Werk

Titel: Astronomie als angewandte Physik

Autor: Kienle, Hans

Ort: Berlin

Jahr: 1925

PURL: https://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?34557155X_0013|log422

Kontakt/Contact

Digizeitschriften e.V.
SUB Göttingen
Platz der Göttinger Sieben 1
37073 Göttingen

info@digizeitschriften.de

Die erstere wird vor allen Dingen in der Vererbungswissenschaft angewandt. Alle biologischen Größen, auch wenn ihnen die gleiche erbliche Veranlagung zugrunde liegt, werden bei Messungen stets ungleiche Zahlen ergeben. Ursache hierfür sind die mannigfaltigen verschiedenen Einflüsse der Umwelt, die während der Entwicklung auf jedes Individuum einwirken. Das Problem für die Vererbungswissenschaft ist nun, zu ermitteln, welcher charakteristische Wert einer Individuengruppe zukommt und inwieweit dieser von dem entsprechenden Wert einer anderen klar unterschieden werden kann.

Die Fehlerwahrscheinlichkeitsrechnung muß überall dort angewandt werden, wo Experimente die Klärung von biologischen Einzelproblemen bringen sollen. Ebenso wie jedes einzelne Individuum wird auch jeder angestellte Versuch von den Umwelteinflüssen stark beeinflußt. Es schwanken also die einzelnen Ergebnisse. Will man ein gesichertes Resultat erhalten, so muß man mehrere Parallelversuche ansetzen. Aus ihnen wird der Mittelwert errechnet, dem als Genauigkeitsmaß der mittlere Fehler oder eine andere Fehlergröße zugeordnet wird. Bei der Auswertung der Ergebnisse finden die Gesetze der Wahrscheinlichkeitsrechnung Anwendung.

Soll in diesem Sinne die Mathematik als Hilfswissenschaft angewandt werden, so ist die Voraussetzung, daß das Material seiner Form und seiner Gewinnung nach den mathematischen Voraussetzungen genügt. Das muß in jedem einzelnen Fall nachgewiesen werden.

Zusammenfassend kann also gesagt werden: Auch in der Biologie ist die mathematische Theorie anzustreben, doch wird sie wohl kaum je voll erreicht werden können. Die Anwendung der Mathematik als Hilfswissenschaft ist jeder Zeit möglich, wenn die Daten die Voraussetzungen der anzuwendenden mathematischen Methode erfüllen und einer biologischen Analyse standhalten.

Literatur[1]:

1. IMANUEL KANT, Metaphysische Anfangsgründe der Naturwissenschaft. 1786.
2. JAKOB FRIEDRICH FRIES, Die mathematische Naturphilosophie. Heidelberg 1822.
3. ERNST FRIEDRICH APELT, Metaphysik 1857 (Neudruck Halle 1910).

3a. ERNST FRIEDRICH APELT, Theorie der Induktion. 1854.

4. EILHARD ALFRED MITSCHERLICH, Über allgemeine Naturgesetze. Schriften der Königsberger Gelehrten Gesellschaft. Heft 3. 1924.

4a. EILHARD ALFRED MITSCHERLICH, Die Bestimmung des Düngerbedürfnisses des Bodens. 1924.

5. H. T. BROWN and ESCOMBE, Static Diffusion of Gases and Liquids in Relation to the Assimilation of Carbon and Translocation in Plants. Philos. Transactions of the Royal Soc. of London S. B. Vol. 193, S. 223—291.
6. H. SIERP und K. L. NOACK, Studien über die Physik der Transpiration, Jahrb. f. wiss. Bot. **60**. 1921.
7. O. RENNER, Beiträge zur Physik der Transpiration I. Ber. d. dtsch. Bot. Ges. **29**. 1911, II. ebenda **30**. 1912.
8. G. MENDEL, Versuche über Pflanzenhybriden. Verh. des Naturforscher-Vereins von Brünn 1866.
9. J. VON LIEBIG, Die Chemie in ihrer Anwendung auf Agrikultur und Physik 1862.
10. A. RIPPEL, Zur Klarstellung einiger Fragen des Wirkungs- und Wachstumsgesetzes der Pflanzen. Zeitschr. f. Pflanzenern. u. Düng. 3, Jg. A, Heft 6. 1924.
11. H. PRZIBRAM, Anwendung elementarer Mathematik auf biologische Probleme. Vortr. u. Aufs. über Entwicklungsmech. d. Organism. 3., 1908.
12. JOHANNSEN, W., Elemente der exakten Erblichkeitslehre. II. Aufl. Jena 1913.

