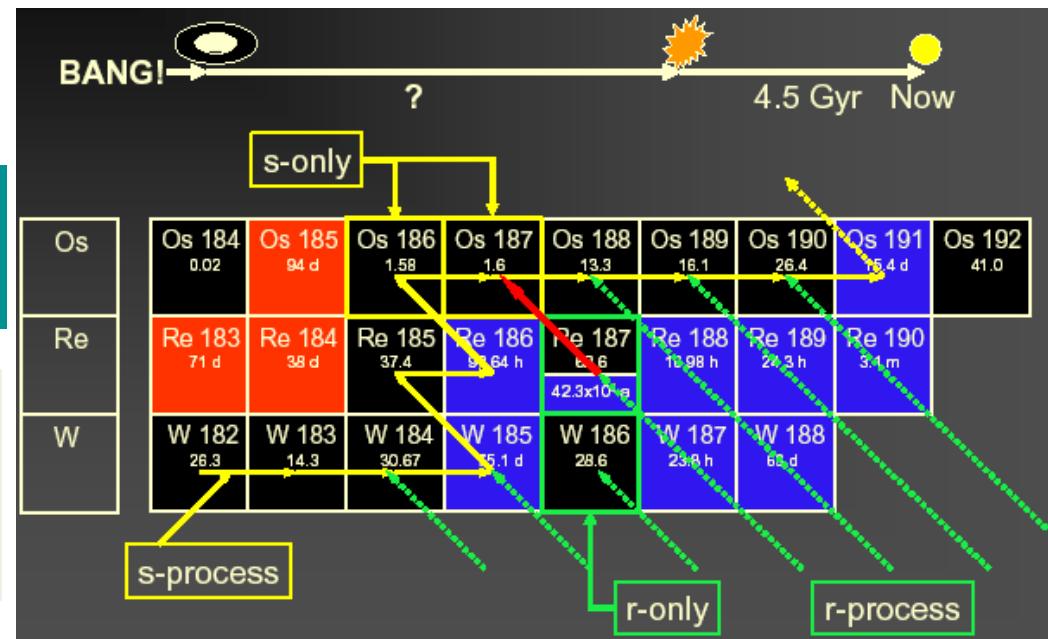
The s-abundances,  $N_s$ , are calculated using the TP stellar model for low mass AGB star ( $1.5 - 3 M_{\odot}$ ).

# The experimental results: $^{186,187}\text{Os}$



$$^{187}\text{Os}_c = ^{187}\text{Os} - \frac{\sigma(186)}{\sigma(187)} ^{186}\text{Os}$$

$$\frac{\sigma(186)}{\sigma(187)} = 0.42 \pm 0.02$$



# The experimental results: $^{186,187}\text{Os}$

- Cosmological way

**$13.7 \pm 0.2 \text{ Gyr}$**

- Astronomical way

**$14 \pm 2 \text{ Gyr}$**

- 

- Nuclear way: Re/Os clock

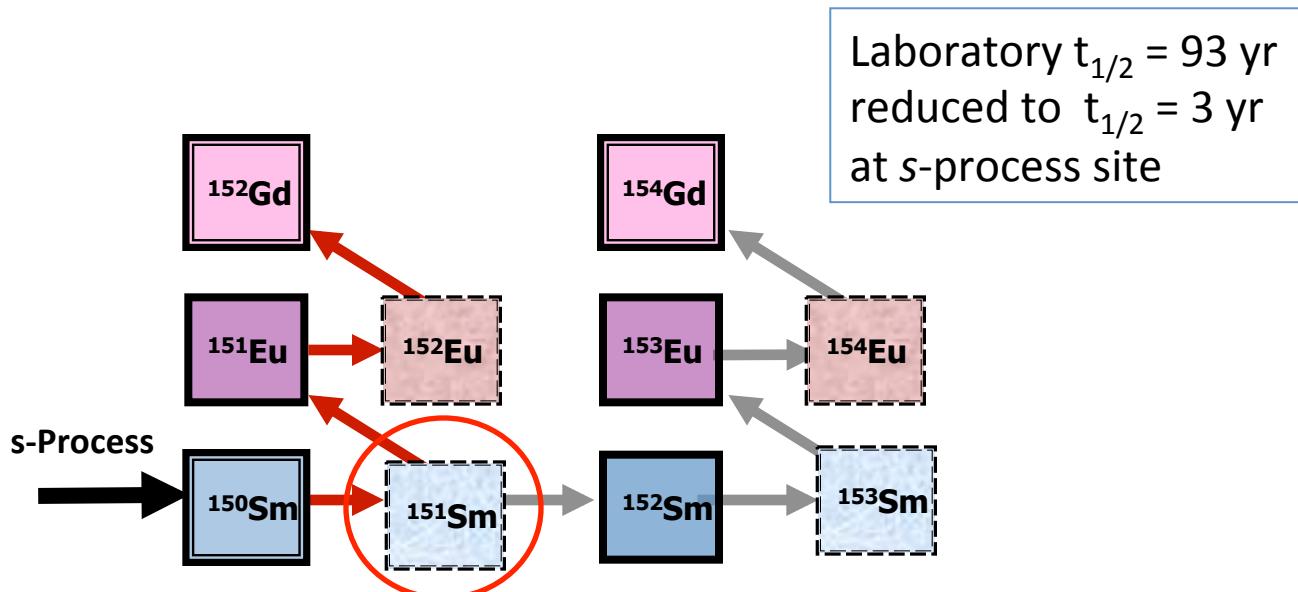
Th/U clock

**$14.9 \pm 2 \text{ Gyr(*)}$**

**$14.5 \pm 2.5 \text{ Gyr}$**

(\*) 0.4 Gyr uncertainty due to cross-sections

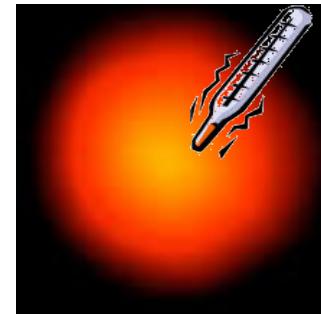
# The experimental results: $^{151}\text{Sm}$



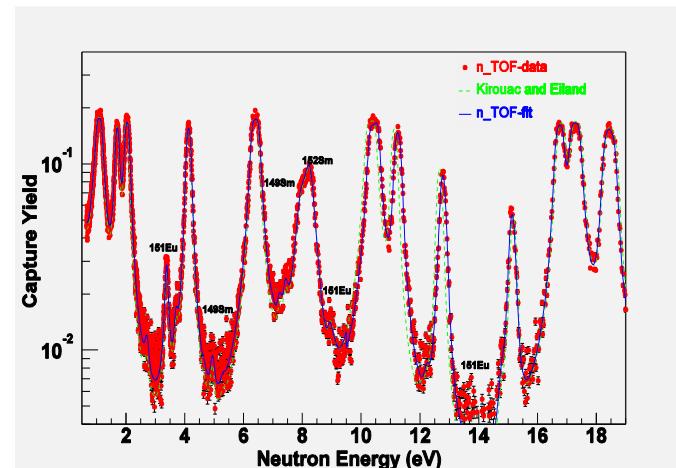
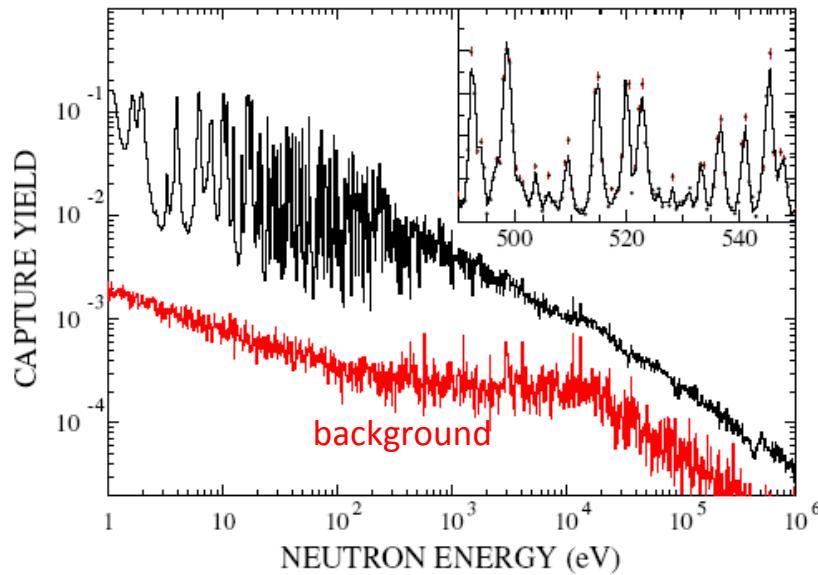
The branching ratio for  $^{151}\text{Sm}$  depends on:

- **Termodynamical condition** of the stellar site (temperature, neutron density, etc...)
- Cross-section of  $^{151}\text{Sm}(n,\gamma)$

$^{151}\text{Sm}$  used as **stellar thermometer** !!

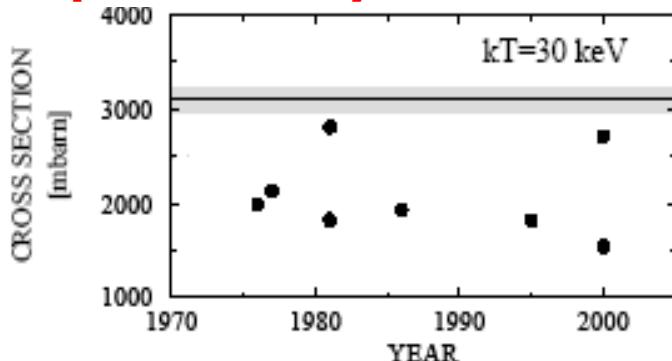


# The experimental results: $^{151}\text{Sm}$



Measured for the first time at a time-of-flight facility  
Resonance analysis with SAMMY code.

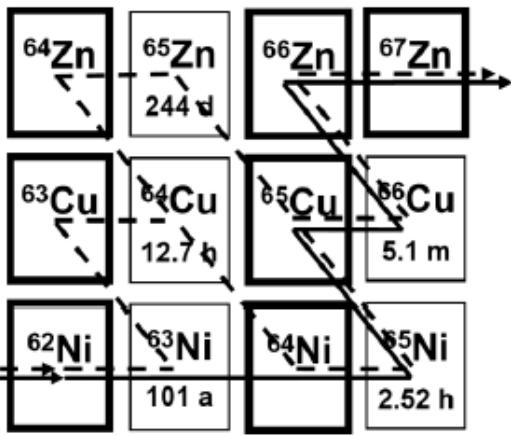
**Maxwellian averaged cross-section  
experimentally determined for the first time**



→ **s-process in AGB stars  
produces 77% of  $^{152}\text{Gd}$ ,  
23% from p process**

**Maxwellian averaged ( $n,\gamma$ ) cross section of the  
 $^{151}\text{Sm}$  and previous calculation (symbol)**  
**NO PREVIOUS MEASUREMENTS!**

# The experimental results: $^{63}\text{Ni}$



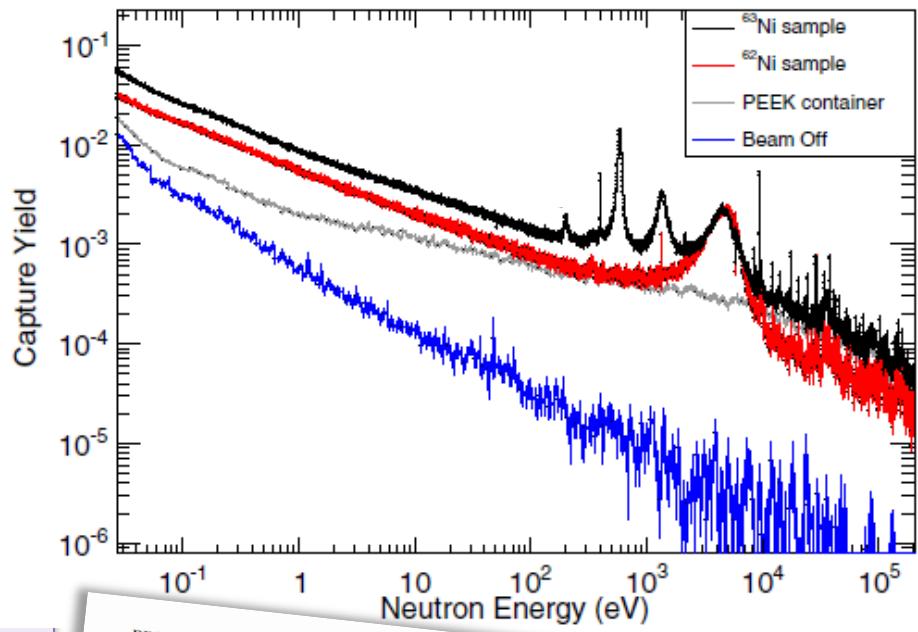
$^{63}\text{Ni}$  ( $t_{1/2}=100$  y) represents the **first branching point** in the s-process, and determines the **abundance** of  $^{63,65}\text{Cu}$

$^{62}\text{Ni}$  sample (1g) irradiated **in thermal reactor** (1984 and 1992), leading to enrichment in  $^{63}\text{Ni}$  of  $\sim 13\%$  (131 mg)



In 2011  $\sim 15.4$  mg  $^{63}\text{Cu}$  in the sample (from  $^{63}\text{Ni}$  decay).

After **chemical** separation at PSI,  $^{63}\text{Cu}$  contamination  $<0.01$  mg



**First high-resolution** measurement of  $^{63}\text{Ni}(n,\gamma)$  in the astrophysical energy range.

PRL 110, 022501 (2013)

