



INFORMATIONEN ZUM FOUCAULT'SCHEN PENDEL IM ULMER MÜNSTER

„... wir alle rotierten gemeinsam unter dem Pendel, das in Wirklichkeit nie seine Schwingungsebene änderte, denn dort oben, von wo es herabhing, und längs der ideellen Verlängerung des Fadens, endlos hinauf bis zu den fernsten Galaxien, dort oben stand, reglos in alle Ewigkeit, der Feste Punkt.“

(Umberto Eco: Das Foucault'sche Pendel)

Zeitraum der Pendelaufhängung: 13.9. – 18.10.2009

Eröffnungsveranstaltung: 13.9.2009, 15 Uhr

Ein gemeinsames Projekt der Münsterergemeinde und der Universität Ulm, Fachbereich Physik.

Tabea Frey, Münsterpfarrerin (Frey@muenstergemeinde-ulm.de)

Prof. i.R. Dr. Peter C. Hägele (Peter.Haegle@uni-ulm.de)

Gerold Brackenhofer (Gerold.Brackenhofer@uni-ulm.de)

Mitwirkende: Herbert Schmitt, Christof Happ, Reiner Keller, Martin Müller, Emmanuel Klinger, Florian Nägele, Marvin Wirth, Wissenschaftliche Werkstatt Feinwerktechnik, Schreinerei, Kommunikations- und Informationszentrum (KIZ) der Universität Ulm

Wir danken Münsterbaumeisterin Ingrid Helm-Rommel und den Mitarbeitern der Münsterbauhütte für ihre Unterstützung.

DAS FOUCAULT'SCHE PENDEL

Die Rotation der Erde um ihre Achse bezweifelt heute fast niemand mehr und als Foucault dies Mitte des 19. Jahrhunderts mit seinem berühmten Pendelversuch demonstrierte, war dies auch schon längst bekannt. Während die Beobachtung des Fixsternhimmels noch offen lässt, ob sich der Sternenhimmel oder die Erde dreht, gibt die Abplattung der Erde an den Polen, der Äquatorwulst und die damit zusammenhängende Veränderung der Fallbeschleunigung klare Hinweise auf die Eigenrotation. Mit seinem Experiment, bei dem die Schwingungsebene des Pendels sich gegenüber dem Erdboden langsam dreht, hatte Foucault jedoch eine einfache und anschauliche Darstellung des Einflusses der Erdrotation auf irdische Bewegungsabläufe gefunden.

Wegen seiner Einfachheit und Ästhetik hat das Foucault'sche Pendel nichts von seiner Popularität und Faszination verloren. Das zeigen auch die vielen weltweit installierten Pendel in öffentlichen Gebäuden, Museen, Schulen und Universitäten. Im Ulmer Münster wurde es zum ersten Mal 1881 im Hauptschiff installiert und später nochmals 1903 und 1979 wiederholt.

Nach einer Umfrage der englischen Zeitschrift „Physics World“ gehört das Foucault'sche Pendel zu den TOP TEN der schönsten physikalischen Experimente, neben Galileis Fallversuchen, Youngs Interferenzexperimenten und Jönssons Doppelspaltexperimenten mit Elektronen (in Tübingen).

Wie funktioniert das Foucault'sche Pendel?

Der Foucault-Effekt ist besonders übersichtlich am Nord- und Südpol (Bild 1). Ein dort aufgehängtes Pendel hat eine Schwingungsebene, die relativ zum Fixsternhintergrund ruht. Blickt man als nicht-beschleunigter Astronaut von oben auf den Nordpol, so dreht sich die Erde im Gegenuhrzeigersinn. Ein Beobachter auf der Erde sieht dagegen die Schwingungsebene eines dort aufgehängten Pendels offensichtlich im Uhrzeigersinn rotieren. Pro Tag macht sie eine volle Umdrehung; pro Stunde sind das 15° . Im Sinne der Newton'schen Mechanik muss dafür eine Kraft verantwortlich sein. Dies ist die Coriolis-Kraft, welche auf der Nordhalbkugel eine Ab-

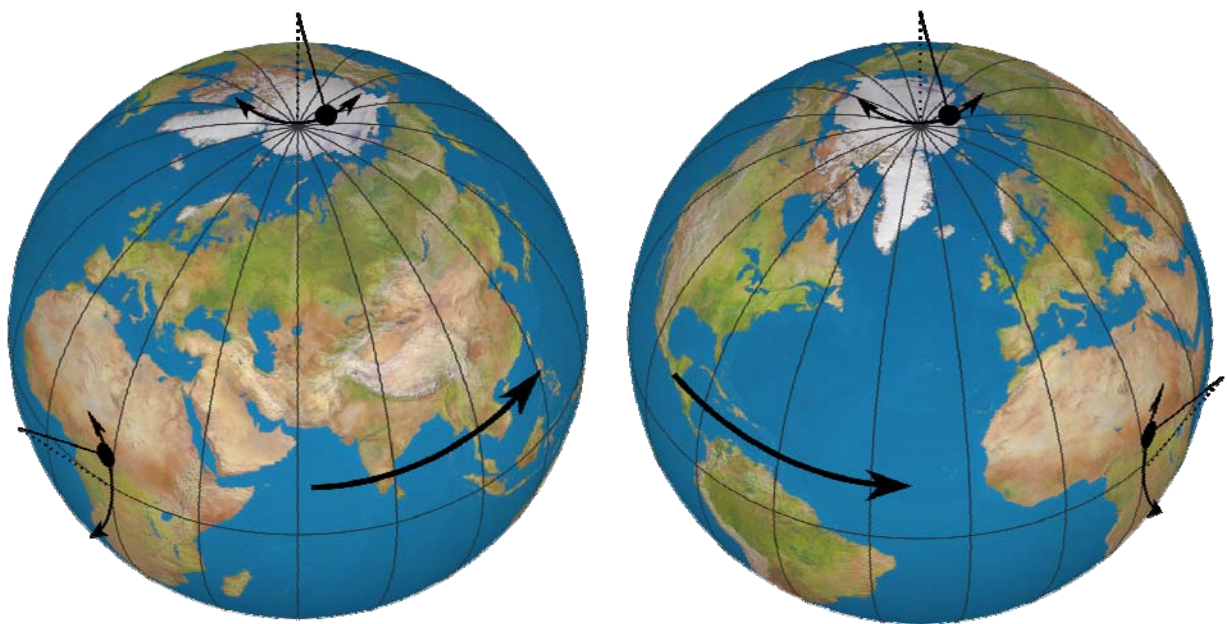


BILD 1: EIN PENDEL AM NORDPOL UND AM ÄQUATOR. DAS RECHTE BILD ZEIGT DIE SITUATION 6 STUNDEN SPÄTER.

lenkung nach rechts bewirkt. Entsprechend dreht sich die Pendelebene für einen Antarktisforscher am Südpol im Gegenuhrzeigersinn. Im Jahre 2001 wurde tatsächlich auch ein Pendel am Südpol installiert.

