

Klassische Physik 1

Johannes Blümer

WS 2014/15

V17 16.12.14

KIT-Centrum Elementarteilchen- und Astroteilchenphysik KCETA



Zusammenfassung v16

Kepler 2 $\hat{=}$ Drehimpulserhaltung "K3" $\hat{=}$ $1/r^2$ Zentralkraft

Gravitation: $\vec{F} = -G \cdot \frac{m_1 m_2}{r^2} \hat{r}$; G im Hösael "gemessen"

(Feld-)Stärke: $g(r) = F/m = \frac{GM}{r^2}$ m kleine Probenmasse

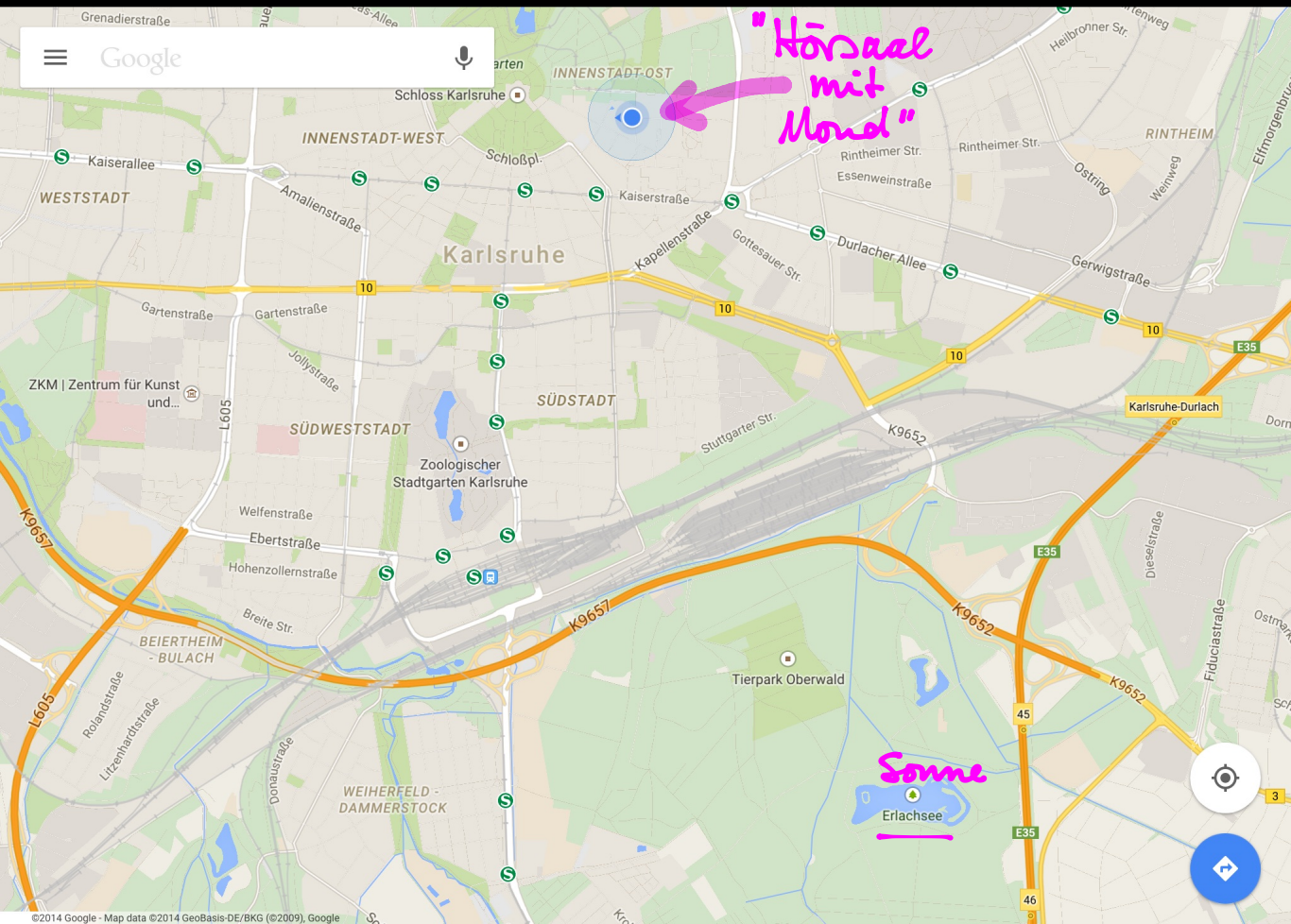
g auf der Achse eines massiven Rings: $g_x = - \frac{G m x}{(x^2 + a^2)^{3/2}}$

g außerhalb einer Kugelschale v. Radius r : $g_{KS} = - \frac{GM}{r^2}$

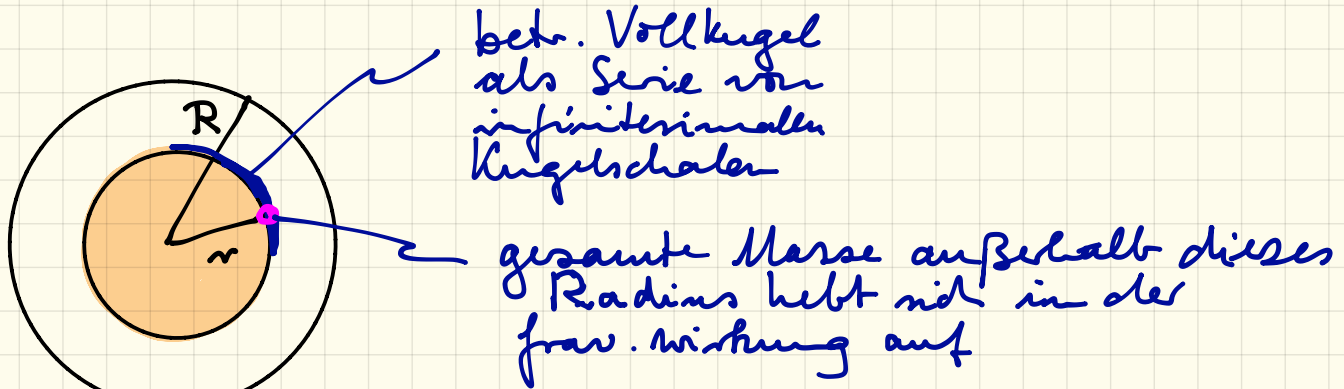
g innerhalb einer Kugelschale: $g=0$ wie Punktmasse M



Google



Gravitationsfeld im Inneren einer Vollkugel



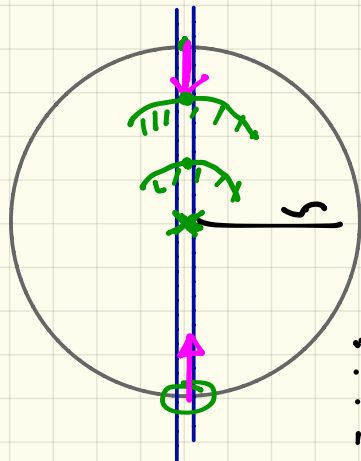
Masse $m'(r)$ innerhalb eines Radius r

$$m'(r) = \int_{V(r)} \rho(r) dV \xrightarrow{\rho \rightarrow \bar{\rho}} \bar{\rho} \cdot \int_0^r 4\pi r^2 dr$$

$$= M \cdot \frac{r^3}{R^3}$$

$$g_{\text{innen}}(r) = - \frac{G m'(r)}{r^2} = - \frac{G M r^3}{r^2 R^3} = - \underbrace{\frac{G M}{R^3}}_{\text{const.}} \cdot r$$

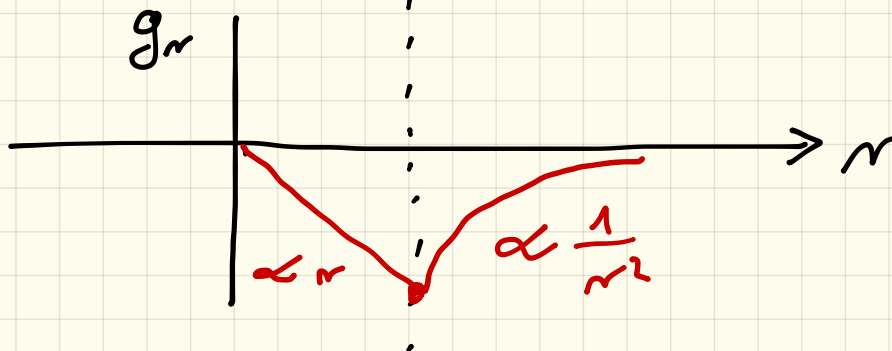
$$g_{\text{außen}}(r > R) = - \frac{G M}{r^2} \text{ wie Punktmasse } r < R$$



lin. Kraft -
gesetz

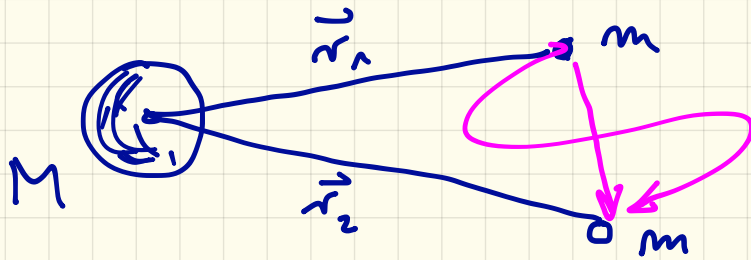


harmon.
Schwingung



Energiebetrachtungen

gravitation ist „konservativ“



Verschiebungsarbeit
wegunabhängig

Kräfte immer
nur radial

pot. Energie in einem Kraftfeld $\vec{F}$ für eine
Verschiebung $d\vec{s}$:

↓ gravitation

$$dE_{\text{pot}} = - \vec{F} \cdot d\vec{s} = - \left(- \frac{GMm}{r^2} \underbrace{\frac{\vec{r}}{r}} \right) d\vec{s}$$

$\underbrace{\vec{r} d\vec{s}} = r dr$

$$dE_{\text{pot}} = \frac{GMm}{r^2} \cdot dr = GMm \frac{dr}{r^2}$$

für die Energiediff. zwischen Abständen r_1, r_2 integrieren:

$$E_{\text{pot}}(r_2) - E_{\text{pot}}(r_1) = \int_{r_1}^{r_2} dE_{\text{pot}} = \dots = GMm \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$

$M \rightarrow M_E$, Grav. feld der Erde
 $r_1 \rightarrow r_E$ auf der Erdoberfläche

E_{pot} bei r_E
 = Null setzen

$$E_{\text{pot}}(r_2) = GM_E m \left(\frac{1}{r_E} - \frac{1}{r_2} \right)$$

$r_2 \rightarrow$ Abstand v. Erdmitt.

h Höhe ü. Erdoberden

$$r_2 \rightarrow r = R_E + h$$

$$h = r - R_E$$

bedr. Näherung $h \ll R_E$

$$E_{\text{pot}}(h) = G M_E m \left(\frac{h}{R_E^2 + R_E h} \right)$$

① $\hookrightarrow$ betr. Näherung $h \ll R_E$, $R_E^2 + R_E h \rightarrow R_E^2$

$$E_{\text{pot}}(h) = \underbrace{G M_E \frac{1}{R_E^2}}_{\equiv g} \cdot m \cdot h = mgh \quad \checkmark$$

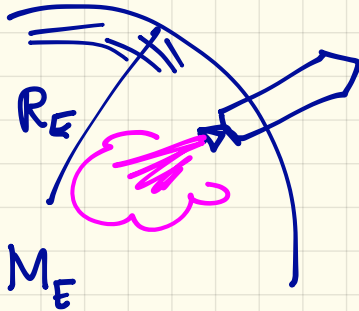
② "sehr große Höhe": $h \gg R_E$: $\frac{h}{R_E^2 + R_E h} \rightarrow \frac{1}{R_E}$

$$E_{\text{pot}}(h) = G M_E m \frac{1}{R_E} = mg R_E = \text{konst.}$$

$= \text{Maximalwert}$

$E_{\text{pot}} \equiv \text{Bindungsenergie}$

Fluchtgeschwindigkeit



wie hoch muss die Anfangsgeschwindigkeit sein, um vollständig aus dem Gravitationsfeld fliehen zu können?

$$E_{\text{kin}}^{\text{min}} = E_{\text{pot}}^{\text{max}}$$

$$\frac{1}{2} \underline{m} \underline{v_F^2} = \frac{G M_E \underline{m}}{R_E} = \underline{m g R_E}$$

$$v_F = \sqrt{2 g R_E} \quad \text{massenunabhängig}$$

erdbezogen

$$v_F (\text{Erde}) = 11,2 \text{ km/s}$$

$$v_F (\text{Mond}) = 2,3 \text{ km/s}$$

1. Einführung

- 1.1. Was ist Physik?
- 1.2. Physikalische Größen und Einheiten
- 1.3. Messungen, Datenauswertung, Fehler

2. Klassische Mechanik

- 2.1. Kinematik der Massenpunkte
- 2.2. Dynamik der Massenpunkte
- 2.3. Systeme von Massenpunkten
- 2.4. Rotation

3. Gravitation

- 3.1. Gravitationsgesetz
- 3.2. Feld und Potential

3.3. Planetenbahnen: Kepler

3.4. Massenverteilungen

3.5. Dunkle Materie

4. Relativistische Mechanik

- 4.1. Bezugssysteme und Transformationen
- 4.2. Spezielle Relativitätstheorie
- 4.3. Relativistische Kinematik