PHYSICAL REVIEW LETTERS

Neutron Capture Cross Section of Unstable  $^{63}\text{Ni}$ : Implications for Stellar Nucleosynthesis  
C. Lederer,<sup>1,2</sup> C. Massimi,<sup>3</sup> S. Altstadt,<sup>2</sup> J. Andrzejewski,<sup>4</sup> L. Audouin,<sup>5</sup> M. Barbagallo,<sup>6</sup> V. Bécaries,<sup>7</sup> F. Bečvář,<sup>8</sup> F. Berthoumieux,<sup>9,10</sup> J. Billowes,<sup>11</sup> V. Boccone,<sup>10</sup> D. Bosnar,<sup>12</sup> M. Brugger,<sup>10</sup> M. Calviani,<sup>13</sup> F. Calviño,<sup>13</sup> D. Carrapico,<sup>14</sup> F. Cerutti,<sup>10</sup> E. Chiaveri,<sup>9,10</sup> M. Chin,<sup>10</sup> N. Colonna,<sup>6</sup> G. Cortés,<sup>13</sup> M. A. Cortés-Giraldo,<sup>15</sup> M. Domingo-Pardo,<sup>17</sup> I. Duran,<sup>18</sup> R. Dressler,<sup>19</sup> N. Dzysiuk,<sup>20</sup> C. Eleftheriadis,<sup>21</sup> A. Ferrari,<sup>10</sup> K. Fraval,<sup>9</sup> S. García,<sup>7</sup> G. Giubrone,<sup>17</sup> M.-B. Gómez-Núñez,<sup>13</sup> I. F. Gonçalves,<sup>14</sup> F. Guerreo,<sup>10</sup> J. Gumsing,<sup>22</sup> B. Gurusamy,<sup>22</sup> D. G. Jenkins,<sup>24</sup> J. J. Jones,<sup>11</sup> J. Käppeler,<sup>25</sup> J. Käppeler,<sup>26</sup> J. Käppeler,<sup>27</sup> J. Käppeler,<sup>28</sup> J. Käppeler,<sup>29</sup> J. Käppeler,<sup>30</sup> J. Käppeler,<sup>31</sup> J. Käppeler,<sup>32</sup> J. Käppeler,<sup>33</sup> J. Käppeler,<sup>34</sup> J. Käppeler,<sup>35</sup> J. Käppeler,<sup>36</sup> J. Käppeler,<sup>37</sup> J. Käppeler,<sup>38</sup> J. Käppeler,<sup>39</sup> J. Käppeler,<sup>40</sup> J. Käppeler,<sup>41</sup> J. Käppeler,<sup>42</sup> J. Käppeler,<sup>43</sup> J. Käppeler,<sup>44</sup> J. Käppeler,<sup>45</sup> J. Käppeler,<sup>46</sup> J. Käppeler,<sup>47</sup> J. Käppeler,<sup>48</sup> J. Käppeler,<sup>49</sup> J. Käppeler,<sup>50</sup> J. Käppeler,<sup>51</sup> J. Käppeler,<sup>52</sup> J. Käppeler,<sup>53</sup> J. Käppeler,<sup>54</sup> J. Käppeler,<sup>55</sup> J. Käppeler,<sup>56</sup> J. Käppeler,<sup>57</sup> J. Käppeler,<sup>58</sup> J. Käppeler,<sup>59</sup> J. Käppeler,<sup>60</sup> J. Käppeler,<sup>61</sup> J. Käppeler,<sup>62</sup> J. Käppeler,<sup>63</sup> J. Käppeler,<sup>64</sup> J. Käppeler,<sup>65</sup> J. Käppeler,<sup>66</sup> J. Käppeler,<sup>67</sup> J. Käppeler,<sup>68</sup> J. Käppeler,<sup>69</sup> J. Käppeler,<sup>70</sup> J. Käppeler,<sup>71</sup> J. Käppeler,<sup>72</sup> J. Käppeler,<sup>73</sup> J. Käppeler,<sup>74</sup> J. Käppeler,<sup>75</sup> J. Käppeler,<sup>76</sup> J. Käppeler,<sup>77</sup> J. Käppeler,<sup>78</sup> J. Käppeler,<sup>79</sup> J. Käppeler,<sup>80</sup> J. Käppeler,<sup>81</sup> J. Käppeler,<sup>82</sup> J. Käppeler,<sup>83</sup> J. Käppeler,<sup>84</sup> J. Käppeler,<sup>85</sup> J. Käppeler,<sup>86</sup> J. Käppeler,<sup>87</sup> J. Käppeler,<sup>88</sup> J. Käppeler,<sup>89</sup> J. Käppeler,<sup>90</sup> J. Käppeler,<sup>91</sup> J. Käppeler,<sup>92</sup> J. Käppeler,<sup>93</sup> J. Käppeler,<sup>94</sup> J. Käppeler,<sup>95</sup> J. Käppeler,<sup>96</sup> J. Käppeler,<sup>97</sup> J. Käppeler,<sup>98</sup> J. Käppeler,<sup>99</sup> J. Käppeler,<sup>100</sup> J. Käppeler,<sup>101</sup> J. Käppeler,<sup>102</sup> J. Käppeler,<sup>103</sup> J. Käppeler,<sup>104</sup> J. Käppeler,<sup>105</sup> J. Käppeler,<sup>106</sup> J. Käppeler,<sup>107</sup> J. Käppeler,<sup>108</sup> J. Käppeler,<sup>109</sup> J. Käppeler,<sup>110</sup> J. Käppeler,<sup>111</sup> J. Käppeler,<sup>112</sup> J. Käppeler,<sup>113</sup> J. Käppeler,<sup>114</sup> J. Käppeler,<sup>115</sup> J. Käppeler,<sup>116</sup> J. Käppeler,<sup>117</sup> J. Käppeler,<sup>118</sup> J. Käppeler,<sup>119</sup> J. Käppeler,<sup>120</sup> J. Käppeler,<sup>121</sup> J. Käppeler,<sup>122</sup> J. Käppeler,<sup>123</sup> J. Käppeler,<sup>124</sup> J. Käppeler,<sup>125</sup> J. Käppeler,<sup>126</sup> J. Käppeler,<sup>127</sup> J. Käppeler,<sup>128</sup> J. Käppeler,<sup>129</sup> J. Käppeler,<sup>130</sup> J. Käppeler,<sup>131</sup> J. Käppeler,<sup>132</sup> J. Käppeler,<sup>133</sup> J. Käppeler,<sup>134</sup> J. Käppeler,<sup>135</sup> J. Käppeler,<sup>136</sup> J. Käppeler,<sup>137</sup> J. Käppeler,<sup>138</sup> J. Käppeler,<sup>139</sup> J. Käppeler,<sup>140</sup> J. Käppeler,<sup>141</sup> J. Käppeler,<sup>142</sup> J. Käppeler,<sup>143</sup> J. Käppeler,<sup>144</sup> J. Käppeler,<sup>145</sup> J. Käppeler,<sup>146</sup> J. Käppeler,<sup>147</sup> J. Käppeler,<sup>148</sup> J. Käppeler,<sup>149</sup> J. Käppeler,<sup>150</sup> J. Käppeler,<sup>151</sup> J. Käppeler,<sup>152</sup> J. Käppeler,<sup>153</sup> J. Käppeler,<sup>154</sup> J. Käppeler,<sup>155</sup> J. Käppeler,<sup>156</sup> J. Käppeler,<sup>157</sup> J. Käppeler,<sup>158</sup> J. Käppeler,<sup>159</sup> J. Käppeler,<sup>160</sup> J. Käppeler,<sup>161</sup> J. Käppeler,<sup>162</sup> J. Käppeler,<sup>163</sup> J. Käppeler,<sup>164</sup> J. Käppeler,<sup>165</sup> J. Käppeler,<sup>166</sup> J. Käppeler,<sup>167</sup> J. Käppeler,<sup>168</sup> J. Käppeler,<sup>169</sup> J. Käppeler,<sup>170</sup> J. Käppeler,<sup>171</sup> J. Käppeler,<sup>172</sup> J. Käppeler,<sup>173</sup> J. Käppeler,<sup>174</sup> J. Käppeler,<sup>175</sup> J. Käppeler,<sup>176</sup> J. Käppeler,<sup>177</sup> J. Käppeler,<sup>178</sup> J. Käppeler,<sup>179</sup> J. Käppeler,<sup>180</sup> J. Käppeler,<sup>181</sup> J. Käppeler,<sup>182</sup> J. Käppeler,<sup>183</sup> J. Käppeler,<sup>184</sup> J. Käppeler,<sup>185</sup> J. Käppeler,<sup>186</sup> J. Käppeler,<sup>187</sup> J. Käppeler,<sup>188</sup> J. Käppeler,<sup>189</sup> J. Käppeler,<sup>190</sup> J. Käppeler,<sup>191</sup> J. Käppeler,<sup>192</sup> J. Käppeler,<sup>193</sup> J. Käppeler,<sup>194</sup> J. Käppeler,<sup>195</sup> J. Käppeler,<sup>196</sup> J. Käppeler,<sup>197</sup> J. Käppeler,<sup>198</sup> J. Käppeler,<sup>199</sup> J. Käppeler,<sup>200</sup> J. Käppeler,<sup>201</sup> J. Käppeler,<sup>202</sup> J. Käppeler,<sup>203</sup> J. Käppeler,<sup>204</sup> J. Käppeler,<sup>205</sup> J. Käppeler,<sup>206</sup> J. Käppeler,<sup>207</sup> J. Käppeler,<sup>208</sup> J. Käppeler,<sup>209</sup> J. Käppeler,<sup>210</sup> J. Käppeler,<sup>211</sup> J. Käppeler,<sup>212</sup> J. Käppeler,<sup>213</sup> J. Käppeler,<sup>214</sup> J. Käppeler,<sup>215</sup> J. Käppeler,<sup>216</sup> J. Käppeler,<sup>217</sup> J. Käppeler,<sup>218</sup> J. Käppeler,<sup>219</sup> J. Käppeler,<sup>220</sup> J. Käppeler,<sup>221</sup> J. Käppeler,<sup>222</sup> J. Käppeler,<sup>223</sup> J. Käppeler,<sup>224</sup> J. Käppeler,<sup>225</sup> J. Käppeler,<sup>226</sup> J. Käppeler,<sup>227</sup> J. Käppeler,<sup>228</sup> J. Käppeler,<sup>229</sup> J. Käppeler,<sup>230</sup> J. Käppeler,<sup>231</sup> J. Käppeler,<sup>232</sup> J. Käppeler,<sup>233</sup> J. Käppeler,<sup>234</sup> J. Käppeler,<sup>235</sup> J. Käppeler,<sup>236</sup> J. Käppeler,<sup>237</sup> J. Käppeler,<sup>238</sup> J. Käppeler,<sup>239</sup> J. Käppeler,<sup>240</sup> J. Käppeler,<sup>241</sup> J. Käppeler,<sup>242</sup> J. Käppeler,<sup>243</sup> J. Käppeler,<sup>244</sup> J. Käppeler,<sup>245</sup> J. Käppeler,<sup>246</sup> J. Käppeler,<sup>247</sup> J. Käppeler,<sup>248</sup> J. Käppeler,<sup>249</sup> J. Käppeler,<sup>250</sup> J. Käppeler,<sup>251</sup> J. Käppeler,<sup>252</sup> J. Käppeler,<sup>253</sup> J. Käppeler,<sup>254</sup> J. Käppeler,<sup>255</sup> J. Käppeler,<sup>256</sup> J. Käppeler,<sup>257</sup> J. Käppeler,<sup>258</sup> J. Käppeler,<sup>259</sup> J. Käppeler,<sup>260</sup> J. Käppeler,<sup>261</sup> J. Käppeler,<sup>262</sup> J. Käppeler,<sup>263</sup> J. Käppeler,<sup>264</sup> J. Käppeler,<sup>265</sup> J. Käppeler,<sup>266</sup> J. Käppeler,<sup>267</sup> J. Käppeler,<sup>268</sup> J. Käppeler,<sup>269</sup> J. Käppeler,<sup>270</sup> J. Käppeler,<sup>271</sup> J. Käppeler,<sup>272</sup> J. Käppeler,<sup>273</sup> J. Käppeler,<sup>274</sup> J. Käppeler,<sup>275</sup> J. Käppeler,<sup>276</sup> J. Käppeler,<sup>277</sup> J. Käppeler,<sup>278</sup> J. Käppeler,<sup>279</sup> J. Käppeler,<sup>280</sup> J. Käppeler,<sup>281</sup> J. Käppeler,<sup>282</sup> J. Käppeler,<sup>283</sup> J. Käppeler,<sup>284</sup> J. Käppeler,<sup>285</sup> J. Käppeler,<sup>286</sup> J. Käppeler,<sup>287</sup> J. Käppeler,<sup>288</sup> J. Käppeler,<sup>289</sup> J. Käppeler,<sup>290</sup> J. Käppeler,<sup>291</sup> J. Käppeler,<sup>292</sup> J. Käppeler,<sup>293</sup> J. Käppeler,<sup>294</sup> J. Käppeler,<sup>295</sup> J. Käppeler,<sup>296</sup> J. Käppeler,<sup>297</sup> J. Käppeler,<sup>298</sup> J. Käppeler,<sup>299</sup> J. Käppeler,<sup>300</sup> J. Käppeler,<sup>301</sup> J. Käppeler,<sup>302</sup> J. Käppeler,<sup>303</sup> J. Käppeler,<sup>304</sup> J. Käppeler,<sup>305</sup> J. Käppeler,<sup>306</sup> J. Käppeler,<sup>307</sup> J. Käppeler,<sup>308</sup> J. Käppeler,<sup>309</sup> J. Käppeler,<sup>310</sup> J. Käppeler,<sup>311</sup> J. Käppeler,<sup>312</sup> J. Käppeler,<sup>313</sup> J. Käppeler,<sup>314</sup> J. Käppeler,<sup>315</sup> J. Käppeler,<sup>316</sup> J. Käppeler,<sup>317</sup> J. Käppeler,<sup>318</sup> J. Käppeler,<sup>319</sup> J. Käppeler,<sup>320</sup> J. Käppeler,<sup>321</sup> J. Käppeler,<sup>322</sup> J. Käppeler,<sup>323</sup> J. Käppeler,<sup>324</sup> J. Käppeler,<sup>325</sup> J. Käppeler,<sup>326</sup> J. Käppeler,<sup>327</sup> J. Käppeler,<sup>328</sup> J. Käppeler,<sup>329</sup> J. Käppeler,<sup>330</sup> J. Käppeler,<sup>331</sup> J. Käppeler,<sup>332</sup> J. Käppeler,<sup>333</sup> J. Käppeler,<sup>334</sup> J. Käppeler,<sup>335</sup> J. Käppeler,<sup>336</sup> J. Käppeler,<sup>337</sup> J. Käppeler,<sup>338</sup> J. Käppeler,<sup>339</sup> J. Käppeler,<sup>340</sup> J. Käppeler,<sup>341</sup> J. Käppeler,<sup>342</sup> J. Käppeler,<sup>343</sup> J. Käppeler,<sup>344</sup> J. Käppeler,<sup>345</sup> J. Käppeler,<sup>346</sup> J. Käppeler,<sup>347</sup> J. Käppeler,<sup>348</sup> J. Käppeler,<sup>349</sup> J. Käppeler,<sup>350</sup> J. Käppeler,<sup>351</sup> J. Käppeler,<sup>352</sup> J. Käppeler,<sup>353</sup> J. Käppeler,<sup>354</sup> J. Käppeler,<sup>355</sup> J. Käppeler,<sup>356</sup> J. Käppeler,<sup>357</sup> J. Käppeler,<sup>358</sup> J. Käppeler,<sup>359</sup> J. Käppeler,<sup>360</sup> J. Käppeler,<sup>361</sup> J. Käppeler,<sup>362</sup> J. Käppeler,<sup>363</sup> J. Käppeler,<sup>364</sup> J. Käppeler,<sup>365</sup> J. Käppeler,<sup>366</sup> J. Käppeler,<sup>367</sup> J. Käppeler,<sup>368</sup> J. Käppeler,<sup>369</sup> J. Käppeler,<sup>370</sup> J. Käppeler,<sup>371</sup> J. Käppeler,<sup>372</sup> J. Käppeler,<sup>373</sup> J. Käppeler,<sup>374</sup> J. Käppeler,<sup>375</sup> J. Käppeler,<sup>376</sup> J. Käppeler,<sup>377</sup> J. Käppeler,<sup>378</sup> J. Käppeler,<sup>379</sup> J. Käppeler,<sup>380</sup> J. Käppeler,<sup>381</sup> J. Käppeler,<sup>382</sup> J. Käppeler,<sup>383</sup> J. Käppeler,<sup>384</sup> J. Käppeler,<sup>385</sup> J. Käppeler,<sup>386</sup> J. Käppeler,<sup>387</sup> J. Käppeler,<sup>388</sup> J. Käppeler,<sup>389</sup> J. Käppeler,<sup>390</sup> J. Käppeler,<sup>391</sup> J. Käppeler,<sup>392</sup> J. Käppeler,<sup>393</sup> J. Käppeler,<sup>394</sup> J. Käppeler,<sup>395</sup> J. Käppeler,<sup>396</sup> J. Käppeler,<sup>397</sup> J. Käppeler,<sup>398</sup> J. Käppeler,<sup>399</sup> J. Käppeler,<sup>400</sup> J. Käppeler,<sup>401</sup> J. Käppeler,<sup>402</sup> J. Käppeler,<sup>403</sup> J. Käppeler,<sup>404</sup> J. Käppeler,<sup>405</sup> J. Käppeler,<sup>406</sup> J. Käppeler,<sup>407</sup> J. Käppeler,<sup>408</sup> J. Käppeler,<sup>409</sup> J. Käppeler,<sup>410</sup> J. Käppeler,<sup>411</sup> J. Käppeler,<sup>412</sup> J. Käppeler,<sup>413</sup> J. Käppeler,<sup>414</sup> J. Käppeler,<sup>415</sup> J. Käppeler,<sup>416</sup> J. Käppeler,<sup>417</sup> J. Käppeler,<sup>418</sup> J. Käppeler,<sup>419</sup> J. Käppeler,<sup>420</sup> J. Käppeler,<sup>421</sup> J. Käppeler,<sup>422</sup> J. Käppeler,<sup>423</sup> J. Käppeler,<sup>424</sup> J. Käppeler,<sup>425</sup> J. Käppeler,<sup>426</sup> J. Käppeler,<sup>427</sup> J. Käppeler,<sup>428</sup> J. Käppeler,<sup>429</sup> J. Käppeler,<sup>430</sup> J. Käppeler,<sup>431</sup> J. Käppeler,<sup>432</sup> J. Käppeler,<sup>433</sup> J. Käppeler,<sup>434</sup> J. Käppeler,<sup>435</sup> J. Käppeler,<sup>436</sup> J. Käppeler,<sup>437</sup> J. Käppeler,<sup>438</sup> J. Käppeler,<sup>439</sup> J. Käppeler,<sup>440</sup> J. Käppeler,<sup>441</sup> J. Käppeler,<sup>442</sup> J. Käppeler,<sup>443</sup> J. Käppeler,<sup>444</sup> J. Käppeler,<sup>445</sup> J. Käppeler,<sup>446</sup> J. Käppeler,<sup>447</sup> J. Käppeler,<sup>448</sup> J. Käppeler,<sup>449</sup> J. Käppeler,<sup>450</sup> J. Käppeler,<sup>451</sup> J. Käppeler,<sup>452</sup> J. Käppeler,<sup>453</sup> J. Käppeler,<sup>454</sup> J. Käppeler,<sup>455</sup> J. Käppeler,<sup>456</sup> J. Käppeler,<sup>457</sup> J. Käppeler,<sup>458</sup> J. Käppeler,<sup>459</sup> J. Käppeler,<sup>460</sup> J. Käppeler,<sup>461</sup> J. Käppeler,<sup>462</sup> J. Käppeler,<sup>463</sup> J. Käppeler,<sup>464</sup> J. Käppeler,<sup>465</sup> J. Käppeler,<sup>466</sup> J. Käppeler,<sup>467</sup> J. Käppeler,<sup>468</sup> J. Käppeler,<sup>469</sup> J. Käppeler,<sup>470</sup> J. Käppeler,<sup>471</sup> J. Käppeler,<sup>472</sup> J. Käppeler,<sup>473</sup> J. Käppeler,<sup>474</sup> J. Käppeler,<sup>475</sup> J. Käppeler,<sup>476</sup> J. Käppeler,<sup>477</sup> J. Käppeler,<sup>478</sup> J. Käppeler,<sup>479</sup> J. Käppeler,<sup>480</sup> J. Käppeler,<sup>481</sup> J. Käppeler,<sup>482</sup> J. Käppeler,<sup>483</sup> J. Käppeler,<sup>484</sup> J. Käppeler,<sup>485</sup> J. Käppeler,<sup>486</sup> J. Käppeler,<sup>487</sup> J. Käppeler,<sup>488</sup> J. Käppeler,<sup>489</sup> J. Käppeler,<sup>490</sup> J. Käppeler,<sup>491</sup> J. Käppeler,<sup>492</sup> J. Käppeler,<sup>493</sup> J. Käppeler,<sup>494</sup> J. Käppeler,<sup>495</sup> J. Käppeler,<sup>496</sup> J. Käppeler,<sup>497</sup> J. Käppeler,<sup>498</sup> J. Käppeler,<sup>499</sup> J. Käppeler,<sup>500</sup> J. Käppeler,<sup>501</sup> J. Käppeler,<sup>502</sup> J. Käppeler,<sup>503</sup> J. Käppeler,<sup>504</sup> J. Käppeler,<sup>505</sup> J. Käppeler,<sup>506</sup> J. Käppeler,<sup>507</sup> J. Käppeler,<sup>508</sup> J. Käppeler,<sup>509</sup> J. Käppeler,<sup>510</sup> J. Käppeler,<sup>511</sup> J. Käppeler,<sup>512</sup> J. Käppeler,<sup>513</sup> J. Käppeler,<sup>514</sup> J. Käppeler,<sup>515</sup> J. Käppeler,<sup>516</sup> J. Käppeler,<sup>517</sup> J. Käppeler,<sup>518</sup> J. Käppeler,<sup>519</sup> J. Käppeler,<sup>520</sup> J. Käppeler,<sup>521</sup> J. Käppeler,<sup>522</sup> J. Käppeler,<sup>523</sup> J. Käppeler,<sup>524</sup> J. Käppeler,<sup>525</sup> J. Käppeler,<sup>526</sup> J. Käppeler,<sup>527</sup> J. Käppeler,<sup>528</sup> J. Käppeler,<sup>529</sup> J. Käppeler,<sup>530</sup> J. Käppeler,<sup>531</sup> J. Käppeler,<sup>532</sup> J. Käppeler,<sup>533</sup> J. Käppeler,<sup>534</sup> J. Käppeler,<sup>535</sup> J. Käppeler,<sup>536</sup> J. Käppeler,<sup>537</sup> J. Käppeler,<sup>538</sup> J. Käppeler,<sup>539</sup> J. Käppeler,<sup>540</sup> J. Käppeler,<sup>541</sup> J. Käppeler,<sup>542</sup> J. Käppeler,<sup>543</sup> J. Käppeler,<sup>544</sup> J. Käppeler,<sup>545</sup> J. Käppeler,<sup>546</sup> J. Käppeler,<sup>547</sup> J. Käppeler,<sup>548</sup> J. Käppeler,<sup>549</sup> J. Käppeler,<sup>550</sup> J. Käppeler,<sup>551</sup> J. Käppeler,<sup>552</sup> J. Käppeler,<sup>553</sup> J. Käppeler,<sup>554</sup> J. Käppeler,<sup>555</sup> J. Käppeler,<sup>556</sup> J. Käppeler,<sup>557</sup> J. Käppeler,<sup>558</sup> J. Käppeler,<sup>559</sup> J. Käppeler,<sup>560</sup> J. Käppeler,<sup>561</sup> J. Käppeler,<sup>562</sup> J. Käppeler,<sup>563</sup> J. Käppeler,<sup>564</sup> J. Käppeler,<sup>565</sup> J. Käppeler,<sup>566</sup> J. Käppeler,<sup>567</sup> J. Käppeler,<sup>568</sup> J. Käppeler,<sup>569</sup> J. Käppeler,<sup>570</sup> J. Käppeler,<sup>571</sup> J. Käppeler,<sup>572</sup> J. Käppeler,<sup>573</sup> J. Käppeler,<sup>574</sup> J. Käppeler,<sup>575</sup> J. Käppeler,<sup>576</sup> J. Käppeler,<sup>577</sup> J. Käppeler,<sup>578</sup> J. Käppeler,<sup>579</sup> J. Käppeler,<sup>580</sup> J. Käppeler,<sup>581</sup> J. Käppeler,<sup>582</sup> J. Käppeler,<sup>583</sup> J. Käppeler,<sup>584</sup> J. Käppeler,<sup>585</sup> J. Käppeler,<sup>586</sup> J. Käppeler,<sup>587</sup> J. Käppeler,<sup>588</sup> J. Käppeler,<sup>589</sup> J. Käppeler,<sup>590</sup> J. Käppeler,<sup>591</sup> J. Käppeler,<sup>592</sup> J. Käppeler,<sup>593</sup> J. Käppeler,<sup>594</sup> J. Käppeler,<sup>595</sup> J. Käppeler,<sup>596</sup> J. Käppeler,<sup>597</sup> J. Käppeler,<sup>598</sup> J. Käppeler,<sup>599</sup> J. Käppeler,<sup>600</sup> J. Käppeler,<sup>601</sup> J. Käppeler,<sup>602</sup> J. Käppeler,<sup>603</sup> J. Käppeler,<sup>604</sup> J. Käppeler,<sup>605</sup> J. Käppeler,<sup>606</sup> J. Käppeler,<sup>607</sup> J. Käppeler,<sup>608</sup> J. Käppeler,<sup>609</sup> J. Käppeler,<sup>610</sup> J. Käppeler,<sup>611</sup> J. Käppeler,<sup>612</sup> J. Käppeler,<sup>613</sup> J. Käppeler,<sup>614</sup> J. Käppeler,<sup>615</sup> J. Käppeler,<sup>616</sup> J. Käppeler,<sup>617</sup> J. Käppeler,<sup>618</sup> J. Käppeler,<sup>619</sup> J. Käppeler,<sup>620</sup> J. Käppeler,<sup>621</sup> J. Käppeler,<sup>622</sup> J. Käppeler,<sup>623</sup> J. Käppeler,<sup>624</sup> J. Käppeler,<sup>625</sup> J. Käppeler,<sup>626</sup> J. Käppeler,<sup>627</sup> J. Käppeler,<sup>628</sup> J. Käppeler,<sup>629</sup> J. Käppeler,<sup>630</sup> J. Käppeler,<sup>631</sup> J. Käppeler,<sup>632</sup> J. Käppeler,<sup>633</sup> J. Käppeler,<sup>634</sup> J. Käppeler,<sup>635</sup> J. Käppeler,<sup>636</sup> J. Käppeler,<sup>637</sup> J. Käppeler,<sup>638</sup> J. Käppeler,<sup>639</sup> J. Käppeler,<sup>640</sup> J. Käppeler,<sup>641</sup> J. Käppeler,<sup>642</sup> J. Käppeler,<sup>643</sup> J. Käppeler,<sup>644</sup> J. Käppeler,<sup>645</sup> J. Käppeler,<sup>646</sup> J. Käppeler,<sup>647</sup> J. Käppeler,<sup>648</sup> J. Käppeler,<sup>649</sup> J. Käppeler,<sup>650</sup> J. Käppeler,<sup>651</sup> J. Käppeler,<sup>652</sup> J. Käppeler,<sup>653</sup> J. Käppeler,<sup>654</sup> J. Käppeler,<sup>655</sup> J. Käppeler,<sup>656</sup> J. Käppeler,<sup>657</sup> J. Käppeler,<sup>658</sup> J. Käppeler,<sup>659</sup> J. Käppeler,<sup>660</sup> J. Käppeler,<sup>661</sup> J. Käppeler,<sup>662</sup> J. Käppeler,<sup>663</sup> J. Käppeler,<sup>664</sup> J. Käppeler,<sup>665</sup> J. Käppeler,<sup>666</sup> J. Käppeler,<sup>667</sup> J. Käppeler,<sup>668</sup> J. Käppeler,<sup>669</sup> J. Käppeler,<sup>670</sup> J. Käppeler,<sup>671</sup> J. Käppeler,<sup>672</sup> J. Käppeler,<sup>673</sup> J. Käppeler,<sup>674</sup> J. Käppeler,<sup>675</sup> J. Käppeler,<sup>676</sup> J. Käppeler,<sup>677</sup> J. Käppeler,<sup>678</sup> J. Käppeler,<sup>679</sup> J. Käppeler,<sup>680</sup> J. Käppeler,<sup>681</sup> J. Käppeler,<sup>682</sup> J. Käppeler,<sup>683</sup> J. Käppeler,<sup>684</sup> J. Käppeler,<sup>685</sup> J. Käppeler,<sup>686</sup> J. Käppeler,<sup>687</sup> J. Käppeler,<sup>688</sup> J. Käppeler,<sup>689</sup> J. Käppeler,<sup>690</sup> J. Käppeler,<sup>691</sup> J. Käppeler,<sup>692</sup> J. Käppeler,<sup>693</sup> J. Käppeler,<sup>694</sup> J. Käppeler,<sup>695</sup> J. Käppeler,<sup>696</sup> J. Käppeler,<sup>697</sup> J. Käppeler,<sup>698</sup> J. Käppeler,<sup>699</sup> J. Käppeler,<sup>700</sup> J. Käppeler,<sup>701</sup> J. Käppeler,<sup>702</sup> J. Käppeler,<sup>703</sup> J. Käppeler,<sup>704</sup> J. Käppeler,<sup>705</sup> J. Käppeler,<sup>706</sup> J. Käppeler,<sup>707</sup> J. Käppeler,<sup>708</sup> J. Käppeler,<sup>709</sup> J. Käppeler,<sup>710</sup> J. Käppeler,<sup>711</sup> J. Käppeler,<sup>712</sup> J. Käppeler,<sup>713</sup> J. Käppeler,<sup>714</sup> J. Käppeler,<sup>715</sup> J. Käppeler,<sup>716</sup> J. Käppeler,<sup>717</sup> J. Käppeler,<sup>718</sup> J. Käppeler,<sup>719</sup> J. Käppeler,<sup>720</sup> J. Käppeler,<sup>721</sup> J. Käppeler,<sup>722</sup> J. Käppeler,<sup>723</sup> J. Käppeler,<sup>724</sup> J. Käppeler,<sup>725</sup> J. Kä

