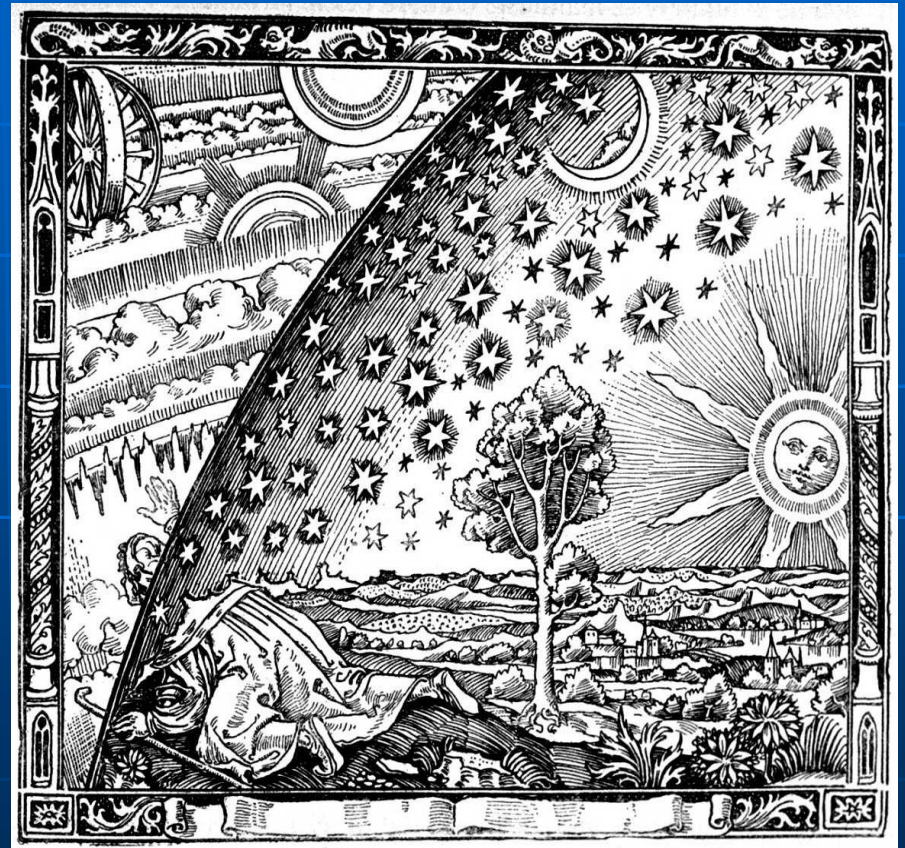


String-Theorie

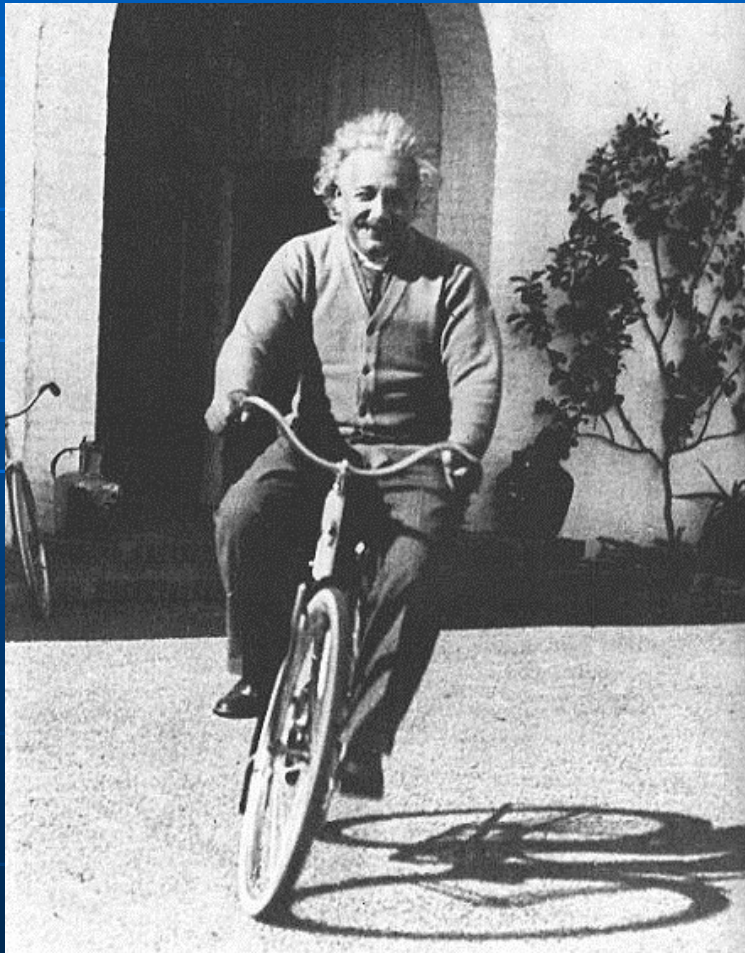
Ein neuer Blick auf Raum und
Zeit

Wir sollten nicht vergessen...

... dass wir unsere
Vorstellungen von
Raum und Zeit
schon
(mindestens)
einmal radikal
revidieren
mussten...



Am Anfang des 20. Jahrhunderts
kam ein neugieriger Mensch
geradelt...



....und erklarte uns:

DER RAUM IST

KRUMM !

Auch wenn das inzwischen zum
Bestandteil der Popkultur
geworden ist..



... sollten wir die Sache mit
dem krummen Raum
vielleicht erst einmal
richtig verstehen:

Das Äquivalenzprinzip:



a closed room on the Earth

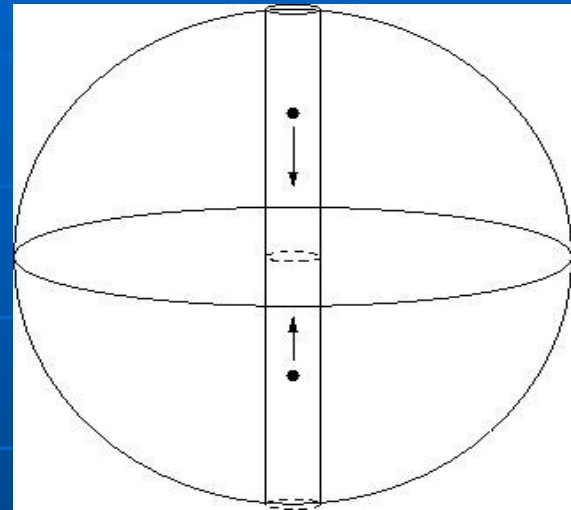


a closed room accelerating through space at $1g$

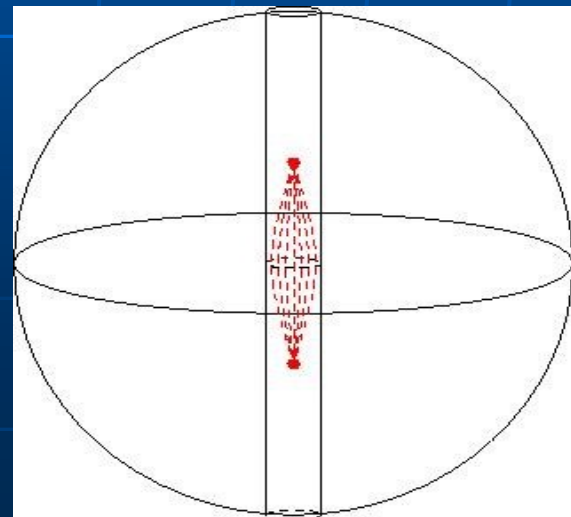
Das Schwerfeld der Erde ist **lokal** physikalisch ununterscheidbar von einer beschleunigten Bewegung !

