

KÉMIA IDEGEN NYELVEN



Kémia németül

Szerkesztő: Horváth Judit

Chemie auf Deutsch (fordításra kijelölt német nyelvű szakszöveg)

Biokraftstoffe 2

An der Schwelle zur zweiten Generation: Alkohol

Derzeit ist der **Marktanteil der einzelnen Biokraftstoffe** wesentlich von der **Innovationstiefe** der Herstellverfahren abhängig. An der Schwelle zur zweiten Generation stehen die **Verfahren zur Alkoholgewinnung**.

Wie wird Bioethanol hergestellt?

Bioethanol wird durch **alkoholische Gärung** und anschließende Destillation und Absolutierung aus nachwachsenden Rohstoffen gewonnen. Dafür kommen grundsätzlich drei Arten von Pflanzen in Frage:

- **Stärkehaltige** Pflanzen: Weizen, Roggen, Mais, Kartoffeln
- **Zuckerhaltige** Pflanzen: Zuckerrüben, Zuckerrohr
- **Zellulosehaltige** Pflanzen: Holz, Stroh

Die **Verfahrenstechnik** für Bioethanol aus zellulosehaltigen Rohstoffen befindet sich allerdings noch in der **Entwicklungsphase**. Deutsche Bioethanolproduzenten nutzen hauptsächlich Getreide und Zuckerrüben.

Ausgangsstoff für Bioethanol sind die in Pflanzen enthaltenen **Kohlenhydrate** (Zucker), die **mit Hilfe von Enzymen und Hefepilzen zu Alkohol vergären**. Der Gärprozess ist dann abgeschlossen, wenn

entweder der Zucker verbraucht oder eine maximale Alkoholkonzentration erreicht ist. Der entstehende **Ethylalkohol** (chemische Formel: $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$) wird **durch Destillation abgetrennt**.

Um den Alkohol als Kraftstoff verwenden zu können, folgt anschließend die **Absolutierung**. Dabei **wird dem Alkohol Wasser entzogen**, sodass am Ende Bioethanol mit einem **Reinheitsgrad von über 99 Prozent** entsteht.

Bei diesem Herstellungsprozess fällt als Destillationsrückstand ein wichtiges Koppelprodukt an: die Schlempe. Sie findet in getrockneter Form hauptsächlich als **eiweißhaltiges Futtermittel** Verwendung, kann aber auch direkt als Substrat in Biogasanlagen eingesetzt werden, um daraus weitere Energie zu gewinnen.

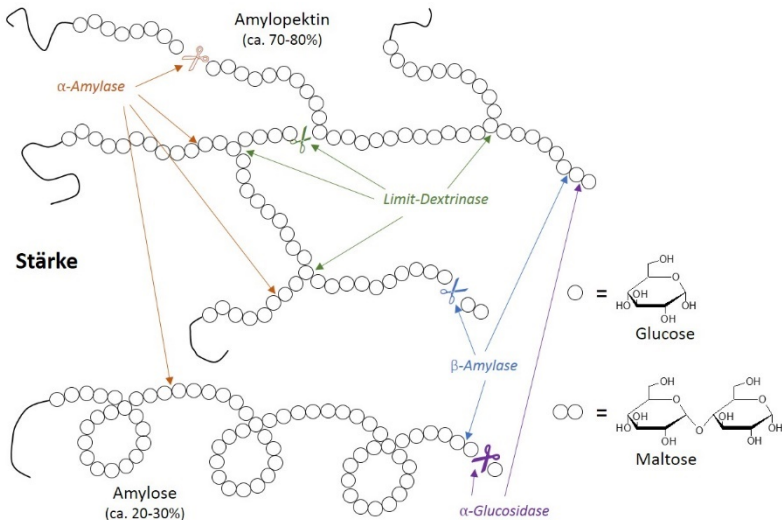
Prozess

Für stärke- und zuckerhaltige Rohstoffe unterscheidet sich der Produktionsprozess zu Beginn. Eine Mühle **zerkleinert** zunächst das stärkehaltige Getreide. Die **chemische Umwandlung** von Stärke in Zucker gelingt damit im nächsten Schritt leichter: Die zerkleinerten Rohstoffe werden beim **Maischen** unter Zugabe von Wasser und **Verzuckerungsenzymen** erhitzt. Die zuckerhaltige Maische kann nun unter Zugabe von Hefe im Fermenter der Bioethanolanlage vergoren werden.

Bei der Herstellung von Zucker fallen zuckerhaltige Säfte an. Diese können für die Bioethanolproduktion direkt im Fermenter der Bioethanolanlage vergoren werden.

