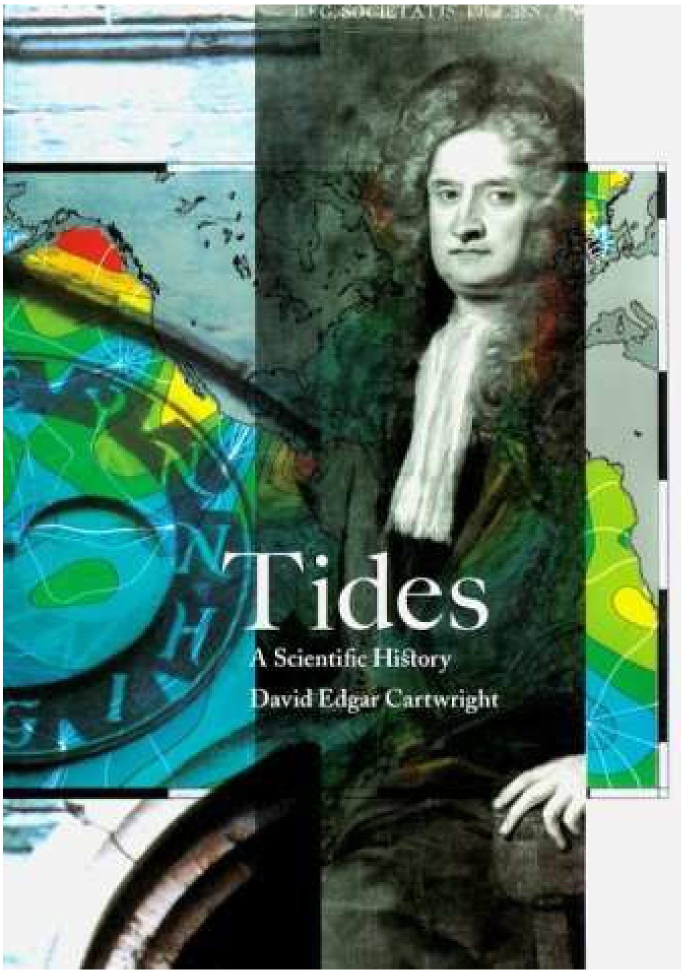
GEZEITEN

auf der Erde und im Kosmos



.

THEMEN

(I) Gezeitenwellen (in Kanälen)

(II) Galaktische Gezeiten

(I) Gezeitenwellen

§1 Gezeitenkraft

Abschätzung

Gezeitenkraft $\frac{\text{Sonne}}{\text{Mond}} = \frac{1}{2}$. Im folgenden nur Mondgezeiten

Mond- zu Erdmasse: $m/M = 1/80$

Mondabstand zu Erdradius: $d/a = 60$

Newtonsches Gravitationsgesetz: $g \sim m/r^2$

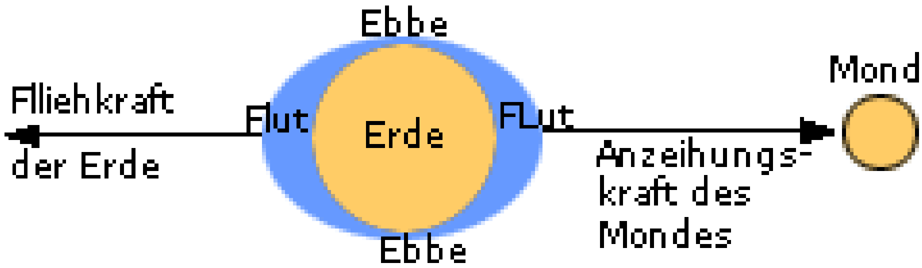
Verhältnis Mond-/Erdanziehung auf der Erde:

