

ΙΟΝΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΤΜΗΜΑ ΞΕΝΩΝ ΓΛΩΣΣΩΝ ΜΕΤΑΦΡΑΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΕΡΜΗΝΕΙΑΣ



ΤΙΤΛΟΣ: ΜΕΤΑΦΡΑΣΗ ΓΕΡΜΑΝΙΚΑ-ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΑΠΟΣΠΑΣΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΔΕΥΤΕΡΗΣ ΕΝΟΤΗΤΑΣ ΜΕ
ΕΠΙΚΕΦΑΛΙΔΑ

« Das thermodynamische Gleichgewicht und die empirische Temperatur»

ΤΟΥ ΒΙΒΛΙΟΥ «Thermodynamik

Grundlagen und technische Anwendungen»

ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ

Στοιχεία Φοιτητή

Όνομ/μο: Μπεγέτη Χρυσούλα

Αρ. Μητρώου: Ξ2015116

Επιτροπή Εποπτείας

Κα Παριανού Αναστασία

Κος Κεντρωτής Γεώργιος

ΚΕΡΚΥΡΑ ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2019

ΤΙΤΛΟΣ:

ΜΕΤΑΦΡΑΣΗ ΓΕΡΜΑΝΙΚΑ-ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΑΠΟΣΠΑΣΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΔΕΥΤΕΡΗΣ ΕΝΟΤΗΤΑΣ ΜΕ
ΕΠΙΚΕΦΑΛΙΔΑ

« Das thermodynamische Gleichgewicht und die empirische Temperatur»

ΤΟΥ ΒΙΒΛΙΟΥ «Thermodynamik

Grundlagen und technische Anwendungen»

ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ

Πίνακας περιεχομένων

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	4
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	4
ΜΕΤΑΦΡΑΣΜΑ (κείμενο-στόχος).....	5
Η θερμοδυναμική ισορροπία και η εμπειρική θερμοκρασία.....	5
• Η θερμοδυναμική ισορροπία.....	5
• Το μηδενικό αξίωμα της θερμοδυναμικής και η εμπειρική θερμοκρασία.....	7
• Η διεθνής κλίμακα θερμοκρασίας.....	11
ΠΡΩΤΟΤΥΠΟ ΚΕΙΜΕΝΟ (κείμενο-πηγής).....	14
Das thermodynamische Gleichgewicht und die empirische Temperatur.....	14
• Das thermodynamische Gleichgewicht.....	14
• Der nullte Hauptsatz und die empirische Temperatur.....	16
• Die internationale Temperaturskala.....	21
ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ.....	23
• Εισαγωγή.....	23
• Κειμενική Ανάλυση.....	23
• Μεταφραστικά Προβλήματα.....	26
• Επίλογος.....	28
ΓΛΩΣΣΑΡΙ.....	29
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	33

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα εργασία αποτελεί την πτυχιακή μου εργασία στα πλαίσια του προπτυχιακού προγράμματος του τμήματος Ξένων Γλωσσών Μετάφρασης και Διερμηνείας του Ιονίου Πανεπιστημίου με έδρα την Κέρκυρα. Το κείμενο, το οποίο επέλεξα να μεταφράσω, είναι ειδικό-τεχνικό και αποτελεί απόσπασμα του βιβλίου «Thermodynamik-Grundlagen und technische Anwendungen» (Θερμοδυναμική-Βασικές Αρχές και Τεχνικές Εφαρμογές). Πρόκειται συγκεκριμένα για τον 1^ο τόμο, 19^η έκδοση των Peter Stephan, Karlheinz Schaber, Karl Stephan και Franz Mayinger. Η γλώσσα αφετηρίας είναι η γερμανική και η γλώσσα αφίξεως η ελληνική. Το απόσπασμα μετάφρασης επιλέχθηκε από τη δεύτερη ενότητα του βιβλίου, η οποία φέρει ως τίτλο «Η Θερμοδυναμική Ισορροπία και η Εμπειρική Θερμοκρασία». Έπειτα από τη μετάφραση του ειδικού αυτού κειμένου ακολουθεί αναλυτικός σχολιασμός των μεταφραστικών προβλημάτων που εντόπισα και οι τρόποι με τους οποίους τα αντιμετώπισα. Επιπρόσθετα θα αναφερθώ στη δυσκολία εύρεσης ορισμένων ειδικών όρων από την γερμανική στην ελληνική γλώσσα καθώς επίσης θα ακολουθήσουν παραδείγματα από το κείμενο.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους επόπτες καθηγητές μου, οι οποίοι δέχθηκαν να επιβλέπουν και να βαθμολογήσουν την παρούσα εργασία, την βασική επόπτη μου κα Παριανού Αναστασία καθώς επίσης και τον έτερο επόπτη μου κο Κεντρωτή Γεώργιο. Έπειτα, τους γονείς μου, Παναγιώτης και Ελένη για την συναισθηματική στήριξη και την οικονομική ενίσχυση, ώστε να διεκπεραιώσω της σπουδές μου σε μια ιδιαίτερα δύσκολη οικονομική περίοδο. Ευχαριστώ επίσης τον συμφοιτητή Γιαννούτσο Χρήστο, ο οποίος στάθηκε δίπλα μου στην τετραετή διάρκεια φοίτησης των σπουδών μας και τους λοιπούς συμφοιτητές, με τους οποίους συνεργάστηκα ανά διαστήματα για την διεκπεραίωση διάφορων ομαδικών απαλλακτικών και μη εργασιών. Τέλος, ευχαριστώ όλους τους καθηγητές και καθηγήτριες, από τους οποίους έλαβα σημαντικές γνώσεις και μου έδωσαν τα κατάλληλα κίνητρα για να φτάσω στο σημείο που βρίσκομαι σήμερα, την εκπόνηση της πτυχιακής μου εργασίας.

Η θερμοδυναμική ισορροπία

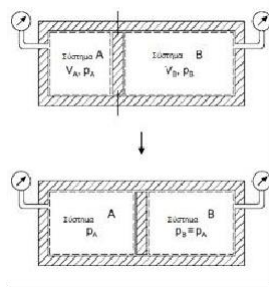
Γενικά προκύπτουν μεταβολές στην κατάσταση, εάν ένα σύστημα έρθει σε επαφή με το περιβάλλον του ή εάν διαφορετικά συστήματα έρθουν σε επαφή μεταξύ τους, εφόσον ορισμένες ή οι περισσότερες από τις ανεξάρτητες μεταβλητές μεταβάλλουν τις τιμές τους. Αυτή η διεργασία μπορεί να εξηγηθεί με ένα απλό παράδειγμα. Ένα σύστημα μπορεί να αποτελείται από έναν κύλινδρο, ο οποίος κλείνεται από ένα κινητό έμβολο και χωρίζεται δύο υποσυστήματα A και B. Τα δύο αυτά υποσυστήματα είναι γεμάτα με αέριο. Αρχικά συγκρατείται το έμβολο μέσω πείρου, επομένως είναι σφραγισμένο, Σχήμα 2.1. Η πίεση p_A στο υποσύστημα A θα είναι υψηλότερη από την πίεση p_B στο υποσύστημα B. Μόνο εάν μετατοπιστεί το έμβολο προς τα δεξιά σφραγίζεται το σύστημα, διαδικασία η οποία μπορεί να ερμηνευθεί ως «Αναστολή». Επιπλέον, ο όγκος V_A αυξάνεται, ενώ ο όγκος V_B μειώνεται. Έτσι προκύπτει το εξής: $\Delta V_A = -\Delta V_B$.