1. Gewinnung des Zuckers aus

- Getreide: mechanische Zerkleinerung der Körner, Zugabe von Wasser und Enzymen. **Stärke wird enzymatisch zu Glucose abgebaut**.



Abbau von Stärke

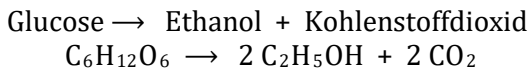
Die Temperaturoptimum liegt zwischen 63 °C und 65 °C,
die Einwirkzeit bei 30–60 Minuten.

- **Zuckerrüben:** Einweichen geschnittener Rüben in heißem Wasser, **Trennung des zuckerhaltigen Wassers von festen Bestandteilen**
- **Stroh, biogenen Abfällen und Reststoffen:** thermische Vorbehandlung der zerkleinerten Biomasse, Zugabe optimierter Enzyme zur **Spaltung von Zellulose** und Hemizellulose **in Zuckereinheiten**

2. Alkoholische Gärung (Fermentation)

Zuckerhaltige Gemische werden durch Hefen oder durch spezielle Mikroorganismen **zu Ethanol und Kohlenstoffdioxid** umgewandelt.

Reaktionsgleichung:



3. Destillation, Rektifikation, Entwässerung - Trennung des Ethanol-Wasser-Gemisches

Nach dem Gärprozess werden durch eine erste Destillation ein schwer trennbares **Ethanol-Wasser-Gemisch (Azeotrop)** und ein vom Alkohol befreiter Rückstand voneinander getrennt. Es folgen **weitere**

Destillationsschritte zur Konzentrierung und Reinigung des Alkohols (**Rektifikation**). Abschließend wird dem Bioethanol das **Wasser** fast **komplett entzogen**. Dafür wird es mit einem Molekularsieb getrocknet, bis ein **Reinheitsgrad** zwischen 99,5 und 99,9 Prozent erreicht ist.

So aufbereitet, kann Bioethanol dann als fünf- (E5) oder **zehnprozentige (E10) Beimischung zu Benzin** angeboten werden. In dafür geeigneten Fahrzeugen kann es aber auch als E85-Kraftstoff eingesetzt werden, d.h. das Kraftstoffgemisch besteht zu 85 Prozent aus Bioethanol und 15 Prozent fossilem Ottokraftstoff.

Rückblick

Die Herstellung von neutralem Grundalkohol durch Destillation von Rohspiritus war in Deutschland um das Jahr 1850 technisch ausgereift. 1860 verwendete Nikolaus August **Otto** in den **Prototypen seines Verbrennungsmotors Ethanol als Kraftstoff**. Auch **Henry Ford** glaubte an Ethanol als Kraftstoff der Zukunft und konzipierte rund 50 Jahre später sein legendäres **T-Modell mit Ethanolantrieb**. **Ethanol** wurde schon immer zu unterschiedlichen hohen Anteilen **dem Benzin beigemischt**. Ab 1925 "Monopolin" und "Albizol" (E25) handelsüblich waren, ab 1932 E10 die alkoholärmste zulässige Qualität war. Im 2. Weltkrieg war das Nordbenzin **bleifreies E13**. 1968 startete die Marke "Aral" Werbung für E15.

Beim Herstellungsprozess anfallendes **Kohlendioxid** findet **gereinigt und verflüssigt** Anwendung in der **Getränke- und Lebensmittelproduktion**. Reststoffe wie Fuselöle und **Aldehyde** werden in der **Kunststoffindustrie**, bei der **Parfümherstellung** oder in der **pharmazeutischen Industrie** genutzt.

Der **bei der Destillation verbliebene Rückstand**, auch Schlempe genannt, ist ein **nährstoffreiches** Koppelprodukt und kann weiter verwendet werden. Wird Schlempe entwässert, getrocknet und pelletiert, kann sie als hochwertiges **Futtermittel** genutzt werden. Alternativ kann die Schlempe auch **im Fermenter** einer Biogasanlage **vergoren** werden. Das dabei entstehende **Biogas** lässt sich durch Verbrennen in einem Blockheiz**kraftwerk** in Strom und Wärme umwandeln oder zu Biomethan aufbereiten, das ins Erdgasnetz eingespeist wird.

Biodünger

Die **mineralischen Bestandteile** der Pflanzen **bleiben** bei der Bioethanolherstellung **erhalten** und werden als **Düngemittel** der Landwirtschaft wieder zugeführt. Durch diesen **Kreislauf** kann der **Einsatz von synthetischem Dünger** erheblich **reduziert** werden:

Zuckerrübenvinasse

Der Chemiker **Justus von Liebig** empfahl bereits vor über 150 Jahren den Einsatz von Vinasse **aus der Alkoholherstellung** im Ackerbau. Die enthaltenen **Mineralstoffe**, besonders **Stickstoff** und **Kalium**, machen Zuckerrübenvinasse zu einem wertvollen Düngemittel.