5. Feste Körper und Flüssigkeiten

- 5.1. Feste Körper
- 5.2. Hydrostatik und Hydrodynamik

6. Schwingungen und Wellen

- 6.1. Schwingungen
- 6.2. Wellen

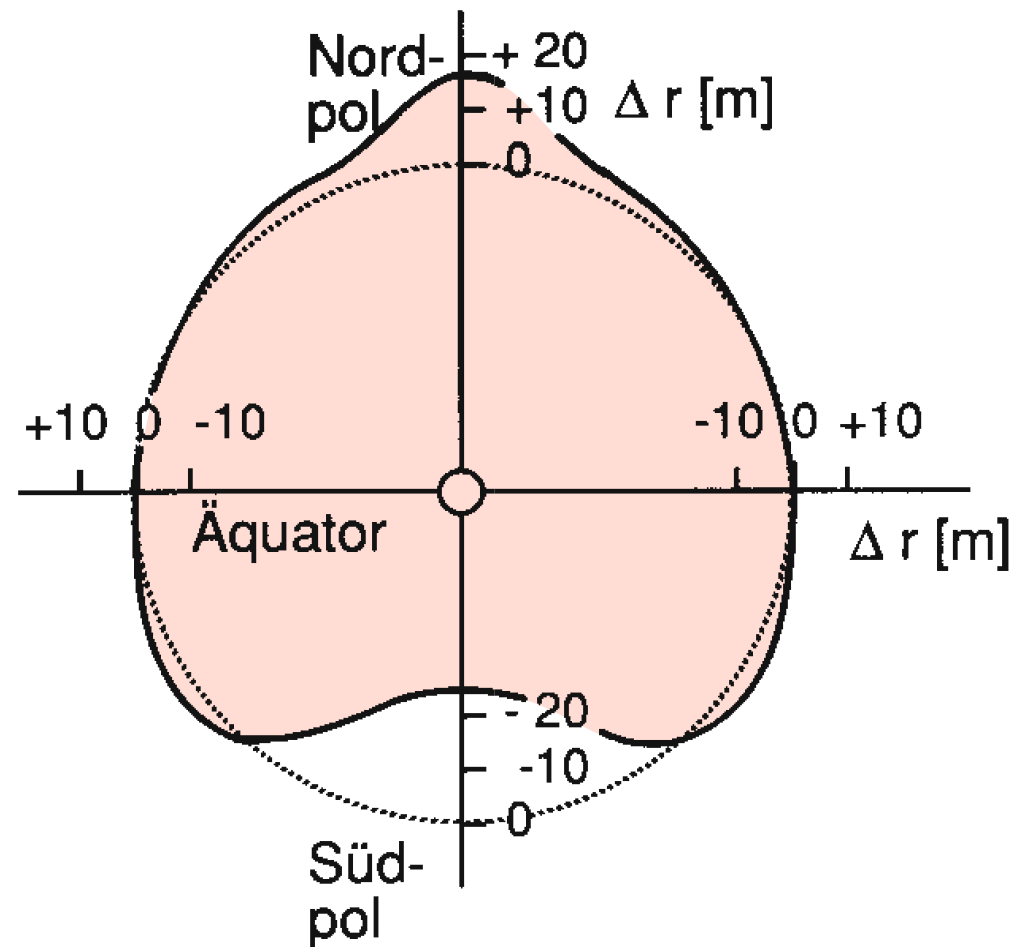
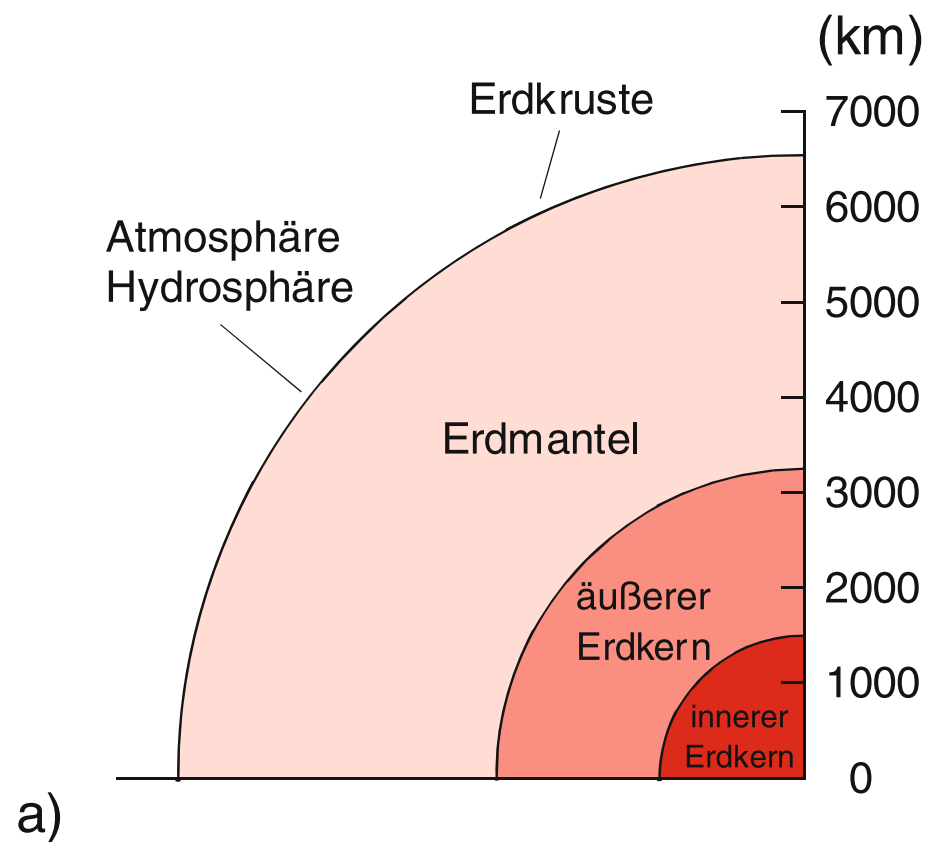


Abb. 2.55. Die Erde als Geoid. Aufgetragen ist in einem 80 000fach vergrößerten Maßstab die angenäherte Abweichung des Geoids von einem abgeplatteten Rotationsellipsoid mit $(a - b)/a = 1/298,25$ (gestrichelte Kurve), wobei a die große, b die kleine Achse des Ellipsoids ist. Auch dies gibt nur annähernd die wahre Form der Erdoberfläche wieder

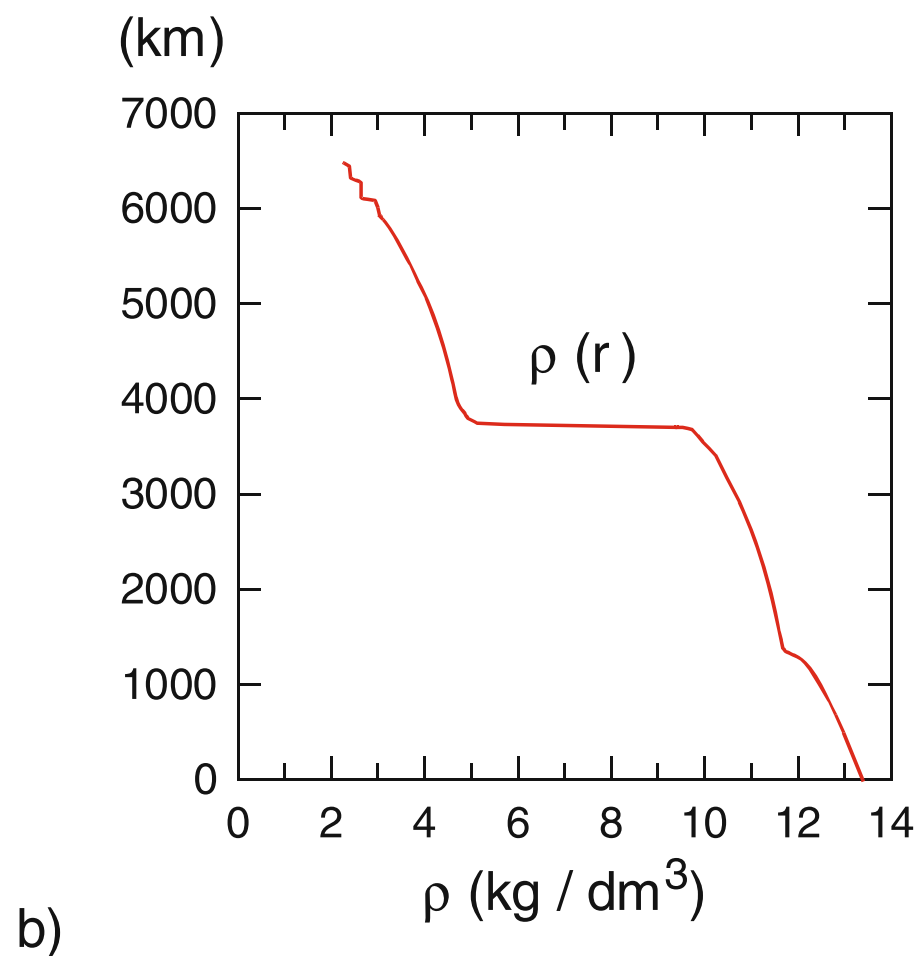


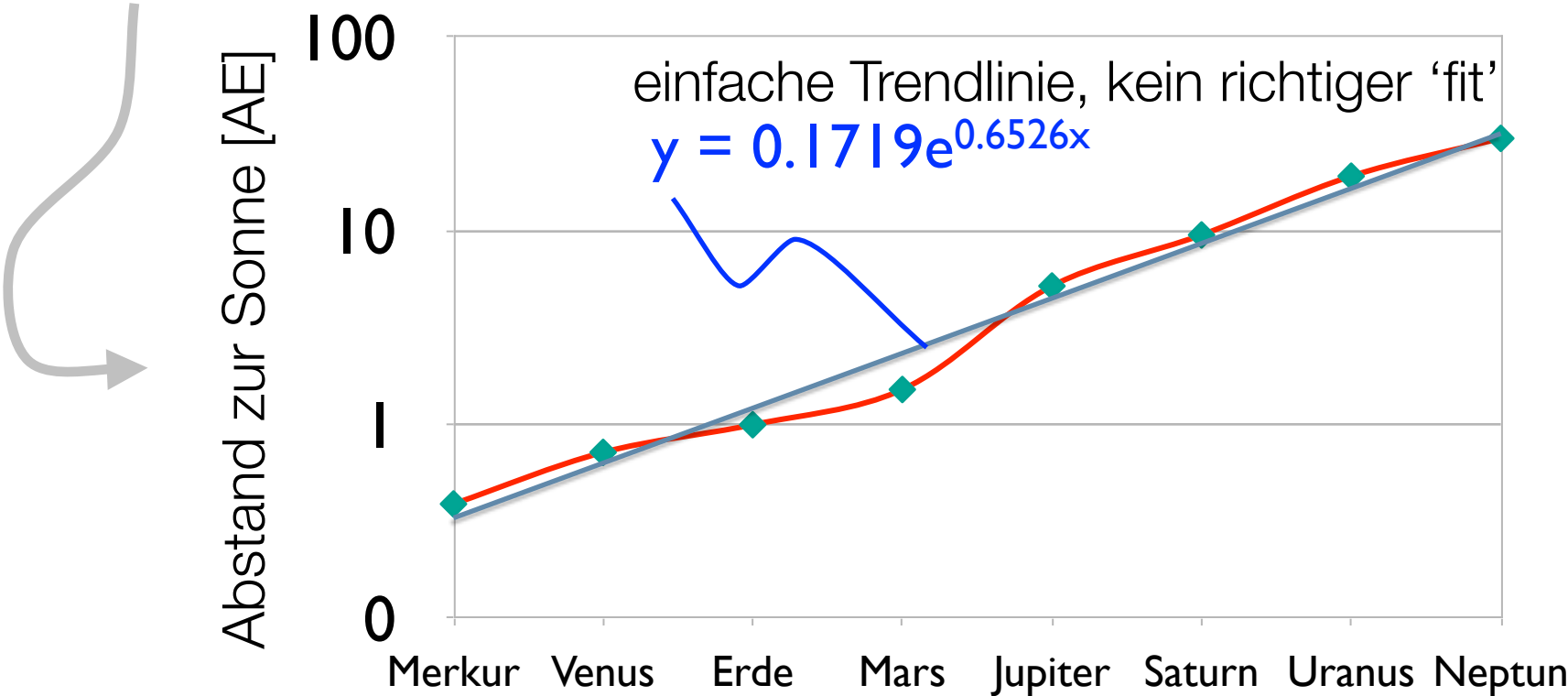
Abb. 2.54. (a) Aufbau der Erde, (b) radialer Dichteverlauf

Tabelle 2.2. Masse und mittlere Dichte von Sonne, Planeten und Erdmond

Planet	Symbol	Masse in Erdmassen	mittlere Dichte $\bar{\rho}$ in 10^3 kg/m^3
Sonne	☉	$3,33 \cdot 10^5$	1,41
Merkur	☿	0,0558	5,42
Venus	♀	0,8150	5,25
Erde	♁	1,0	5,52
Mars	♂	0,1074	3,94
Jupiter	♃	317,826	1,314
Saturn	♄	95,147	0,69
Uranus	♅	14,54	1,19
Neptun	♆	17,23	1,66
Erdmond	☾	0,0123	3,34

Tabelle 2.1. Bahndaten der acht großen Planeten (mit dem Erdmond zum Vergleich)

Name	Symbol	Große Halbachse der Bahn a			Umlauf- dauer T	mittlere Umlauf- geschwin- digkeit in kms^{-1}	numerische Exzentri- zität e	Bahn- neigung i	kleinste größte Entfernung von der Erde	
		in AE	in 10^6 km	in Licht- laufzeit t					in AE	in AE
Merkur	♿	0,39	57,9	3,2 min	88 d	47,9	0,206	7,0°	0,53	1,47
Venus	♀	0,72	108,2	6,0 min	225 d	35,0	0,007	3,4°	0,27	1,73
Erde	♁	1,00	149,6	8,3 min	1,00 a	29,8	0,017	–	–	–
Mars	♂	1,52	227,9	12,7 min	1,9 a	24,1	0,093	1,8°	0,38	2,67
Jupiter	♃	5,20	778,3	43,2 min	11,9 a	13,1	0,048	1,3°	3,93	6,46
Saturn	♄	9,54	1427	1,3 h	29,46 a	9,6	0,056	2,5°	7,97	11,08
Uranus	♅	19,18	2870	2,7 h	84 a	6,8	0,047	0,8°	17,31	21,12
Neptun	♆	30,06	4496	4,2 h	165 a	5,4	0,009	1,8°	28,80	31,33
Erdmond	☾	0,00257	0,384	1,3 s	27,32 d	1,02	0,055	5,1°	356 410 km	406 740 km