Kraefftefreie Bewegung = freier Fall - ein wichtiger Perspektivwechsel -

Ohne Kraefte:
Punkt-Teilchen im
freien Fall

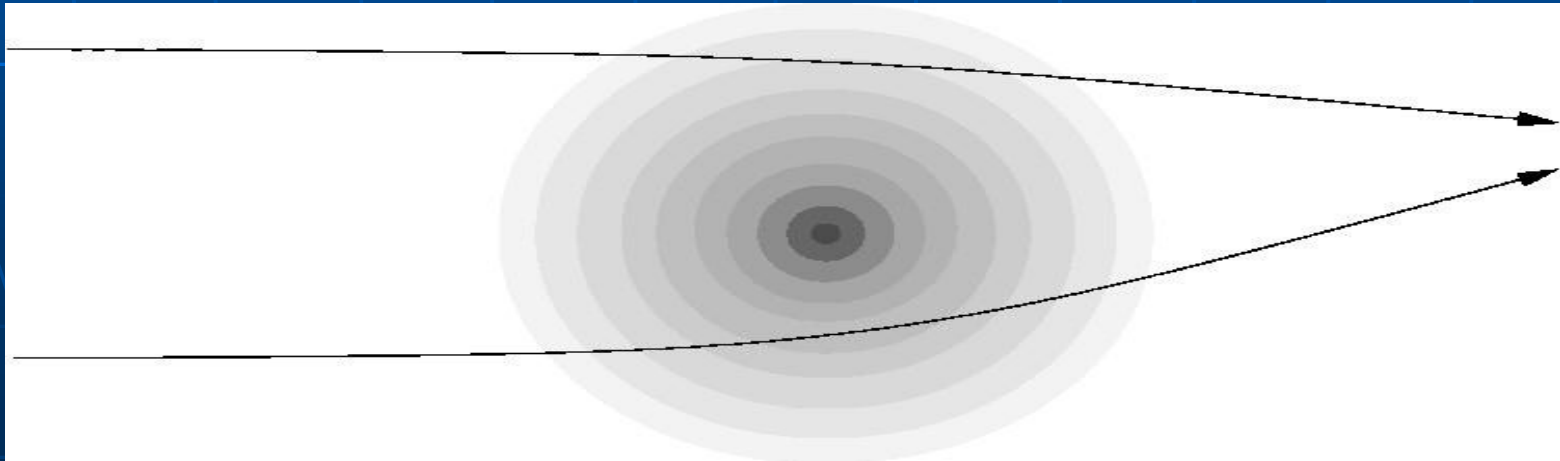


Mit elektrischer
Abstossungskraft:
In Ruhe bezueglich
Erddmittelpunkt



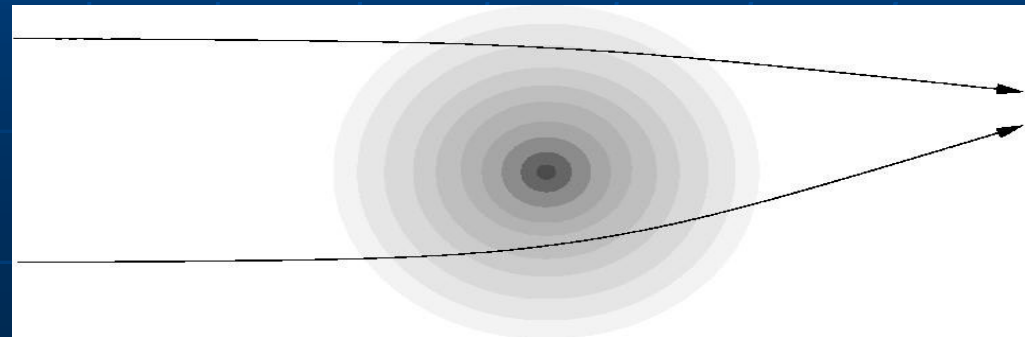
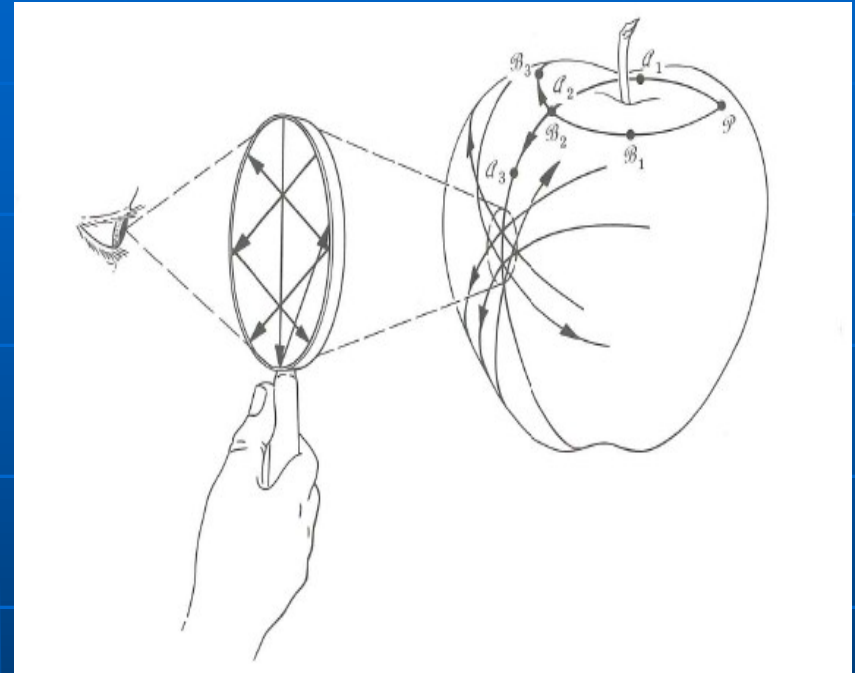
Was also ist die Gravitationskraft dann wirklich?