Rückstände aus der Gärung

Bei der **Gewinnung von Biomethan** aus den Reststoffen der Bioethanolproduktion bleibt ein so genannter **Gärrest** zurück. Es entstehen verschiedene Düngemittel wie **Ammoniumsulfatlösung**, **Phosphat und Kalium**.

Forrás:

<https://www.faz.net/aktuell/wissen/klima/treibstoffe-aus-biomasse-vom-acker-in-den-tank-1409234.html>

<https://www.unendlich-viel-energie.de/mediathek/grafiken/wie-wird-bioethanol-hergestellt>

<https://www.whiskyguide-schweiz.ch/wie-aus-staerke-zucker-wird/grafik-1-staerkeabbau/>

<https://www.bdbe.de/bio-ethanol-2019/24/>

<https://www.bdbe.de/bioethanol/verfahren>

<https://www.bdbe.de/wirtschaft/biomethan-und-bioduenger>

Beküldési (beérkezési) határidő: 2022. április 7.

A megoldásokat a <http://kokel.mke.org.hu> honlapon át vagy postán küldhetitek be. A levélben küldött megoldásokat is feltétlenül kérjük a honlapon regisztrálni, mielőtt az alábbi címre feladjátok:

KÖKÉL német fordítási verseny

ELTE TTK Kémiai Intézet

Budapest 112

Pf. 32

1518

Kézzel írt vagy szövegszerkesztővel készített fordítás egyaránt beküldhető. A kézzel írók (is) mindenképpen hagyjanak a **lap mindkét szélén legalább 1-1 cm margót** (a pontoknak). **Minden lap tetején** szerepeljen a **beküldő neve, osztálya**, valamint **iskolájának neve**. Postai beküldés esetén a lapokat kérem **összetűzni!** Mindenki ügyeljen az olvasható írásra és a pontos címzésre!

Kémia angolul

Szerkesztő: Tóth Edina

Előszóban

A következő feladatban az ecetsav ipari előállítási lehetőségeit ismerjük meg. Érdeemes közelebbről megvizsgálni a felhasznált cikket:

Production Pathways of Acetic Acid and Its Versatile Applications in the Food Industry

WRITTEN BY Gunjan Deshmukh and Haresh Manyar

Submitted: November 28th, 2019

Reviewed: March 27th, 2020

Published: May 15th, 2020

DOI: 10.5772/intechopen.92289

Accessible through <https://www.intechopen.com/chapters/72179>

Tehát az IntechOpen a benyújtott cikket felülvizsgálta, majd azt követően publikálta. A DOI (digital document identifier = digitális objektumazonosító) szám segíti a szellemi termék beazonosítását és védelmét.

Technikai észrevételek és digitális etikett:

- A fordítás során tekintsünk el az ábrák és a képaláírások lefordításától, hiszen ezeket képletszerkesztővel hozták létre.
- A leadott fájl nevében szerepeljen a fordító neve!
- A fordító neve jelenjen meg magában a fájlban is!
- A fordítás során a szöveg tagolását illik visszaadni.
- Törekedjünk a sorkizárásra!
- Érdeemes a nyelvet magyarra állítani, hiszen a modern szövegszerkesztő nagy segítséget nyújt a gépelési hibák és egyéb elütések javításában.

A megoldásokat 2022. április 7-ig lehet a kokel.mke.org.hu honlapon keresztül feltölteni.

Pathways of Acetic Acid

1. Introduction

[...] Acetic acid is a clear liquid with a pungent odour, sharp taste, melting point of 16.73 °C and boils at 117.9 °C. Acetic acid, traditionally known as 'vinegar' is widely used as a food preservative, first discovered (c. 5000 BC) when unattended grape juice turned into wine. A famous physician Hippocrates II (c. 420 BC) used acetic acid to clean the wounds [1]. With direct and indirect applications of acetic acid, it has diversified into several chemical sectors such as food, pharma, chemical, textile, polymer, medicinal, cosmetics etc. Since then, acetic acid is proven to be a multi-application chemical building block resulting in ever-increasing demand. The production of acetic acid is expected to reach 18 million ton with an average growth of 5% per year.

2. Production of acetic acid

Acetic acid is mainly produced via chemical route that involves homogeneous as well as heterogeneous catalytic methods. The carbonylation of methanol via Monsanto process is the most adopted route, which further evolved as Cavita process with a choice of catalysts and process intensification. In the recent decade, the fermentative approach has also gained attention; however the commercial approach is not established yet. The current trends in sustainable manufacturing demand an urgent paradigm shift to develop and pursue more sustainable routes to reduce environmental burden. An approach is also made with the development of membrane-based technology, which offers a very simple design with eco-friendly production.