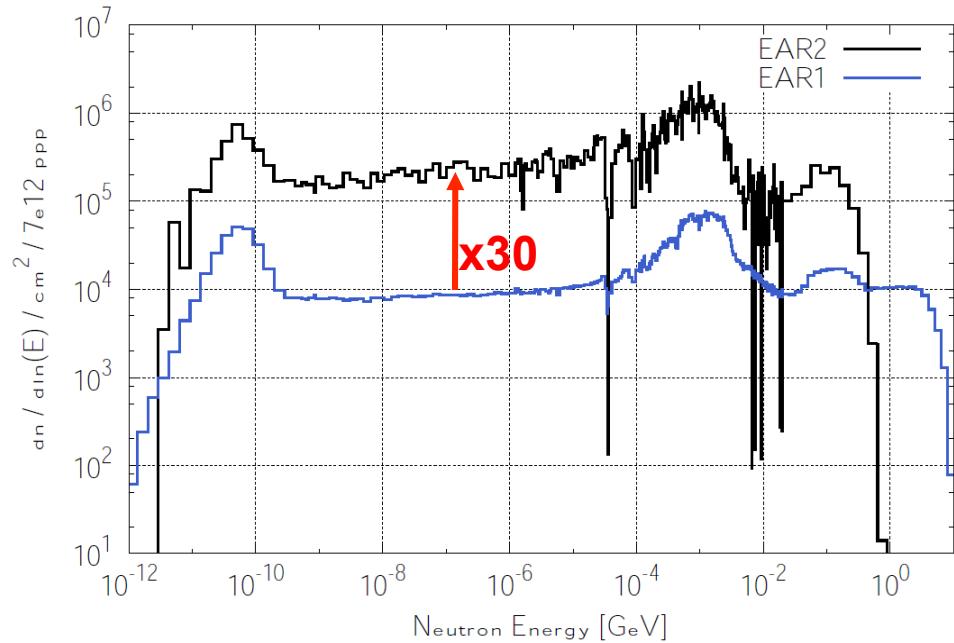
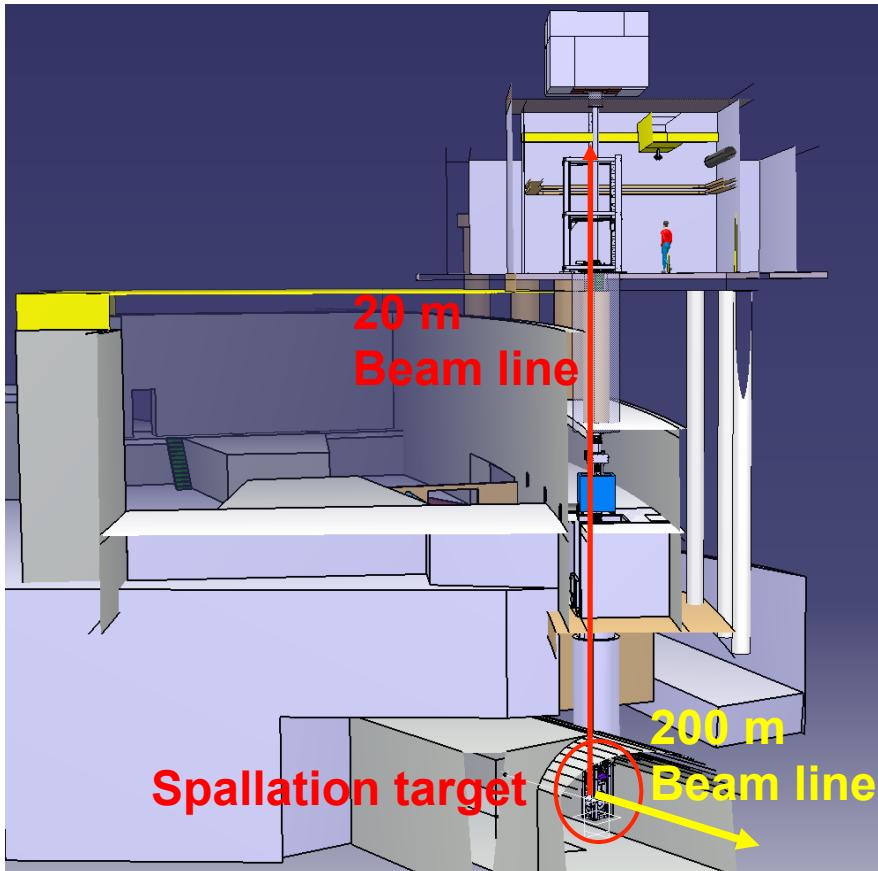
# Publications