Ist das Pendel am Äquator aufgehängt, dreht sich die Schwingungsebene nicht, da die Coriolis-Kraft hier je nach Schwingungsrichtung verschwindet oder in Richtung der Fliehkraft wirkt. Anders erklärt: Die Verbindungslinie Pendel–Erdmittelpunkt steht senkrecht auf der Drehachse der Erde und die Schwingungsebene „spürt“ nichts von der Erddrehung.

In den dazwischen liegenden geografischen Breiten wirkt eine schwächere Coriolis-Kraft als an den Polen. Die Schwingungsebene spürt hier nur eine Komponente der Erddrehung. In Ulm dreht sich die Schwingungsebene um $11,2^\circ$ pro Stunde. Eine volle Drehung ist erst nach etwa 32 Stunden erreicht.

KURZBIOGRAFIE VON JEAN BERNARD LÉON FOUCAULT

- 1819 geboren in Paris
Medizinstudium (abgebrochen)
Physikstudium (autodidaktisch)
- um 1839 mit H. L. Fizeau Verbesserung der Fotografie nach Daguerre
- um 1840 elektromagnetischer Regulator für die elektrische Bogenlampe
Arbeit über binokulares Sehen
- 1850/51 genaue Messung der Lichtgeschwindigkeit (Drehspiegelmethode)
Pendelversuche im Keller seines Hauses, Länge 2 m
- 1851 Vorführung des nach ihm benannten Pendels im Pariser Observatorium (für die Fachwelt)**
Missgunst der Mitglieder der französischen Akademie
Vorführung des Pendels im Panthéon (für die Öffentlichkeit)
Länge 67 m; Kugelgewicht 28 kg
Ernennung zum Mitglied der Ehrenlegion durch Louis-Napoléon
„Physiker am Observatorium“ (erste und einzige Anstellung)
- 1852 Erfindung des Gyroskops
- 1853 Lichtgeschwindigkeit in Wasser kleiner als in Luft
- 1855 Bau einer Schreibmaschine
- 1862 Wirbelströme in Metallen
dafür später Verleihung der Copley-Medaille der britischen Royal Society
Entwicklung eines leistungsfähigen Spiegelteleskops
- 1865 späte Aufnahme in die französische Akademie der Wissenschaften
- 1868 gestorben in Paris
- um 1889 namentlich auf dem Eiffelturm verewigt
(zusammen mit 71 berühmten französischen Wissenschaftlern und Ingenieuren)
- 1935 Mondkrater nach Foucault benannt
- 1988/89 Umberto Eco: *Das Foucault'sche Pendel* (Roman)



DIE CORIOLIS-KRAFT

Wer einmal Karussell oder Achterbahn gefahren ist oder in einem schleudernden Auto gesessen ist, kennt die Kräfte, denen man da ausgesetzt ist. Dabei handelt es sich nicht um Wirkungen der Schwerkraft oder der bekannten elektromagnetischen Kraft, sondern um so genannte Trägheitskräfte. Die spürt man nur in einem „beschleunigten Bezugssystem“, bei dem sich also Betrag bzw. Richtung der Geschwindigkeit dauernd ändert.

Auch unsere rotierende Erde ist ein solches System. Hier treten die Zentrifugalkraft (Fliehkraft) und die Coriolis-Kraft als Trägheitskräfte auf. Die Coriolis-Kraft ist entscheidend wichtig zum Verständnis des Foucault-Pendels.

Gaspard Gustave de Coriolis (1792-1843) entdeckte diese Kraft bei seinen Studien bewegter Körper. Er hat auch als Erster präzise definiert, was Bewegungsenergie und mechanische Arbeit ist. Außerdem hat er Arbeiten zur Wirtschaftsmathematik veröffentlicht. Sein Name ist – wie der von Foucault – auf dem Eiffelturm verewigt.

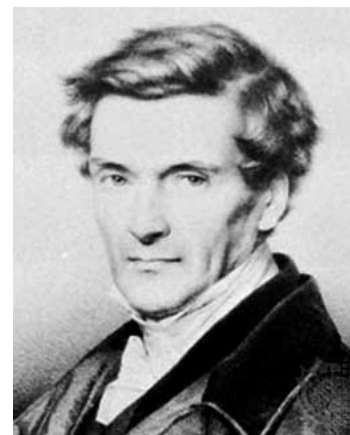


BILD 2: GASPARD GUSTAVE DE CORIOLIS (1792-1843)

Die Coriolis-Kraft bewirkt auf der Erde bei jedem (relativ zur Erde) bewegten Körper eine Ablenkung rechtwinklig zur Bewegungsrichtung. Auf der Nordhalbkugel ist dies eine Rechtsablenkung, auf der Südhalbkugel eine Linksablenkung. Besonders auffällig ist die Bewegung großer Luftmassen: Auf der Nordhalbkugel strömen sie um Hochdruckgebiete im Uhrzeigersinn, um Tiefdruckgebiete im Gegen-
uhrzeigersinn (Bild 3). Kleinere Effekte bewirkt die Coriolis-Kraft bei geraden Eisenbahnstrecken. Hier wird die (in Fahrtrichtung) rechte Schiene etwas stärker belastet. Ähnliches gilt für Flussläufe: Der Wasserstand am Neu-Ulmer Donauufer ist einige Millimeter höher als am Ulmer Ufer. Der Fliehkrafteffekt bei gekrümmten Strecken ist allerdings wesentlich größer.

Beim Foucault-Pendel bewirkt die Coriolis-Kraft wegen der Rechtsablenkung eine Drehung der Schwingungsebene im Uhrzeigersinn. Der kleine Effekt summiert sich hier zu merklichen Abweichungen von der ursprünglichen Schwingungsrichtung.

Dass die Coriolis-Kraft wie bei Tiefdruckgebieten die Richtung von Badewannenabfluss-Wirbeln bestimmt, ist allerdings ein Märchen. Hier haben lokale Strömungseinflüsse eine größere Bedeutung.