Den Raum erfuehlt ein Kraftfeld, nennen wir es Kruemmung, welches Abweichungen in der geradlinig-gleichfoermigen Bewegung von ungeladenen Punktteilchen produziert:



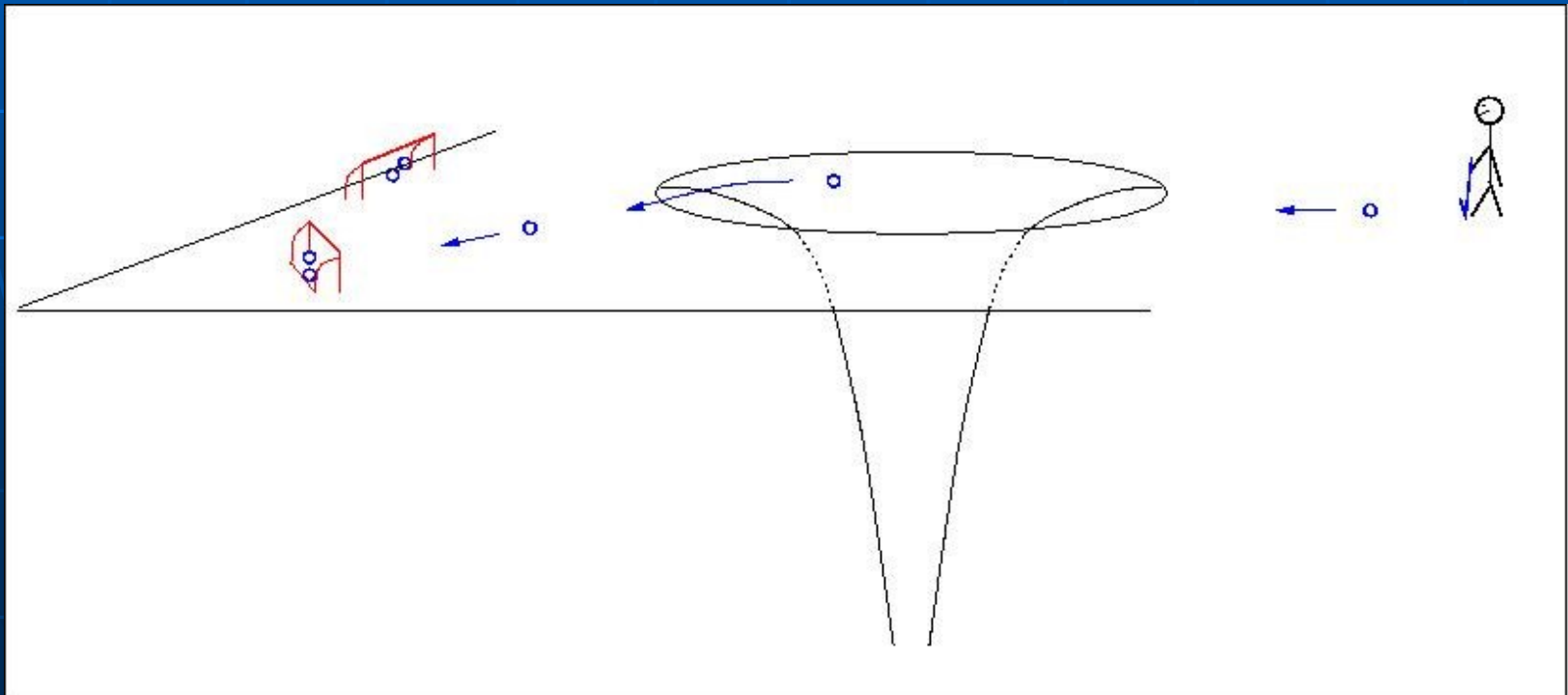
Die zweidimensionale Analogie:

- Ameisen auf dem Apfel: Lokal immer geradeaus.
- Im Kleinen ist von der Krümmung nichts zu sehen und nichts zu merken,
- betrachtet man aber grössere Gebiete, sieht man die Effekte der Krümmung.



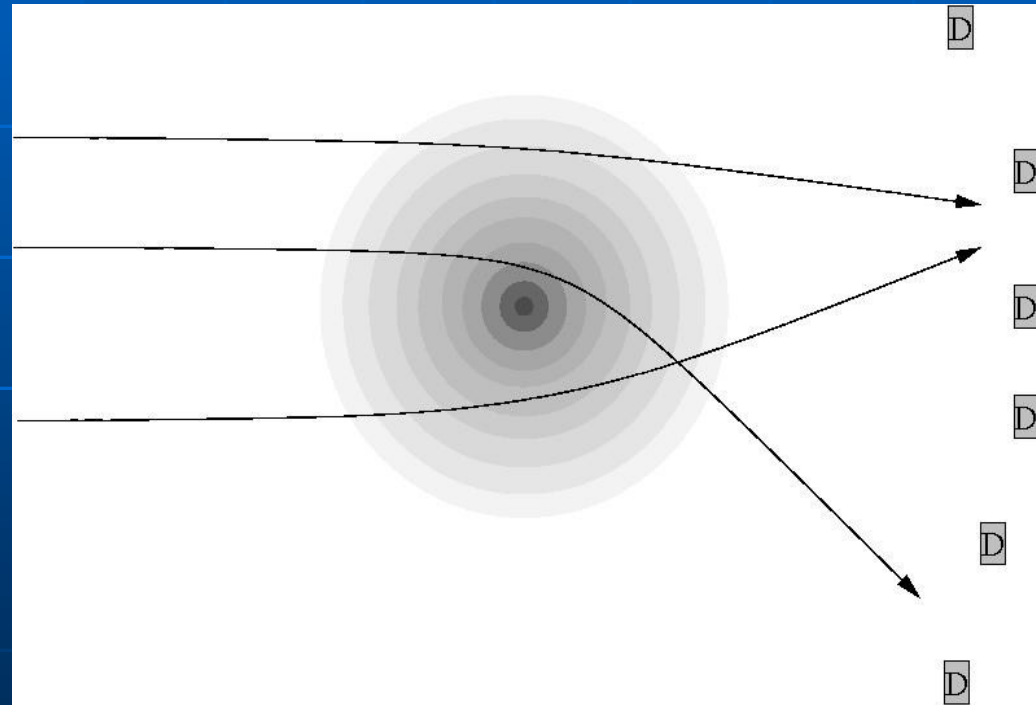
Krümmung kann man messen...

Z.B. mithilfe eines interstellaren Golfspiels:
Aus der Streuung von kleinen Testteilchen
lässt sich die Krümmung errechnen...