Isotope	Reference
$^{24,25,26}\text{Mg}$	<b>PRC 85 (2012) 044615</b>
$^{58}\text{Ni}$	<b>PRC 89 (2014) 014605</b>
$^{62}\text{Ni}$	<b>PRC 89 (2014) 025810</b>
$^{63}\text{Ni}$	<b>PRL 110 (2013) 022501</b>
$^{90}\text{Zr}$	<b>PRC 77 (2008) 035802</b>
$^{91}\text{Zr}$	<b>PRC 78 (2008) 045804</b>
$^{92}\text{Zr}$	<b>PRC 81 (2010) 055801 APJ 780 (2014) 95</b>
$^{93}\text{Zr}$	<b>PRC 87 (2013) 014622</b>
$^{94}\text{Zr}$	<b>PRC 84 (2011) 015801</b>
$^{96}\text{Zr}$	<b>PRC 84 (2011) 055802</b>
$^{139}\text{La}$	<b>PRC 75 (2007) 035807</b>
$^{151}\text{Sm}$	<b>PRL 93 (2004) 161103 – PRC 73 (2006) 034604</b>
$^{186,187,188}\text{Os}$	<b>PRC 82 (2010) 015802 – PRC 82 (2010) 015804</b>
$^{204}\text{Pb}$	<b>PRC 75 (2007) 015806</b>
$^{206}\text{Pb}$	<b>PRC 76 (2007) 045805</b>
$^{207}\text{Pb}$	<b>PRC 74 (2006) 055802</b>
$^{209}\text{Bi}$	<b>PRC 74 (2006) 025807</b>