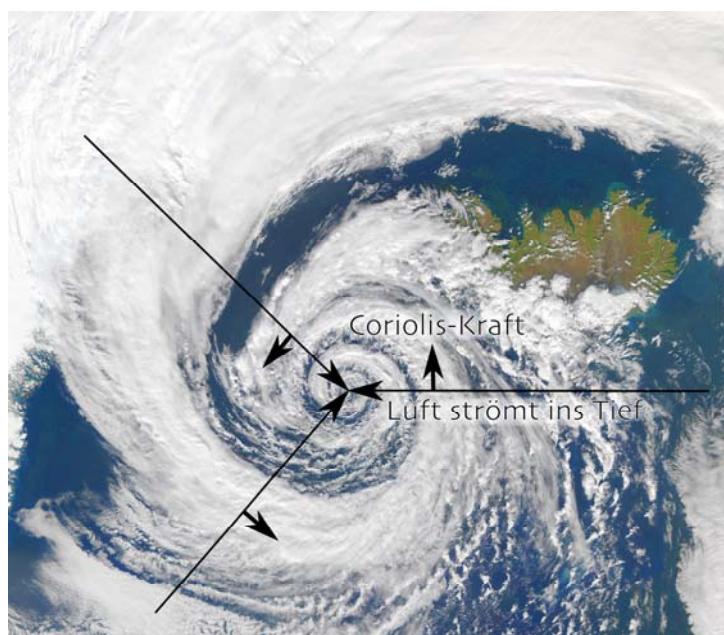


BILD 3: DIE LUFT STRÖMT VOM HOCHDRUCKGEBIET ZUM TIEFDRUCKGEBIET, WIRD ABER DURCH DIE CORIOLIS-KRAFT VOM DIREKTEN WEG ABGELENKT.

DATEN ZUM FOUCAULT-PENDEL IM ULMER MÜNSTER

Die Pendelaufhängung ist ca. 1,80 m hoch und im nördlichen Seitenschiff über der Mittelöffnung des Gewölbes montiert.

Der Pendelkörper ist eine Messingkugel mit einem Durchmesser von 0,20 m und einer Masse von ca. 35 kg. Sie hängt an einem 0,7 mm dicken Federstahldraht.

Pendellänge: 20,90 m

Periodendauer: 9,2 s

Auslenkung: 1,25 m

Am unteren Ende der Kugel befindet sich ein Neodym-Stabmagnet. Damit das Pendel durch die Luftreibung nicht zum Stillstand kommt, wird bei jeder Schwingung über eine Magnetspule kurzzeitig eine Kraft auf den Stabmagnet ausgeübt.

Zur Unterdrückung der elliptischen Bewegung wird ein Ring mit einem Innendurchmesser von 7 cm verwendet, der sich 1,28 m unterhalb der Pendelaufhängung befindet. Bei jeder Schwingung stößt der Draht an die Innenseite des Rings. Solange der Draht senkrecht auftrifft, stört es die Schwingung nicht. Bei einer elliptischen Bewegung trifft der Draht aber schräg auf den Ring und die störenden Anteile der Pendelbewegung werden gedämpft. Dieser Ring wurde zum ersten Mal 1931 von dem französischen Physiker Charron verwendet und ist nach ihm benannt.

Drehgeschwindigkeit der Schwingungsrichtung in Ulm:

$$\frac{360^\circ}{86160 \text{ s}} \frac{3600 \text{ s}}{\text{h}} \sin(48^\circ) = 11,2^\circ/\text{h}$$

In 24 Stunden dreht sich die Schwingungsrichtung um 268°.

Auf einem Ring mit 2,2 m Durchmesser sind 72 Tischtennisbälle im Abstand von 5° angeordnet. Die Bälle eines Halbkreises sind um 2,5° gegenüber denen des anderen Halbkreises versetzt. Das Pendel stößt etwa alle 13 Minuten einen Ball von seiner Position, abwechselnd auf der einen und dann auf der anderen Seite, wenn sich die Schwingungsrichtung des Pendels um 2,5° weitergedreht hat.



BILD 4: DIE PENDELAUFHÄNGUNG IST IM NÖRDLICHEN SEITENSCHIFF ÜBER DER MITTELÖFFNUNG DES GEWÖLBES BEFESTIGT.



BILD 5: CHARRON-RING

MODELLVERSUCH ZUM FOUCAULT'SCHEN PENDEL

Um die Drehung der Schwingungsebene des Foucault-Pendels an einem Modell zu zeigen, benötigt man ein Pendel, das zum Mittelpunkt eines Erdmodells zeigt. Mit einem Fadenpendel funktioniert das nur, wenn es sich über der Drehachse des Modells befindet. Wird ein solches Pendel in Schwingung versetzt, dann kann man leicht zeigen, dass das Pendel seine Schwingungsrichtung auch dann beibehält, wenn das Erdmodell gedreht wird. Dies entspricht einem Foucault-Pendel, das über einem der Pole aufgehängt ist. Von der Erde aus betrachtet, dreht sich die Schwingungsebene des Pendels an einem siderischen Tag (Sternentag) um 360° .

Die Situation am Äquator oder bei einer mittleren geografischen Breite, kann man mit Hilfe eines Fadenpendels nicht demonstrieren.

In unserem Modell befindet sich die Nordhalbkugel auf einer drehbaren Platte. Das Fadenpendel wurde durch einen 45 cm langen und 2 mm dicken Stab aus gehärtetem Federstahl ersetzt. Der Stab ist an einem Bogen befestigt, so dass er bei jeder Winkeleinstellung zum Mittelpunkt des Erdmodells zeigt. Man versetzt den Stab in Schwingung, indem man ihn etwa 10 cm nach unten auslenkt und loslässt. Dreht man dann die Platte mit dem Erdmodell entgegen dem Uhrzeigersinn, so dreht sich die Schwingungsebene des Stabes, wie es auch das große Foucault-Pendel durch die

Rotation der Erde tut.

Durch Einstellen verschiedener Winkel kann man alle Situationen vom Äquator bis zum Nordpol zeigen. Dreht man die Platte in die entgegengesetzte Richtung, so zeigt das Pendel das der Südhalbkugel entsprechende Verhalten. Stellt man den Stab so ein, dass er auf Ulm zeigt und dreht die Platte bei schwingendem Stab einmal um 360° , was einem Tag entspricht, dann dreht sich die Schwingungsebene um etwa 270° .



BILD 6: MODELL, DAS BEI DER PENDELAUFHÄNGUNG 1979 VERWENDET WURDE. IN VERLÄNGERUNG DER DREHACHSE IST EIN FADENPENDEL BEFESTIGT.



BILD 7: MODELL MIT EINEM PENDEL AUS FEDERSTAHL.

BILDER



BILD 8: DETEKTIONS- UND ANREGUNGSSPULE.



BILD 9: ERÖFFNUNGSVERANSTALTUNG MIT PROF. I.R. DR. PETER C. HÄGELE

ZEITUNGSARTIKEL ZU DEN FRÜHEREN PRÄSENTATIONEN

Frühere Pendelaufhängungen im Ulmer Münster fanden statt am

- 24.06.1881
- 20.05.1903
- 24. - 29.09.1979.

Zu diesen gibt es mehrere Zeitungsartikel und Publikationen, die im Folgenden wiedergegeben werden.