2.1 Conventional process

2.1.1 Methanol carbonylation process

Carbonylation process is a most employed commercial route for synthesis of acetic acid, also known as Monsanto process (Figure 2). Methanol and carbon monoxide are reacted in liquid phase in the presence of rhodium (Rh)-based catalyst at 150–200°C temperature and 30–50 bar pressure to produce acetic acid with 95% selectivity and 5% side products such as formic acid and formaldehyde. Hydrogen iodide is used as an alkali promoter in this process. The reaction proceeds in

liquid phase with methyl acetate as solvent using homogeneous catalyst. Controlled amount of water is required for the reaction, which is generated in situ by reaction of methanol with hydrogen iodide. The rate of reaction in the Monsanto process depends on the concentration of water. CO₂, H₂ and methanol are obtained as by-products in the reaction. The generated methanol in the reaction is recycled. The process has evolved with time and different strategies have been adopted to separate pure acetic acid from a mixture of water and by-products. This process was modified by BP chemicals replacing rhodium-based catalyst with iridium (Ir) catalyst known as Cavita process. The choice of Ir as a coordination metal is relatively more economic process than rhodium. The use of an iridium catalyst improves the overall rate of reaction.

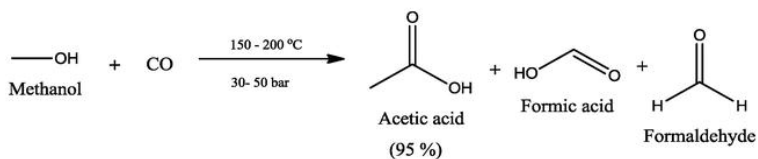


Figure 2. Production of acetic acid by carbonylation method.

The safety and the environmental hazards arising from the current methods are a serious concern. Acetic acid is highly corrosive, and the production processes need to be more sustainable and environmentally benign by reducing the amount of energy required in production and subsequent separation technologies as well as using heterogeneous catalysts. The Japanese firm Chiyodo developed a heterogeneous Rh catalysed process, wherein Rh metal was immobilized on the vinylpyridine resin. The use of heterogeneous catalyst prevails the loss of catalyst in the liquid phase and facilitates easy separation from the reaction mixture. The amount of water used in the reaction is very low and thus the separation of water from acetic acid is more energy-efficient compared to the other processes mentioned.

2.1.2 Acetaldehyde oxidation process

Acetaldehyde oxidation was the predominant process followed for the synthesis of acetic acid, wherein acetaldehyde is first prepared by oxidation of ethylene using palladium and copper chloride and it was

further oxidized to form acetic acid (Figure 3). The same process is reported using cobalt and chromium-based catalyst at 55 bar pressure and 150°C temperature. The one-step process for conversion of ethylene to acetic acid is also practised using lead and lead-platinum based catalyst at high pressure compared to the acetaldehyde oxidation process with a low yield of acetic acid.

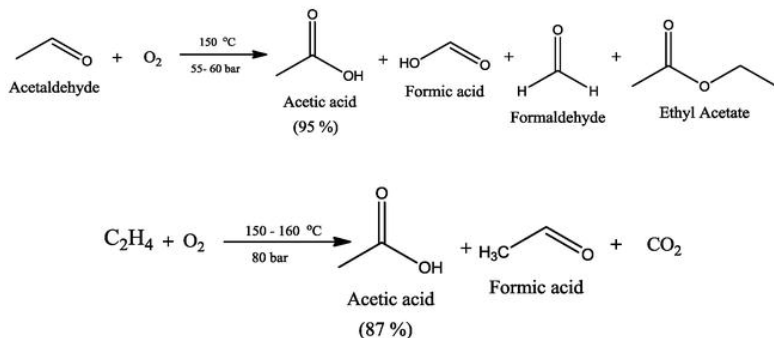


Figure 3. Production of acetic acid by acetaldehyde oxidation.

2.1.3 Hydrocarbon oxidation process

Hydrocarbons derived from petroleum stock such as butane and naphtha are utilized to generate acetic acid using cobalt acetate and chromium acetate catalyst (Figure 4). The reaction proceeds at a comparatively higher temperature range (150–230°C) and pressure (50–60 bar). The process involves petroleum feedstock, which contains hydrocarbon mixture, which leads to the formation of other by-products such as acetone, formic acid, propionic acid along with acetic acid. Thus, this process fails to give pure acetic acid. This process is more suitable for manufacturing a mixture of volatile fatty acids.