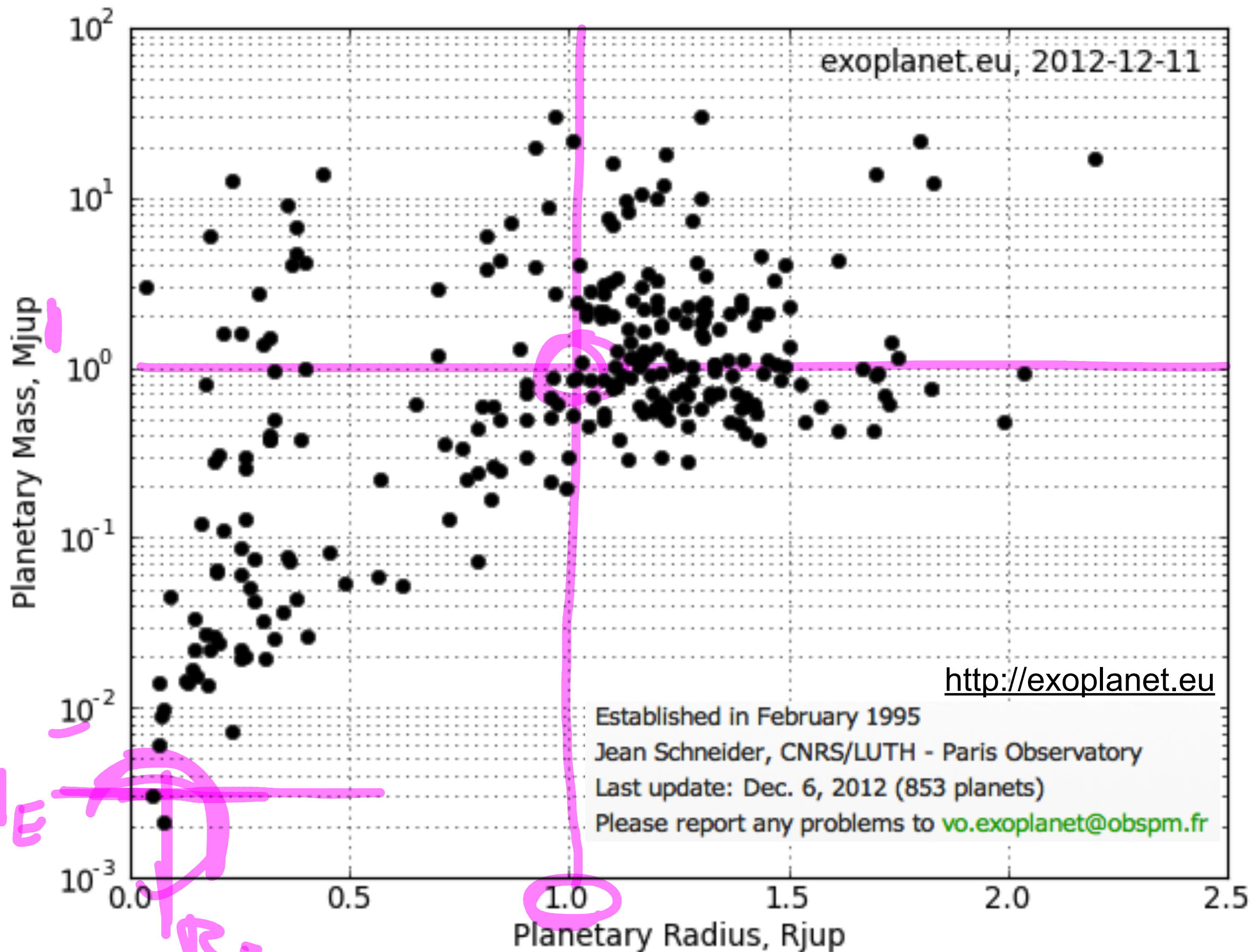
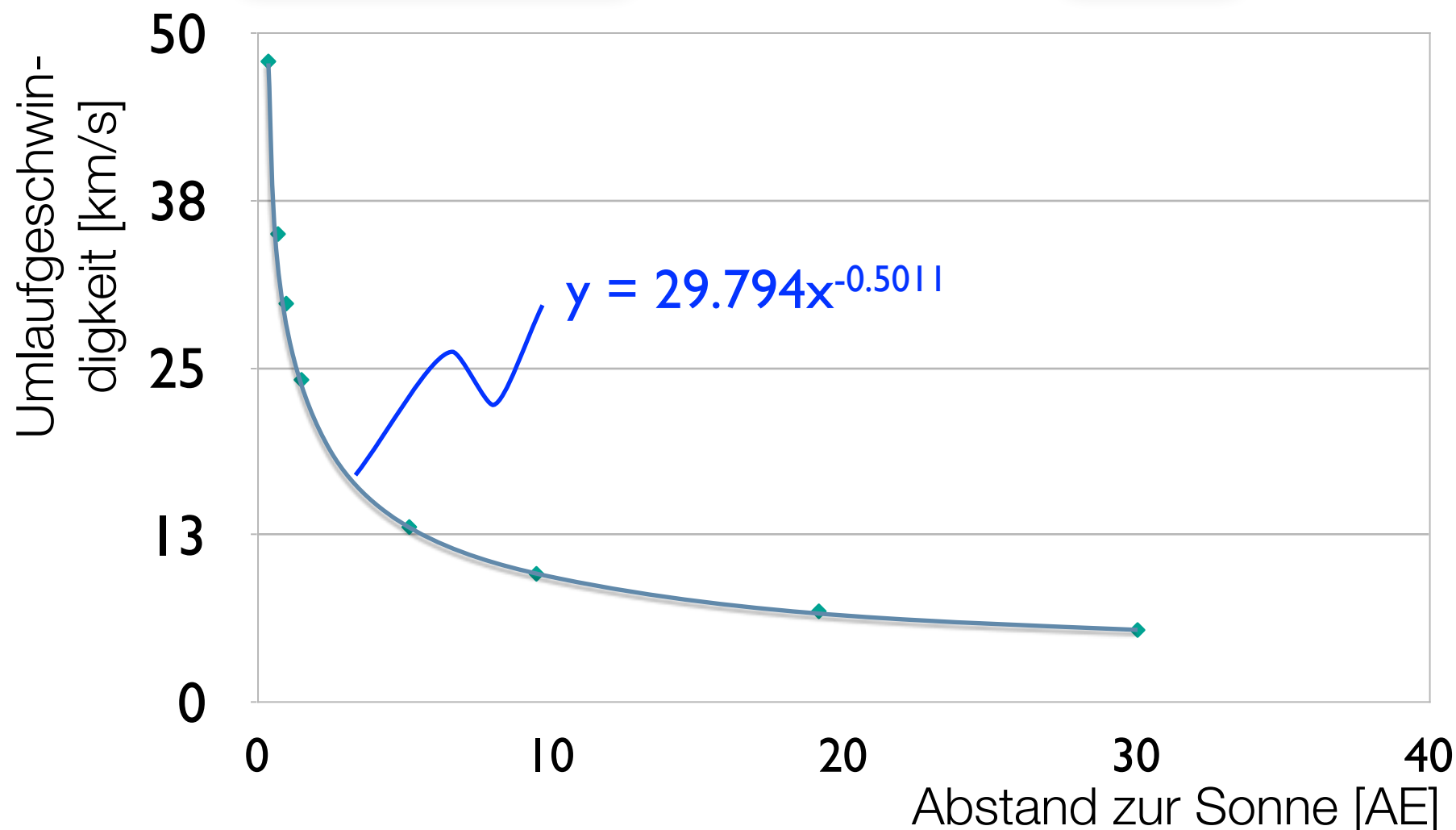


Tabelle 2.1. Bahndaten der acht großen Planeten (mit dem Erdmond zum Vergleich)

Name	Symbol	Große Halbachse der Bahn a			Umlauf- dauer T	mittlere Umlauf- geschwin- digkeit in kms^{-1}	numerische Exzentrizität e	Bahn- neigung i	kleinste größte Entfernung von der Erde	
		in AE	in 10^6 km	in Licht- laufzeit t					in AE	in AE
Merkur	☿	0,39	57,9	3,2 min	88 d	47,9	0,206	7,0°	0,53	1,47
Venus	♀	0,72	108,2	6,0 min	225 d	35,0	0,007	3,4°	0,27	1,73
Erde	♁	1,00	149,6	8,3 min	1,00 a	29,8	0,017	—	—	—
Mars	♂	1,52	227,9	12,7 min	1,9 a	24,1	0,093	1,8°	0,38	2,67
Jupiter	♃	5,20	778,3	43,2 min	11,9 a	13,1	0,048	1,3°	3,93	6,46
Saturn	♄	9,54	1427	1,3 h	29,46 a	9,6	0,056	2,5°	7,97	11,08
Uranus	♅	19,18	2870	2,7 h	84 a	6,8	0,047	0,8°	17,31	21,12
Neptun	♆	30,06	4496	4,2 h	165 a	5,4	0,009	1,8°	28,80	31,33
Erdmond	☾	0,00257	0,384	1,3 s	27,32 d	1,02	0,055	5,1°	356 410 km	406 740 km



Die Umlaufgeschwindigkeit als Funktion des Abstands geht wie $1/\sqrt{r}$

Gravitationsbindung im Coma-Haufen?



Fritz Zwicky
(1898-1974)

Helv. Phys. Acta 6
110-127 (1933)
'Die Rotverschiebung
von extragalaktischen
Nebeln'

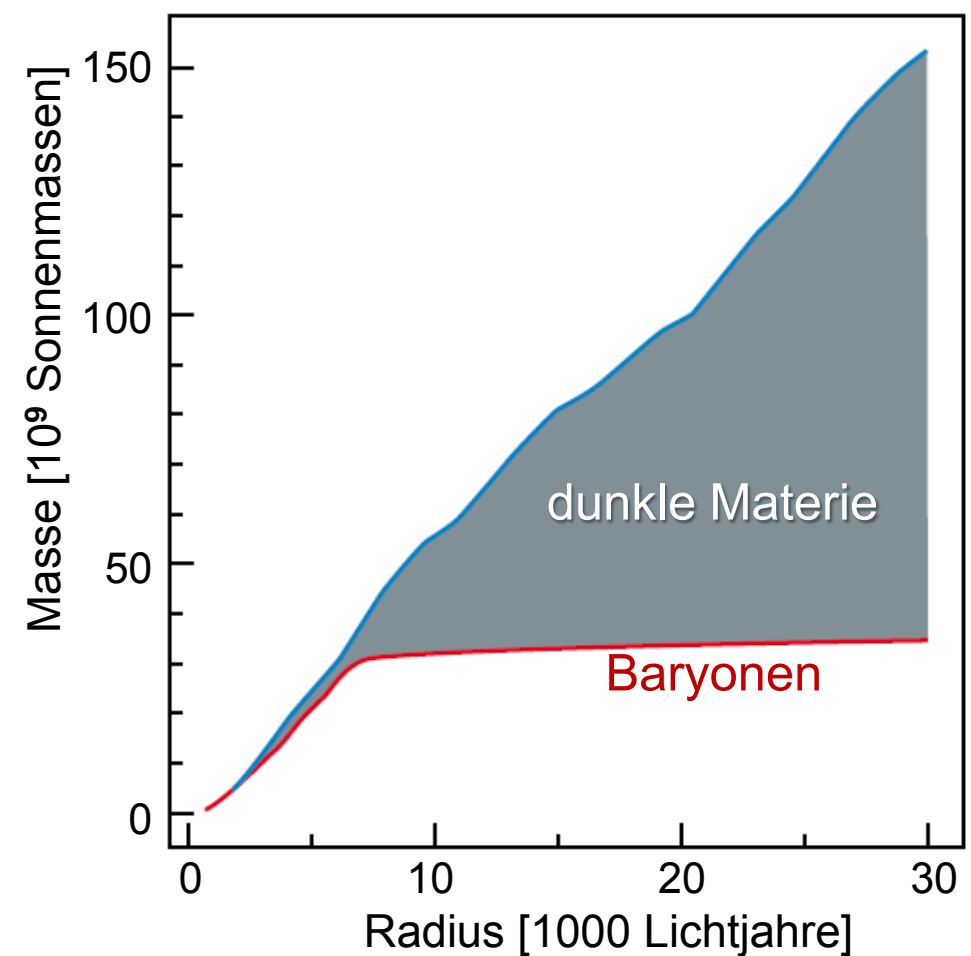
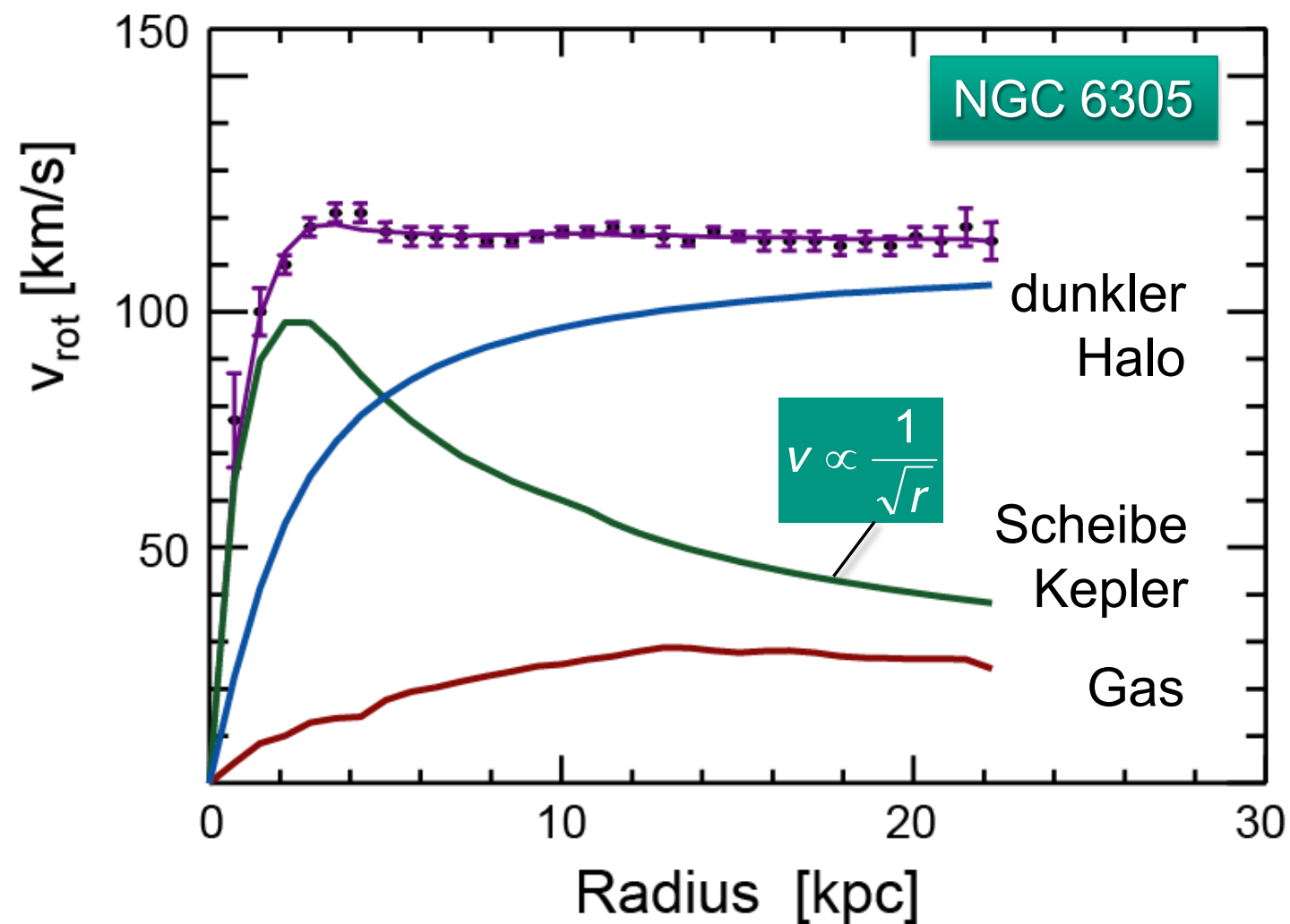
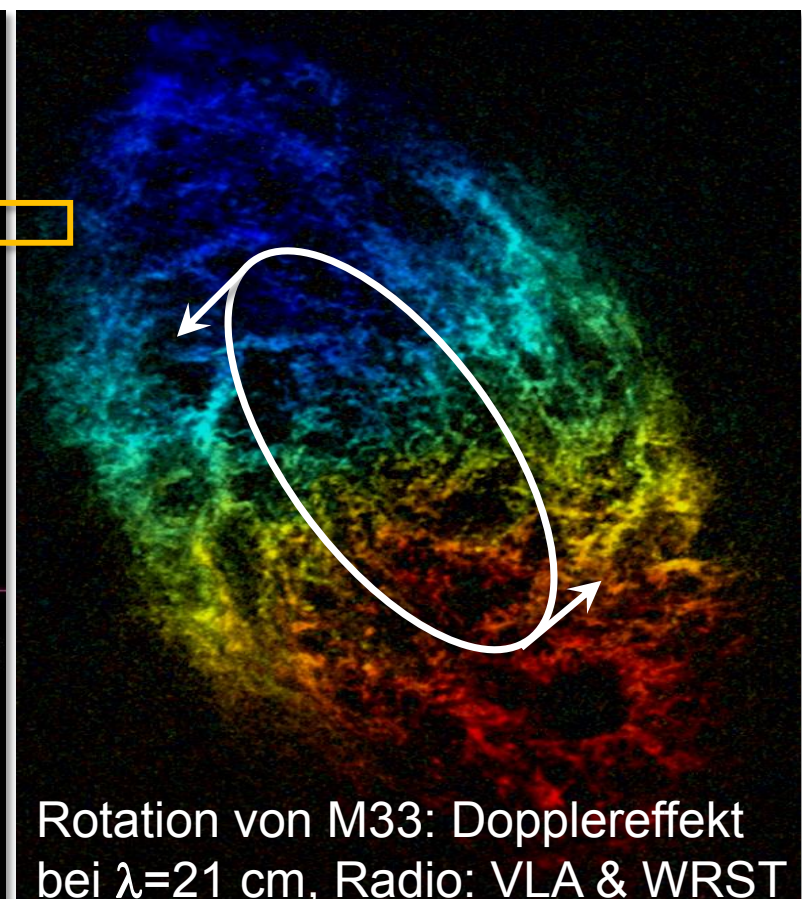
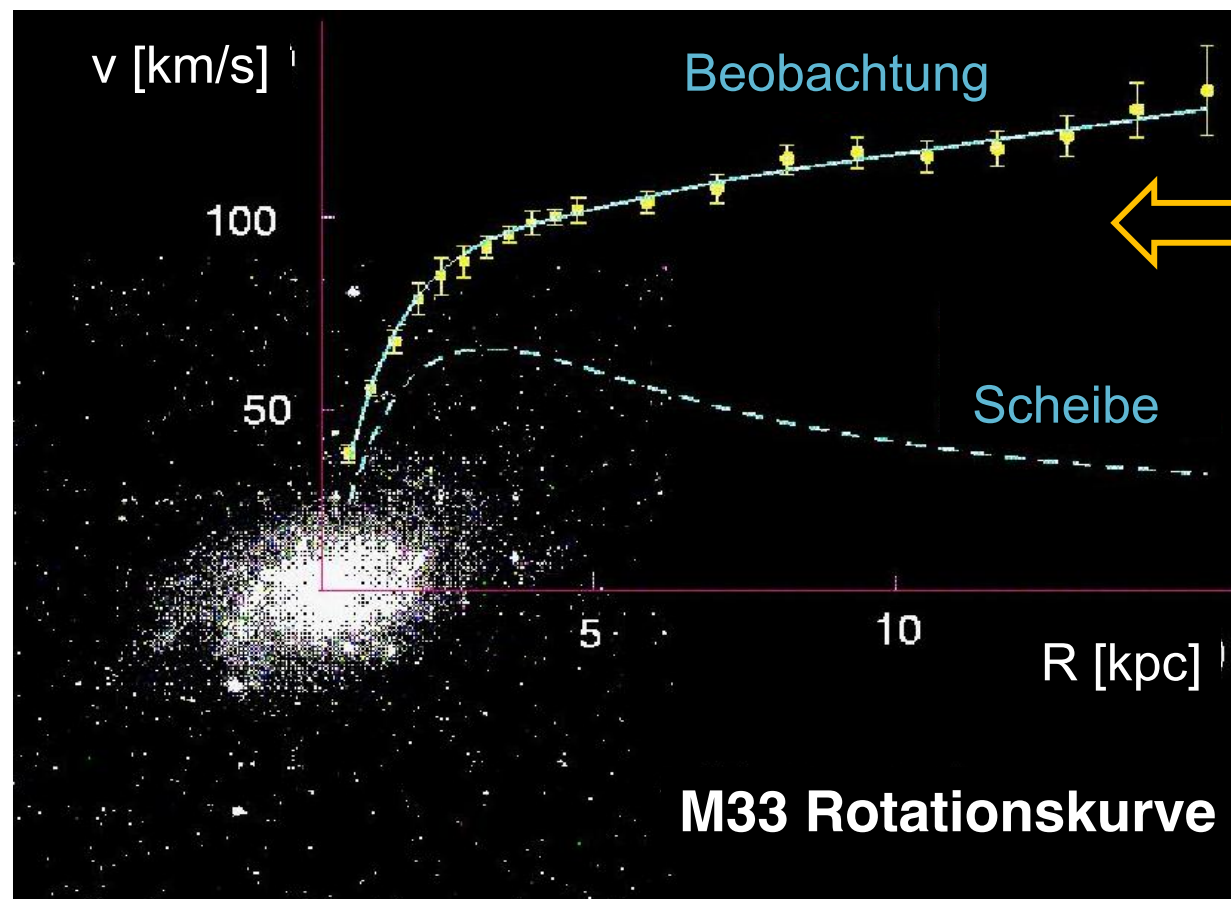
Virialsatz:
 $T = -U/2$