Nach Beendigung der Sitzung begab sich die Versammlung ins Münster, wo durch Hrn. General v. Arlt der Foucault'sche Pendelversuch demonstriert wurde. Von der Decke des Mittelschiffs hängt an einem bis fast zum Boden reichenden Stahltrabt eine eiserne Kugel mit Spitze, welche über einem in Grade eingetheilten Kreisaußenschnitt in Schwingung versetzt, durch ihre allmähliche Abweichung die Umdrehung der Erde um ihre Axe beweist. Der Versuch, zu welchem sich unser Münster vermöge seiner Höhe ganz besonders eignet, wurde von den anwesenden Herren mit dem lebhaftesten Interesse verfolgt. Nach Beendigung des Münsters und seiner Kunstschätze war die Zeit zum Mittagessen im Gasthof zum Kronprinzen herangeritten.

BILD 10: ULMER TAGBLATT (26.6.1881)

Ulm, 24. Juni. Die Aula, in welcher die Versammlung des Vereins für vaterländische Naturkunde in Württemberg stattfand, war von Gebrüder Neubronner geschmackvoll decorirt. Diese Decoration gestaltete sich an den beiden Südecken des Saales zu einer sehr hübschen, viel Anerkennung findenden Ausstellung.

...

Nachdem die Reihe der Vorträge geschlossen war, begab die Versammlung sich in das Münster, wo General v. Arlt die schon früher erwähnten Foucault'schen Pendelversuche wiederholte. Wohl nicht leicht dürfte irgendwo sich eine günstigere Gelegenheit hiezu darbieten als hier in unserem Münster, weshalb General v. Arlt sich den Dank Aller erwarb. Hierbei bekamen die Herren auch unsere Orgel zu hören.

...

BILD 11: ULMER SCHNELLPOST (26.6.1881)

“Bericht über die sechsunddreissigste Generalversammlung den 24. Juni 1881 in Ulm.
Von Oberstudienrath Dr. F. v. Krauss

...

Die meisten Mitglieder begaben sich sodann unter Leitung der Geschäftsführer nach dem in den Besitz der Stadt übergegangenen altulmischen Patrizierhaus der Neubronner, um die prachtvollen

Holz Schnitzereien an den Plafonds und Thüren, sowie die alterthümlichen Einrichtungen zu besichtigen. Von da wurden sie ins Münster geführt, wo Generalmajor a. D. v. Arlt die Güte hatte, den Foucault'schen Beweis für die Umdrehung der Erde um ihre Axe an den Schwingungen eines im Schiffe aufgehängten 41,75 Meter langen Pendels zu zeigen und zu erläutern.

Das Mittagmahl fand im Gasthof zum Kronprinzen statt, bei welchem von dem Vorstande der erste Toast auf den erhabenen Protektor des Vereins, Se. Maj. König Karl ausgebracht wurde.

Den Abend brachten viele Mitglieder und Freunde im Garten zur Wilhelmshöhe in fröhlicher Stimmung zu, bis die Bahnzüge sie befriedigt über die gelungene Versammlung wieder der Heimath zuführten.”

(aus: JAHRESHEFTE des Vereins für vaterländische Naturkunde in Württemberg)

§ Ulm 21. Mai. Zahlreich hatten sich gestern Nachmittag auf Einladung des math.-naturw. Vereins die Mitglieder des oberschwäbischen Zweigvereins für vaterländische Naturkunde in Ulm eingefunden, um dem Foucault'schen Pendelversuch im Münster anzuschauen. Als im Jahr 1851 Foucault seinen berühmten Versuch im Pantheon zu Paris mit einem 67 m langen Pendel anstellte, war zum erstenmal experimentell auf denbar einfachste Art die Achsenbrechung der Erde nachgewiesen. Vor ein paar Jahren wurde zur 50jährigen Jahresfeier der Versuch im Pantheon wiederholt, und so möge auch der Ulmer Versuch, aus dem man allerdings keine neuen Ergebnisse für die Wissenschaft ableiten kann, der aber ein um so größeres geschichtliches Interesse beanspruchen darf, als eine nachträgliche Jubiläumfeier eines für die Wissenschaft hochbedeutenden Versuchs angesehen werden. Weihevoller Stille herrschte in den hohen Räumen des Münsters, als die 28 kg schwere Messingkugel nach Abbrennung des sie haltenden Seidenfadens mit majestätischer Ruhe durch den Raum schwebte, um erst nach 14,6 Sekunden wieder an ihren Ausgangspunkt zurückkehren. Die Klavierseile von 0,8 mm Stärke, an der das Pendel aufgehängt ist, hat eine Länge von 63 m und weicht bei größtem Aus Schlag um 2° 40' 55" von der Vertikalen ab. In 1 Stunde dreht sich die Schwingungsebene des Pendels scheinbar um 11° 13', was bei einer einzigen vollen Schwingung bei obigen Aus Schlag schon die deutlich sichtbare Abweichung von gegen 2 mm auf dem Randkreis ergibt. Bei einem der Vorversuche ergab sich nach etwas über 16 Stunden eine scheinbare Drehung der Schwingungsebene von 180°, ein Ergebnis, das mit den obigen Zahlen übereinstimmt. — Vor dem Versuch sprach

BILD 12: SCHWÄBISCHER MERKUR (21.5.1903)