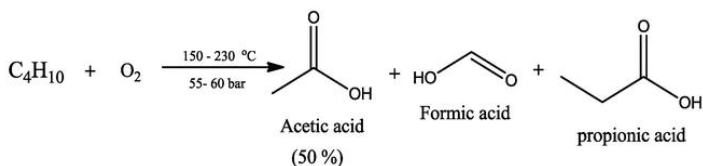


Figure 4. Production of acetic acid by hydrocarbon oxidation.

2.2 Fermentation route

Fermentative route is mostly adapted for the generation of food-grade acetic acid that is vinegar. This process mainly involves the use of renewable carbon resources such as apple, grape, pears, honey, cane, coconut, date, syrup cereals, hydrolysed starch, beer and wine]. The fermentation process is mainly divided into two steps: the treatment with yeast followed by acetic acid bacteria (AAB). Commercial production of vinegar is done via oxidative fermentation using AAB. *Acetobacter* and *Gluconacetobacter* are most used species among ten classified genera. *Acetobacter pasteurianus* is traditionally used for commercial production of vinegar with concentration not exceeding 6% (v/v), whereas, *Gluconacetobacter europaeus* is utilized to produce high-concentration vinegar (10% v/v). The price of the vinegar varies with the kind of source used and the region where it is generated.

2.2.1 Orleans method

This method is well established, traditional and preferred for low-volume production of acetic acid. Derived from the French word Orléans, wooden barrels are used to ferment the feed in this process. This method is followed to prepare exotic brands of vinegar in different regions of the world with specific raw material available in the specific season. The traditional balsamic vinegar is produced in different parts of the world such as sherry from Spain, oxos from Greece, and Modena in Italy.

2.2.2 Trickleing process

This process was developed to overcome the slow rate of acetification in Orleans process. The process intensification was done to improve the acetic acid bacteria and substrate interaction. The alcoholic substrate was sprayed over the fermentation in continuous loop to achieve the desired concentration of acetic acid. The heat of the reaction was controlled by passing the air through the system. The process has the drawback of accumulating gelatinous material on the surface the membrane, which reduces the rate of reaction over the period.

2.2.3 The continuous submerged process

This modern fermentation method is followed to produce vinegar in masses. This is the most widely method and has a high yield along with a fast rate of oxidation as compared to the previous method. This method is 30 times faster than the Orleans method with higher efficiency for production of acetic acid. This process requires comparatively small space with higher yields. The Fringe fermenter is used for this process to increase the rate of the acetification. The yield of acetic acid is 98%. The pure substrates are required to achieve the high quality of acetic acid. This fermentation process is much economical, of simple design with easy process control.

The Fermentation process for acetic acid is economically feasible with comparatively simple operations. The application of this process is very limited to the present global demand. Whereas, the conventional process involves several steps such as fractional distillation, condensation and crystallization, which add to the high machinery cost. The operating conditions are harsh considering the process temperature and pressure along with the corrosive nature of acetic acid. The purification of acetic acid from water is a multi-step process consuming a high amount of energy, which makes overall process complex and critical. In addition to this, the process requires huge manpower with stringent safety protocols and norms.

3. Need for development of novel sustainable technologies

Looking at the ever-increasing threats of global warming and ever-increasing global demand of acetic leads to an urgent need to develop a novel technological approach and sustainable feedstock for the generation of acetic acid. Even though many processes and technological developments are reported recently, they fail to sustain the production cost to profit margins. The separation of acetic acid remains the key issue to overcome the economical and energy consumption barriers. The different operations such as distillation, evaporation, absorption, filtration crystallization and alkali neutralization are time and energy consuming. Even though these processes involve multiple steps, the ever-growing demand forces to follow this path. On the other hand, fermentation process is reliable but cannot match the scale of current demand. Thus, the development of a

novel route for generation or process intensification in separation can drastically reduce the overall production cost of acetic acid. Utilization of CO and CO₂ as feedstock generated from natural gas can offer long-term sustainability of acetic acid production. This technology offers high purity of acetic acid with eco-friendly production. Furthermore, membrane-based separation processes can provide efficient way to produce acetic acid. The pathways are discussed briefly.

3.1 CO and CO₂ as valuable feedstock

Utilization of CO₂ and syngas can offer sustainable alternatives to produce acetic acid. BP has announced the breakthrough process, wherein, acetic acid will be manufactured from syngas as a feedstock derived from natural gas. This will give an alternative to SaaBre process that produces acetic acid in three integrated steps. The production of acetic acid from syngas will avoid the purification of CO and purchase of methanol. Though the technology is not fully developed, it provides better alternatives in terms of sustainability. Similarly, acetic acid can be synthesized via reacting CO₂ and H₂ to give methanol followed by subsequent carbonylation step. This route gives liberty to utilize CO₂ as value-added feedstock.