Το υποσύστημα A εκπέμπει ενέργεια, η οποία απορροφάται από το υποσύστημα B. Κατά συνέπεια, η μετατροπή και η απορρόφηση ενέργειας προκαλούν την μεταβολή των μεταβλητών του όγκου και της πίεσης. Η πίεση p_A στο υποσύστημα A μειώνεται, ενώ η πίεση p_B στο υποσύστημα B αυξάνεται. Αυτή η διεργασία είναι χαρακτηριστική για την επαφή μεταξύ διαφορετικών συστημάτων:

Σε αυτή την περίπτωση, μπορεί να ακολουθήσει ανταλλαγή μεταξύ ορισμένων μεταβλητών, χωρίς αυτό να σημαίνει πως πρέπει να μεταβάλλουν όλες οι μεταβλητές τις τιμές τους. Κατά την παραπάνω διαδικασία ανταλλαγής, για παράδειγμα, ο αριθμός των μορίων αερίου και στα δύο υποσυστήματα παραμένει σταθερός. Ωστόσο, ανταλλάσσονται μεταξύ των συστημάτων μία ή περισσότερες ιδιότητες- στο προαναφερθέν παράδειγμα, η ενέργεια είναι ιδιότητα- οι οποίες μεταβάλλουν ορισμένες μεταβλητές. Αναφέρεται ενδεικτικά: *Η ενέργεια "υπερχειλίζει" τη μεταβλητή του όγκου V από ένα σύστημα σε ένα άλλο. Πρόκειται για μια διαδικασία ανταλλαγής και μάλιστα για ανταλλαγή μεταβλητών του όγκου.*

Προφανώς, μια τέτοιου είδους δοκιμασία συμβαίνει πάντοτε, όταν κάποιος φέρνει σε επαφή δύο διαφορετικά συστήματα και ενδεχομένως αίρεται η υπάρχουσα αναστολή, π.χ. με τη σφράγιση του εμβόλου.

Σχήμα 2.1 Διαδικασία εξισορρόπησης και μηχανική ισορροπία



Στο παράδειγμα μας, για την τιμή του V , παρατηρείται ότι οι ανεξάρτητες μεταβλητές

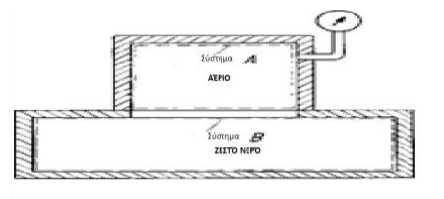
φτάνουν μετά από μεγάλο χρονικό διάστημα σε ορισμένες ανεξαρτήτου χρόνου σταθερές τιμές. Σε αυτή την κατάσταση, η πίεση που ασκείται από το αέριο και στα δύο υποσυστήματα είναι ίση, δηλαδή εφαρμόζεται ως $p_A = p_B$. Τότε, λέμε ότι το σύστημα βρίσκεται σε *κατάσταση ισορροπίας*.

► **Σημείωση:** Κατάσταση ισορροπίας είναι η τελική κατάσταση μιας διαδικασίας ανταλλαγής μεταξύ δύο ή περισσότερων συστημάτων ή ακόμα και μεταξύ ενός συστήματος και του περιβάλλοντος του.

Σύμφωνα με το παράδειγμα, η κατάσταση ισορροπίας ενός συστήματος εξαρτάται από τα διάφορα συστήματα με τα οποία έρχεται σε επαφή ένα σύστημα. Η κατάσταση ισορροπίας, όπου οι θερμοδυναμικές μεταβλητές διατηρούνται σταθερές στο χρόνο, ορίζεται υπό την προϋπόθεση ότι πραγματοποιείται ανταλλαγή μιας ή περισσότερων μεταβλητών.

Επομένως, ένα σύστημα βρίσκεται σε ισορροπία, όταν δεν μεταβάλλονται οι καταστατικές ιδιότητες, εφόσον έχει απομονωθεί από τις επιρροές του περιβάλλοντος ή άλλων υποσυστημάτων. Ωστόσο, είναι πιθανό μόνο ένα υποσύνολο των καταστατικών ιδιοτήτων ενός συστήματος να αποκτήσει τιμές, οι οποίες αντιστοιχούν σε θερμοδυναμική ισορροπία, ενώ δεν μπορούν να μεταβληθούν άλλες μεταβλητές κατάστασης μέσω συστηματικής αναστολής. Για παράδειγμα, μπορεί ένα μείγμα υδρογόνου και οξυγόνου να αποκτήσει μια μερική κατάσταση ισορροπίας, βασιζόμενη στις μεταβλητές της πίεσης και της θερμοκρασίας, χωρίς χημική αντίδραση. Μόνο μετά την εξάλειψη της κινητικής αναστολής της αντίδρασης μέσω ενός καταλύτη μπορεί το σύστημα να αποκτήσει την πλήρη θερμοδυναμική κατάσταση ισορροπίας, δηλαδή να αντιδρά στο νερό. Η έννοια της ισορροπίας μπορεί συνεπώς να γενικευθεί ως εξής:

Σχήμα 2.2 Επαφή μεταξύ δύο συστημάτων



► **Σημείωση** Ένα σύστημα βρίσκεται σε ισορροπία, όταν ένα υποσύνολο δεν μεταβάλλεται από τις καταστατικές ιδιότητες, μετά από απομόνωση του συστήματος από το περιβάλλον του και μετά από εξάλειψη της σχετικής αναστολής από αυτή τη συνάρτηση.

Το απεικονιζόμενο σύστημα στο σχήμα 2.1 πρόκειται για μηχανική ισορροπία, της οποίας προηγείται μια μηχανική διαδικασία αντιστάθμισης. Η *κινητήρια δύναμη* για αυτή την αντιστάθμιση είναι ο διαχωρισμός των εντατικών καταστατικών ιδιοτήτων της p . Στην αρχή της διαδικασίας αντιστάθμισης υπάρχει διαφορά πίεσης $\Delta p = p_A - p_B$. Στο τέλος της διαδικασίας αντιστάθμισης, καθώς επίσης και της ισορροπίας, εξαφανίζεται αυτή η κινητήρια δύναμη, δηλαδή ισχύει το εξής: $\Delta p = 0$

Ένα ακόμη παράδειγμα για τη διαδικασία ανταλλαγής θεωρείται ένα σύστημα Α, το οποίο αποτελείται από ένα δοχείο σταθερού όγκου. Μέσα σε αυτό βρίσκεται ένα αέριο σε θερμοκρασία δωματίου, του οποίου η πίεση μπορεί να μετρηθεί με μανόμετρο. Το αέριο έρχεται σε επαφή μόνο με ένα άλλο σύστημα Β, παραδείγματος χάριν με ένα μεγάλο δοχείο το οποίο περιέχει ζεστό νερό. Η επαφή των δύο συστημάτων μεταξύ τους δημιουργούν ένα ολοκληρωμένο σύστημα, Σχήμα 2.2.