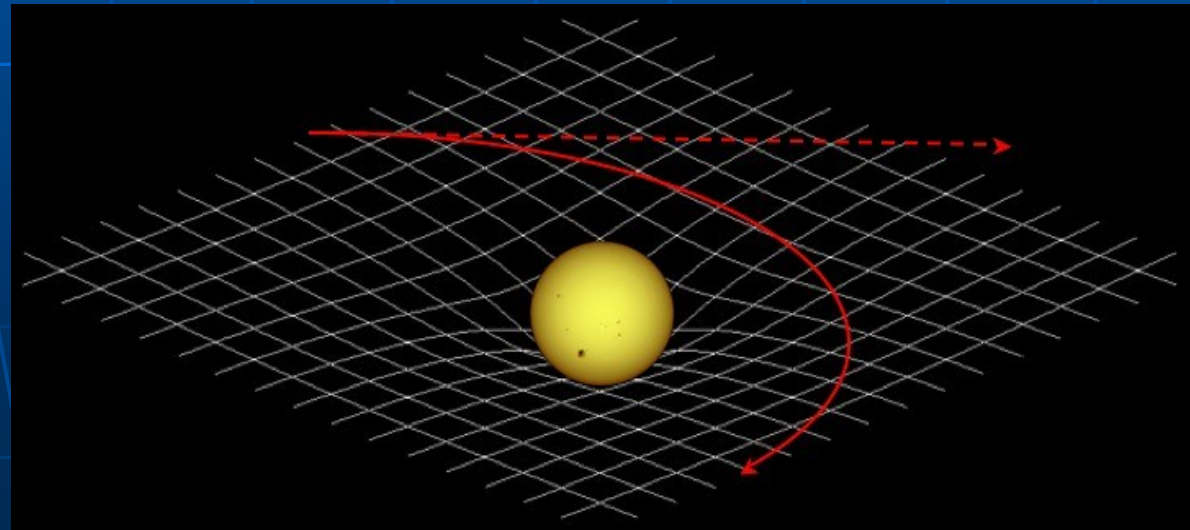
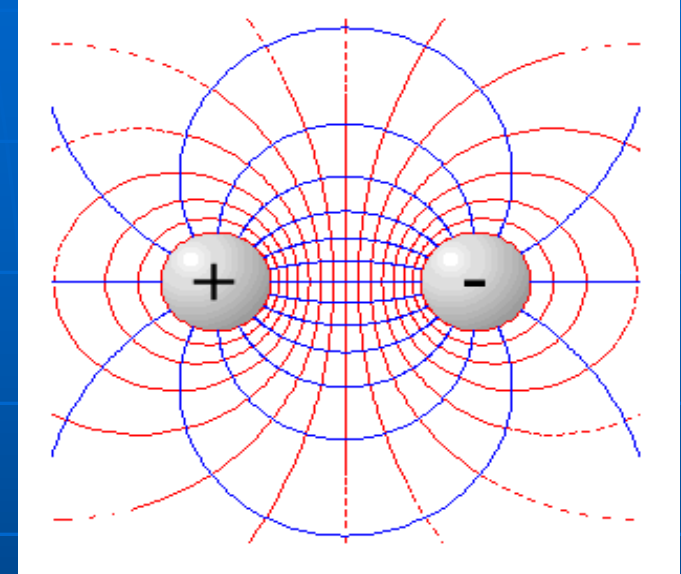
...umso genauer, je kleiner die Golfbaelle sind...

- Das Streumuster (Zahl Golfbaelle pro Detektor) liefert ein (Zerr-)bild der Kruemmung
- Die Verteilung der Kruemmung kann daraus errechnet werden.



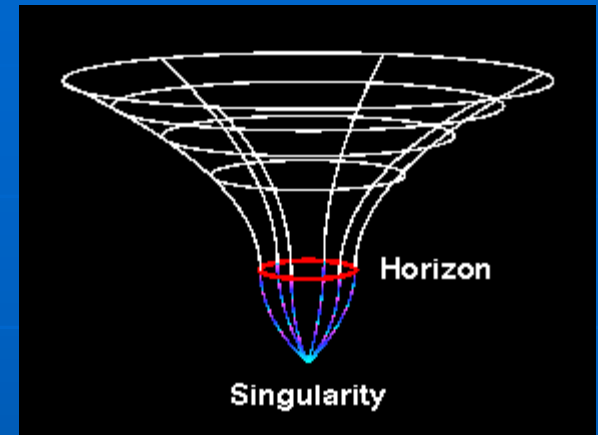
Was bestimmt, wie der Raum sich krümmt?

- Ladung: Quelle von elektrischen Feldern,
- Masse (Energie): Quelle von Krümmung



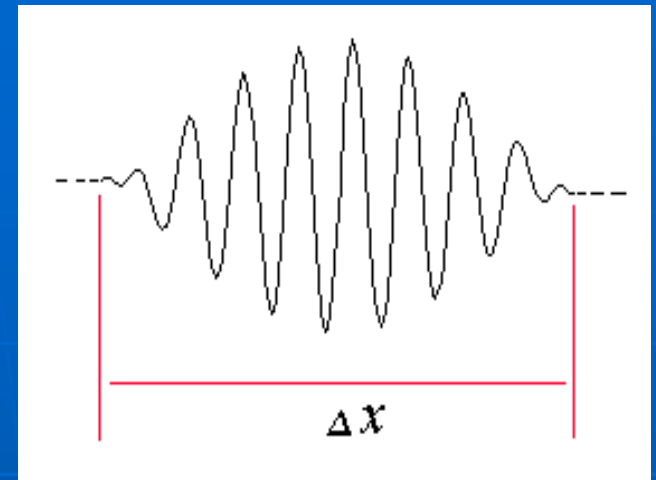
Singularitaeten

- Einsteins Theorie sagt Singularitaeten voraus: Zustaeude unendlicher Dichte und Kruemmung.
- Beispiele: Schwarze Loecher (astronomisch bestaetigt !)
- Wir haben aber keine Theorie dafuer, was mit der zum Schwarzen Loch kollabierten Materie schliesslich passiert.