[1]) Das Literaturverzeichnis soll durchaus nicht vollständig sein, es führt nur einige charakteristische Arbeiten an.

Astronomie als angewandte Physik.

Von HANS KIENLE, Göttingen.

Es ist heute wohl auch dem Fernerstehenden nicht mehr ganz unbekannt, wie sehr die Astronomie in den letzten Jahren von physikalischen Gedanken durchdrungen worden ist. „Astrophysik", um die Jahrhundertwende fast noch Neuland und ein verhältnismäßig beschränktes Gebiet, das nur als Anhängsel der klassischen „Astrometrie" und Himmelsmechanik zu betrachten war, erfüllt heute so vollkommen das astronomische Denken, daß man gezwungen ist, überkommene Einteilungen des Lehrgebäudes fallen zu lassen und mit einiger dichterischen Übertreibung sich versucht fühlt zu sagen: Astronomie ist angewandte Physik.

In der klassischen Astronomie gab es vor allem *ein* alles beherrschendes Prinzip: *die unbeschränkte Gültigkeit des Newtonschen Gravitationsgesesetzes, wo immer im Raume Massen aufeinander wirken.* Dieser Glaube war so stark und tragfähig, daß er eine richtige „Astronomie des Unsichtbaren" schuf, die in der Entdeckung des Neptun und der Begleiter des Sirius und Procyon ihre glänzendsten Erfolge sehen durfte und noch heute in der Erforschung der Bahnen der spektroskopischen Doppelsterne ein weites Anwendungsgebiet hat. Die neuere Astronomie ist noch viel mehr durchdrungen von dem Gedanken der physikalischen Einheit der Welt, als es die alte war mit dem Glauben an das Newtonsche Gesetz. Und dieser neue größere Glaube hat sich in der kurzen Spanne Zeit, seit er sich voll auszuwirken begann, von außerordentlicher praktischen Bedeutung und von nicht geringer schöpferischen Kraft erwiesen. Die Erkenntnis der wahren Natur der Spektren der Sterne hat uns zugleich in das Innere der Sterne und in die fernsten Tiefen des Weltenraumes geführt, hat uns große Züge der Sternentwicklung enthüllt und uns Erkenntnisse gerade da gebracht, wo wir bislang noch im Dunkeln tappten und auf reine Spekulation angewiesen waren.