Το σύστημα χωρίζεται από το περιβάλλον μέσω ενός χοντρού τοιχώματος, το οποίο

αποτρέπει οποιαδήποτε διαδικασία ανταλλαγής με το περιβάλλον. Το διαχωριστικό τοίχωμα είναι διαμορφωμένο με τέτοιο τρόπο, ώστε να εμποδίζει αποκλειστικά κάθε ανταλλαγή ουσιών, καθώς επίσης και κάθε μηχανική, μαγνητική ή ηλεκτρική αλληλεπίδραση μεταξύ των συστημάτων Α και Β. Όπως θα δούμε παρακάτω, ένα τέτοιο σύστημα είναι θερμικά αγωγίμιο. Θα μπορούσε κάποιος να το χαρακτηρίσει *διαθερμικό*. Παρά το διαχωρισμό των δύο συστημάτων Α και Β από το διαθερμικό τοίχο παρατηρείται με την επαφή των συστημάτων μεταβολή της κατάστασης: Καθώς το μανόμετρο δείχνει μια αύξηση της πίεσης, θα πρέπει η ενέργεια του συστήματος Α να αυξηθεί. Αυτό είναι δυνατό μόνο εάν η ενέργεια περάσει από το σύστημα Β στο σύστημα Α. Επομένως, μεταξύ των δύο συστημάτων, ένας μηχανισμός, ο οποίος καθιστά δυνατή την ανταλλαγή ενέργειας -αν και μη ορατός- πρέπει να είναι αποτελεσματικός. Αυτός ο μηχανισμός θα μας δώσει στη συνέχεια λεπτομερή εικόνα του δεύτερου αξιώματος της θερμοδυναμικής. Προς το παρόν, σημειώνουμε μόνο ότι, όπως και στο προηγούμενο παράδειγμα, όταν μια συντεταγμένη εμφανίζεται και στα δύο συστήματα, πρέπει να μεταβληθεί η αξία της - στο προηγούμενο παράδειγμα η συντεταγμένη V -. Συνεπώς, συμπεραίνουμε ότι υφίστανται ανταλλαγή μεταβλητών -σε αντίθεση με το προηγούμενο παράδειγμα, είναι ορατή- και εξαιτίας των αλλαγών μπορεί μεταξύ των συστημάτων να ανταλλαχθεί ενέργεια.

Αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα μετά την επαφή των δύο συστημάτων μεταξύ τους, παρουσιάζεται εμπειρικά μια τελική κατάσταση, η οποία δεν αλλάζει στο χρόνο και στην προκειμένη περίπτωση ονομάζεται *θερμική ισορροπία*.

Η έννοια της *θερμοδυναμικής ισορροπίας* είναι η γενική έννοια, η οποία χρησιμοποιείται για να περιγράψει σε ειδικές περιπτώσεις τη μηχανική και θερμική ισορροπία.

Το μηδενικό αξίωμα της θερμοδυναμικής και η εμπειρική θερμοκρασία

Είδαμε πως τα συστήματα, τα οποία έρχονται σε επαφή μεταξύ τους μέσω διαθερμικού τοιχώματος, βρίσκονται σε *θερμική ισορροπία*. Χρησιμοποιούμε το γεγονός αυτό, για να ορίσουμε μέσω ενός διαμετρικού κανόνα ένα νέο καταστατικό μέγεθος, δηλαδή την εμπειρική θερμοκρασία, η οποία μας επιτρέπει να εξακριβώσουμε, εάν υπάρχει ή όχι θερμική ισορροπία μεταξύ δύο διαφορετικών συστημάτων. Για το σκοπό αυτό, για τη θερμική ισορροπία μεταξύ τριών συστημάτων Α, Β και Γ χρησιμοποιούμε τον κανόνα της κοινής πείρας. Ενδέχεται να επικρατήσει θερμική ισορροπία μεταξύ των συστημάτων Α, Γ και Β, Γ. Όπως έχει αποδειχθεί εμπειρικά, βρίσκονται σε θερμική ισορροπία και τα συστήματα Α και Β, εάν έρθουν σε επαφή μεταξύ τους μέσω διαθερμικού τοιχώματος.

Σύμφωνα με τον R. H. Fowler, αυτό το φαινόμενο χαρακτηρίστηκε ως «*μηδενικό αξίωμα της θερμοδυναμικής*» (οι χαρακτηρισμοί του πρώτου, του δεύτερου και του τρίτου αξιώματος είχαν ήδη εκχωρηθεί).

Συνεπάγεται το εξής:

- **Σημείωση** Όταν δύο συστήματα βρίσκονται σε θερμική ισορροπία με ένα τρίτο σύστημα, τότε και αυτά τα δύο βρίσκονται μεταξύ τους σε θερμική ισορροπία.

Προκειμένου να επαληθευθεί, εάν δύο συστήματα Α και Β βρίσκονται σε θερμική ισορροπία, πρέπει, ως εκ τούτου, να έρθουν σε θερμική επαφή με ένα σύστημα Γ. Για το σκοπό αυτό είναι απαραίτητο η μάζα του συστήματος Γ να είναι μικρότερη σε σχέση με αυτή των συστημάτων Α και Β, ώστε να είναι αμελητέα μικρές οι μεταβολές κατάστασης των συστημάτων Α και Β κατά τη θερμική ισορροπία. Αρχικά, έρχεται το σύστημα Γ σε επαφή με το σύστημα Α, ώστε να μεταβληθούν μία ή οι περισσότερες καταστατικές μεταβλητές του συστήματος Γ, π.χ. ο όγκος της σταθερούς πίεσεως ή η ηλεκτρική αντίσταση. Μετά την επίτευξη ισορροπίας οι μεταβλητές αποκτούν νέες σταθερές τιμές. Εν συνεχεία, αν το σύστημα Γ έρθει σε επαφή με το σύστημα Β, αυτές οι τιμές παραμένουν αμετάβλητες, εφόσον υπήρχε ωρίτερα θερμική ισορροπία μεταξύ των

συστημάτων A και B, ωστόσο, εάν τα δύο συστήματα A και B δεν ήταν νωρίτερα σε θερμική ισορροπία, τότε μεταβάλλονται.

Έτσι, είναι δυνατόν να αξιοποιηθούν ορισμένα χαρακτηριστικά του συστήματος Γ, για να διαπιστωθεί, εάν υπάρχει ή όχι θερμική ισορροπία μεταξύ δύο άλλων συστημάτων.