3.2 Membrane-based technologies

The membrane technology can offer the separation of liquid, vapour and gas selectively with controlled mass transfer rates. These processes are easy to operate and simple to design. The technology can offer development on energy intensification. Several types of processes are reported based on the pore size of the membrane for separation of different components. These are namely microfiltration, ultrafiltration and nanofiltration membrane. The operating pressure (varying from 1 to 20 bar) of the system varies according the pore size of the membrane are used. Reverse osmosis is another membrane technology with non-porous membrane. This process operates at pressure more than 20 bar. The membrane technologies collectively can be applied in downstream processing for separation of acetic acid in chemical process as well as fermentation processes. The combination of fermenter with acetic acid permeable membrane can help in separation of acetic acid to avoid the self-inhibition.

A 2021/5. számban megjelent szöveg mintafordítása

Alapvető fizikai állandók Az állandók bevezetése nem szakértő olvasók számára

A fizika alapvető elméleteinek valamennyi matematika megfogalmazásában és a való életbeli alkalmazása közben újra és újra feltűnnek bizonyos alapvető, változatlan mennyiségek. Ezek az egyetemesen használt egyedi jelekkel rendelkező, alapvető fizikai állandóknak nevezett mennyiségek annyira fontosak, hogy a lehető legnagyobb pontossággal szükséges ismernünk őket. Közéjük tartozik a fény sebessége vákuumban (c); az elektron töltése, amelynek abszolút értéke az elektromos töltés alapegysége (e); az elektron tömege (m_e); és a Planck-állandó (h). Ezekkel mind részletesen foglalkozunk a későbbiekben.

Természetesen van sok más fontos mennyiség is, amely nagy pontossággal mérhető – például egy bizonyos ezüstdarab sűrűsége, vagy egy szilíciumkristály rácstávolsága (az atomok síkjai közötti távolság), vagy a Föld és a Nap távolsága. Ezeket a mennyiségeket azonban általánosságban nem tekintjük alapvető állandóknak. Először is, nem egyetemes állandók, mert túlságosan specifikusak, túl szorosan kapcsolódnak annak az anyagnak vagy rendszernek a sajátos tulajdonságaihoz, amelyeken a méréseket végzik. Másodszor, az ilyen mennyiségek nem egyetemesek, mert nem jelennek meg következetesen a fizika alapvető elméleti egyenleteiben, amelyeken az egész tudomány alapul, és nem is azon alapvető fizikai részecskék tulajdonságai, amelyekből minden anyag felépül.

Az alapvető állandók számértékének nagy pontosságú ismerete legalább két okból fontos. Először is, a fizika alapelméleteinek mennyiségi előjelezései az elméletekben megjelenő állandók számértékétől függenek. Értékük pontos ismerete tehát elengedhetetlen, ha az ember a fizikai univerzum pontos mennyiségi leírását kívánja elérni. Másodszor, ami még fontosabb, ezen állandók számértékének alapos tanulmányozása – mivel ezeket a fizika különböző területein végzett különféle kísérletekkel határozták meg –, próbára teheti a fizika alapvető elméleteinek általános következetességét és helyességét.

Definíció, jelentőség és pontosság

A számos konstans közül azért a fent megnevezett öt került felsorolásra, mert az alapvető állandók eltérő eredetét példázzák. A fénysebesség (c) és a Planck-állandó (h) olyan mennyiségek példái, amelyek bizonyos alapvető fizikai elméletek matematikai megfogalmazásában természetesen előfordulnak, az előbbi James Clerk Maxwell elektromos és mágneses terek elméletében és Albert Einstein relativitáselméletében, az utóbbi pedig az atomi részecskék elméletében vagy a kvantumelméletben. Például Einstein relativitáselméletében a tömeg és az energia egyenértékűek, az energia (E) egyenesen arányos a tömeggel (m), az arányossági állandó pedig a fénysebesség négyzete (c^2) – azaz a híres $E = m \cdot c^2$ egyenlet. Ebben az egyenletben E és m változók, c pedig változatlan, az egyenlet állandója. A kvantumelméletben a foton (az elektromágneses energia, mint például a fény- vagy hőszugárzás, kvantumegysége) energiája (E) és frekvenciája, amelyet a görög ν (nú) betűvel jelölnek, $E = h\nu$ összefüggésben állnak egymással. Itt a Planck-állandó (h) az arányosság állandója.