Als mit der Anwendung der Spektralanalyse auf die Gestirne die Astrophysik gewissermaßen aus der Taufe gehoben wurde, war es nicht eigentlich Physik, was man trieb, als vielmehr Chemie. Man suchte die Art der Stoffe zu ergründen, aus denen die Sterne zusammengesetzt sind, indem man die in den Spektren auftretenden Linien verglich mit denen der irdischen Elemente. Der Schluß von dem Vorkommen gewisser im Laboratorium bis dahin unbekannten Linien im Spektrum der Sonne auf die Existenz eines uns noch unbekannten Elementes, des Heliums, ist eine der hervorstechenden Geistestaten dieser Epoche. Die Bezeichnung „Heliumsterne", „Wasserstoffsterne", „Metallsterne", wie sie früher üblich war, ist ohne Zweifel zunächst wörtlich aufzufassen in dem Sinn, daß man damit die Vorstellung verband, daß die Verschiedenheit der Spektren auf wirkliche Verschiedenheiten im chemischen Aufbau der Sterne zurückzuführen sei. Heute dagegen gehen wir, von gewissen Ausnahmen abgesehen, aus von der Annahme der völligen chemischen Gleichheit aller stellaren Materie — sofern man überhaupt noch strenge chemische und physikalische Eigenschaften unterscheiden kann —, und *das Spektrum charakterisiert uns in erster Linie den physikalischen Zustand,* in dem diese Materie sich in dem speziellen Fall befindet. War früher Zahl und Vorkommen der Linien überhaupt das Wesentliche, so richtet sich heute das Augenmerk auf Intensität und Breite derselben. Diese grundsätzliche Umstellung ist es, welche der Physik Eingang verschafft hat in bis dahin von ihr noch unberührte Gebiete der klassischen Astronomie und die es bedingt, daß Astronomie und Astrophysik im Sinne der alten Einteilung nicht mehr zu unterscheiden sind. Schon mit der Bestimmung der Radialgeschwindigkeiten, also einer der Komponenten der Bewegung der Sterne im Raume, aus den Dopplerverschiebungen der Spektrallinien griff die Physik ein in die klassische Astronomie. Die Bestimmung der Entfernungen der Sterne auf physikalischer Grundlage im Gegensatz zu der bis dahin allein möglichen trigonometrischen Messung hat ein weiteres Gebiet fast unbegrenzter Anwendungsmöglichkeiten erschlossen.

Sinn und Bedeutung der Hypothesen, welche der „physikalischen" Bestimmung der Entfernungen zugrunde liegen, möchte ich im folgenden versuchen zu beleuchten. Den Ausgang nehmen all diese Bestimmungen von dem Zusammenhang, der besteht zwischen der „scheinbaren Helligkeit" h, der „absoluten Helligkeit" J und der Entfernung r. Definiert man die absolute Helligkeit J als die scheinbare Helligkeit in der Entfernung 1, so ist die scheinbare Helligkeit h in der Entfernung r gegeben durch $h = J/r^2$. Kennt man J und h, so läßt sich die Entfernung r berechnen aus der Gleichung

$$r = \sqrt{J/h}$$

Bei irdischen Lichtquellen pflegen wir die absolute Helligkeit oder „Leuchtkraft" anzugeben in „Kerzenstärken", d. h. in Einheiten der Intensität einer bestimmt definierten Normallichtquelle (Hefnerkerze). Ganz analog kann die absolute Leuchtkraft eines Sternes ausgedrückt werden in Einheiten der Intensität der Sonnenstrahlung. Wir denken uns nun das folgende Experiment angestellt: Wir beobachten eine in unbekannter Entfernung von uns befindliche Glühlampe und vergleichen das Licht, das sie uns zusendet, d. h. ihre scheinbare Helligkeit h, mit unserer Normallampe. Ein Fernrohr ermögliche es uns, die auf dem Gewinde der Lampe angeschriebene „Kerzenstärke", d. h. also die absolute Helligkeit J, abzulesen. Dann haben wir die beiden Größen h und J (beide in Kerzenstärken ausgedrückt), die wir nach der obigen Beziehung brauchen, um die Entfernung r zu berechnen.

Wie gestaltet sich die Übertragung dieses Experimentes auf die Sterne? Die Bestimmung der scheinbaren Helligkeit macht keine Schwierigkeiten und ist eine der ältesten astronomischen Aufgaben. Durch passende photometrische Einrichtung ist es prinzipiell jederzeit möglich, die scheinbare Helligkeit eines Sternes mit der der Sonne zu vergleichen. Praktisch wählt man natürlich nicht die Sonne, sondern irgendeinen Normalstern, auf den man die anderen Sterne bezieht und den man seinerseits an die Sonne anschließt. Aber das Ablesen der „Kerzenstärke"? Das eben gestattet uns das Spektrum! *Die Intensitätsverhältnisse der Linien in den Spektren variieren nicht nur mit dem Typus* (soll heißen der „effektiven Temperatur"), *sondern auch mit der absoluten Helligkeit,* also eben mit der „Kerzenstärke". Diese von HERTZSPRUNG 1905 zuerst empirisch an einem Beispiel aufgedeckte Gesetzmäßigkeit, die dann von KOHLSCHÜTTER und ADAMS neu gefunden und in großzügiger Weise zur Bestimmung absoluter Sternhelligkeiten angewandt wurde, ist uns heute theoretisch vollkommen verständlich durch die Kenntnis der Anregungsbedingungen, die erfüllt sein müssen, damit bestimmte Linien in bestimmter Intensität auftreten. Wir wissen, daß sich hier nichts weiter ausspricht als der Ionisationszustand der Sternatmosphären, der eine Funktion von Temperatur und Dichte ist.