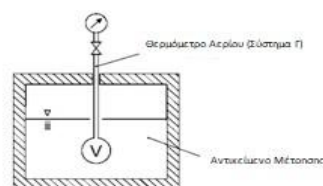
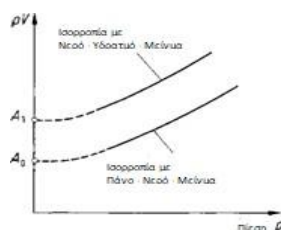
Συνεπώς το σύστημα Γ χρησιμοποιείται ως δείκτης μέτρησης, και είναι δυνατόν, φυσικά, να ταξινομηθούν οι σταθερές αξίες, οι οποίες μετριούνται μετά την επίτευξη ισορροπίας, σε αυθαίρετους συγκεκριμένους αριθμούς. Με αυτόν τον τρόπο, δημιουργείται μια εμπειρική θερμομετρική κλίμακα. Το δείκτης μέτρησης ονομάζεται *θερμόμετρο*, και οι αριθμοί που υπάρχουν σε αυτό είναι οι εμπειρικές θερμοκρασίες. Στην αρχή ωστόσο, είναι απλώς ένα προσωρινό θερμόμετρο, δεδομένου ότι μπορεί μόνο να ελεγχθεί αν υπάρχει θερμική ισορροπία μεταξύ των διαφόρων συστημάτων, μόνο εφόσον έρθουν σε επαφή. Θερμική ισορροπία υπάρχει όταν ταιριάζουν οι θερμοκρασίες των δύο συστημάτων, δηλαδή, αν κάποιος διαβάσει πάντα την ίδια αριθμητική τιμή στη θερμομετρική κλίμακα του θερμομέτρου, τότε τα συστήματα A και B είχαν έρθει σε επαφή.

► **Σημείωση** Επομένως, μια διαφορά στις έντονες μεταβλητές της θερμοκρασίας μεταξύ δύο συστημάτων αποτελεί τη κινητήρια δύναμη για μια θερμική αντιστάθμιση. Σε θερμική ισορροπία, η κινητήρια δύναμη γίνεται μηδέν, δηλαδή, οι θερμοκρασίες και στα δύο υποσυστήματα είναι ίσες.

Για να κατασκευασθεί μια εμπειρική θερμομετρική κλίμακα, επιλέγεται ένα θερμόμετρο αερίου (όπως στο σύστημα Γ στο παραπάνω παράδειγμα). Το θερμόμετρο αποτελείται από μια δεδομένη ποσότητα αερίου, το οποίο περικλείεται σε ένα δοχείο. Στη δοχείο στερεώνεται ένα μανόμετρο, έτσι ώστε να μπορεί να μετρηθεί η πίεση του αερίου που περιέχεται. Προαπαιτούμενο είναι το αέριο και η μάζα του δοχείου να είναι μικρότερα σε σύγκριση με τη μάζα των συστημάτων, με τα οποία επιτυγχάνεται θερμική ισορροπία. Έτσι, λυτόν, το θερμόμετρο αερίου φτάνει σε θερμική ισορροπία με ένα αντικείμενο μέτρησης, για παράδειγμα, με ένα μείγμα πάγου και νερού, το οποίο είναι υπό πίεση 1 bar, και μετρά το προϊόν της πίεσης αερίου p και του όγκου αερίου V για κάθε διαφορετική πίεση αερίου, η οποία διαβάζεται στο μανόμετρο. Οι τιμές μέτρησης PV μεταφέρονται μέσω της πίεσης p σε ένα διάγραμμα, Σχήμα 2.3.

Το θερμόμετρο αερίου πρέπει να βρίσκεται σε θερμική ισορροπία με το μείγμα πάγου και νερού σε κάθε μία από τις διαφορετικές πιέσεις αερίου. Κάθε μία από αυτές τις καταστάσεις ισορροπίας χαρακτηρίζονται ως «*ισορροπία σε σημείο πήξης*». Κατά παρέκταση της πίεσης $p = 0$, διαπιστώνεται, ότι η οριακή τιμή pV για $p \rightarrow 0$ είναι ένα πεπερασμένο θετικό μέγεθος A_0 , Σχήμα 2.3.

Στη συνέχεια, επιτυγχάνεται θερμική ισορροπία φέρνοντας το θερμόμετρο αερίου σε επαφή με βραστό νερό, το οποίο είναι κάτω από μια ορισμένη πίεση του 1 bar. Συνεπώς αποκτά μια άλλη σταθερά A_1 κατά παρέκταση της πίεσης $p \rightarrow 0$. Δεδομένου ότι κατά τη διάρκεια των μετρήσεων δεν μεταβάλλονται οι ισορροπίες μεταξύ του νερού και του πάγου του 1 bar και μεταξύ του νερού και του ήδη υπάρχον υδρατμού πάνω του 1 bar, λόγω του μικρού μεγέθους του θερμομέτρου αερίου, μπορούμε να πούμε ότι το νερό και ο πάγος, καθώς και το νερό και ο υδρατμός υπό πίεση του 1 bar έχουν συγκεκριμένες σταθερές θερμοκρασίες, οι οποίες είναι ανεξάρτητες από την πίεση p του θερμομέτρου αερίου. Οι καμπύλες, οι οποίες απεικονίζονται στο Σχήμα 2.3



Σχήμα 2.3 Θερμόμετρο Αερίου

είναι οι γραμμές σταθερής θερμοκρασίας, οι λεγόμενες *ισόθερμες γραμμές*. Κάθε μια από αυτές μπορεί να σημειωθεί από την αντίστοιχη τιμή $A = A_0$ ή $A = A_1$ από τη τεταγμένη. Κάποιος μπορεί επομένως να εισαγάγει μια εμπειρική θερμοκρασία T , η οποία περιγράφεται από μια μοναδική λειτουργία των μετρήσιμων τιμών του A , για παράδειγμα, από την απλή γραμμική προσέγγιση

$$T = \text{const} \cdot A. \quad (2.1)$$

Όπως πιστοποιείται και από την παρελθούσα πείρα, η τιμή A εξαρτάται από τον τύπο και τη μάζα του αερίου σύμφωνα με το θερμόμετρο αερίου.

Επιλέγουμε την ιδιαίτερα απλή προσέγγιση σύμφωνα με το εξίσωση 2.1 για την κατασκευή της εμπειρικής κλίμακας θερμοκρασίας, ώστε μετά τον καθορισμό των σταθερών σε "const" να προσδιορίζονται όλες οι θερμοκρασίες. Για τον προσδιορισμό της θερμομετρικής κλίμακας με βάση την ανωτέρω προσέγγιση αρκεί, όπως ήδη ανέφερε ο Giaume, ¹ένα ενιαίο σημείο αναφοράς. Για παράδειγμα, μπορούμε να ορίσουμε μια συγκεκριμένη θερμοκρασία T_0 σε σημείο πήξης, στη συνέχεια να μετρήσουμε την αριθμητική τιμή A με το θερμόμετρο αερίου και στη συνέχεια να υπολογίσουμε τη σταθερά. Όλες οι άλλες θερμοκρασίες, όπως η θερμοκρασία βρασμού του νερού στο 1 bar, ορίζονται στη συνέχεια αριθμητικά, εφόσον έχει μετρηθεί η σταθερά A με το θερμόμετρο αερίου.