Ulm, 22. Mai. (Foucault's Pendelversuch.) Die Mitglieder des hiesigen mathematisch-naturwissenschaftlichen Vereins und des oberösterreichischen Vereins für vaterländische Naturkunde versammelten sich am Mittwoch nachmittag auf dem Museum, um einen Vortrag entgegenzunehmen, den Professor Sauter als Vorbereitung zu dem an die Sitzung anschließenden Foucault'schen Pendelversuch hielt. Rektor Neuffer begrüßte zunächst die Erschienenen und sprach denen, die die Durchführung des Versuchs ermöglicht haben — dem Kirchengemeinderat für Ueberlassung des Münsters, Professor Sauter für den Vortrag und die Vorarbeiten zum Versuch, Turmhuhrenfabrikant Hög und Münsterwerkmeister Lorenz für die technische Unterstützung und der Firma Wieland und Cie. für die Herstellung der Pendelkugel zu herzlichem Dank aus. Professor Sauter besprach in seinem Vortrage in erster Linie alle jenen Erscheinungen, die mit der Achsendrehung der Erde zusammenhängen und wies nach, daß jeder bewegte Körper auf der nördlichen Halbkugel infolge der Eigendrehung der Erde eine Rechtsablenkung erfahre. Das lasse sich wahrnehmen an den Luft- und Meeresströmungen, an den Flüssen, bei bewegten festen Körpern wie Geschossen, Eisenbahnen, selbst bei Fußgängern. Bei den letztgenannten Bewegungsarten sei die Ablenkung allerdings eine sehr schwache. Als Folgerscheinung der Erddrehung lasse sich der Umstand erklären, daß der Wasserspiegel der Donau bei Ulm auf dem rechten Ufer 3' a. mm höher stehe als auf dem linken. Eine weitere mit der Achsenbewegung der Erde zusammenhängende Tatsache bilde die Erscheinung, daß Körper, die nach Osten zu sich bewegen, eine Gewichtsabnahme, in umgekehrter Richtung eine Gewichtszunahme erleiden. Weiters äußere sich der Einfluß der Erddrehung auch auf vertikal bewegte Körper; ein vom Münsterturm senkrecht abfallender Stein würde, weil er aus einer Zone mit erhöhter Geschwindigkeit komme, am Fuße des Turmes an einer Stelle niedersinken, die von der Senkrechten seines Abfallpunktes etwas nach Osten zu gelegen wäre. Ein Geschöß dagegen, das senkrecht in die Höhe geschleudert würde, käme aus einer Zone niedriger Geschwindigkeit, würde also nicht senkrecht in die Höhe gehen, sondern nach Westen abgelenkt. Da dies auch beim Niedergehen der Fall wäre, käme beispielsweise eine 12 Kilometer hoch geschossene Kugel 80 m westlich der Abfallstelle wieder zu Boden. Dies alles lasse sich aus der Achsendrehung der Erde erklären und bilde umgekehrt einen Beweis für dieselbe. Doch könnten alle diese Versuche einem größeren Zeitauferstreis nicht fünfjährig vor Augen geführt werden. Der augenscheinlichste Beweis für die Rotation der Erde bilde der Pendelversuch, den Foucault erstmals 1851 in Paris zur Ausführung brachte. Er beruhe auf der Tatsache, daß ein Pendel frei im Raume immer in derselben Ebene schwingt, während die darunter angebrachte Gradeinteilung an der Erdrotation teilnehme, also sich gegen die Schwingungsebene des Pendels drehe. Am Pole wäre die Drehung am schnellsten zu beobachten, da hier die Gradeinteilung unter dem Pendel genau in 24 Stunden eine ganze Drehung machen würde. Am Äquator fände gar keine Drehung statt. An den Orten zwischen Äquator und Pol nähme die Drehung für Orte von verschiedener geographischer Breite eine verschiedene Zeitdauer in Anspruch. — Dem Vortrag folgte im Münster die Demonstration des

Foucault'schen Versuchs selbst. In der vorderen Giebelwand des Hauptschiffes war in einem eisenen Ring ein Stahlbrachypendel von 53,12 m Länge aufgebängt, das am unteren Ende mit einer 28,2 kg schweren polierten Metallkugel versehen war und über einer der Ableitung dienenden Gradeinteilung schwang. Nach Inangabe des Pendels konnte man wahrnehmen, daß nach jeder Doppelschwingung, die 14,6 Sekunden dauerte, der Zeiger der Pendelkugel am Rande der Gradeinteilung 2 mm Ablenkung zu erkennen gab. Nach einer Stunde betrug die Drehung 11 Grade 13 Minuten, und zur ganzen Drehung wäre demnach hier in Ulm ein Zeitraum von 32 Stunden 6 Minuten nötig gewesen. Der sehr gut gelungen Versuch wurde mit großem Interesse betrachtet.

BILD 13: ULMER TAGBLATT (22.5.1903)

Der Foucault'sche Pendelversuch.

Ausgeführt im Ulmer Münster am 20. Mai 1903 von Prof. Sauter in Ulm.

Der Vorführung des Foucault'schen Pendelversuchs im Ulmer Münster ging ein Vortrag von mir voran, der bei Gelegenheit der gemeinschaftlichen Sitzung des Ulmer Vereins für Mathematik und Naturwissenschaften und des oberösterreichischen Zweigvereins für vaterländische Naturkunde, im Konversationszimmer des Ulmer Museums über die mit der Erdrotation im Zusammenhang stehenden Bewegungen auf der Erdoberfläche gehalten wurde. Ausgehend von der Erscheinung von Tag und Nacht wurde die durch die Erdrotation bewirkte Erscheinung der Abplattung der Erde an ihren Polen, die damit im Zusammenhang stehende Abnahme der Schwere von den Polen zum Äquator und die verschiedene Länge des Sekundenpendels an Orten von verschiedener geographischer Breite behandelt. Hieran schloss sich das Gesetz, dass jede horizontale Bewegung auf der nördlichen Halbkugel infolge der Erdrotation eine Rechtsablenkung (auf der südlichen Halbkugel eine Linksablenkung) erfährt. Die vorgeführte mathematische Berechnung zeigt, dass die Grösse dieser Rechtsablenkung von der Richtung, welche dem bewegten Körper von Hause aus erteilt war, unabhängig ist, dass sie der Geschwindigkeit des Körpers und dem Sinus der geographischen Breite proportional ist.

An den beiden Polen ist diese Ablenkung somit am grössten, am Äquator dagegen ist sie gleich Null. An die Besprechung dieses Gesetzes schloss sich seine Anwendung auf die Meteorologie an. Die über der nördlichen Halbkugel dahinwehenden Südwinde werden infolge der Rechtsablenkung zu Südwestwinden und die Nordwinde zu Nordostwinden. Auch das Buys-Ballot'sche Gesetz, das einzige auf wissenschaftlicher Grundlage beruhende Gesetz

der modernen Meteorologie, mit dessen Hilfe sich die Winde und damit das Wetter vorausbestimmen lassen, gehört hieher.

Die Luft strömt immer aus den Gebieten höheren Drucks in diejenigen niederen Drucks. Infolge der Erdmundrehung werden jedoch auf der nördlichen Halbkugel die Winde von der geraden Richtung gegen das Minimum nach rechts abgelenkt und bilden einen Wirbel, der von rechts nach links, der Uhrzeigerbewegung entgegen, in immer enger werdenden Windungen um das Minimum sich dreht (auf der südlichen Halbkugel in entgegengesetzter Richtung). Nachdem die Einwirkung der Erdrotation auf die Luftströmungen d. h. auf die Winde besprochen worden war, wurde die Einwirkung der Erdrotation auf die Meeresströmungen behandelt. Der im atlantischen Ozean aus dem Golf von Mexiko kommende warme Golfstrom erfährt auf der nördlichen Halbkugel eine Rechtsablenkung und erwärmt so die nordwestlichen Küsten Europas, namentlich die von England und Norwegen, während der aus dem nördlichen Eismeer kommende kalte Gegenstrom infolge seiner Rechtsablenkung sich der Ostküste Nordamerikas zuwendet und letzterer Kälte zuführt. Im stillen Ozean ist es der von den Tropen kommende