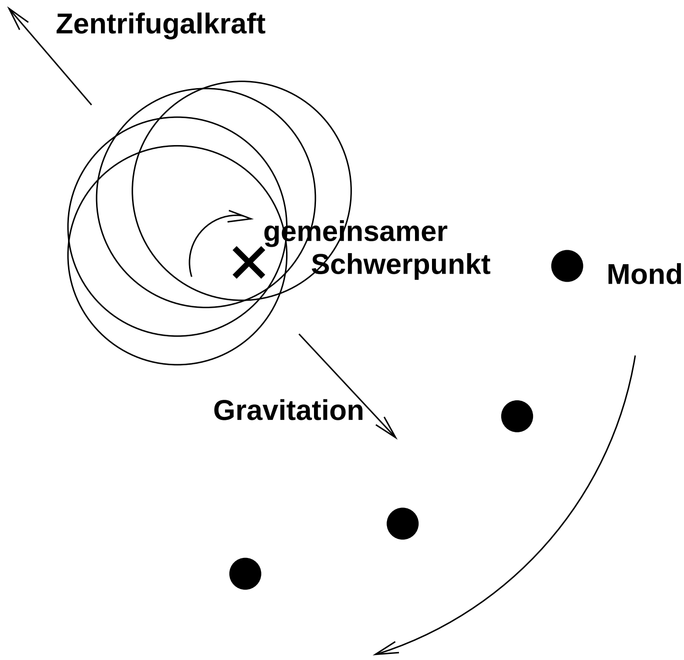
$g_m/g_M \sim 80^{-1}/60^2 = 3 \times 10^{-6}$

Höhe der Gezeitenberge

$3 \times 10^{-6} \times 6000$ km $= 20$ m

VIEL ZU HOCH


Ebbe
Mond
Flliehkraft
Flut
Erde
FLut
der Erde
Anzeihungs-
kraft des
Mondes
Ebbe


Zentrifugalkraft
gemeinsamer
Schwerpunkt
Mond
Gravitation

Differenz $g_{\mathrm{moon}}(\text{Erdoberfläche}) - g_{\mathrm{moon}}(\text{Erdzentrum})$

also

$$\frac{\Delta g_m}{g_M} \sim \frac{1}{80}\left(\frac{1}{59^2} - \frac{1}{60^2}\right) = 10^{-7} \tag{1}$$

Damit Höhe der Gezeitenberge

$$10^{-7} \times 6000 \text{ km} \approx 60 \text{ cm} \tag{2}$$

ZUSAMMENFASSUNG

Gezeiten sind

(i) vertikale Anhebungen

(ii) unter dem Mond

ziemlich falsch

Stattdessen:

(i) G. sind primär horizontale Wasserbewegungen

(ii) Wasser kann unter dem Mond abgesenkt sein

Gezeiten als horizontale Bewegungen

"If I were asked to tell what I mean by the Tides I should feel it exceedingly difficult to answer the question.

The truth is, the word tide as used by sailors at sea means horizontal motion of the water;

but when used by landsmen in port, it means vertical motion of the water."

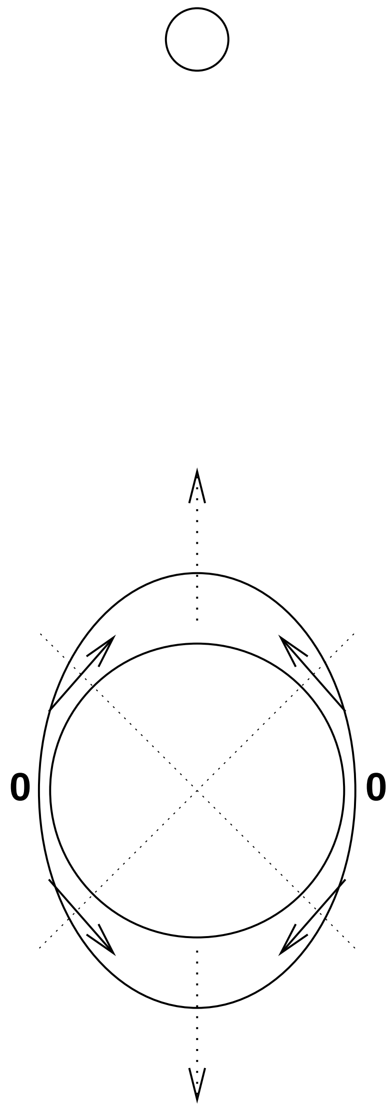
Kelvin in einem Abendvortrag

Euler:

(i) Horizontale Gezeitenkraft

(ii) bewirkt horizontale Wasserbewegungen

(iii) die Wasser unter dem Mond anheben



verbesserte ZUSAMMENFASSUNG

Gezeiten sind primär horizontale Wasserbewegungen

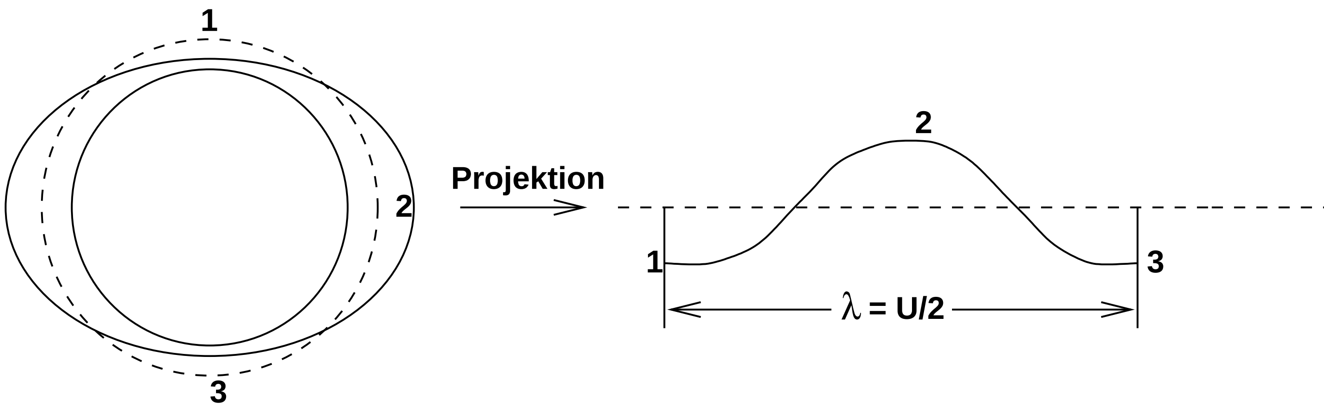
Ab- und Zufluss des inkompressiblen Wassers

bewirkt Senkungen und Hebungen

Insgesamt: Gezeiten sind Wasserwellen

Wellenhöhe 1/2 Meter (Potentialtopf)