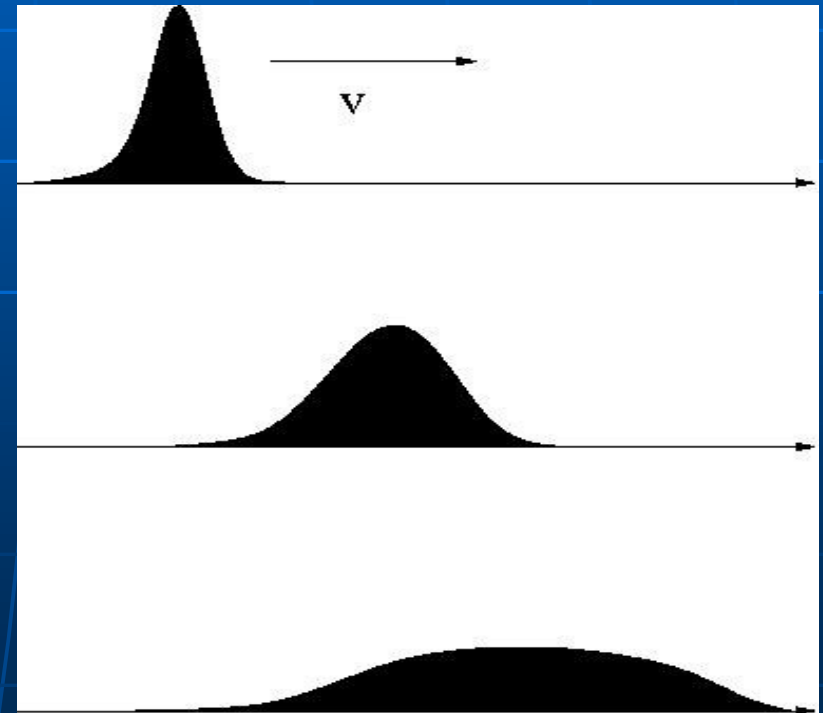
Quantentheorie I

Das Elektron ist Teilchen und Welle zugleich.



Daher koennen wir Ort und Geschwindigkeit eines Teilchens nicht gleichzeitig genau kennen:

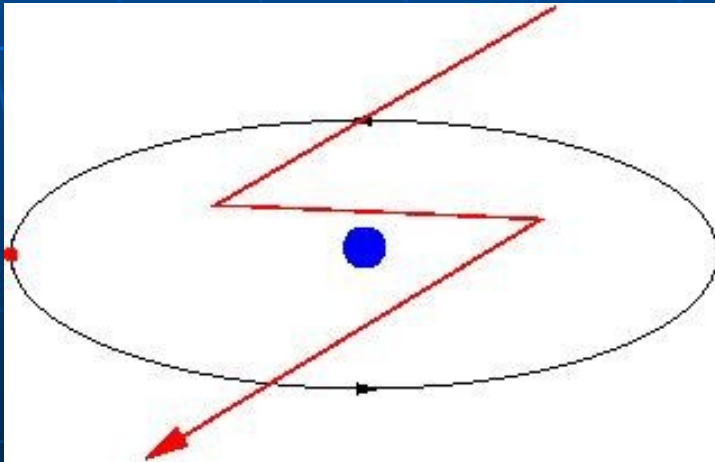
Heisenbergs
Unschaeferrelation setzt
der moeglichen
Messgenauigkeit
prinzipielle Grenzen



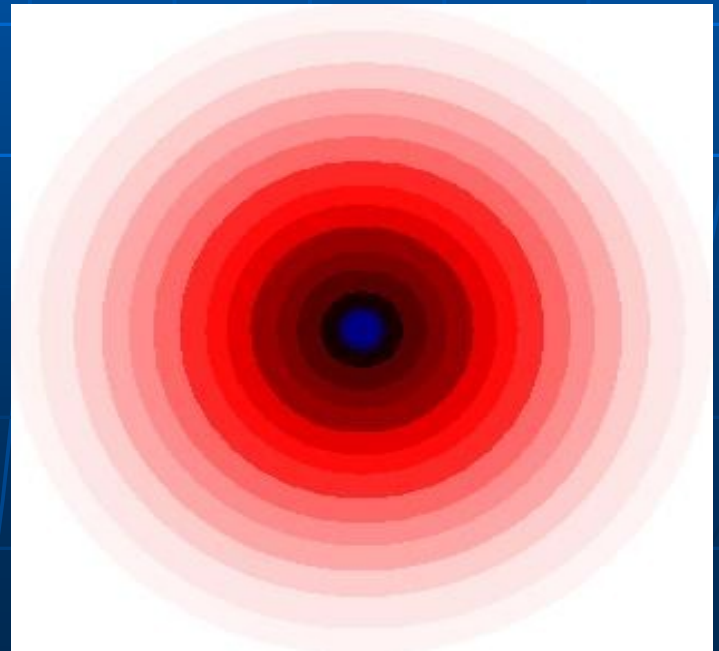
Quantentheorie II

- Fuer ein Atom im Grundzustand, z.B., koennen wir nur Wahrscheinlichkeiten fuer den Ort eines Elektrons vorhersagen:

Falsch:

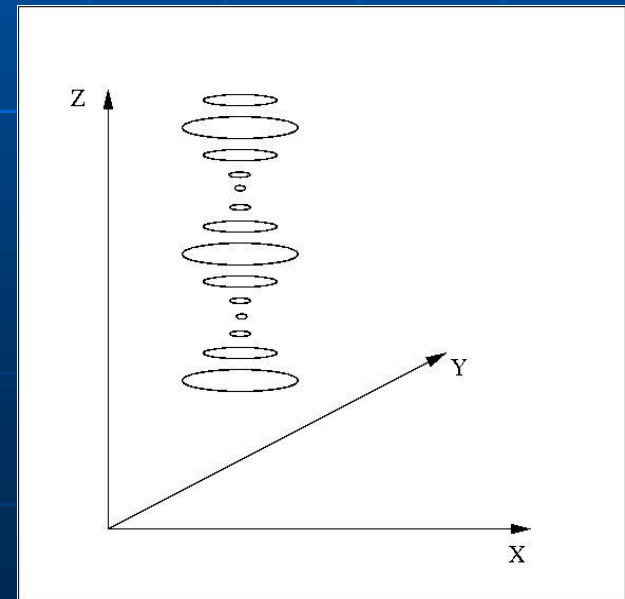
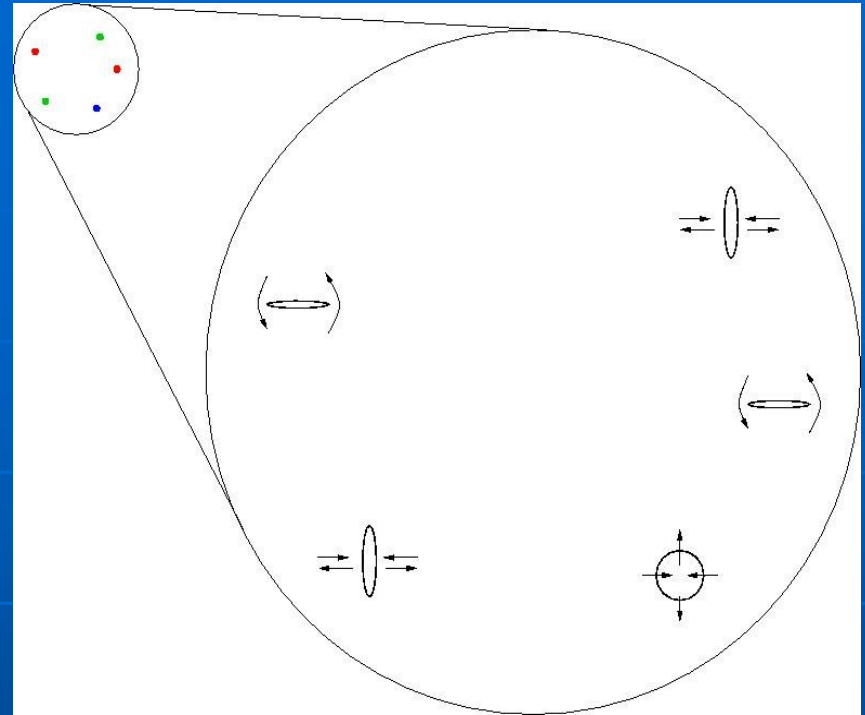


Richtig:

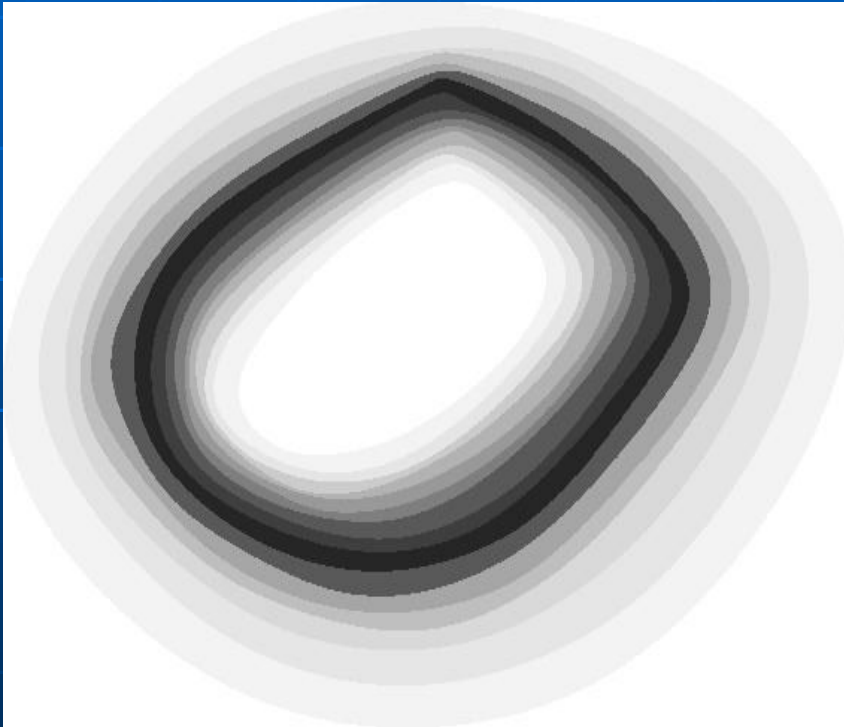


String-Theorie:

- Stellen wir uns vor, die kleinsten Bausteine der Materie entpuppen sich bei genauerem Hinsehen als kleine vibrierende Faeden, statt Punktteilchen.
- Mit dieser einfachen Idee kann man einen gesamten Zoo von Elementarteilchen aus einem einzigen Prinzip heraus erklären:
- Verschiedene Teilchen = verschiedene Schwingungsformen der Strings



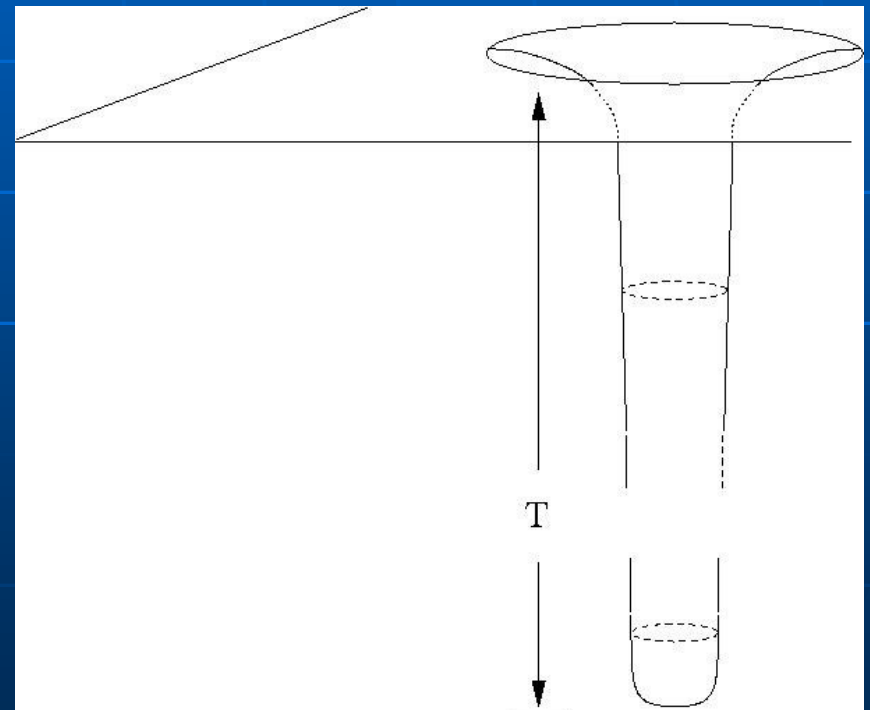
Die Quantentheorie gilt auch fuer die Strings:



- Die Unschaerferelation gilt fuer alle "Teile" eines Strings
- Wir koennen daher fuer die Gestalt der Strings in der Quantentheorie nur Wahrscheinlichkeitsverteilungen vorhersagen.