Kuro-Siwo, der, nach rechts abgelenkt, die Norwestküste Nordamerikas erwärmt, während der aus dem Beringmeer kommende kalte Gegenstrom infolge seiner Rechtsablenkung sich der Ostküste Asiens zuwendet und letztere abkühlt. Nun wurde zur Einwirkung der Erdrotation auf die Flüsse übergegangen und das Baersche Gesetz erwähnt, demzufolge auf der nördlichen Halbkugel die Erosion des fließenden Wassers durchweg das rechte Ufer stärker angreift als das linke (auf der südlichen Halbkugel umgekehrt). Der Wasserstand auf dem rechten Flussufer ist auf der nördlichen Halbkugel infolge des durch die Erdrotation bewirkten stärkeren Druckes ein höherer als auf dem linken Ufer. Interessant sind hier vor allem die Resultate der Berechnungen, die Rektor Neuffer in seiner im 8. Jahrgang der Jahreshefte unseres Vereins in der diesbezüglichen Abhandlung (Seite 92—115) veröffentlicht hat. Auf diese Abhandlung selbst, sowie auf die darin veröffentlichten Resultate verschiedener interessanter Berechnungen, möchte ich hier zur weiteren Orientierung über den vorliegenden Gegenstand besonders hingewiesen

BILD 14.: ZUR PENDELAUFHÄNGUNG 1903 (AUS: JAHRESHEFTE DES VEREINS FÜR MATHEMATIK UND NATURWISSENSCHAFTEN IN ULM A.D.).

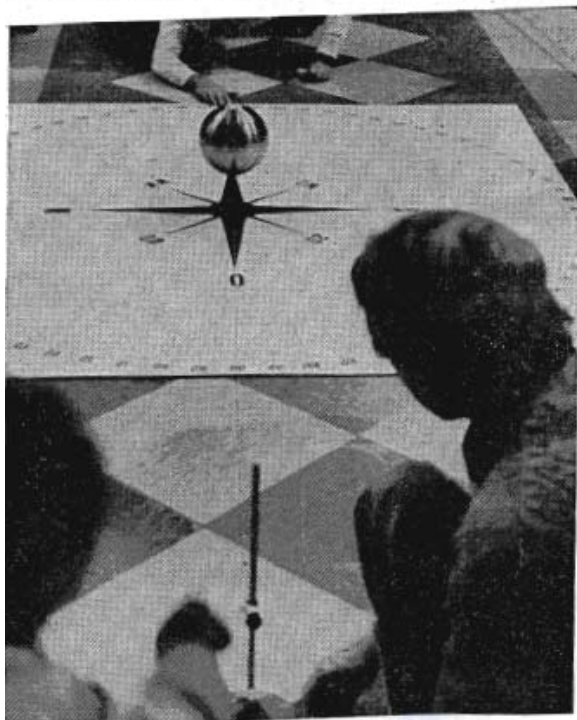
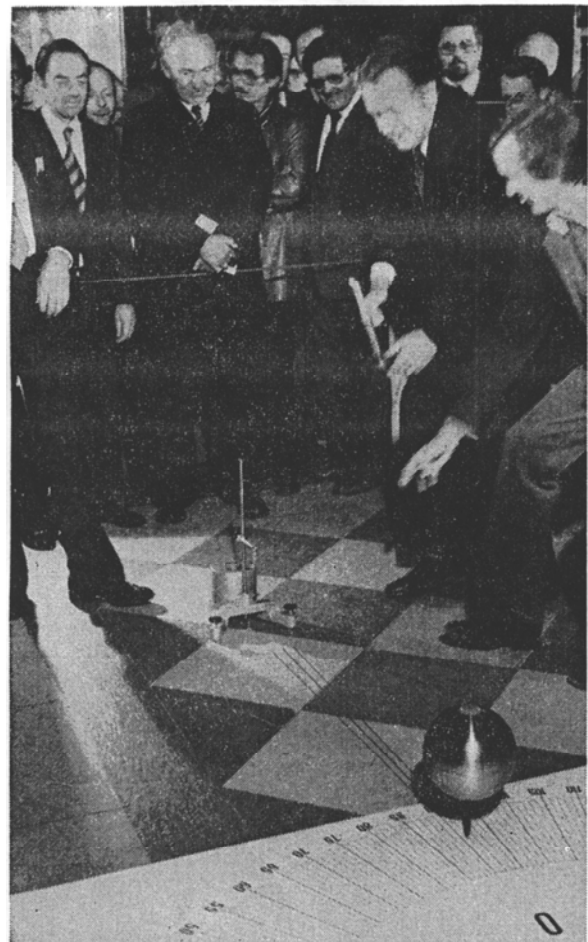


BILD 15: SÜDWESTPRESSE (25.9.1979)



BILD 16: PROF. NONNENMACHER BEOBACHTET DAS FOUCAULT'SCHE PENDEL (1979).



Sekundenbruchteile nach dem Start des Pendelversuchs im Münster: Minister Engler (mit Kerze) und der Physiker Dr. Gleisberg (vorne) treten rasch aus der Reichweite der schwingenden Stahlkugel. Im Hintergrund links neben Oberbürgermeister Lorenser der Hausherr, der evangelische Dekan John. Bilder: Müssig

BILD 17: WISSENSCHAFTSMINISTER ENGLER BEIM STARTEN DES PENDELS.

Internationaler Kongreß wurde gestern eröffnet

Dank Albert Einstein ist Ulm jetzt Treffpunkt der Physiker

Minister Engler brachte mit einer Kerze das Pendel ins Schwingen

(RN) Mit dem baden-württembergischen Wissenschaftsminister am Rednerpult hat die Physikertagung in Ulm gestern begonnen. Am Freitag, beim Festakt, wird der Rahmen noch größer. Dann kommt sogar der Bundeskanzler auf den Eselsberg und bringt, neuesten Meldungen zufolge, auch den Bundesforschungsminister mit. Daß die Mitglieder der Deutschen, der Österreichischen und der Schweizerischen Physikalischen Gesellschaft Ulm als Tagungsort ausgewählt haben, ist vorrangig der Tatsache zu verdanken, daß in der Ulmer Bahnhofstraße vor 100 Jahren Albert Einstein geboren wurde.

Albert Einstein ist auch der Abendvortrag morgen, Donnerstag, im Ulmer Kornhaus gewidmet, zu dem die Physiker die Öffentlichkeit einladen. Der Berner Professor von Muralt spricht über das Thema „Albert Einstein und seine Zeit“ (Beginn um 20.15). Bei diesem Vortrag wird auch Einsteins Stimme zu hören sein, denn von Muralt will verschiedene Tonbandaufnahmen ablaufen lassen. Das Ulmer Stadtarchiv leistet während des Physikerkongresses ebenfalls einen Beitrag zum Thema Einstein, indem es Teile jener Ausstellung, die im Frühjahr im Theater zu sehen war, auf den Eselsberg gebracht hat. Die Deutsche Bibliothek in Frankfurt wird im übrigen die komplette Einstein-Ausstellung übernehmen und ab 2. Oktober zeigen.