Vorläufig zwar gehen wir bei dieser Art von physikalischen Entfernungsbestimmungen noch den empirischen Weg, indem wir die Abhängigkeit der Linienintensität von Spektraltypus und absoluter Helligkeit bestimmen mit Hilfe von Sternen, deren Entfernung r aus trigonometrischen Messungen bekannt ist und deren absolute Helligkeit sich berechnet aus $J = h \cdot r^2$. Noch kann also die Methode nicht für sich bestehen, sondern bedarf der klassischen Entfernungsbestimmung als Unterlage. Aber es ist zum mindesten berechtigt, den Gedanken spekulativ in der Richtung auszuspinnen, daß wir auf Grund der Experimente im physikalischen Laboratorium und vertrauensvoll bauend auf die Anwendbarkeit der Atomtheorie auf alle Materie, wo immer im Raume sie sich auch befindet, dazu gelangen werden, die Intensitätsverhältnisse in Spektren von Sternen bestimmter vorgegebenen Temperatur und Leuchtkraft theoretisch vorauszusagen. Die Einordnung irgendeines beobachteten Spektrums in diese Reihe gibt dann nicht nur die physikalischen Bedingungen, die auf dem fraglichen Stern herrschen, sondern zugleich auch noch auf dem skizzierten Wege über absolute und scheinbare Helligkeit die Entfernung.

Der Glaube an die physikalische Einheit der Welt geht und trägt noch einen Schritt weiter Ein Beispiel sei als Vergleich vorausgeschickt. Auf der Erde bedienen wir uns zur Schätzung von Entfernungen mit Vorteil unserer Kenntnis von der wahren Größe der Gegenstände Ein Mensch von bestimmter Körperlänge l erscheint uns um so kleiner, je größer seine Entfernung von uns ist. Bezeichnen wir seine „scheinbare" Größe, d. i. der Winkel, unter dem wir ihn sehen, mit α, die Entfernung wieder mit r, dann gilt die Beziehung $\operatorname{tg} \alpha = l/r$. Genähert kann man die Funktion $\operatorname{tg} \alpha$ stets durch den Wert α/k ersehen, wo k eine Zahl ist, die folgende Werte hat, je nach der Einheit, in der α gemessen wird.

α in Graden . . . . $k = 57.°3$
α in Bogenminuten . . . . $k = 3438'$
α in Bogensekunden . . . $k = 206\,265''$

Die Entfernung eines Gegenstandes von der scheinbaren Größe α und der wahren Größe l ist also gegeben durch

$$r = k \cdot l/\alpha$$

Wir denken uns nun folgendes Experiment angestellt. An unserem Beobachtungsort werde ein Pendel aufgehängt (einfach aus einem Faden und einer Kugel bestehend), dessen Länge l wir willkürlich verändern können. Wir beobachten die Schwingungsdauer T des Pendels bei verschiedener Länge des Fadens. Das Ergebnis ist allgemein bekannt: die Längen verhalten sich wie die Quadrate der Schwingungszeiten; in mathematischer Form ausgedrückt:

$$l = c\,T^2$$

Die Konstante c ist nichts weiter als der Zahlenwert für die Länge des „Sekundenpendels". Ausgerüstet mit dieser Erfahrung, beobachten wir nun ein in unbekannter Entfernung r von uns schwingendes Pendel. Seine Schwingungsdauer T können wir von unserem Beobachtungsort aus ermitteln mit Hilfe einer Uhr. Machen wir nun die Annahme, daß der an unserem Beobachtungsort empirisch festgestellte Zusammenhang zwischen l und T auch an dem entfernten Ort gilt, und zwar mit dem gleichen Werte der Konstanten c, dann können wir der beobachteten Schwingungsdauer T eine ganz bestimmte Länge l des Pendels zuordnen. Messen wir außerdem die scheinbare Länge α des Pendels, etwa mit Hilfe eines Theodoliten, dann sind unsere obigen Bedingungen für die Bestimmung der Entfernung aus scheinbarer und wahrer Größe erfüllt, und wir haben $r = k \cdot l/\alpha = C \cdot T^2/\alpha$, wo $C = k\,c$ ein bekannter Zahlenwert ist.

Wir sind rein empirisch vorgegangen, als ob wir nichts wüßten über die Ursache der Schwingungen des Pendels. Wir haben hinsichtlich der letzteren aber eine ganz wesentliche Hypothese eingeführt, nämlich die: *wo immer wir auf der Erde ein Pendel schwingen sehen, da ist die gleiche Ursache und in gleicher Stärke* (Konstanz von c) *wirksam.* Auf keinem anderen als diesem Prinzip beruht SHAPLEYS Methode zur Bestimmung der Entfernung der Sternhaufen. Die schwingenden Pendel sind die in ihrer Helligkeit in ganz charakteristisch-periodischer Weise schwankenden δ Cephei-Sterne; der Pendellänge entspricht die mittlere absolute Helligkeit. Nur der empirisch festgestellte Zusammenhang zwischen der Periode T der Helligkeitsschwankung und der absoluten Helligkeit J ist durch eine andere Funktion gegeben. Wir wollen einfach schreiben:

$$J = f(T)$$

Die Hypothese, die wir in Analogie zu unserem Beispiel mit dem Pendel einführen, ist die: *wo immer im Raum ein Stern den charakteristischen Lichtwechsel der δ Cephei-Sterne zeigt, da entspricht der Periode T dieses Lichtwechsels eine ganz bestimmte absolute Helligkeit J des Sternes,* die aus der empirischen Kurve $J = f(T)$ zu entnehmen ist. Aus der errechneten absoluten Helligkeit J und der beobachteten scheinbaren Helligkeit h ergibt sich wieder die Entfernung $r = \sqrt{J/h}$.

Der kausale Zusammenhang zwischen J und T ist uns bislang noch verborgen — obwohl Hypothesen darüber aufgestellt wurden —, so wie wir das bei dem Pendel fingiert hatten. Trotzdem wagen wir die oben genannte Hypothese, die nur getragen wird von unserem Glauben daran, daß die δ Cephei-Sterne einen ganz bestimmten physikalischen Zustand verkörpern von eindeutigen Eigenschaften. Kann dieser Glaube uns nicht irreführen? Wir wollen noch einmal an das Pendel anknüpfen. Bei ihm kennen wir ja die wahre Ursache der Schwingung, und wir wissen, daß die oben als Konstante eingeführte Zahl c in Wahrheit keineswegs eine Konstante ist, daß in ihr vielmehr noch der Wert für die Schwerebeschleunigung g an dem Aufhängeort steckt (es ist nämlich $c = g/4\pi^2$). Wenn sich, wie in unserem Beispiel, das Pendel nur längs der Erdoberfläche verschiebt, dann ist allerdings g und damit auch c konstant. Bringen wir aber das Pendel in verschiedene Höhen oder Tiefen, dann hat dort g verschiedene Werte, und die Schwingungsdauern von Pendeln der gleichen Länge l sind verschieden. Unsere Hypothese würde uns aus den beobachteten Schwingungszeiten auf falsche Werte dieser Länge l schließen lassen, weil wir mit konstantem g (der