90% der Coma-
Masse ist nicht
sichtbar...???

**Should this turn out to be
true, the surprising result
would follow that dark matter
is present in a much higher
density than radiating matter"**



Rotationskurven



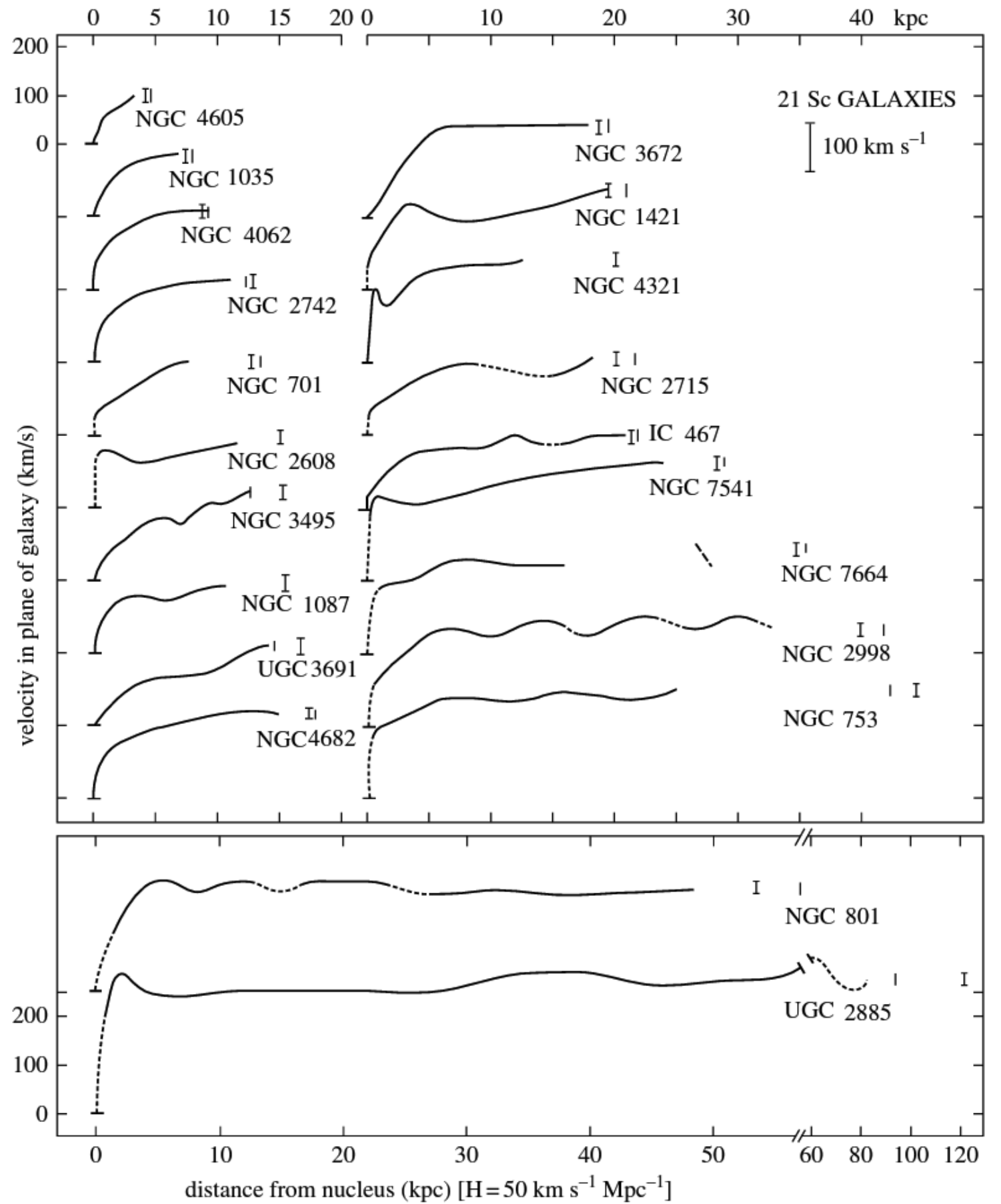
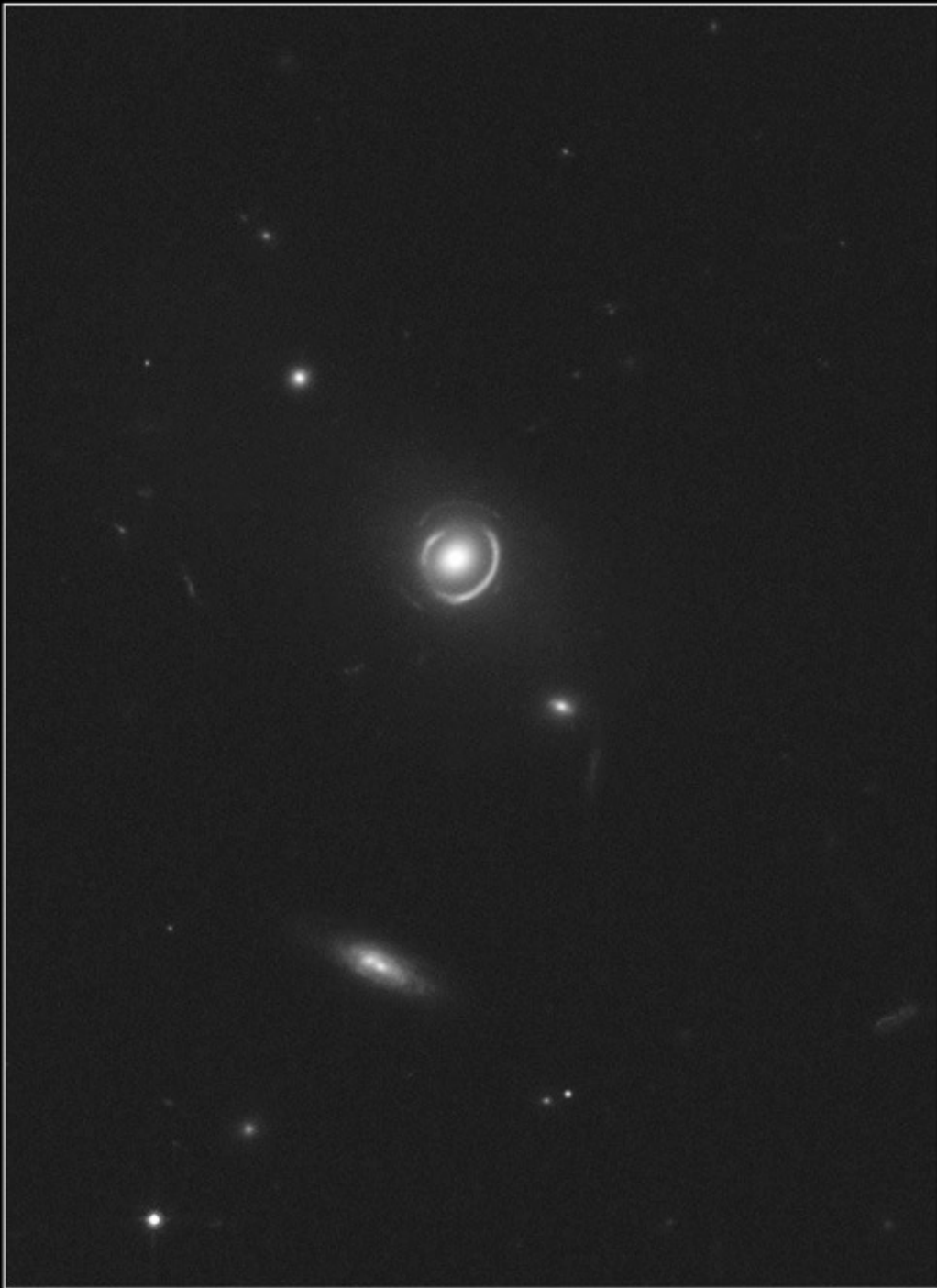


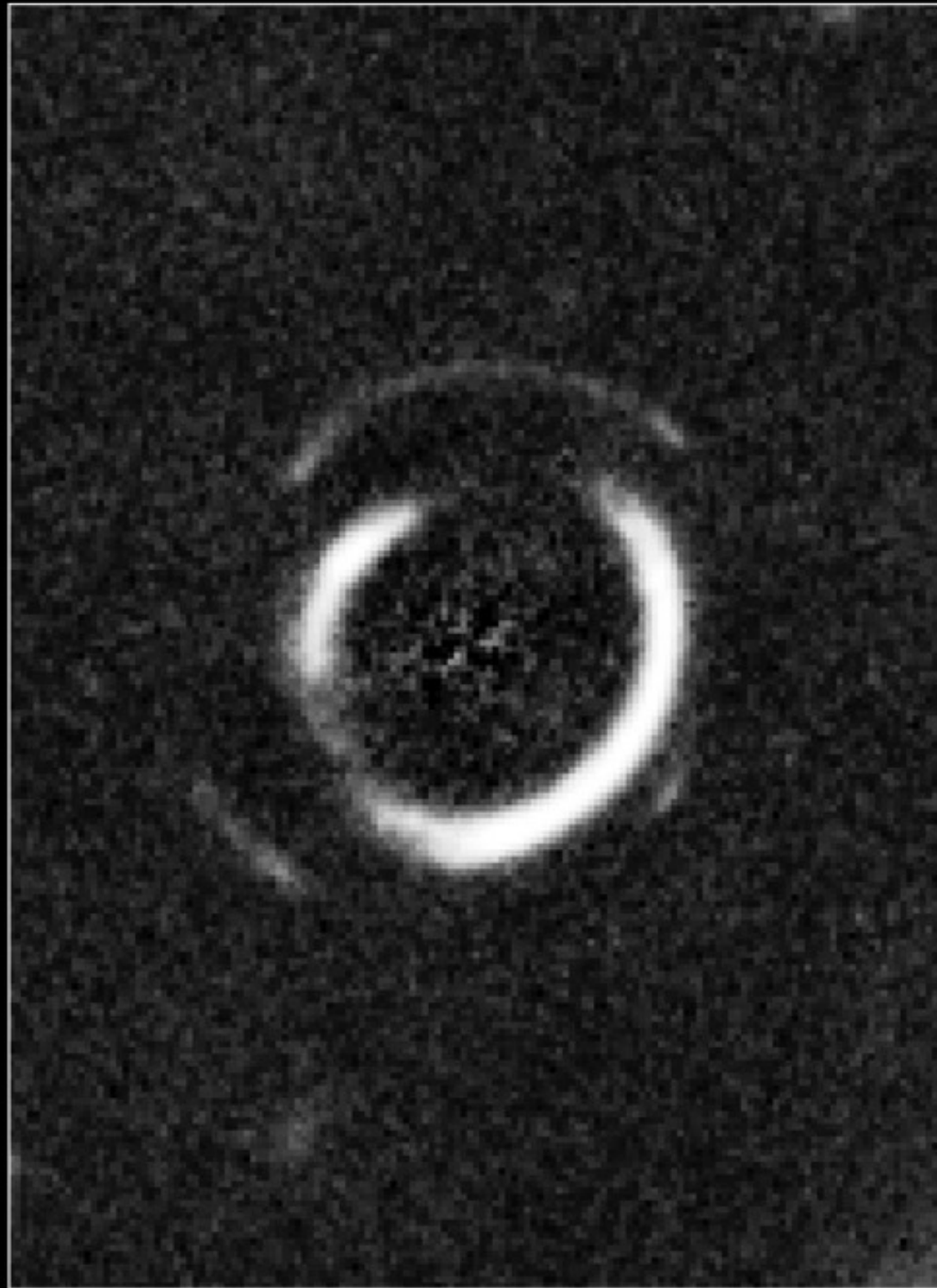
Fig. 4.12. The optically determined rotation curves of 21 spiral galaxies by Rubin, Ford and Thonnard (1980).