Στη 10η Γενική Διάσκεψη στο Παρίσι το 1954, ως σημείο αναφοράς για τα μέτρα και σταθμά συμφωνήθηκε το τριπλό σημείο² του νερού και ορίστηκε η θερμοκρασία του.

$$T_{tr} = 273,16 \text{ Kelvin}^3 (\text{σύντμηση } 273.16 \text{ K})$$

Η θερμοκρασία στο σημείο πήξης του νερού είναι περίπου 273,15 K.

Η εξίσωση 2.1 δεν είναι φυσικά η μόνη δυνατή προσέγγιση. Θα μπορούσε κανείς κάλλιστα να επιλέξει προσεγγίσεις της μορφής $T = Aa + b$ ή $T = aA^2 + bA + c$ ή οποιαδήποτε άλλη. Έχουν επίσης προταθεί λογαριθμικές θερμομετρικές κλίμακες. Από την εξίσωση 2.1 της καθορισμένης θερμομετρικής κλίμακας υπάρχει μέσω της σύνδεσης στο θερμόμετρο αερίου κάποια αυθαιρεσία. Ωστόσο, βλέπουμε στη συνέχεια, στην εισαγωγή για την έννοια της εντροπίας, ότι μια κλίμακα μπορεί να δώσει εκτιμήσεις ανεξάρτητα από τα τυχαία χαρακτηριστικά μιας ουσίας, η οποία συμπίπτει πλήρως με το θερμόμετρο αερίου. Αυτό χαρακτηρίζεται επίσης ως *θερμοδυναμική κλίμακα θερμοκρασίας* και οι θερμοκρασίες που αναγράφονται σε αυτήν ως θερμοδυναμικές ή απόλυτες θερμοκρασίες. Αν και δεν έχει ακόμη τεκμηριωθεί, ότι η τεχνητή κλίμακα θερμοκρασίας αντιστοιχεί -με τη βοήθεια του θερμόμετρου αερίου και της εξίσωσης 2.1- με τη θερμοδυναμική κλίμακα θερμοκρασίας, δεν θέλουμε να επωφεληθούμε από την απλότητα των ιδιαίτερων στοιχείων της εμπειρικής θερμοκρασίας. Ωστόσο ήδη συμβολίζεται με το γράμμα T , το οποίο έχει συμφωνηθεί ότι χρησιμοποιείται για τις θερμοδυναμικές θερμοκρασίες.

Εμβάθυνση

Ο προσδιορισμός της θερμοκρασίας στο τριπλό σημείο μέσω του τελικού αριθμού 273,16 αποτελεί ιστορικό φαινόμενο. Ο Σουηδός αστρονόμος Α. Κέλσιος (1701-1744) είχε ήδη

¹ Giaume, W. F.: "Nature" (Λονδίνο) 143 (1939) 623.

² Στο τριπλό σημείο και οι τρεις φάσεις του νερού, δηλ. ο ατμός, το υγρό και ο πάγος, βρίσκονται σε ισορροπία μεταξύ τους σε μια συγκεκριμένη πίεση του 0,006112 bar. Το Τριπλό Σημείο καθορίζεται από την ίδια την ουσία και δεν απαιτεί ειδική διαπίστωση.

³ Προς τιμή του Άγγλου μελετητή William Thomson, από το 1892 γνωστός ως Lord Kelvin (1824 έως 1907) και από το 1846 έως το 1899 καθηγητής στο Πανεπιστήμιο της Γλασκώβης. Από αυτόν προέρχονται οι βασικές θερμοδυναμικές και ηλεκτροδυναμικές έρευνες.

κατασκευάσει το 1742 μια εμπειρική κλίμακα θερμοκρασίας, χωρίζοντας το διάστημα μεταξύ του σημείου τήξης του πάγου και του σημείου βρασμού του νερού σε 1 atm (= 1,01325 bar) σε ένα υδραργυρικό θερμόμετρο σε 100 τμήματα ίσης απόστασης. Ένα διάστημα ονομάζεται ο 1 βαθμός Κελσίου (συνολτικά 1°C). Εφόσον, αργότερα, διατυπώθηκαν οι νόμοι του αερίου, διορθώθηκε η κλίμακα. Ωστόσο, θεωρήθηκε ότι η διαφορά θερμοκρασίας $T_1 - T_0$ μεταξύ του σημείου βρασμού και του σημείου τήξης του νερού σε 1 atm θα πρέπει να είναι 100 μονάδες (°C ή K):

$$T_1 - T_0 = 100K.$$

Το A_1 συμβολίζεται μόνο με T_1 και το A_0 μόνο με T_0 για τις απαιτούμενες τιμές του A , επομένως πρέπει λόγω της εξίσωσης 2.1 να πραγματοποιηθεί συγχρόνως το εξής:

$$\frac{T_1}{T_0} = \frac{A_1}{A_0}$$

Από τις δύο εξισώσεις προκύπτει το εξής:

$$T = \frac{100}{A_0 - 1} \cdot A_1$$

Μέσω των μετρήσεων του A_1 / A_0 προκύπτει η τιμή του T_0 :

$$T_0 = 273,15 \text{ K}.$$

Αυτή είναι η καλύτερη προσέγγιση της θερμοκρασίας σε σημείο πήξης.

Η θερμοκρασία $T_{tr} = 273,16 \text{ K}$ στο τριπλό σημείο του νερού είναι 0,01K υψηλότερη από τη θερμοκρασία $T_0 = 273,15 \text{ K}$ στο σημείο πήξης. Δεδομένου ότι σίγουρα μπορεί κανείς να αναπαράγει τη θερμοκρασία στο τριπλό σημείο σε αντίθεση με τη θερμοκρασία άλλων σημείων, συμφωνήθηκε ότι το τριπλό σημείο είναι το σημείο αναφοράς και η θερμοκρασία του στο νερό ορίστηκε στα 273,16 K.