Az elemi töltés (e) és az elektrontömeg példák olyan állandókra, amelyek az anyagot alkotó alapvető vagy elemi részecskéket, például az elektront, alfa-részecskét, protont, neutron, müont és piont jellemzik. Ezenkívül példák a sztenderd mértékegységként használt állandókra is. Az atomi és elemi részecskék töltése és tömege az elemi töltés (e) és az elektron tömegének (m_e) segítségével fejezhető ki; az alfa-részecske, vagyis a hélium atommag töltése $2e$, míg a müon tömegét $206,77 m_e$ -ként adták meg.

[...]

Sok alapvető állandó jelenleg néhány milliomodnyi pontossággal mérhető. A pontosság alatt azon bizonytalanság relatív nagyságát értjük, amelyet bármely mennyiség számértékéhez hozzá kell rendelnünk annak jelzésére, hogy az a kísérleti vagy az elméleti korlátok miatt milyen messze eshet a valódi értéktől. Ez a bizonytalanság az értékkel kapcsolatos kétségek mértékének mennyiségi becslése. A leggyakrabban használt bizonytalanság, a tapasztalati szórás (standard deviáció, SD), amelyet a görög szigma betűvel jelölünk, azt jelenti, hogy körülbelül 68 százalék az esély arra, hogy a valódi érték a plusz-mínusz szigma tartományon belül van. Továbbá 95 százalék az esélye annak, hogy a valódi érték plusz és mínusz két standard deviáció között

található, és 99,7 százalék az esély, hogy a plusz-mínusz 3 SD tartományba esik. [...]

A gyakorlatban már egy rész per millió (rövidítve ppm) mértékű bizonytalanság igazán figyelemreméltó. Ez megfelel annak, hogy egy amerikai futballpálya hosszát, ami 100 yard vagyis körülbelül 91 méter, olyan eltéréssel határozzuk meg, ami megegyezik ezen könyv [az 1974-es Encyclopaedia Britannica] 2 lapjának vastagságával, ahol egyetlen oldal körülbelül 0,0022 hüvelyk vagyis 0,056 milliméter vastag. Számos olyan mennyiség van, amelyet oly pontosággal mértek meg, hogy a bizonytalanság mértéke megközelítette az 1/1 000 000 000 000 részt (azaz 10^{12} -ből egy); ilyen mértékű bizonytalanság megfelel annak, hogy a New York és San Francisco távolságát egyetlen papírdarab vastagságának tizedénél is kisebb bizonytalansággal határoznánk meg.

1900-1920

Az alapvető állandók szakterület a 20. század közepe óta olyan gyorsan fejlődött, hogy a második világháború előtti mérések szinte mindegyike történelminek tekinthető (ha maga a módszer nem is, legalább az eredmény igen). Valóban, a 20. század fordulója előtt kevés állandó kimérésére került sor, mivel addig még nem kezdődött el a modern fizika modern korszaka. A relativitáselmélet, az atomfizika és a kvantumelmélet mind 1900 után jelentek meg. Íme kettő az 1920 körüli fontosabb történelmi mérések közül:

Az elemi töltés (e)

Az egyik korai kísérlet, amely egy alapvető állandó nagy pontosságú mérésére irányult, az elemi töltés (e) mérése volt, amelyet Robert A. Millikan, amerikai fizikus hajtott végre. Ez egyben kiváló példa arra is, hogy egy alapvető állandó különböző módszerekkel történő pontos meghatározása hogyan vezethet egy adott fizikai jelenség jobb megértéséhez. Milliken megközelítőleg 1907-től 1917-ig végezte a mára már híressé vált olajcsepp-kísérletét ez elemi töltés (e) értékének meghatározásához. Az módszer alapja, hogy két vízszintesen elhelyezett, egymással párhuzamos fémlemez között a levegőben mozgó apró, töltött olajcseppek (az olajcsepp töltése általában csak néhány e) elmozdulását követik az idő függvényében (ismert feszültséget alkalmazása mellett, illetve feszültség nélkül). Az alapvető állandó, e értékét ezután a különböző cseppekre vonatkozó számos

megfigyelésből és más releváns mennyiségek ismeretéből számították ki, különös tekintettel a levegő viszkozitására (áramlással szembeni ellenállására). Millikan 1917-ben közölt végső értéke $(4,774 \pm 0,002) \cdot 10^{-10}$ esu-nak adódott. (Az „esu” az elektrosztatikus egység, a töltés egyik mértékegysége a centiméter-gramm-másodperc [cgs] mértékegységrendszerben; ezt a cgs-esu mértékrendszert széles körben használták az SI rendszerre való általános áttérés előtt).