Gravitationslinsen

Double Einstein Ring SDSSJ0946+1006



Hubble Space Telescope ■ ACS/WFC



NASA, ESA, R. Gavazzi and T. Treu (University of California, Santa Barbara), and the SLACS Team

STScI-PRC08-04

Mikrolinsen & MACHOs

arXiv:0001272v1.pdf

Massive Compact Halo Objects

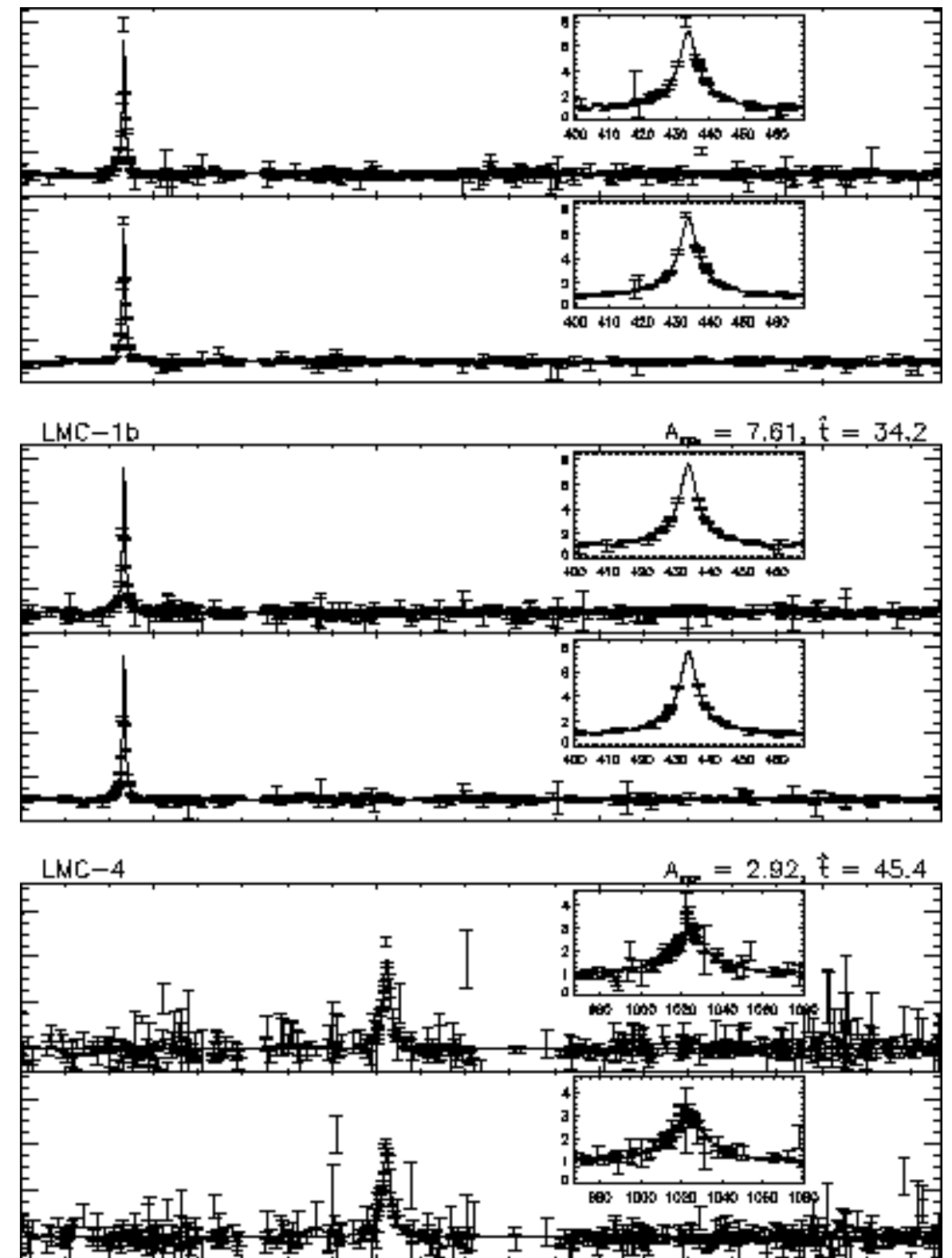
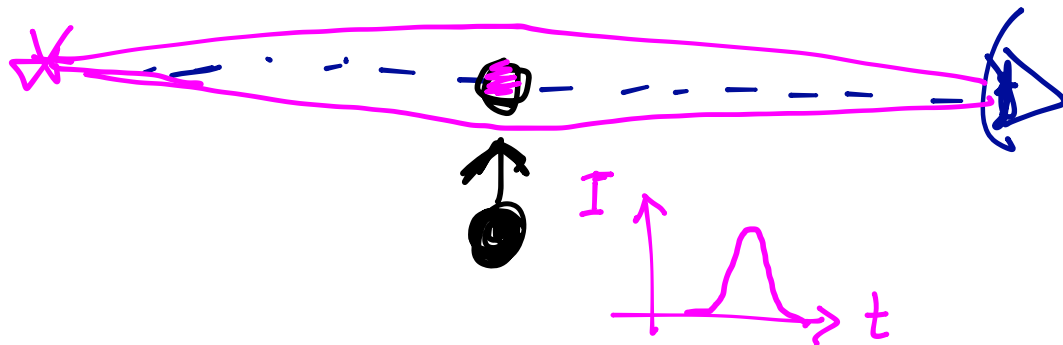


Fig. 4.— The lightcurves for the 29 candidates (25 stars) in § 3.2. For each object, the upper and lower panels show red and blue passbands. Flux is in linear units with 1σ estimated errors, normalized to the fitted unlensed brightness. Full lightcurves are shown with 2 day binning, insets of the event regions are unbinned. The full lightcurves can be found on the World Wide Web at <http://www.macho.anu.edu.au/>. The thick line is the fit to unblended microlensing (Table 4), except for probable supernovae where both the blended fit (solid line) and type Ia fit (dashed line) are shown.

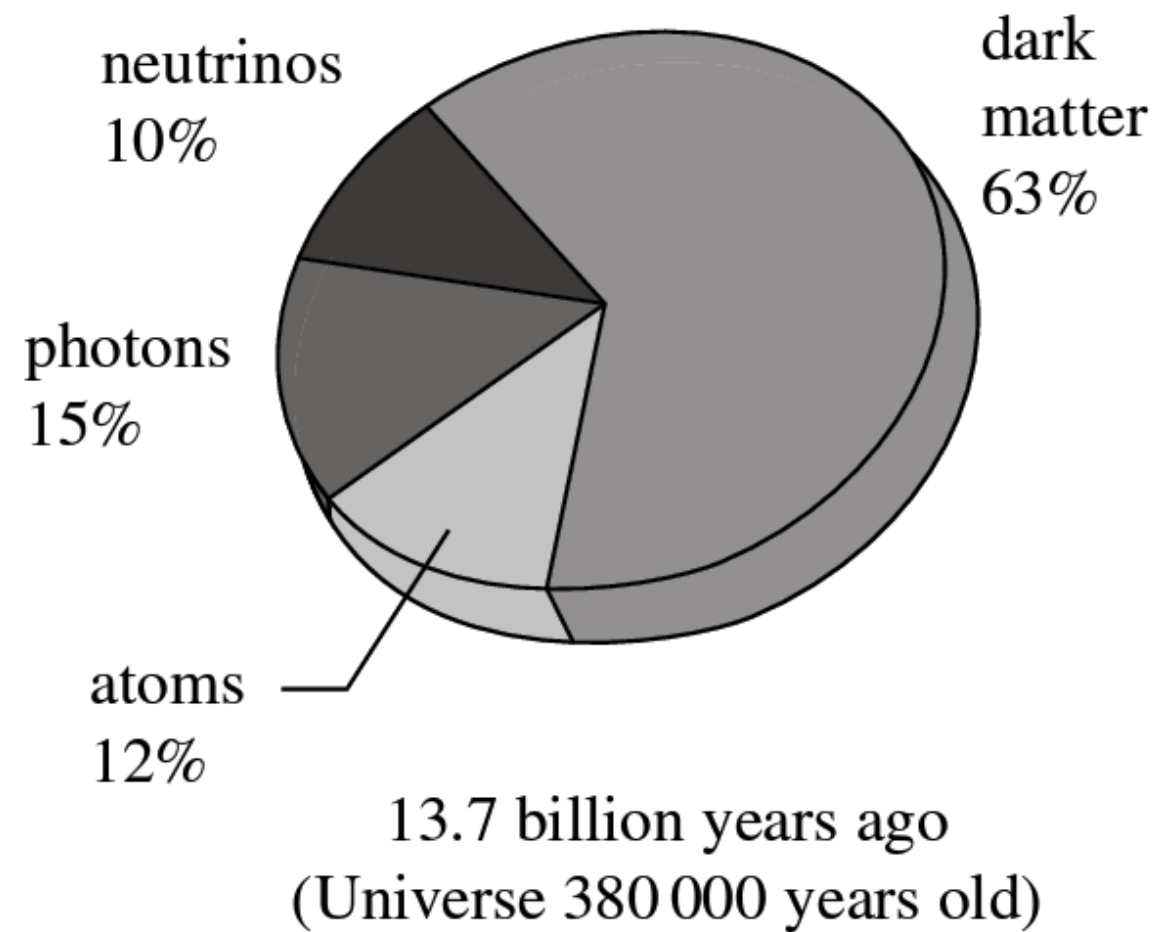
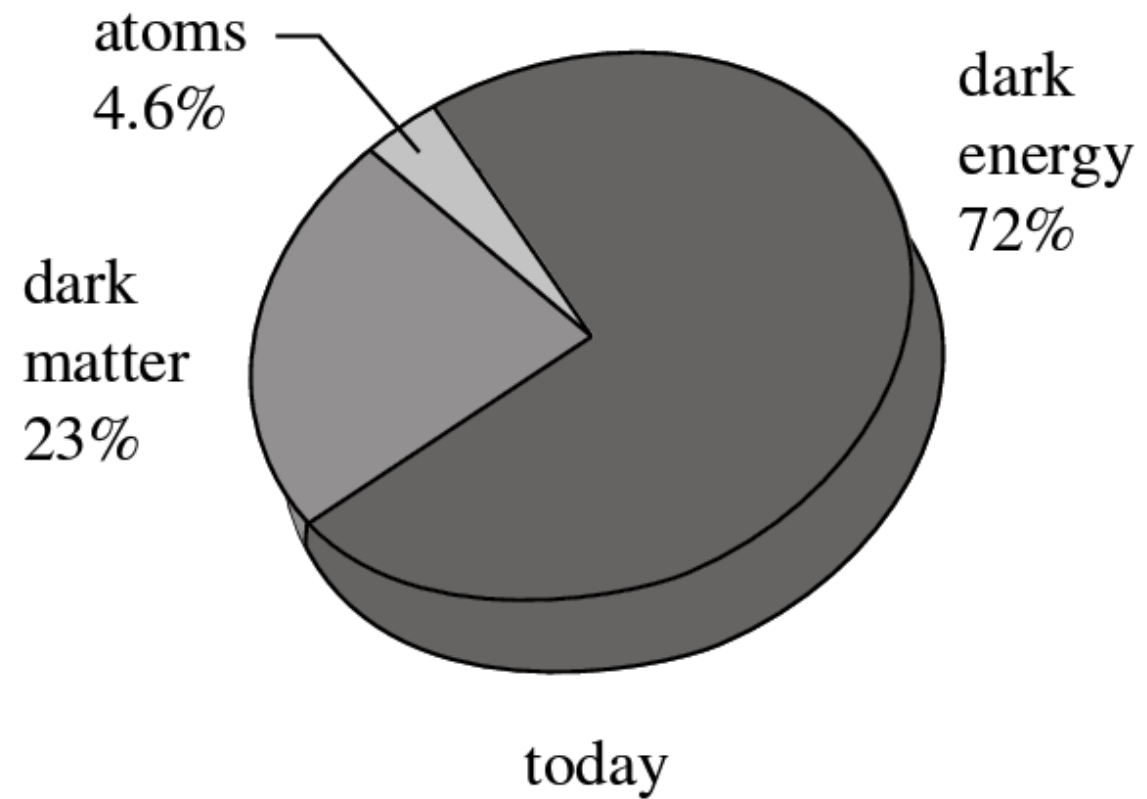
Bullet Cluster

$d = 1 \text{ Gpc}$
 $z = 0.296$

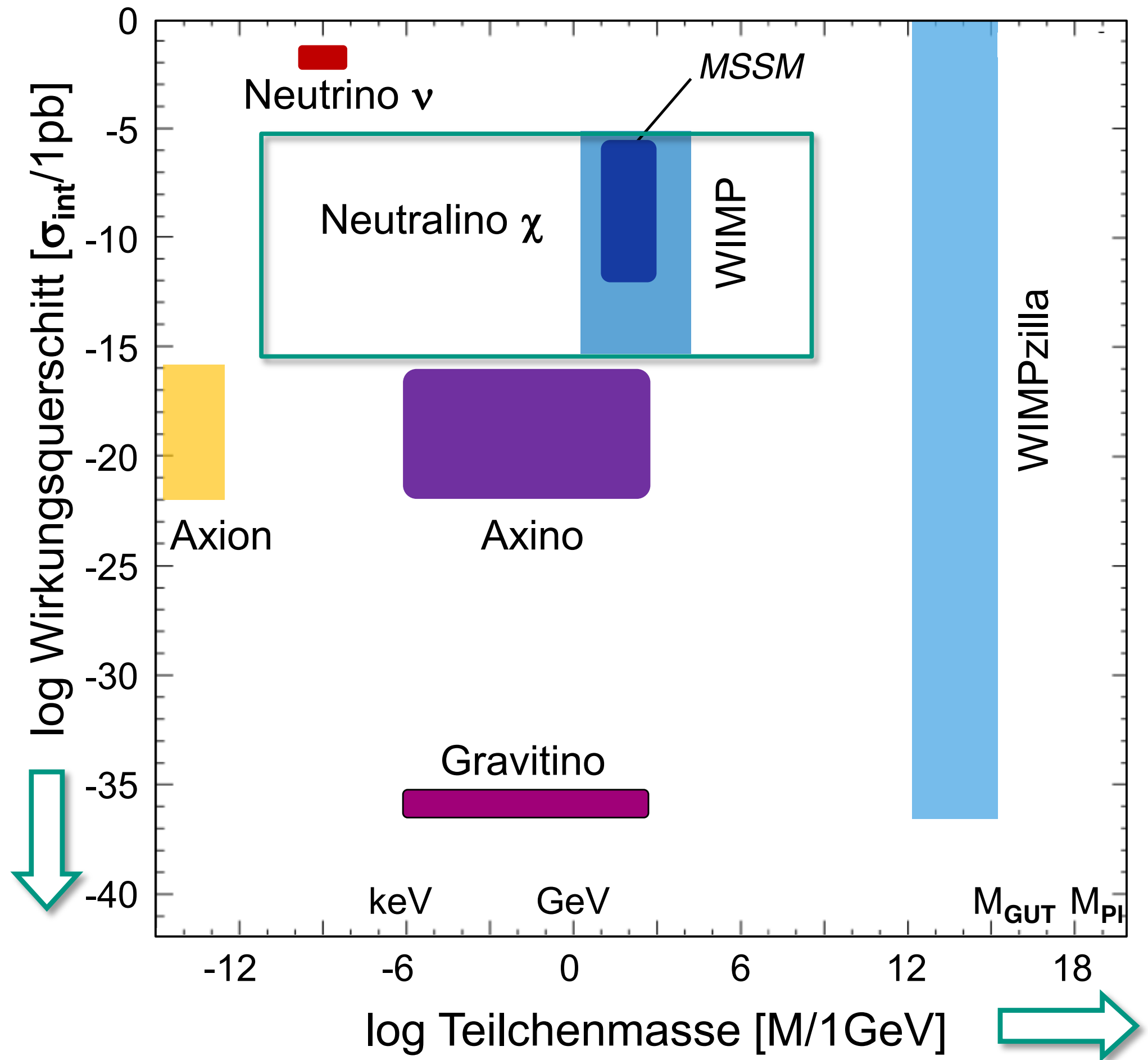
baryonisches
heißes Gas
im Röntgenlicht
(Chandra)

dunkle Materie
weak lensing
(HST)