Aber Ulm ist nicht nur Geburtsstadt des Albert Einstein, sondern seit 1967 auch Universitätsstadt. Minister Engler interpretierte die Wahl Ulms zum diesjährigen Treffpunkt von 600 Physikern aus drei Ländern auch als Erfolg der baden-württembergischen Bemühungen, aus Ulm eine Wissenschaftsstadt zu machen und den Ausbau der Universität nach Kräften zu fördern.

Der baden-württembergische Wissenschaftsminister bedauerte in seinem Grußwort, daß man heute die Gefahren des technisch-wissenschaftlichen Fortschritts meist verzerrt und zu wenig in Relation zu den

übrigen Lebensrisiken sehe, die uns umgeben. Engler forderte die Physiker auf, verstärkt an die Öffentlichkeit heranzutreten, um die Diskussion über sogenannte Reizprobleme zu versachlichen.

In Vertretung von Rektor Pfeiffer (derzeit im Ausland) begrüßte Prorektor Schraudolph die Gäste. Professor Schraudolph erinnerte daran, daß einige alte Ulmer eine besondere Vorliebe für angewandte Physik gehabt hätten, beispielsweise der Albrecht Ludwig Berblinger. Weil der Schneider allerdings die Physik des

Fallwindes am Donauufer nicht ausreichend beachtet habe, sei in diese Geschichte auch etwas Metaphysik hineingekommen – in Gestalt des Teufels, der nach Volkes Meinung den Berblinger in die Donau hineinführte.

Während die Tagungsteilnehmer nach dieser Eröffnungsveranstaltung, die von Professor Klian geleitet wurde, ihre Aufmerksamkeit einem Vortrag über „Phononen: Vom Einstein-Oszillator bis zum Soliton“ widmeten, gingen die Ehrengäste pendeln.

Im Münster wird – wie berichtet – anlässlich der Physikertagung jener Pendelversuch wiederholt, mit dem der Franzose Foucault 1851 die Erddrehung experimentell nachgewiesen hat. Mit einer Kerze brante Minister Engler die Halteschnur durch, worauf die 30-Kilogramm-Kugel am 42 Meter langen Stahlseil ins Schwingen kam.

Angesichts der Pendelbewegungen fragte ein erschreckter Besucher, ob man dabei sei, die Schwankungen des Münstergewölbes zu messen. Die wären freilich schon bedrohlich groß, denn binnen weniger Minuten war die Stahlkugel von der ursprünglichen Linie abgewichen – dem Augenschein nach. In Wirklichkeit war es natürlich der Münsterbo-

den, der sich infolge der Erdrotation unter der freischwingenden Stahlkugel sichtbar weggedreht hatte. Anhand eines kleinen Modells können die Physiker dem interessierten Publikum auch vorführen, weshalb eine volle Münsterumdrehung 32 Stunden beansprucht. Würde das Münster auf den Nordpol versetzt, dann allerdings würde seine Rotation exakt 24 Stunden dauern. In Ulm jedoch steht es schräg zur Erdachse, so daß sein eigentlicher Drehpunkt irgendwo in den Wolken über dem Nordpol liegt. Heute und morgen ist der Pendelversuch jeweils zwischen 9 und 12 und 14 und 17 Uhr zu sehen.

Mit einem Empfang durch Oberbürgermeister Lorenser im Ulmer Rathaus ging der erste Tag des Physikerkongresses gestern abend zu Ende.



Wissenschaftsminister Engler beim Grußwort zur Eröffnung des gemeinsamen Kongresses der Deutschen, der Österreichischen und der Schweizer Physikalischen Gesellschaft. In der ersten Reihe (von links): Professor Nonnenmacher, OB Lorenser, Professor Welker (Präsident der Deutschen Physikalischen Gesellschaft) und Prorektor Schraudolph.

Die Drehung der Erde ganz anschaulich

Experiment Ab Sonntag schwingt im
Münster ein foucaultsches Pendel

Ulm | mgo | Das Ulmer Münster und die Naturwissenschaft verstehen sich gut: Von einem der Kirchenfenster grüßen berühmte Astronomen, Ptolemäus und Pythagoras sind am Chorgestühl verewigt. Ab Sonntag um 15 Uhr ist zusätzlich im nördlichen Seitenschiff für eine Woche eines der berühmtesten Experimente der Physik zu bestaunen: das foucaultsche Pendel.

„Wir schaffen damit Platz für den Dialog zwischen Kirche und Naturwissenschaft“, kommentiert Münsterpfarrerin Tabea Frey den Beitrag zum „Jahr der Astronomie“. Partner der Kirchengemeinde ist der Fachbereich Physik der Uni Ulm. Geleitet wurde das Projekt von wissenschaftlicher Seite von Professor Peter C. Hägele und Gerold Brackenhofer, die die Pendelvorrichtung ausarbeiteten und gemeinsam mit Studenten bauten.

Es ist nicht das erste Mal, dass im Münster dieser Versuchsaufbau des berühmten französischen Autodidakten Jean Bernard Léon Foucault zu sehen ist: Bereits 1881 – 30 Jahre nach der Premiere in Paris –, 1901 und 1979 im Rahmen einer Physikertagung schwang das Pendel unter dem Gewölbe.

Das foucaultsche Pendel – zuletzt auch in den 80er Jahren durch den gleichnamigen Roman von Umberto Eco zu Ehren gekommen – zeigt anschaulich die Rotation der Erdkugel. „Die Erddrehung war Mitte des 19. Jahrhunderts hinlänglich bekannt“, erklärt Hägele, „aber das Pendel zeigt sie viel direkter.“ Das funktioniert so: Das Pendel, das an einem Fixpunkt aufgehängt ist, wird durch die Corioliskraft – eine Trägheitskraft, die durch die Bewegung des Planeten auftritt – ein wenig abgelenkt.

An den Polen würde das Pendel täglich eine volle Kreisbewegung vollziehen, am Äquator gar keine. In Ulm, das irgendwo dazwischen liegt, sind es immerhin noch 268 Grad – 11,2 Grad pro Stunde.

Der Start des Experiments am Sonntag findet im Rahmen des „Tags des offenen Denkmals“ statt. Auch bei der „Sternennacht“, die am Samstag, 19. September, zu der die Münstergemeinde von 20.30 bis 23.30 Uhr im Rahmen der Ulmer Kulturnacht einlädt, spielt das Pendel eine Hauptrolle. Zu Musik und Texten wird dann über das Faszinosum des Universums meditiert.