# The second Experimental ARea @ n\_TOF

# n\_TOF Experimental Area 2

Experimental Area 2 (EAR2) is placed (vertically) at **20m** from spallation target.

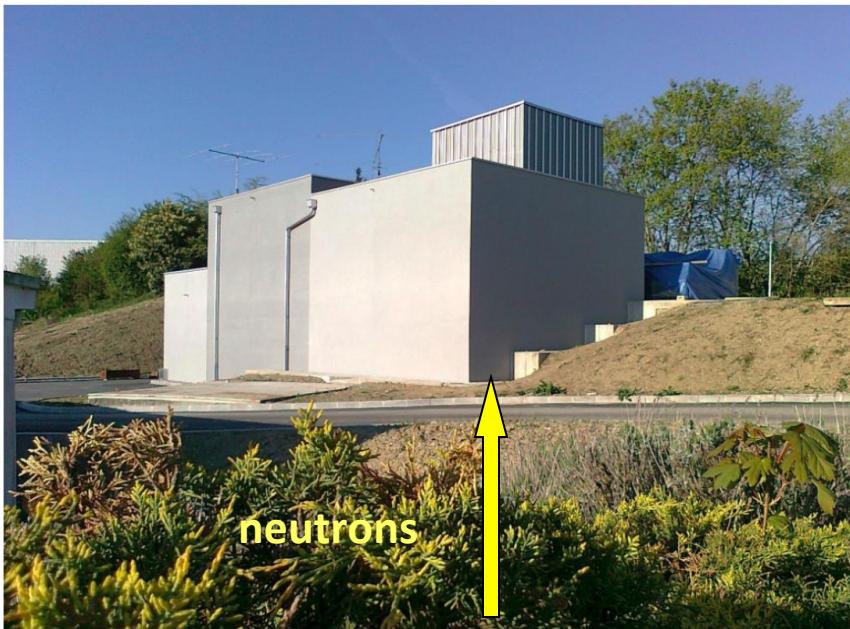


**Higher fluence**, by a factor of 30, relative to EAR1.

The **shorter flight path** implies a factor of 10 smaller time-of-flight.