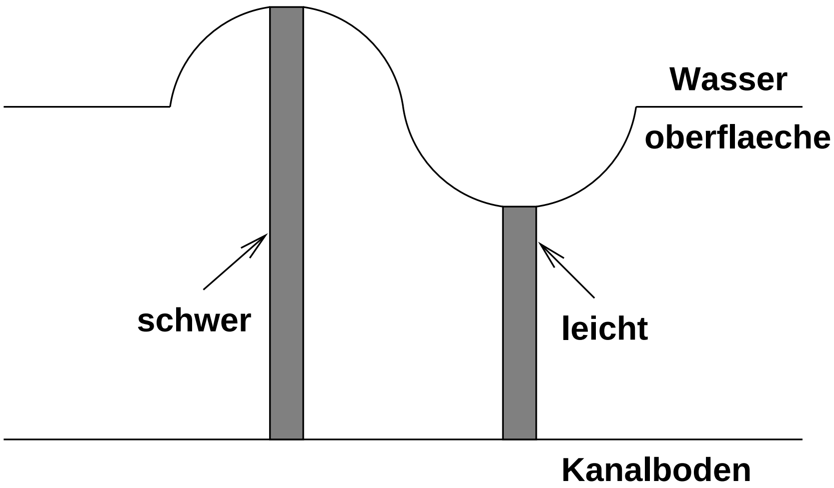
Wellenlänge $\leq$ 1/2 Erdumfang



§2 Wasserwellen

Schwerewellen

entstehen aus der Balance Trägheit-Schwerkraft



Schwere Wellenberge, leichte Wellentäler

Schwerewellen laufen rein horizontal

Horizontale Wellenlänge ≈ vertikale Eindringtiefe

§3 Gezeitenwellen

freie Wasserschwingungen $+$ horizontale Gezeitenkraft

$=$ erzwungene Schwingungen

Lösung der Gezeitenwellen-gleichung: Lorentzresonator

Betrachte 1-D Äquatorkanal unter äquatorialer Mondbahn vertikale Auslenkung

$$\eta \sim +\frac{c^2}{c^2 - \omega^2 a^2} \cos 2\phi \tag{3}$$

$h =$ Kanaltiefe

$c = \sqrt{gh}$ Wellengeschwindigkeit

$\omega =$ Winkelgeschwindigkeit Mond

$\phi =$ Winkeldifferenz (Länge) Wasserteilchen–Mond

$\cos 2\phi$ $\rightarrow$ Wellenlänge ist halber Erdumfang

Wasserstand unter dem Mond

Meer 4 km tief: Welle mit $c = 700$ km/h

Mond $\omega = 2\pi/24\text{h}50\text{m}$: $\omega a = 1600$ km/h

RESONANZNENNER NEGATIV!

Inverse Gezeiten

Niedrigster Wasserstand unter dem Mond

Höchster Wasserstand, wenn Mond am Horizont

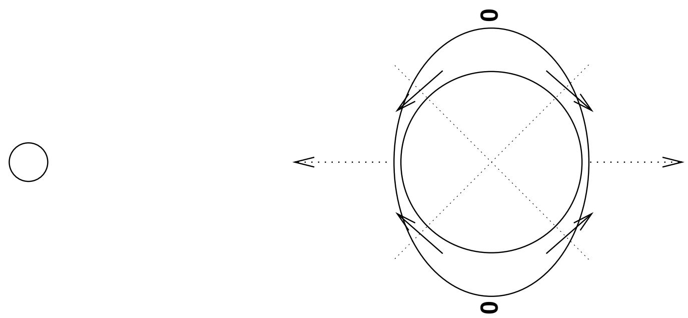
Ursache der Antiphase: Um die halbe Erde

brauchen Wellen 28 h   braucht Mond 12.5 h

Vergleiche

- Antiphase beim getriebenen Pendel
- Boxer am Punchingball

ZUSAMMENFASSUNG



Warum sind Kanalgezeiten invertiert

mit Niedrigwasser unter dem Mond?

WEIL Kanal/Meer so seicht (4 km)

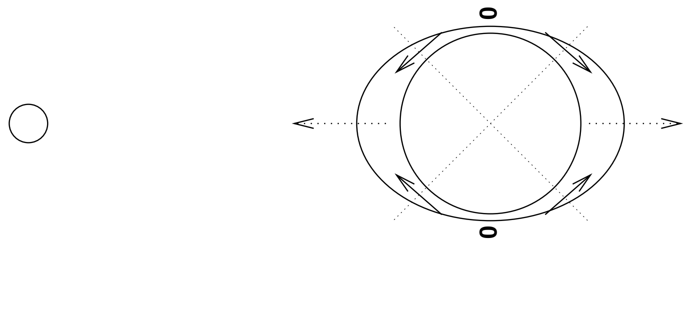
dass Wellenlaufzeit > Mondlaufzeit

WÄREN Meere tiefer als 20 km

dann liefen Wellen schneller als Mond ($c^2 = gh$)