Az, hogy ez az érték jelentős mértékben téved, az 1930-as években vált világossá, amikor is egy új, de közvetett módszert dolgoztak ki e értékének meghatározására. A módszer abból állt, hogy külön megmérték N -t, az Avogadro-állandót (az egy mólbán, vagyis az adott anyag grammban meghatározott atom- vagy molekulatömegének megfelelő mennyiségben lévő atomok vagy molekulák száma), és F -et, a Faraday-állandót (az a töltésmennyiség, amelynek át kell haladnia az oldaton ahhoz, hogy az abban lévő egyszeres töltéssel rendelkező vagy egy vegyértékű elem egy mólja az elektrolízis során kiváljon). Ezt a két mennyiséget az az egyszerű egyenlet kapcsolja össze, amely kimondja, hogy a Faraday-állandó egyenlő az Avogadro-állandó és az egységnyi töltés szorzatával, vagyis $F = Ne$. Ebből az következik, hogy $e = F/N$, így az e állandót könnyen megkaphatjuk, amennyiben a két állandó, a Faraday- és az Avogadro-állandó ismert.

Az Avogadro-állandót (N) úgy határozták meg, hogy megmérték egy adott fajta kristály, például a kősó sűrűségét, molekulatömegét és kristályrács-távolságát röntgensugaras technika segítségével. A Faraday-állandó (F) úgy került meghatározásra, hogy megmérték az elektródára az elektrolízis során lerakódott anyag (például ezüst) tömegét, miután ismert ideig folyó ismert áramot hagytak áthaladni az anyagot tartalmazó oldaton. Ily módon levezethető az elemi töltés (e) közvetett értéke: $(4,8021 \pm 0,0009) \cdot 10^{-10}$ esu-nak adódik, amely jelentősen eltér a Millikan-értéktől. Ennek a zavaró eltérésnek a fő forrására 1930-as évek második felében derült fény: arra vezethető vissza, hogy Millikan a levegő viszkozitásának helytelen értékét használta. Millikan olyan értéket használt, amely szinte teljes egészében egyik tanítványa mérésén alapult; de később kiderült, hogy a hallgató elkövetett egy meglehetősen apró hibát a kísérlet elvégzése során. Amikor Millikan adatait a levegő viszkozitásának helyesen

meghatározott értékével újraértékelték, a kapott e érték megegyezett a Faraday- és az Avogadro-állandóból számított közvetett értékkel.

A Planck állandó (h) és az elemi töltés (e) aránya, h/e

A h/e arány legelső precíziós meghatározása a fotoelektromos hatást használta ki: ha egy adott hullámhosszú fényt hagyunk egy fémfelületbe ütközni, akkor a felületről elektronok lépnek ki. Ha késleltető feszültséget vagy potenciált alkalmazunk a fémen oly módon, hogy az éppen megakadályozza az elektronok felületről történő kilépését, akkor egyedi kapcsolat mutatható ki a fény hullámhossza, a feszültség és a h/e arány között. Millikan nátrium és lítium felhasználásával végezte el ezen a módszeren alapuló mérést és 1916-ban elsőként számolt be az eredményről.

A h/e arány meghatározásának másik módszere a folytonos röntgenspektrum úgynevezett rövidhullámú határának meghatározása. Ezen technika során egy elektronsugarat egy ismert feszültséggel felgyorsítják, és az elektronokat egy fém céltárgyba ütköztetik. A maximális energiájú röntgensugárzás (azaz a legnagyobb frekvenciájú vagy legrövidebb hullámhosszú) akkor bocsátódik ki, amikor a nyalábban lévő elektronok teljes elektromos potenciális energiája egyetlen röntgenfotónná alakul. A kibocsátott röntgensugár feszültségének és hullámhosszának mérésével meghatározható a h/e arány. Az első ilyen típusú precíziós mérést 1921-ben jelentették.

1920-1940

Az elektron töltésének ($-e$) és tömegének (m_e) aránya, $-e/m_e$

Ennek mennyiségnek számos közvetlen mérését végezték el 1897 és 1938 között. A kísérletek általában a szabad elektronnalábok elektromos és mágneses tér általi eltérítésén alapultak. Sok kísérlethez szükség volt az elektronok sebességének mérésére, és egyidejűleg azon feszültség meghatározására, amelyet az elektronok kezdeti mozgási energiájának (azaz sebességének) biztosítására fordítottak. Az elektronssebességet gyakran nulla eltérítéses módszerrel határozták meg, amely során a keresztezett elektromos és mágneses mezők nagyságát, amelyeken keresztül az elektronsugár áthaladt, úgy állították be, hogy az elektromos és a mágneses térítő erők éppen kiegyenlítették egymást. Joseph John Thomson, angol fizikus volt az első, aki 1897-ben ezt a technikát alkalmazta.