Global gain by a factor of **300 in the signal/background ratio** for radioactive isotopes!

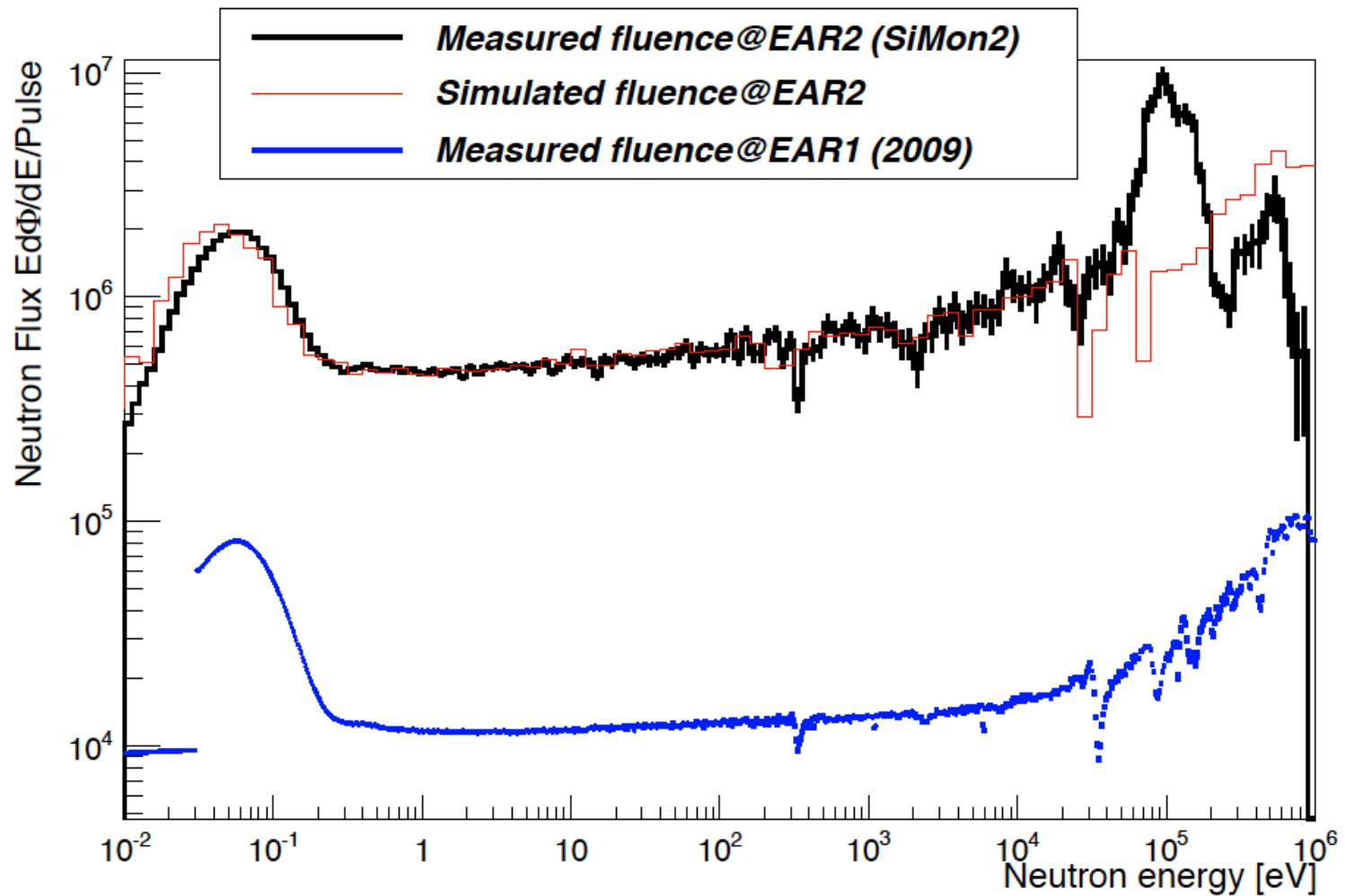
## n\_TOF Experimental Area 2



The facility is presently undergoing the commissioning phase, particularly in terms of flux and background.

A rich experimental program is foreseen in **EAR2**, with many measurements already approved by the **ISOLDE** and the **NTOF** Committee (**INTC**) at CERN.

# The neutron flux in EAR 2



**PRELIMINARY**

# The experimental program EAR 2

## The EAR2 will allow to:

- measure samples of **very small mass (<1 mg)**
- measure **short-lived radioisotopes** (down to a few years)
- collect data on a much **shorter time scale**
- **measure ( $n$ ,charged particle) reactions with thin samples**

## Measurements in EAR2:

- **( $n,p$ ) and ( $n,\alpha$ ) cross sections on  $^{7}\text{Be}$ ,  $^{25}\text{Mg}$ ,  $^{26}\text{Al}$**
- **Fission cross sections of the short lived actinides  $^{232}\text{U}$ ,  $^{238,241}\text{Pu}$  and  $^{244}\text{Cm}$**
- **Capture cross section of  $^{79}\text{Se}$ ,  $^{245}\text{Cm}$**
- Cross section and angular distribution of fragments from  $^{232}\text{U}(n,f)$

## Status of the EAR2:

- **Construction finished** May-2014
- **First neutron beam** mid-June-2014
- **Commissioning** 2014
- **Physics start** in 2015

# AstroPhysics program EAR I & EAR II

Isot.	R	Comments
$^{70,72,73}\text{Ge}$	(n, $\gamma$ )	s-process flow
$^{171}\text{Tm}, ^{204}\text{Tl}$	(n, $\gamma$ )	Branching points

Isot.	R	Comments
$^{147}\text{Pm}$	(n, $\gamma$ )	Branching point
$^{26}\text{Al}$	(n,p/ $\alpha$ )	$^{26}\text{Al}$ galactic abundance
$^{53}\text{Mn}$	(n, $\gamma$ )	Explosive stage of stellar evolution
Be,C, $^{14}\text{N},\text{O},^{19}\text{F}$	(n, $\alpha$ )	n capture in light nuclei
$^{79}\text{Se}$	(n, $\gamma$ )	Branching point

# Conclusions



- There is need of **accurate new data** on neutron cross-section both for **astrophysics and advanced nuclear technology**.
- Since 2001, **n\_TOF@CERN** has provided an important contribution to the field, with an intense activity on **capture and fission measurements**.
- Several results of interest for **stellar nucleosynthesis** (Sm, Os, Zr, Ni, Fe, etc...).
- Important data on actinides, of interest for **nuclear waste transmutation**.
- To date, high resolution measurements performed in **EAR1** in optimal conditions (borated water moderator, Class-A experimental area, etc...).
- A second **experimental area at 20 m** for high flux measurements is actually in commissioning.
- The EAR2 (starting in 2015) will open **new perspectives** for frontier measurements on short-lived radionuclides.