und Gezeiten wären direkt

mit Gezeitenbergen unter dem Mond



ACHTUNG

auf rotierender Sphäre mit Landmassen

sind Gezeiten weder streng direkt noch invers

sondern: HAFENZEIT der Gezeiten

Alle Phasen-differenzen möglich

§4 Gezeitenreibung

Bahnevolution, nach George Darwin

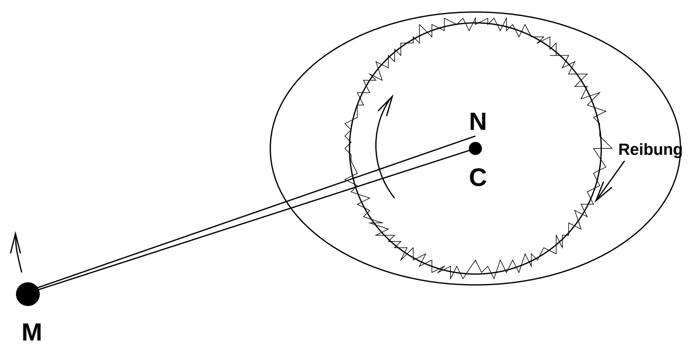
Gezeitenwelle reibt am Meeresboden

→ Flutberge haften am Planeten

& folgen nicht allein dem Mond

Falls Tag < Monat

laufen Flutberge Mond voraus

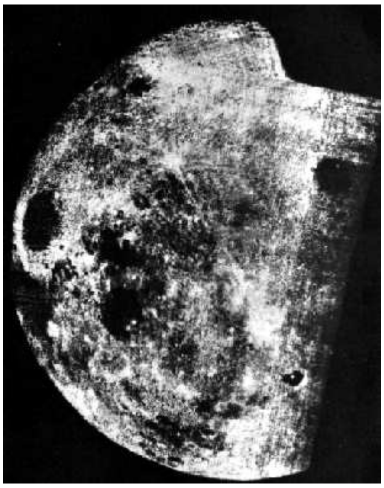


Reibung bewirkt $v_{\mathrm{rel}} = 0$

Also Tag = Monat

Synchrone Rotation

$T_{\text{orb}} = T_{\text{rot}}$: Gezeitenberge stehen ortsfest und alle Reibung ist verschwunden



Rückseite des Mondes. Luna III, 1959

Jupiter-Io

Ios Vulkanausbrüche durch Jupitergezeiten

Paradoxon 1: Io rotiert synchron

$\rightarrow$ keine Gezeitenheizung mehr

Lösung: Bahnexzentrizität ändert Höhe der Gezeitenberge

Paradoxon 2: Gezeitenreibung baut Exzentrizität ab

Warum ist Io also nicht auf Kreisbahn?

Lösung: Laplaceresonanz Io, Europa, Ganymed (T, $2T$, $4T$)

ZUSAMMENFASSUNG TEIL (I)

(1) Gezeitenkraft ist Dipolkraft	nicht	Monopol
(2) Gezeitenkraft horizontal	nicht	vertikal
(3) Gezeitenberg im Äquatorkanal wenn Mond am Horizont	nicht	im Zenit

(II) Galaktische Gezeiten

§5 Bridges und Tails

Vier Gezeiteneffekte:

	Massen	Verbindungslinie	Gegenseite
Bridge	$M_1 \approx 4M_2$	(1) Spiralarm	(2) Gegenarm
Tail	$M_1 \approx M_2$	(3) Teilchenlawine	(4) Tail entweicht

Historisch: Unglaube, dass Gravitation solch ausgedehnten und filamentartigen Strukturen erzeugen kann:

Gold & Hoyle (1959)

Zwicky (1963)

Burbidge, Burbidge & Hoyle (1963)

Arp (1971)

Dagegen: GEZEITENTHEORIE

Pfleiderer (1961, 1963)

Toomre & Toomre (1972)

Barnes et al. (jetzt)

TT72: “Bridges and tails are tidal relics of close galactic encounters”

Voraussetzungen:

(1) Begegnung auf Parabelbahn (keine Ellipsen und Hyperbeln):