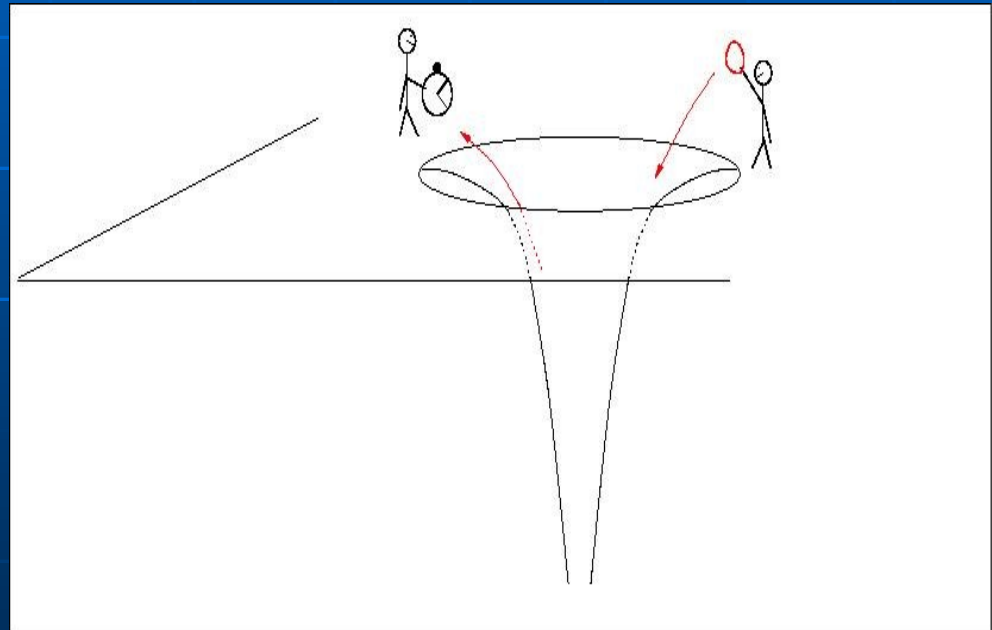
Strings in gekruemmten Raeumen: Ein Gedankenexperiment:

- Das von String-Materie erzeugte Gravitationsfeld kann zum Beispiel so aussehen:

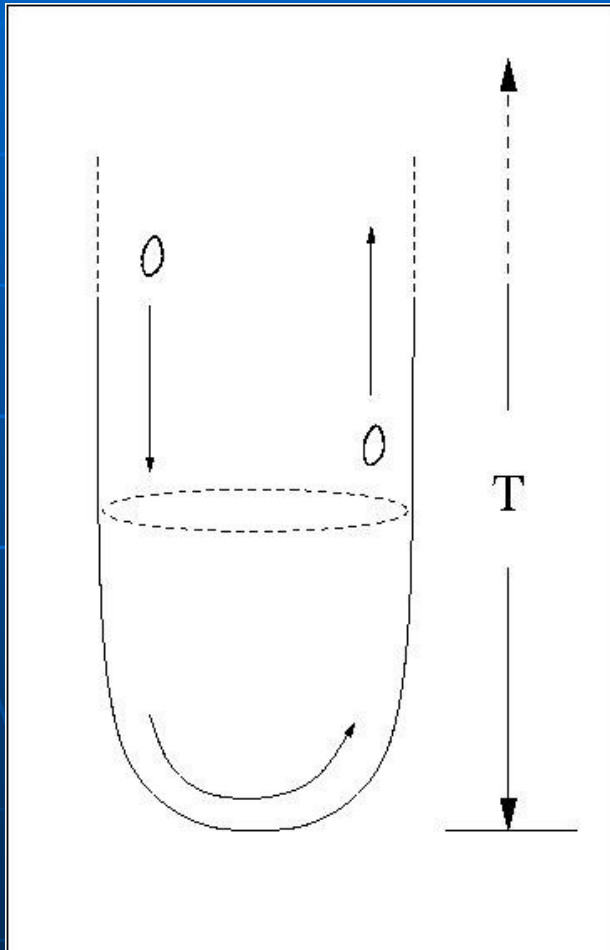


Die Vermessung des Trichters mithilfe von Strings

- Die String-Maennchen werfen Strings in den Trichter, und messen die Zeit bis zur Wiederkehr
- Damit versuchen sie, die Tiefe des Trichters auszumessen.



Das funktioniert gut, solange die Krümmung klein ist...

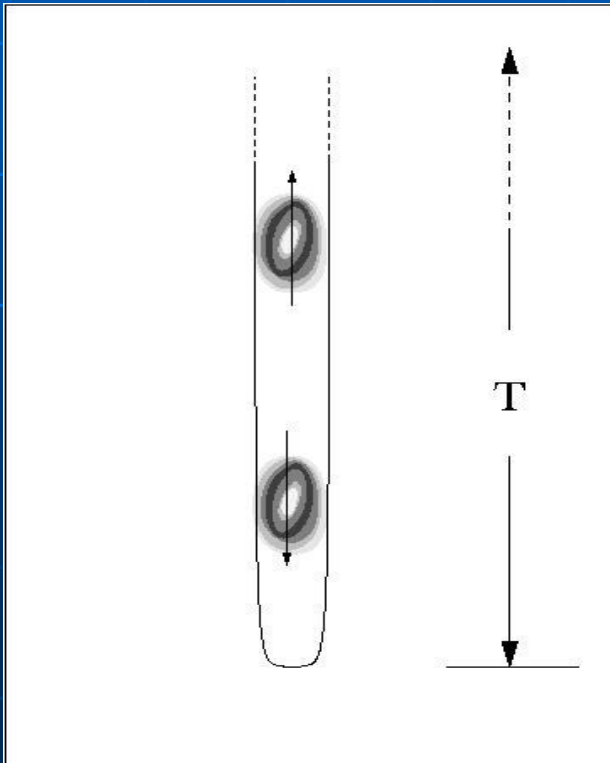


- Die Strings bewegen sich im Trichter fast so wie Punktteilchen.

...unsere Rechnungen zeigen aber,
dass bei starker Krümmung etwas
Interessantes passiert:

$$S = \frac{1}{4\pi} \int d^2z \left\{ G_{\mu\nu}(X) + iB_{\mu\nu}(X) \right\} \partial X^\mu \bar{\partial} X^\nu,$$

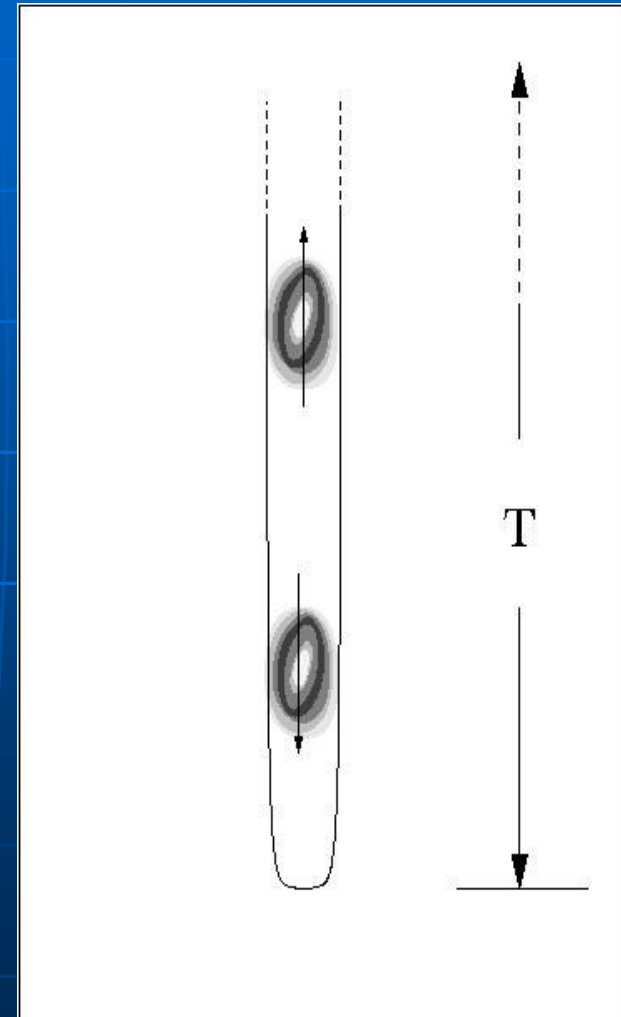
- Die Zeit bis zur Wiederkehr der Strings hängt in komplizierter Weise von deren Geschwindigkeit ab.
- Die "Messwerte" sind nicht verträglich mit frei fallender Bewegung in **irgendeinem** Gravitationsfeld!