Η κλίμακα, η οποία υπολογίζεται από το σημείο πήξης $T_0 = 273,15 \text{ K}$, είναι σήμερα γνωστή ως κλίμακα Κελσίου, και μετρά τη θερμοκρασία σε °C. Στην κλίμακα Κελσίου οι καθορισμένες θερμοκρασίες συμβολίζονται με t , σε αντίθεση με τις αναφερόμενες θερμοκρασίες της θερμοδυναμικής κλίμακας που δηλώνονται με T . επομένως ισχύει το εξής:

$$T = t + T_0 \quad (2.2)$$

Η απόλυτη θερμοκρασία του $T_0 = 273,15 \text{ K}$ αντιστοιχεί σε θερμοκρασία $t_0 = 0 \text{ °C}$ στην κλίμακα Κελσίου. Πρακτικά είναι η ίδια θερμοκρασία με το σημείο πήξης, εφόσον οι ακριβείς μέχρι στιγμής μετρήσεις της θερμοκρασίας T_0 στο σημείο πήξης ανέρχονται σε

$$T_0 = (273,15 \pm 0,0002) \text{ K},$$

ώστε σύμφωνα με την εξίσωση 2.2 του μηδενικού σημείου της κλίμακας Κελσίου αντιστοιχεί εκτός λάθους σε $\pm 0,0002 \text{ K}$ με τη θερμοκρασία στο σημείο πήξης. Επίσης, η θερμοκρασία στο σημείο βρασμού του νερού σε 1 atm (= 1.01325 bar) διαφέρει, σύμφωνα με τον νέο ορισμό της εξίσωσης 2.2 της κλίμακας Κελσίου σε ασήμαντο βαθμό κατά 100 °C. Σύμφωνα με τις τελευταίες μετρήσεις ισχύει το εξής:

$$T_1 = (373,1464 \pm 0,0036) \text{ K}$$

Από τεχνικής απόψεως φυσικά ισχύουν και στις δύο πλευρές της εξίσωσης 2.2 οι ίδιες μονάδες. Η μονάδα της θερμοκρασίας Κελσίου είναι ως εκ τούτου ακριβώς η ίδια με τη μονάδα της θερμοδυναμικής κλίμακας του Κέλβιν. Πάραυτα, επιτρέπεται και λόγω του άλλου μηδενικού σημείου να εισαχθεί σκόπιμα ο ειδικός χαρακτήρας °C για τις θερμοκρασίες

Κελσίου.

Στις αγγλοσαξονικές χώρες, στην κλίμακα Φαρενάιτ είναι επίσης κοινό το σημείο τήξης να είναι στους 32 °F και το σημείο βρασμού του νερού να έχει πίεση 1 atm (=1.01325 bar) στους 212 °F. Για τη μετατροπή μιας καθορισμένης θερμοκρασίας °F, δηλ. t_F , σε θερμοκρασία Κελσίου t ισχύει η εξής εξίσωση αριθμητικών τιμών

$$t = \frac{5}{9} (t_F - 32),$$

δηλ. t για °C ενώ t_F για °F. Τα διαστήματα θερμοκρασίας σε αυτή τη κλίμακα είναι κατά συντελεστή 5/9 μικρότερα από της θερμοδυναμικής κλίμακας. Η κλίμακα που μετριέται από το απόλυτο μηδέν σε βαθμούς Φαρενάιτ ονομάζεται κλίμακα Ράνκιν (R). Για αυτήν ισχύει η εξής εξίσωση αριθμητικών τιμών

$$T_R = \frac{9}{5} T,$$

T_R για R, T για K. Σε αυτή την εξίσωση το σημείο πήξης θεωρείται στα 491, 67 R και το σημείο βρασμού του νερού στα 671, 67 R.

Η διεθνής κλίμακα θερμοκρασίας

Δεδομένου ότι η ακριβής μέτρηση της θερμοκρασίας με τη βοήθεια του θερμόμετρου αερίου είναι μια πολύ δύσκολη και χρονοβόρα διαδικασία, θεσπίστηκε δια νόμου μια ακόμα πιο εύκολη κλίμακα θερμοκρασίας, η λεγόμενη *διεθνής κλίμακα θερμοκρασίας*. Η τελευταία της έκδοση το 1990, δόθηκε από το Διεθνές Γραφείο Μέτρων και Σταθμών⁴.

Η διεθνής κλίμακα θερμοκρασίας έχει επιλεγεί, ώστε μια θερμοκρασία να προσεγγίζει όσο το δυνατόν ακριβέστερα τη θερμοδυναμική θερμοκρασία. Οι αποκλίσεις εντοπίζονται εντός της μικρότερης αβεβαιότητας μέτρησης που μπορεί να επιτευχθεί σήμερα.

Οι αποκλίσεις μεταξύ των θερμοκρασιών στη διεθνή κλίμακα θερμοκρασίας του 1990 (ITS-90) και στην προηγούμενη συμφωνηθείσα διεθνή πρακτική κλίμακα θερμοκρασίας του 1948 (IPTS-48) είναι σύμφωνα με τα βαθμονομημένα θερμόμετρα μικρότερες από το οριακό σφάλμα βαθμονόμησης.

Η διεθνής κλίμακα θερμοκρασίας καθορίζεται μέσω μιας σειράς σημείων τήξης και βρασμού ορισμένων ουσιών, η οποία προσδιορίζεται όσο το δυνατόν ακριβέστερα με τη βοήθεια της κλίμακας του θερμόμετρου αερίου σε επιστημονικά ινστιτούτα από διάφορες χώρες. Ανάμεσα σε αυτά τα σταθερά σημεία παρεμβάλλονται με το θερμόμετρο ηλεκτρικής αντίστασης τα θερμοστοιχεία και τα ακτινόμετρα, δεδομένου ότι δόθηκαν ορισμένοι κανόνες για την σχέση μεταξύ των άμεσων μετρούμενων μεγεθών και της θερμοκρασίας.

Οι κυριότερες, ταυτόσημες για όλα τα κράτη, διατάξεις για τη διεθνή θερμομετρική κλίμακα είναι οι εξής:

1. Στη διεθνή κλίμακα θερμοκρασίας του 1948, δηλώνονται οι θερμοκρασίες με «°C» ή «°C (Int. 1948)» και παριστάνονται με το σύμβολο t .
2. Η κλίμακα βασίζεται αφενός σε έναν αριθμό σταθερών και ανανεώσιμων πάντα θερμοκρασιών ισορροπίας (σημεία αναφοράς), τα οποία θα κατατάσσονται σε συγκεκριμένες αριθμητικές τιμές, αφετέρου σε ακριβείς καθορισμένους τύπους, που συνδέουν τη σχέση μεταξύ της θερμοκρασίας και των ενδείξεων των οργάνων μέτρησης, οι οποίες βαθμονομούνται στα σημεία αναφοράς.
3. Τα σημεία αναφοράς και οι καθορισμένες αριθμητικές τιμές παρουσιάζονται στο

⁴ Η γερμανική έκδοση δημοσιεύθηκε (στην εξειδικευμένη γερμανική online εφημερίδα): Physikalisch-Techn. Bundesanstalt-Mitteilungen 99 (1989) 411–418.

Σχήμα 2.1. Με εξαίρεση τα τριπλά σημεία, οι καθορισμένες θερμοκρασίες ισορροπίας αντιστοιχούν στην πίεση της φυσικής κανονικής ατμόσφαιρας, δηλαδή εξ ορισμού σε 101.325 kPa (= 1 atm).

4. Παρεμβάλλονται μεταξύ των θερμοκρασιών του σημείου αναφοράς με τη βοήθεια των τύπων, οι οποίοι ορίζονται ενδεχομένως από διεθνείς συμφωνίες. Έτσι οι ενδείξεις του λεγόμενου πρότυπου οργάνου, με το οποίο μετρώνται οι θερμοκρασίες, ταξινομούνται με βάση τις αριθμητικές τιμές της διεθνούς θερμοκρασίας. Μια συλλογή των διαφόρων τύπων παρεμβολής και των προερχόμενων από σταθερές τύπων βρίσκονται στο έντυπο υλικό⁵.