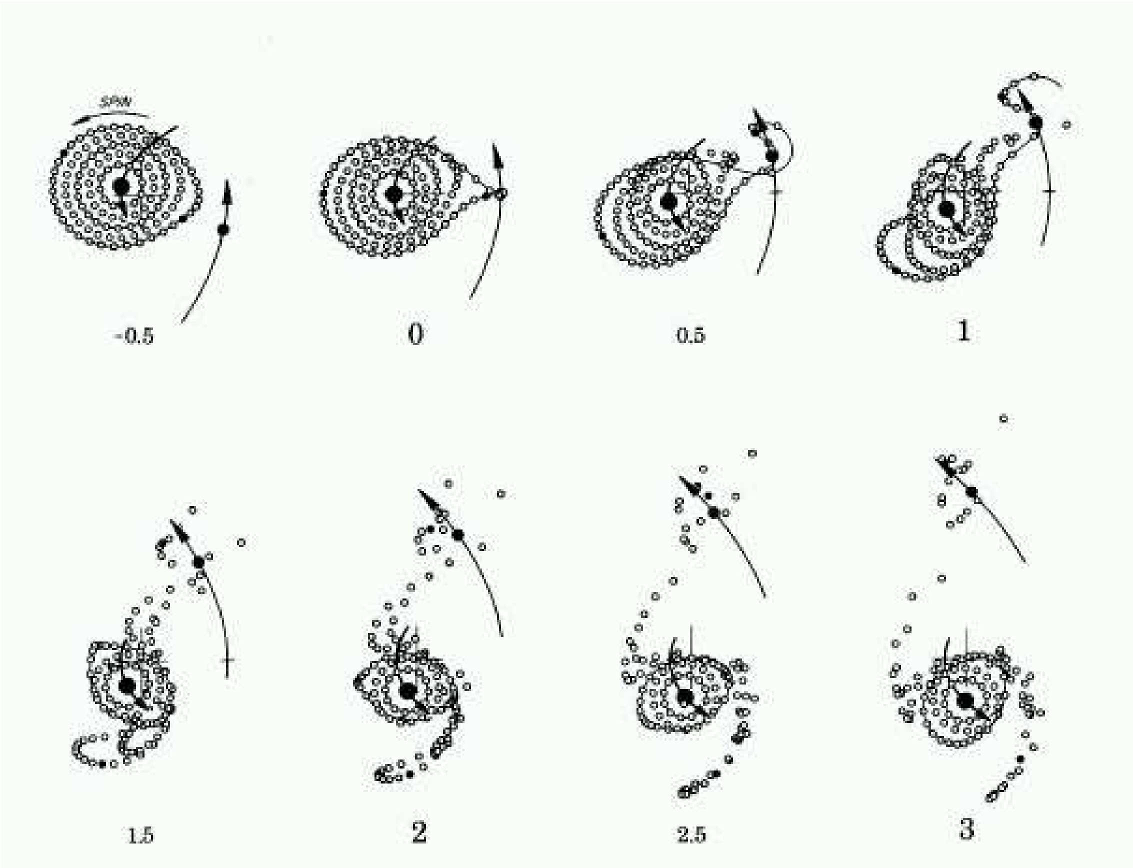
langsamer Vorbeilauf → "brief but violent tidal forces"