$$\begin{aligned} \langle \Phi_{m\bar{m}}^j(z, \bar{z}) \Phi_{m'\bar{m}'}^{j'}(z', \bar{z}') \rangle &= \frac{\Gamma(1/2 + is - \tilde{m}) \Gamma(1/2 + is + \tilde{m}) \Gamma(-2is) \Gamma(\frac{2is}{k-2})}{\Gamma(1/2 - is - \tilde{m}) \Gamma(1/2 - is + \tilde{m}) \Gamma(2is) \Gamma(-\frac{2is}{k-2})} \\ &\quad \times \delta(s - s') \delta_{N+N'} \delta(E + E') \end{aligned}$$

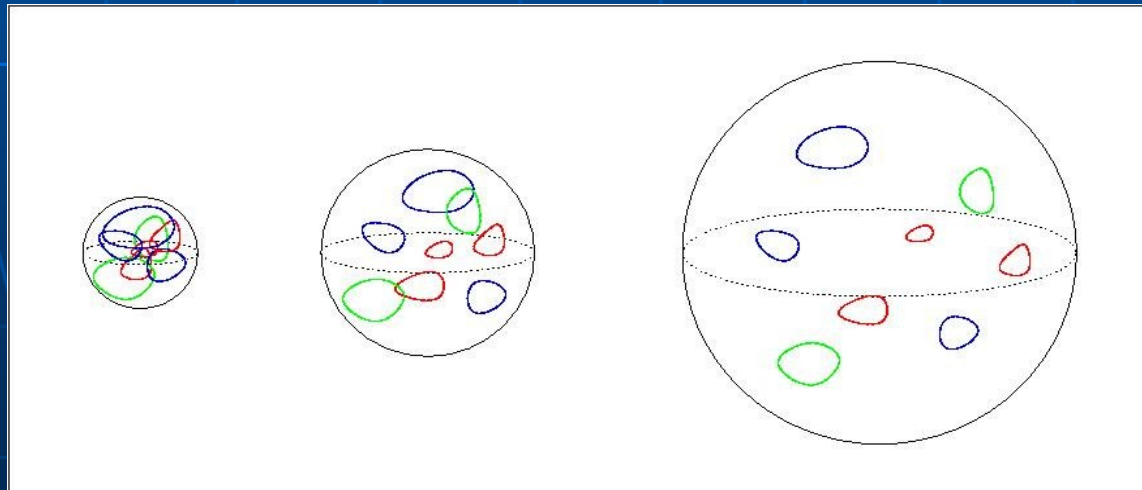
Was ist da los?

- Fakt: Quantentheoretische Effekte modifizieren die Bewegung der Strings so stark, dass von freiem Fall im gekrümmten Raum keine Rede mehr sein kann.
- Eine Interpretation: Quantentheoretische Unschärfe -> Der String kann **nicht beliebig gut lokalisiert** werden (immer "verschmiert") -> Die Krümmung wird die Bewegung drastisch beeinflussen



Was hat das fuer Konsequenzen?

- Diese Effekte haben erhebliche Auswirkungen auf das Verhalten von String-Materie unter extremen Bedingungen (extreme Dichte, Schwarze Loecher...)
- Insbesondere koennen solche Effekte Singularitaeten der Raum-Zeit zum Verschwinden bringen!

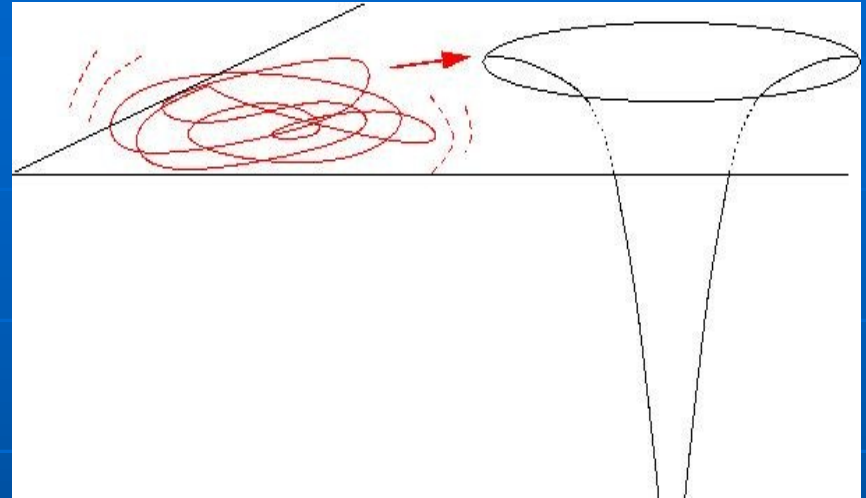


Wo fuehrt uns das hin?

- Wenn die Bausteine der Materie **ausgedehnt** sind, aendert sich die Physik bei kleinen Abstaenden dramatisch.
- Das kann problematische Effekte der Gravitation wie z.B. Singularitaeten "heilen" helfen.
- Diese Effekte stellen aber auch unser jetziges, geometrisch gepraehtes Bild von Raum und Zeit radikal in Frage:
- Wenn Raum und Zeit bei kleinen Abstaenden ihre physikalische Bedeutung verlieren, sind diese Begriffe dann vielleicht gar nicht fundamental?

Mit anderen Worten:

- Versuchen Sie mal, mit Wattebaeuschen ein Nadeloehr zu vermessen...
- ...wenn aber die Strings das Kleinste sind, das es gibt, und wenn diese sich beim besten Willen nicht weiter zusammendruecken lassen, dann...
- ...gibt es entweder keine Nadeloehre, oder...
- ...sie sehen ganz anders aus, als wir es uns bisher vorgestellt haben...



...und dann...

...verlieren vielleicht
sogar die
Schwarzen Loecher
ihren Schrecken....