Πίνακας 2.1 Σημεία Αναφοράς της διεθνούς κλίμακας θερμοκρασίας του 1990 (ITS-90)

Κατάσταση Ισορροπίας	Οι καθορισμένες τιμές της Διεθνούς Πρακτικής Θερμοκρασίας	
	T ₉₀ σε K	t ₉₀ σε °C
Τάση ατμού του Ηλίου	3 έως 5	-270,15 έως -268,15
Τριπλό σημείο ισορροπίας του Υδρογόνου	13,8033	-259,3467
Τάση ατμών της ισορροπίας του Υδρογόνου	≈ 17	≈ -256,15
	≈ 20,3	≈ -252,85
Τριπλό σημείο του Νέου	24,5561	-248,6939
Τριπλό σημείο του Οξυγόνου	54,3584	-218,7916
Τριπλό σημείο του Αργό	83,8058	-189,3442
Τριπλό σημείο του Υδραργύρου	234,3156	-38,8344
Τριπλό σημείο του Νερού	273,16	0,01
Σημείο τήξης του Γαλλίου	302,9146	29,7646
Σημείο στερεοποίησης του Ινδίου	429,7485	156,5985
Σημείο στερεοποίησης του Κασσιτέρου	505,078	231,928
Σημείο στερεοποίησης του Ψευδαργύρου	692,677	419,527
Σημείο στερεοποίησης του Αλουμινίου	933,473	660,323
Σημείο στερεοποίησης του Αργύρου	1234,93	961,78
Σημείο στερεοποίησης του Χρυσού	1337,33	1064,18
Σημείο στερεοποίησης του Χαλκού	1357,77	1084,62

Πίνακας 2.2 Εκτιμώμενη αβεβαιότητα θερμοκρασίας στα σημεία αναφοράς

Καθοριστικό Σημείο Αναφοράς	Καθορισμένη Τιμή	Εκτιμώμενη Αβεβαιότητα σε mK
Τριπλό σημείο ισορροπίας του Υδρογόνου	13,8033 K	0,3
Τριπλό σημείο του Νέου	24,5561 K	0,4
Τριπλό σημείο του Οξυγόνου	54,3584 K	0,2
Τριπλό σημείο του Νερού	273,16 K	Ακριβώς εξ' ορισμού
Σημείο στερεοποίησης του Κασσιτέρου	505,078 K	0,2
Σημείο στερεοποίησης του Ψευδαργύρου	692,677 K	2,0

⁵ Βλ. υποσημείωση 4

Σημείο στερεοποίησης του Αργύρου	1234,93 K	10,0
Σημείο στερεοποίησης του Χρυσού	1337,33 K	10,0

Λόγω της περιορισμένης ακρίβειας μετρήσεως, οι πιθανές αποκλίσεις στη διεθνή κλίμακα θερμοκρασίας από τη θερμοδυναμική θερμοκρασία παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.2.

Σε θερμοκρασίες γύρω στους 2000 °C, τα πιθανά σφάλματα είναι της διάστασης των 2 K. Ως εκ τούτου, είναι άσκοπο να καθοριστούν, για παράδειγμα οι μετρήσεις θερμοκρασίας πάνω από 1500 °C στα δέκατα του ενός βαθμού.

Πίνακας 2.3 Ορισμένα Θερμομετρικά Σταθερά Σημεία. E.: Θερμοκρασία Πήξης και Sd.: Σημείο Βρασμού υπό πίεση 101,325 Pka, Tr.: Τριπλό Σημείο

		°C
Πρότυπο Υδρογόνο	Tr.	-259,198
Πρότυπο Υδρογόνο	Sd.	-252,762
Άζωτο	Sd.	-195,798
Διοξείδιο του Άνθρακα	Tr.	-56,559
Βρωμοβενζόλιο	Tr.	-30,726
Νερό (κεκορεσμένο)	E.	0
Βενζοϊκό Οξύ	Tr.	122,34
Ινδίο	Tr.	156,593
Βισμούθιο	E.	271,346
Κάδμιο	E.	320,995
Μόλυβδος	E.	327,387
Υδράργυρος	Sd.	356,619
Θείο	Sd.	444,613
Αντιμόνιο	E.	630,63
Παλλάδιο	E.	1555
Πλατίνα	E.	1768
Ρόδιο	E.	1962
Ιρίδιο	E.	2446
Βολφράμιο	E.	3418

Προς διευκόλυνση των μετρήσεων θερμοκρασίας έχει συνδεθεί μια σειρά θερμομετρικών σταθερών σημείων από απλά και επαρκώς καθαρά κατασκευάσιμα υλικά, όσο το δυνατόν πιο κοντά στην επίσημη θερμομετρική κλίμακα. Τα πιο σημαντικά παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.3.

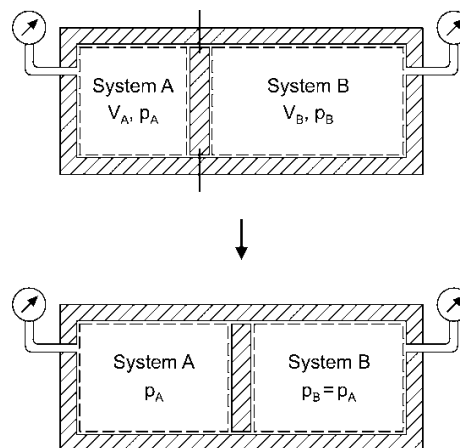
2.1 Das thermodynamische Gleichgewicht

Bringt man ein System mit seiner Umgebung oder verschiedene Systeme miteinander in Kontakt, so finden im allgemeinen Zustandsänderungen statt, weil einige oder mehrere der unabhängigen Variablen ihre Werte ändern. Man kann sich diesen Vorgang an einem einfachen Beispiel klarmachen. Ein System möge aus einem geschlossenen Zylinder bestehen, in dem sich ein beweglicher Kolben befindet, der zwei Teilsysteme A und B trennt. Beide Teilsysteme sind mit Gas gefüllt. Der Kolben wird zunächst durch Stifte festgehalten, ist also arretiert, Abb. 2.1. Der Druck p_A im Teilsystem A sei höher als der Druck p_B im Teilsystem B. Entfernt man nun die Arretierung, die als „Hemmung“ aufgefasst werden kann, verschiebt sich der Kolben nach rechts. Das Volumen V_A nimmt dabei zu, das Volumen V_B nimmt ab und zwar so, dass gilt: $\Delta V_A = -\Delta V_B$.