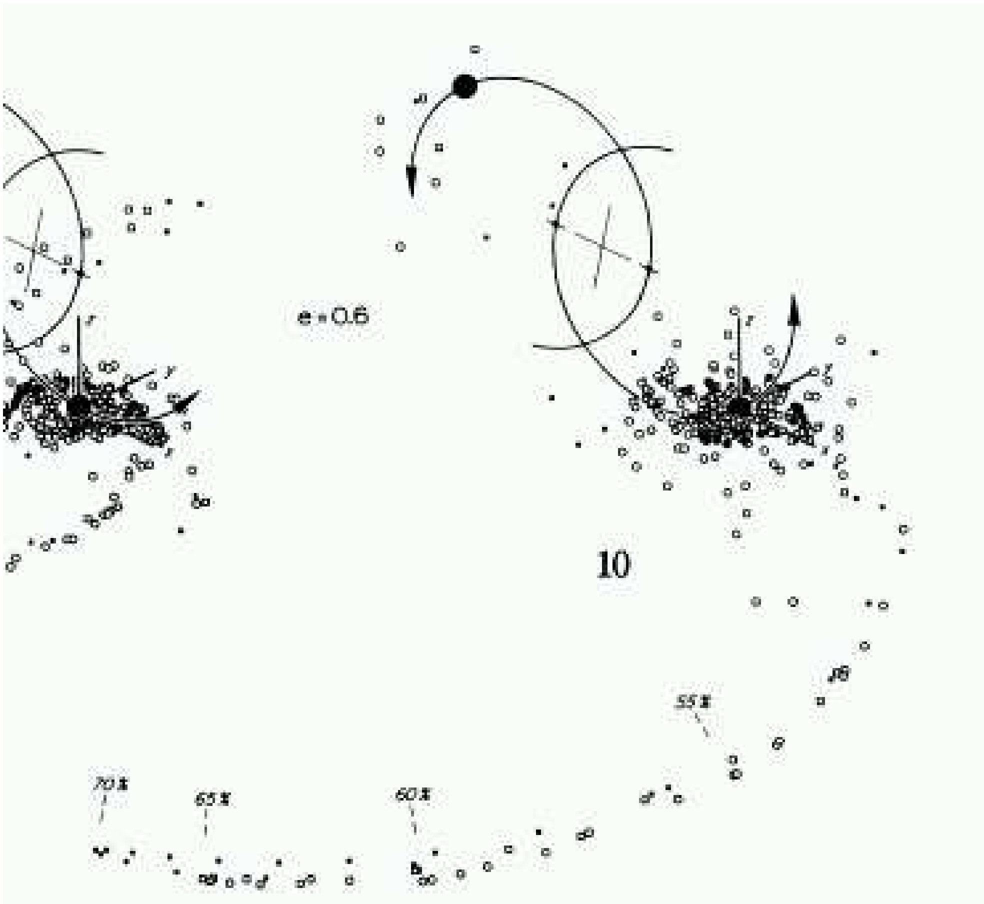
anstatt wie bisher: statisch und graduell

(2) Umlaufsinn = Rotationssinn

damit Gezeitenkraft lange wirkt

auf mitrotierende Teilchen der Nachbargalaxie





Historische Kritik nicht ganz unbegründet:

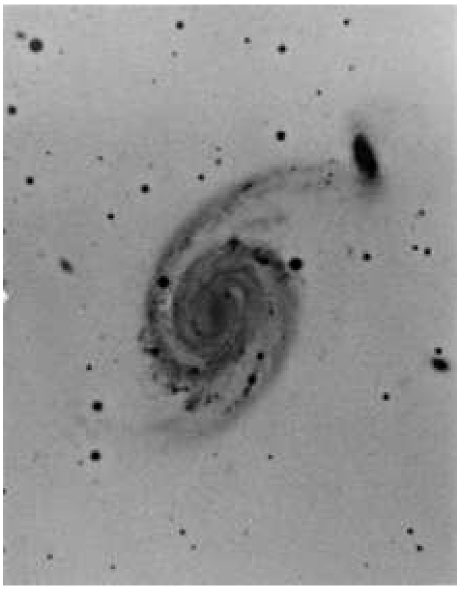
TT72 finden tidal surfaces

Dünne bridges & tails sind Sichtlinieneffekt

§6 Grand Design Spiralen

eingefrorenes & stationäres Muster

(1) Dichte-wellen	freie Schwingung	Welle in Gravitationsfeld
(2) Swing amplifier	Rückkopplung	Selbstgravitation
(3) Gezeiten	erzwungene Schwingung	Galaxienvorbeigang



"Outer arms are plausibly tidal" (TT72)

innen: gezeiteninduzierte Dichtewelle

Es gibt kurzlebige Grand Design Spiralen