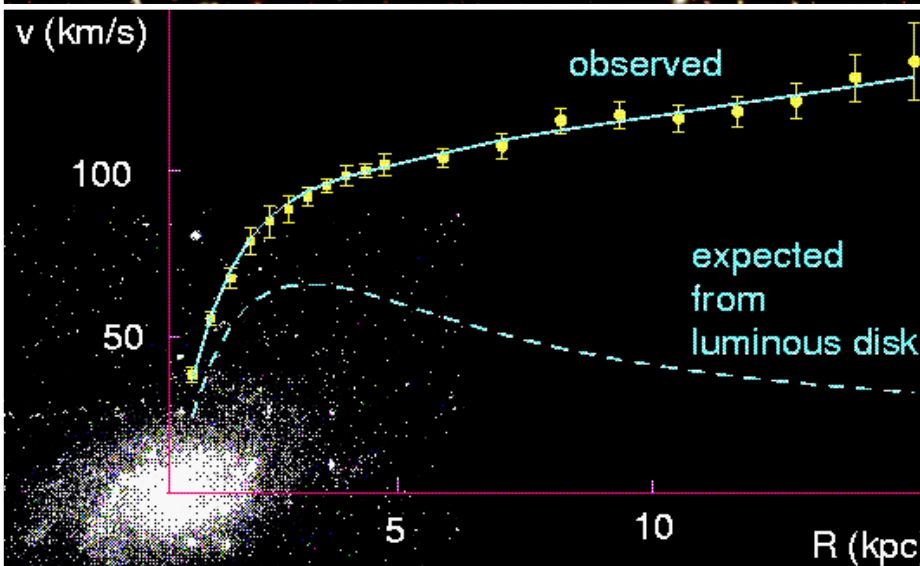
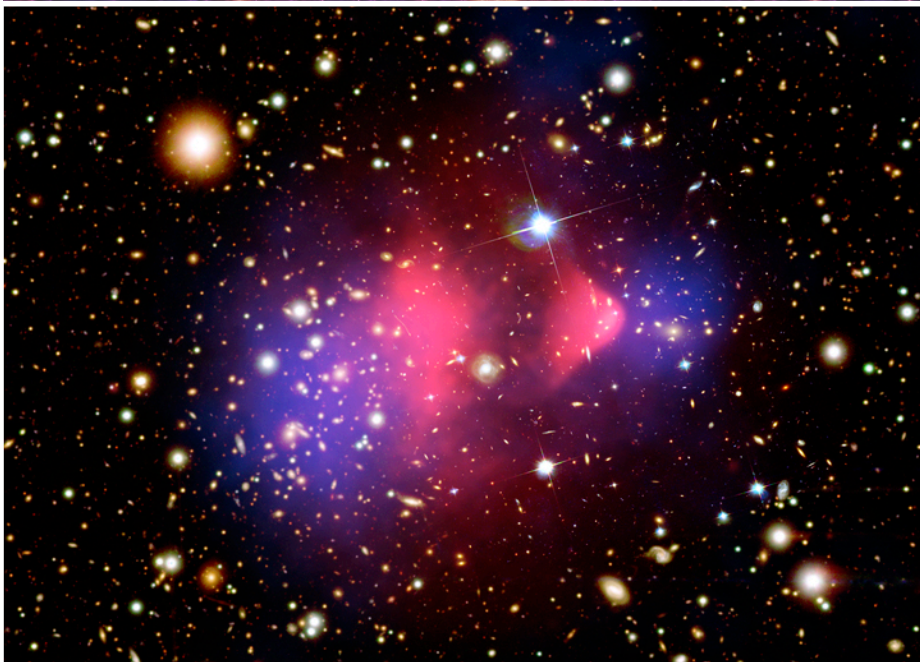
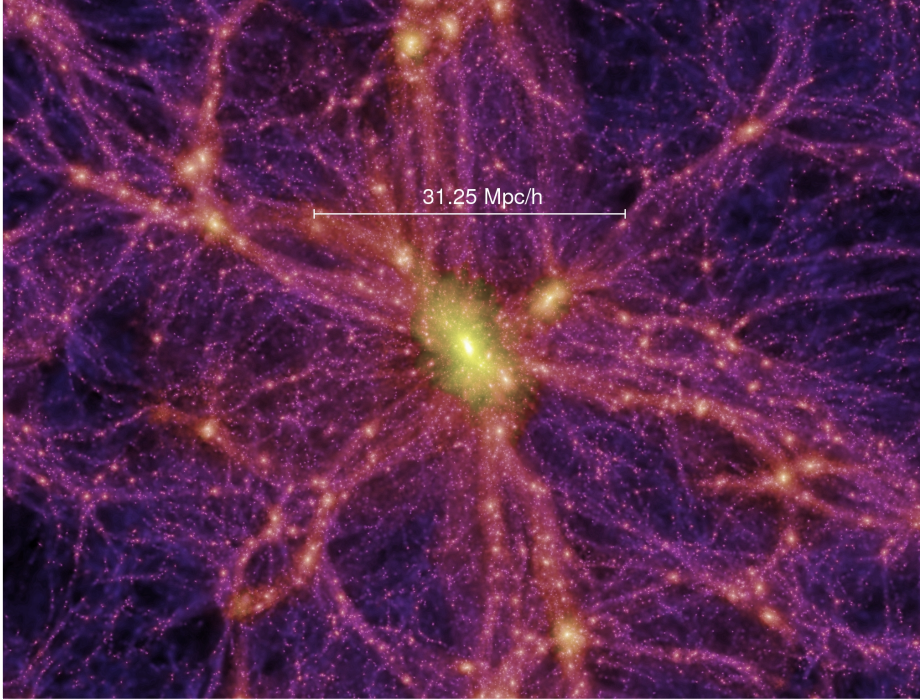
Energie-Massenbudget



DM-Teilchen



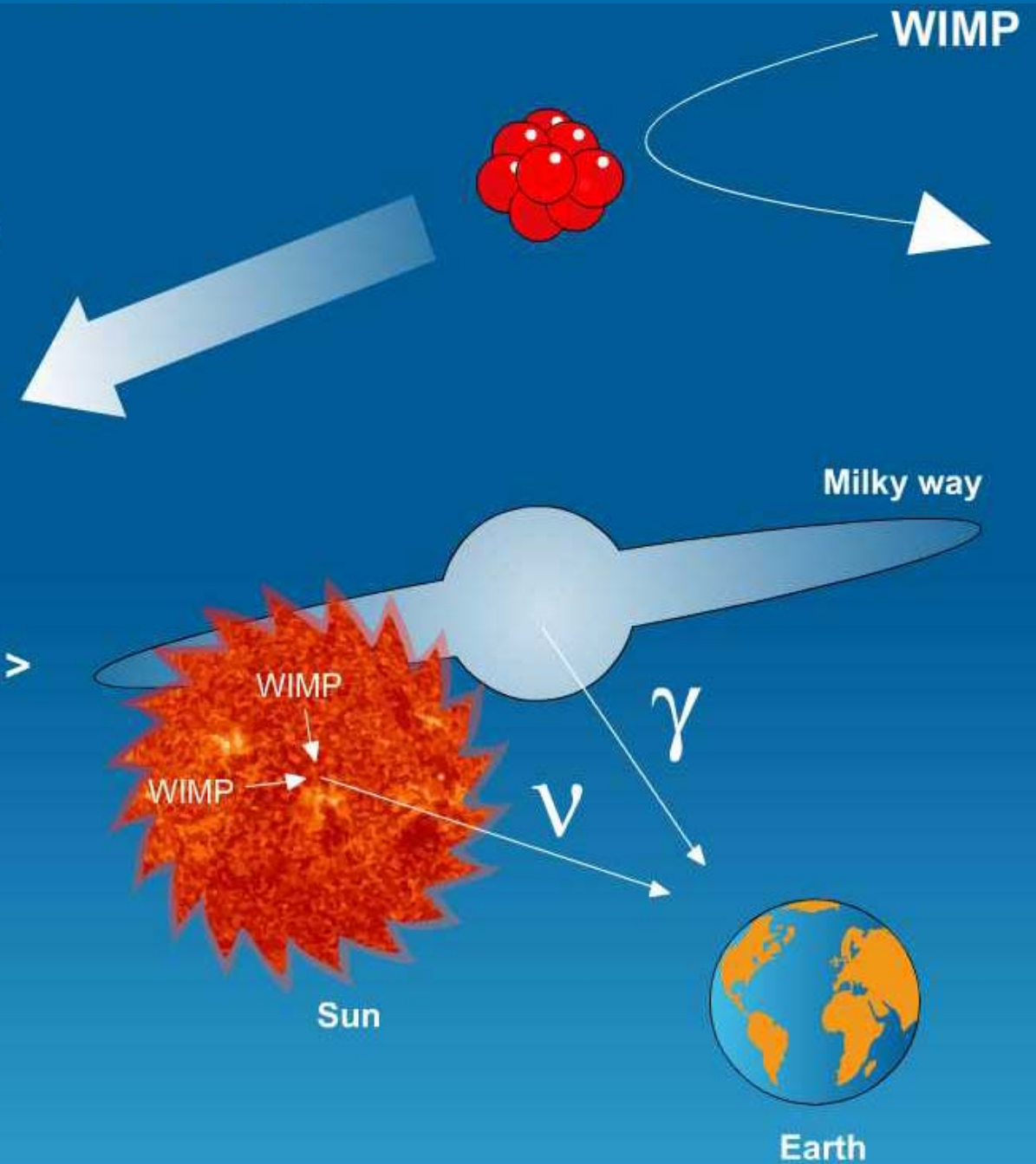
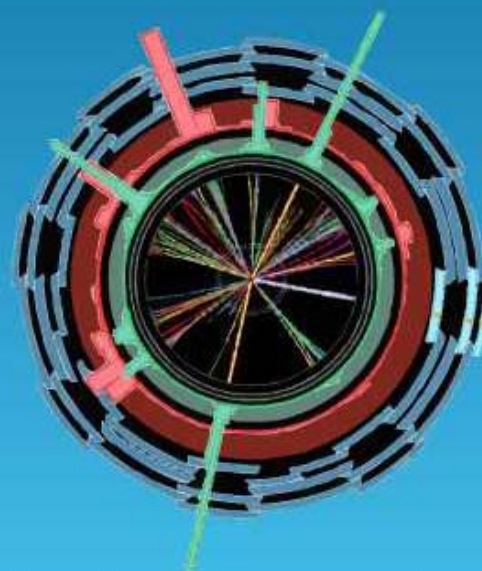
The quest for Dark Matter



M33 rotation curve

1. Direct detection >

2. Indirect detection >

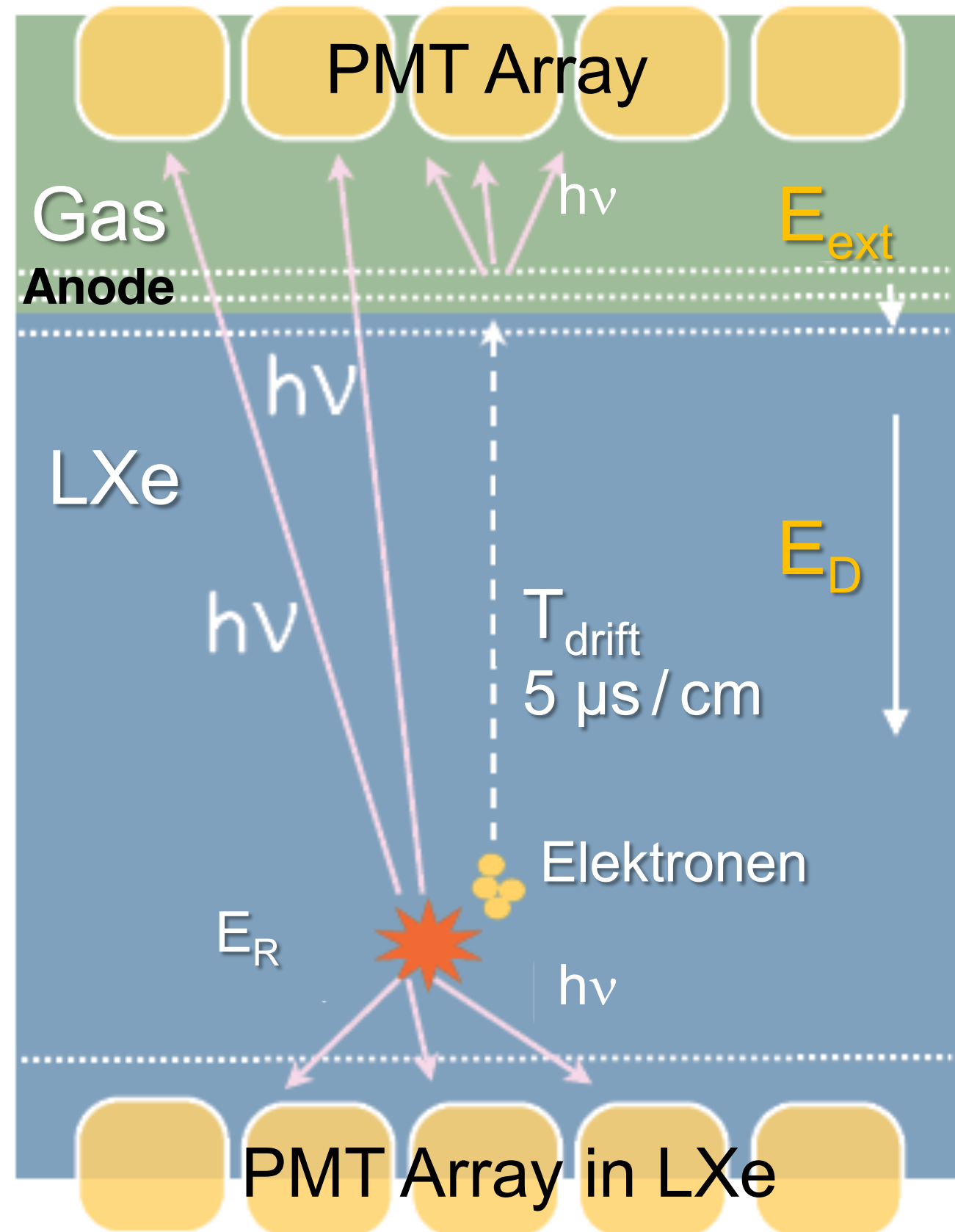


< 3. Production at the Large Hadron Collider

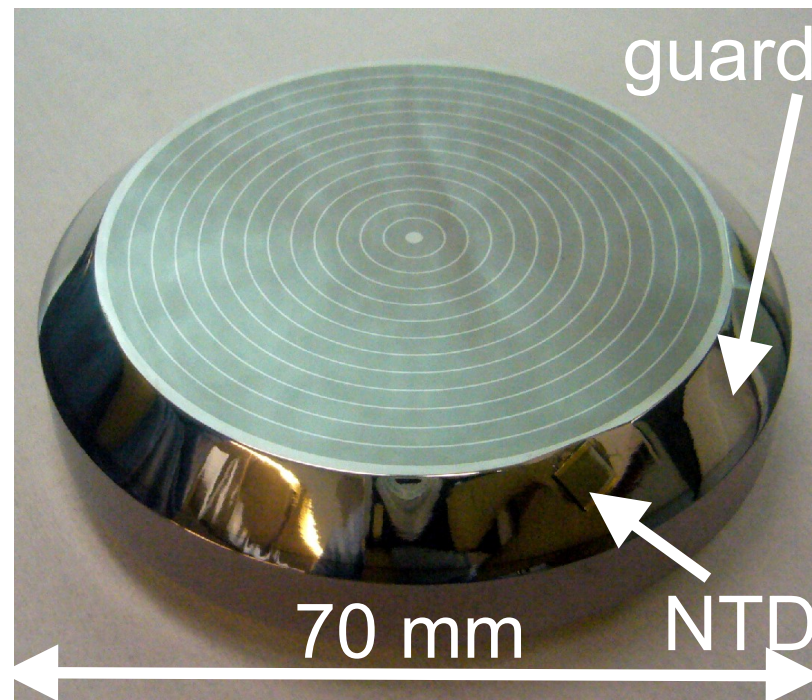
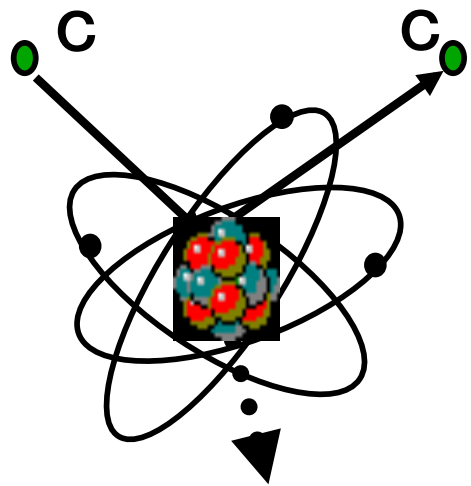
EDELWEISS