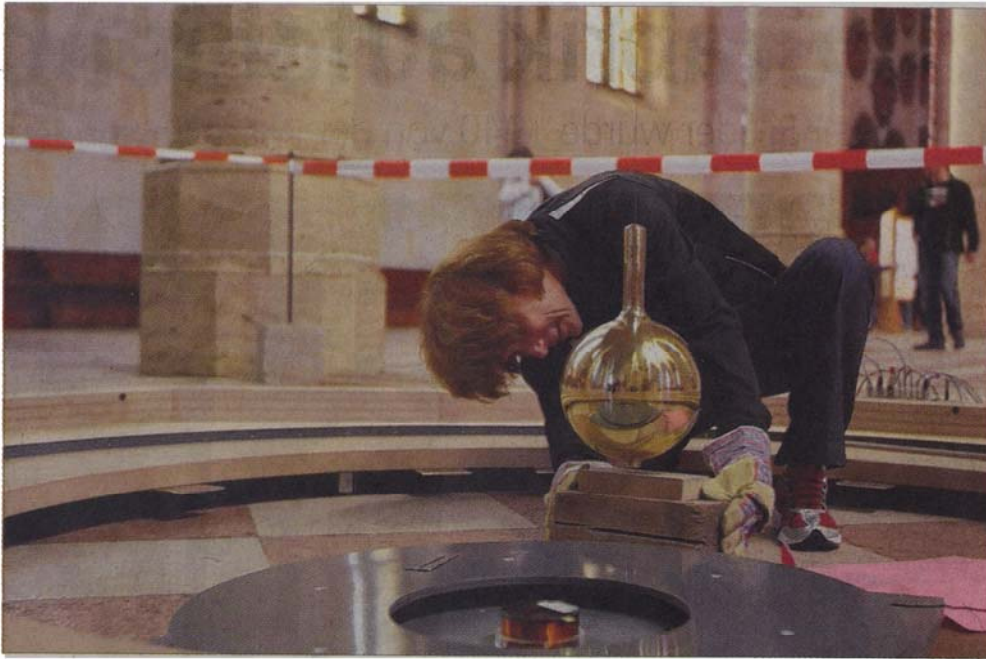
7 Besondere Führungen am Tag des offenen Denkmals: „Sternzelt und Himmelwiese“, die Gewölbe im Münster, 12.30 und 16 Uhr; „JIM – Jugend im Münster“ um 14 Uhr; zudem gibt es zwischen 13 und 17 Uhr alle 15 Minuten Führungen über das Gewölbe auf den Glockenboden des Münsters. Karten ab 12.30 Uhr am Reformationsportal.

Das Pendel im Münster

● Knapp **20 Meter lang** ist das Pendel im Münster, es ist über der Mittelöffnung eines Gewölbefeldes montiert. Am Boden steht ein Podest, auf dem kreisförmig **Tischtennisbälle** abgelegt sind.

● Unten an einem Stahldraht hängt eine **Messingkugel**, die durch die Drehbewegung alle 13 Minuten einen der Tischtennisbälle aus der Bahn wirft.

● Damit das Pendel nicht nach einer gewissen Zeit von alleine aufhört zu schwingen, wird es zusätzlich über eine **Magnetspule** im Sockel „angeschoben“.



Gestern Nachmittag ist im nördlichen Seitenschiff des Ulmer Münsters ein Foucaultsches Pendel installiert worden. Morgen, Sonntag, pendelt es los und stößt im Zuge der Erdrotation Bälle von ihrem Platz. Foto: Oliver Schulz

Rückkehr des Pendels

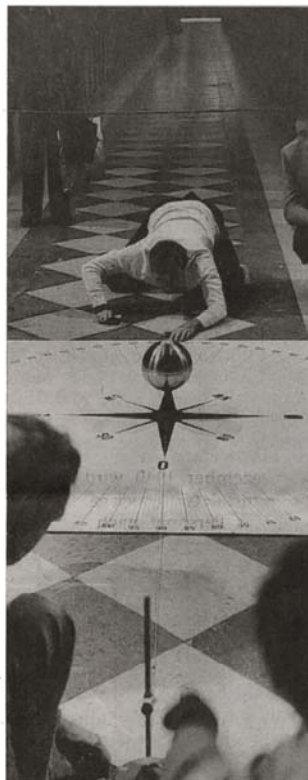
Veranstaltungen im Münster zum Faszinosum Universum

Zum vierten Mal hängt jetzt im Gewölbe des Ulmer Münsters ein Foucaultsches Pendel – es erklärt volkstümlich die Erdrotation. Der Dialog von Kirche und Naturwissenschaft hat in Ulm Tradition.

VERENA SCHÜHLY

Ulm. 1881, 1903, 1979 – in diesen Jahren hing ein Foucaultsches Pendel im Münster. 2009, im Jahr der Astronomie, ist es wieder soweit – von morgen, Sonntag, bis zum 20. September. Mit dem langen Fadenpendel kann die Erdrotation anschaulich gemacht werden, das hat der französische Physiker Jean Bernard Léon Foucault herausgefunden.

Gestern haben Studenten und Dozenten vom Fachbereich Physik der Uni Ulm den Versuch aufgebaut: Das Pendel wurde im Gewölbe des Seitenschiffs, hinter der Kanzel, in rund 20 Meter Höhe befestigt. Die eigens gebaute Haltevorrichtung steht an der Oberseite des Gewölbes und nutzt ein altes Loch, das aus der Bauzeit des Münsters stammt. Am Boden darunter steht ein Podest mit einem Ring im Durchmesser von 2,20 Meter. Auf diesem liegen 72 Bälle, die das Pendel auf seinem Weg wegstößt. Nach den Berechnungen der Physiker müsste alle 13 Minuten ein Ball wegrollen.



Vor fast genau 30 Jahren wurde schon mal ein Foucaultsches Pendel im Münster justiert. Foto: M. Müssig/Archiv

Jeden Morgen werden die Bälle neu auf den Ring gelegt – das ist Handarbeit. Ansonsten lädt sich das Pendel während seiner Schwingungen über eine Magnetspule auf. Vor 30 Jahren musste das Pendel immer wieder angestoßen werden.

Zur offiziellen Eröffnung am Sonntag um 15 Uhr spricht Professor Peter Hägele. Ansonsten stehen Stellwände mit erklärenden und informierenden Texten sowie ein Modell des Versuchs für wissbegierige Besucher bereit.

„Der Dialog von Kirche und Naturwissenschaft ist wichtig“, betont Münsterpfarrerin Tabea Frey. Dazu gibt es im Münster auch eine lange Tradition: In den Fenstern von Valentin Peter Feuerstein sind die Köpfe von fünf Astronomen zu sehen, im mittelalterlichen Chorgestühl Figuren von Ptolemäus und Pythagoras geschnitzt.

Im Umfeld des Foucaultschen Pendels – das laut Tabea Frey auch für Schulklassen im Physikunterricht geeignet ist – gibt es im Münster weitere Veranstaltungen zum Thema. Am Tag des offenen Denkmals werden am Sonntag Führungen „Sternenzelt und Himmelswiese – die Gewölbe im Münster“ um 12.30 und 16 Uhr stattfinden. Die Münsternacht am Samstag, 19. September, von 20.30 bis 23.30 Uhr trägt den Titel „Sternennacht“ und widmet sich mit Meditationen, Musik, Texten und Installation dem Faszinosum des Universums.