XENON

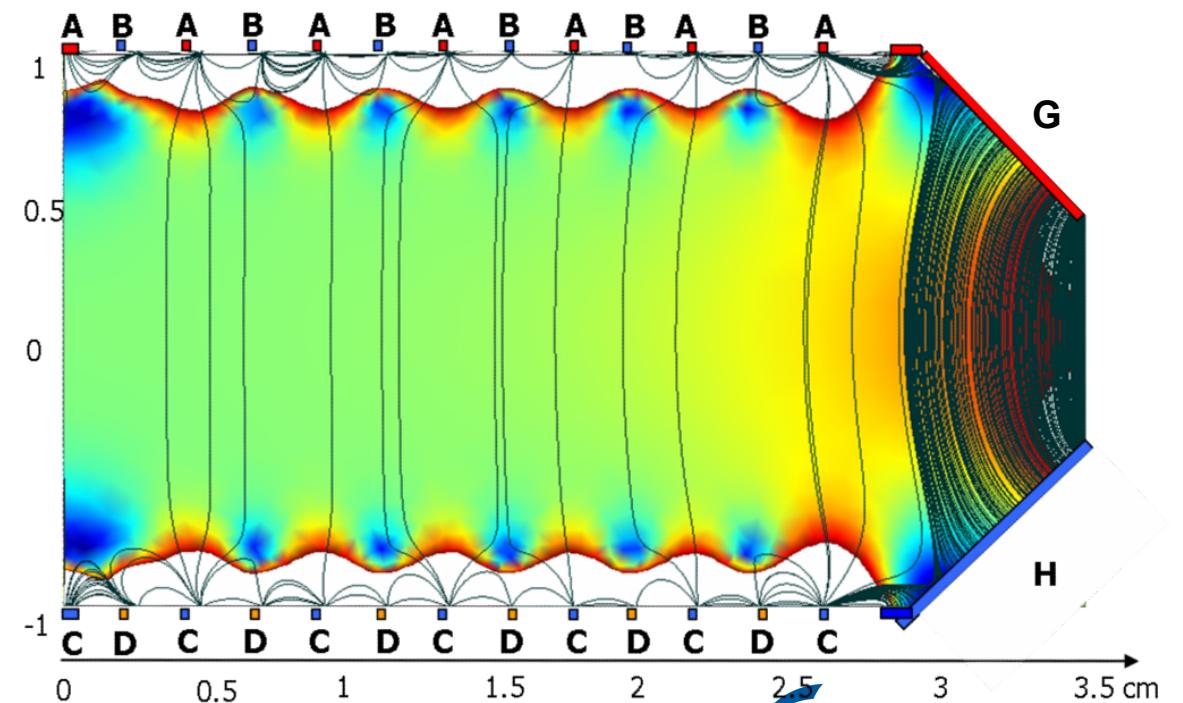
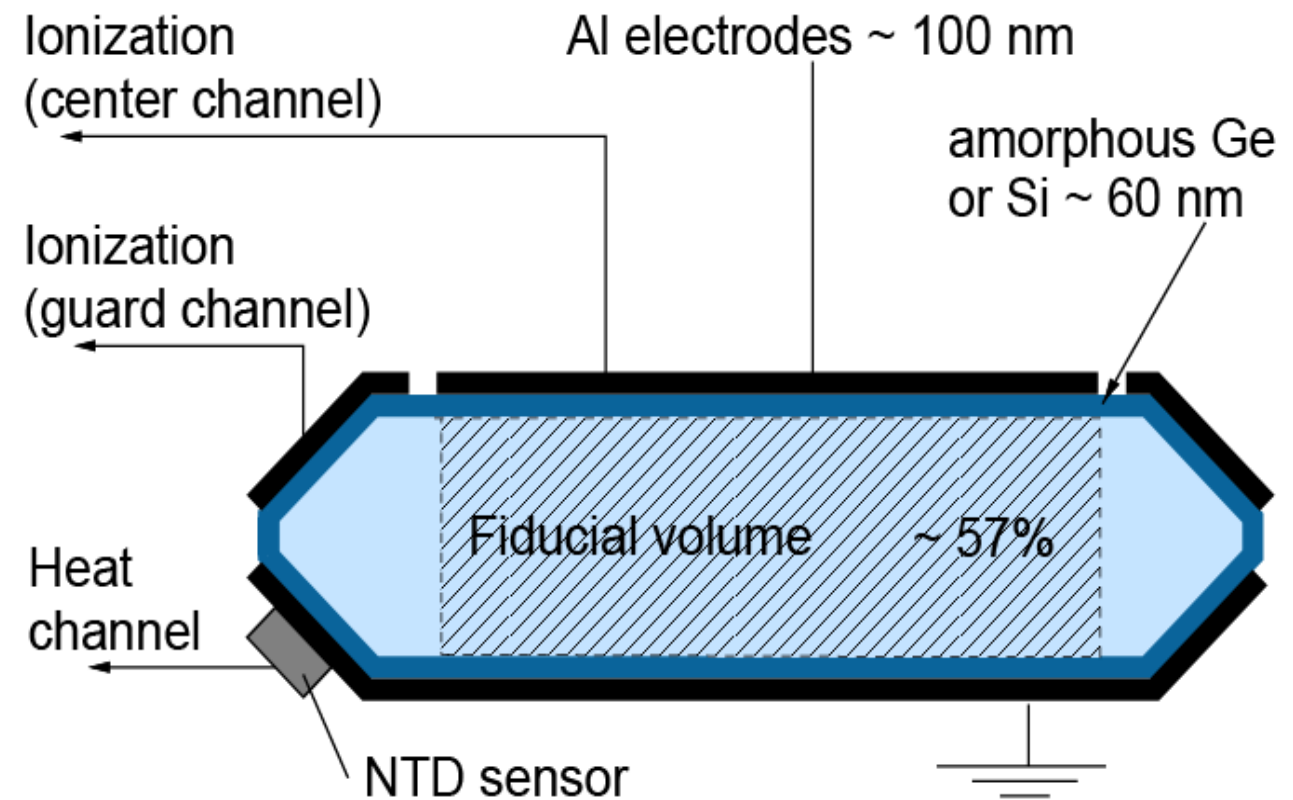
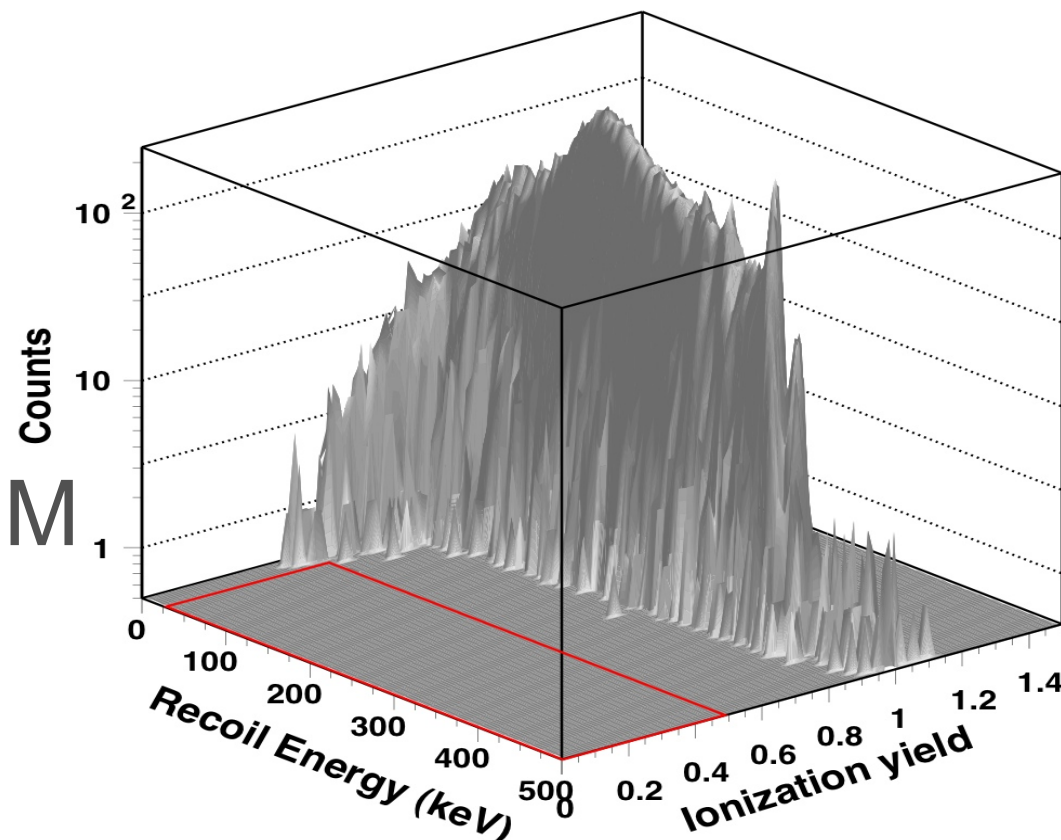


EDELWEISS DM detection technology

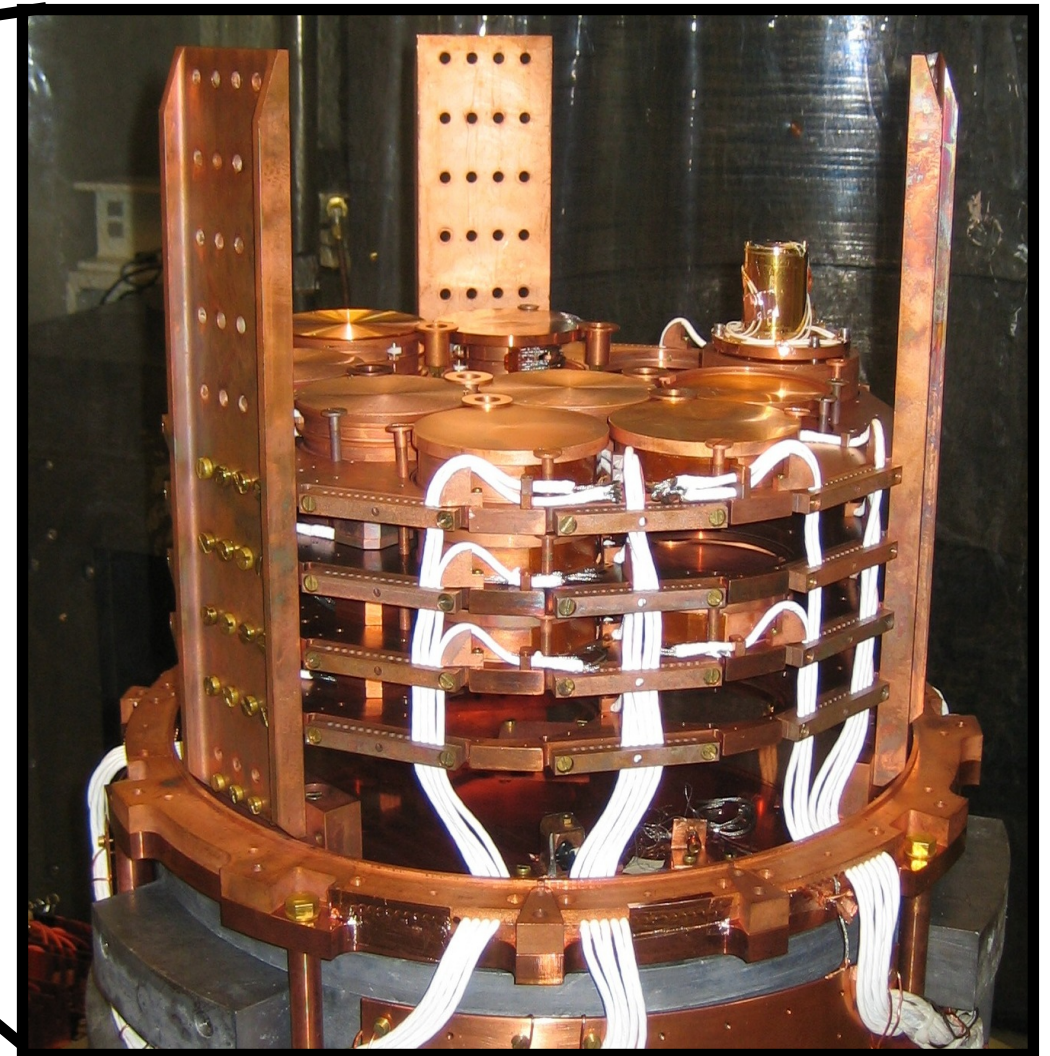
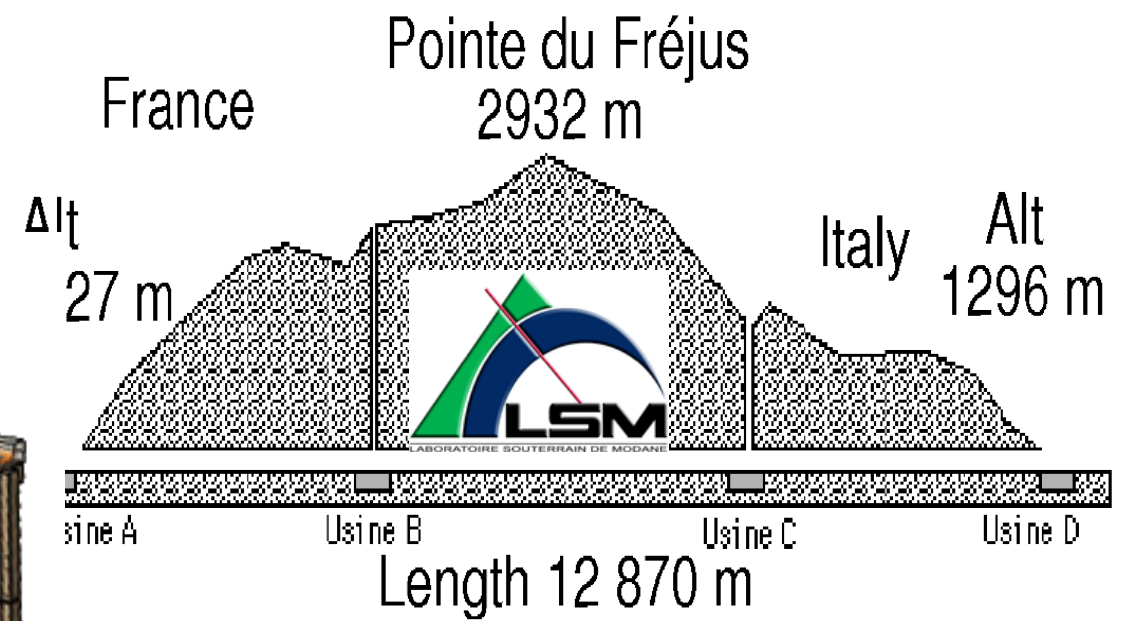
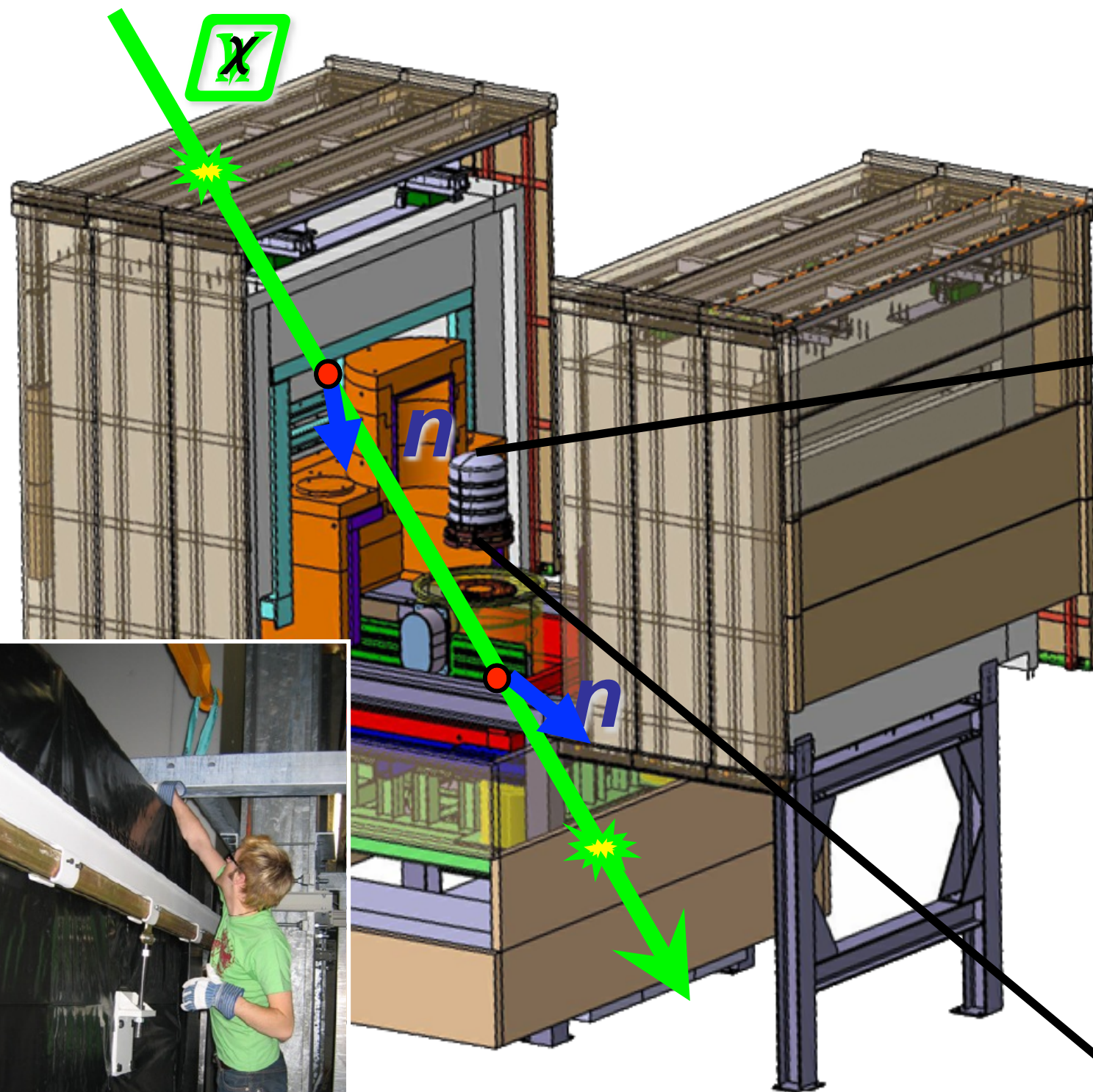


EDELWEISS - ^{133}Ba calibration (93166γ)

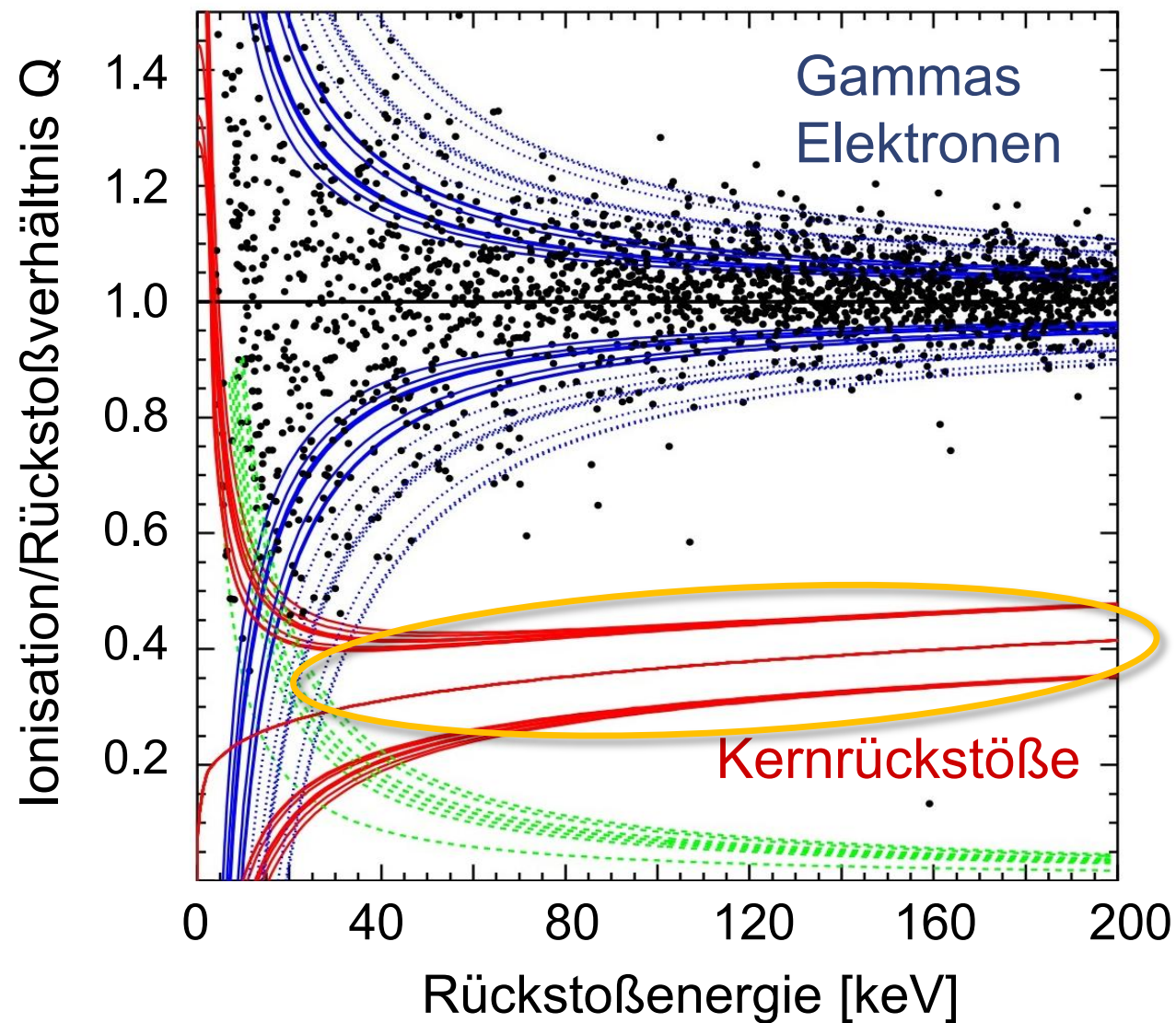
2008
data
@ LSM



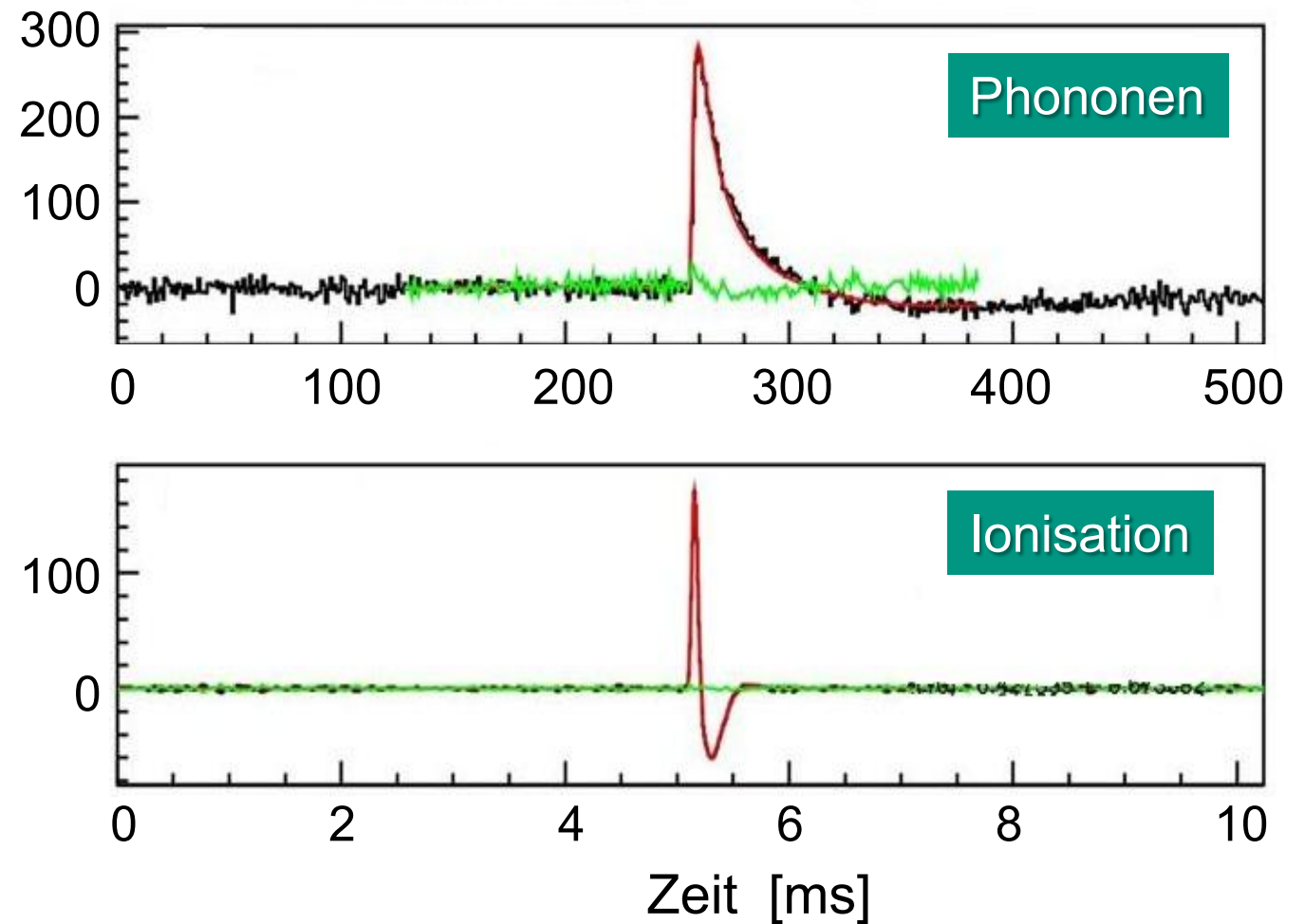
shielding concept



DM-Signatur in EDELWEISS

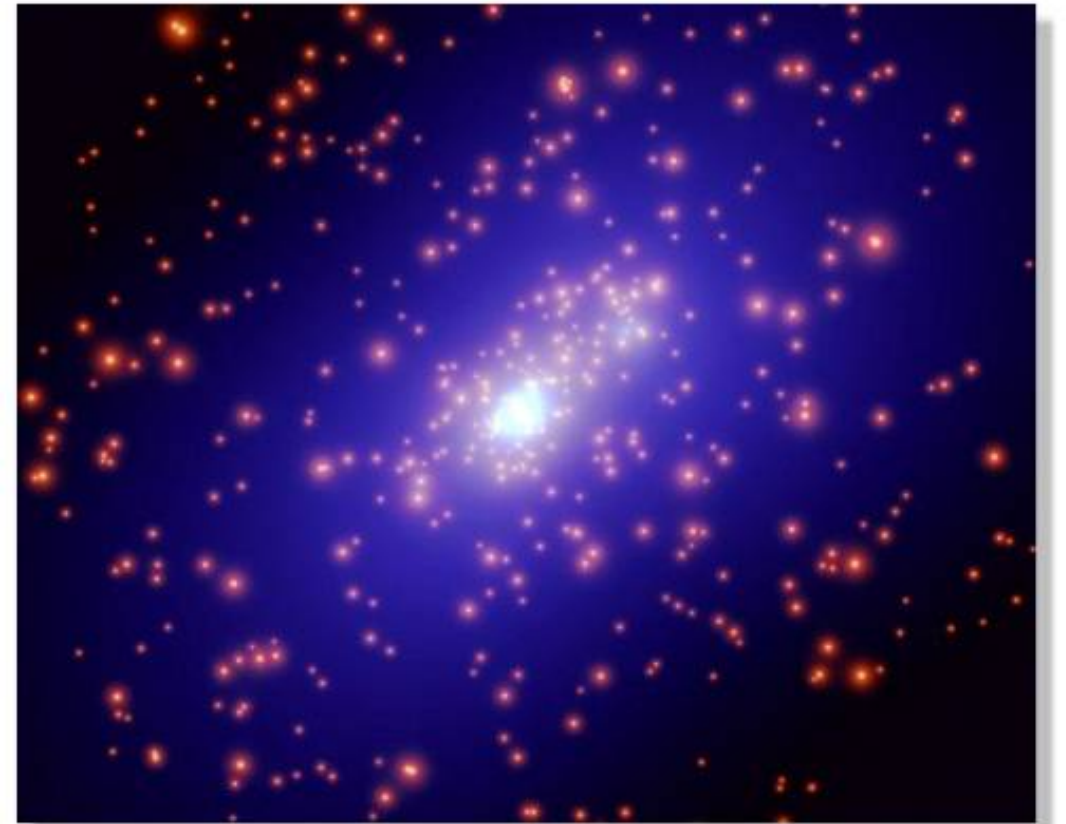
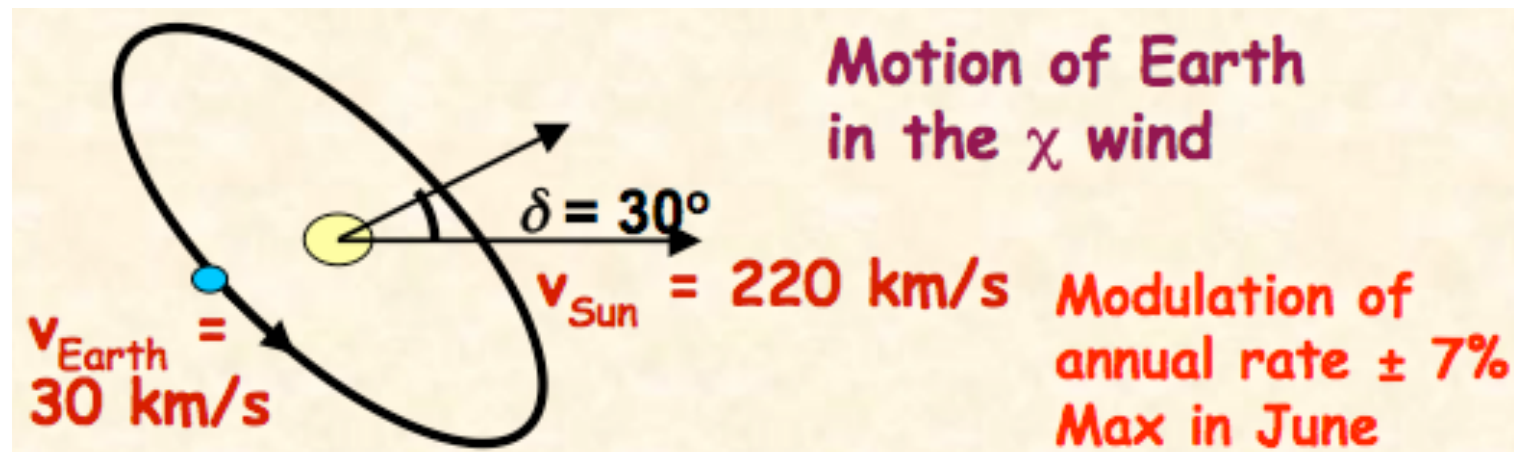


Koinzidenz: Phononsignal & Ionisation



Definition der Untergrund- und Signalregionen durch Analyse-MC und Kalibration mit Gamma- und Neutronenquellen

Das DAMA-''Signal''



Bernabei et al., 0804.2741

2-6 keV