Das Teilsystem A gibt Energie ab, welche vom Teilsystem B aufgenommen wird. Die Energieab- und -aufnahme hat eine Änderung der Variablen Volumen und Druck zur Folge. Der Druck p_A im Teilsystem A nimmt ab, der Druck p_B im Teilsystem B nimmt zu. Dieser Vorgang ist charakteristisch für den Kontakt zwischen verschiedenen Systemen: Es kann hierbei ein Austausch zwischen bestimmten Variablen erfolgen, aber nicht alle Variablen müssen ihre Werte ändern. So bleibt beispielsweise die Zahl der Gasmoleküle in beiden Teilsystemen während des obigen Austauschprozesses konstant. Es werden aber eine oder mehrere Größen zwischen den Systemen dadurch ausgetauscht – in dem erwähnten Beispiel die Energie –, dass sich bestimmte Variablen ändern. Anschaulich ausgedrückt: *Energie „fließt“ über die Variable Volumen V von einem System in das andere. Man spricht von einem Austauschprozess und der Austauschvariable Volumen.*

Ein solcher Prozess kann offenbar stets dann ablaufen, wenn man verschiedene Systeme miteinander in Kontakt bringt und eventuell vorhandene *Hemmungen*, beispielsweise eine Arretierung des Kolbens, beseitigt.

Abb. 2.1 Ausgleichsvorgang und mechanisches Gleichgewicht



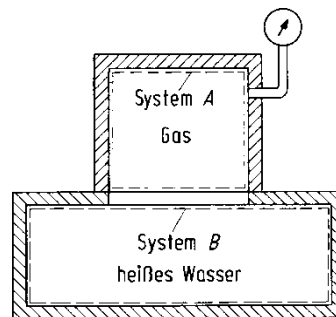
Man beobachtet nun, dass die unabhängigen Variablen, in unserem Beispiel die Werte V , nach einer hinreichend langen Zeit bestimmte feste Werte erreichen, die zeitunabhängig sind. In diesem Zustand ist der vom Gas in beiden Teilsystemen ausgeübte Druck gleich groß, d. h. es gilt dann $p_A = p_B$. Man sagt dann, das System befindet sich im Gleichgewichtszustand.

- **Merksatz** Der Gleichgewichtszustand ist somit der Endzustand eines Austauschprozesses zwischen zwei oder mehreren Systemen bzw. zwischen einem System und seiner Umgebung.

Wie das Beispiel lehrt, ist der Gleichgewichtszustand eines Systems jeweils davon abhängig, mit welchen anderen Systemen Kontakt besteht. Der sich einstellende Gleichgewichtszustand ist dann durch die Bedingungen definiert, unter denen sich der Austausch einer oder mehrerer Variablen vollzieht.

Ein System befindet sich somit im Gleichgewicht, wenn sich seine Zustandsgrößen nicht mehr ändern, nachdem es von den Einwirkungen der Umgebung oder anderer Teilsysteme isoliert wurde. Es ist allerdings möglich, dass nur eine Teilmenge der Zustandsgrößen eines Systems Werte annimmt, die einem thermodynamischen Gleichgewichtszustand entsprechen, während sich andere Zustandsvariablen durch systembedingte Hemmungen nicht ändern können. Beispielsweise kann ein Gemisch aus Wasserstoff und Sauerstoff einen partiellen Gleichgewichtszustand bezogen auf die Zustandsvariablen Druck und Temperatur annehmen, ohne chemisch zu reagieren. Erst nach Beseitigung der kinetischen Hemmung der Reaktion durch einen Katalysator kann das System seinen vollständigen thermodynamischen Gleichgewichtszustand einnehmen, d. h. zu Wasser reagieren. Der Begriff des Gleichgewichts lässt sich somit wie folgt verallgemeinern:

Abb. 2.2 Kontakt zwischen zwei Systemen



- **Merksatz** Ein System befindet sich im Gleichgewicht, wenn sich eine Teilmenge von Zustandsgrößen nach Isolierung des Systems von seiner Umgebung und nach Beseitigung der auf diese Zustandsgrößen bezogenen Hemmungen nicht mehr ändert.

Bei dem in Abb. 2.1 dargestellten System handelt es sich um ein mechanisches Gleichgewicht, dem ein mechanischer Ausgleichsvorgang vorausgegangen ist. Die *Triebkraft* für diesen Ausgleichsvorgang ist ein Unterschied der intensiven Zustandsgröße p . Es existiert zu Beginn des Ausgleichsvorgangs eine Druckdifferenz $\Delta p = p_A - p_B$. Am Ende des Ausgleichsvorgangs, also im Gleichgewicht, ist diese Triebkraft verschwunden, d.h. es gilt: $\Delta p = 0$

Als weiteres Beispiel für einen Austauschprozess werde ein System A betrachtet, das aus einem Behälter konstanten Volumens besteht. In diesem befindet sich ein Gas bei Raumtemperatur, dessen Druck man mit einem Manometer messen kann. Das Gas wird nun mit einem anderen System B in Kontakt gebracht, beispielsweise mit einem großen Behälter, der heißes Wasser enthält. Die beiden miteinander in Kontakt gebrachten Systeme bilden ein Gesamtsystem, Abb. 2.2.

Dieses soll durch eine so dicke Wand von der Umgebung getrennt sein, dass keine Austauschprozesse mit der Umgebung ablaufen können. Die Trennwand zwischen den beiden Systemen sei nun so beschaffen, dass sie lediglich jeden Stoffaustausch und auch jede mechanische, magnetische oder elektrische Wechselwirkung zwischen den Systemen A und B verhindert. Wie sich später zeigen wird, ist eine solche Wand wärmeleitend. Man nennt sie *diatherm*. Trotz Trennung der beiden Systeme A und B durch die diatherme Wand beobachtet man nach dem Zusammenbringen der Systeme eine Zustandsänderung: Das Manometer zeigt einen Druckanstieg an, es muss also die Energie des Systems A zugenommen haben. Das ist nur möglich, wenn Energie von System B in das

System A geflossen ist. Zwischen beiden Systemen muss daher ein, wenn auch nicht sichtbarer, Mechanismus wirksam sein, der einen Energieaustausch ermöglicht. Dieser Mechanismus wird uns im Zusammenhang mit dem zweiten Hauptsatz der Thermodynamik noch ausführlich beschäftigen. Vorerst halten wir nur fest, dass wie im vorigen Beispiel eine Koordinate, die in beiden Systemen vorkommt – im vorigen Beispiel die Koordinate V –, ihren Wert geändert haben muss. Wir folgern daher, dass hier noch eine – im Gegensatz zum vorigen Beispiel nicht sichtbare – Austauschvariable vorhanden ist, durch deren Veränderung zwischen den Systemen Energie ausgetauscht werden kann.

Hinreichend lange Zeit, nachdem man beide Systeme in Kontakt zueinander gebracht hat, stellt sich erfahrungsgemäß ein Endzustand ein, der sich zeitlich nicht ändert und den wir im vorliegenden Fall *thermisches Gleichgewicht* nennen.

Der Begriff *thermodynamisches Gleichgewicht* ist der Überbegriff zu den Spezialfällen mechanisches und thermisches Gleichgewicht.

Der nullte Hauptsatz und die empirische Temperatur

Wir hatten gesehen, dass sich zwischen Systemen, die über eine diatherme Wand miteinander in Kontakt stehen, ein *thermisches Gleichgewicht* einstellt. Diese Tatsache nutzen wir nun aus, um eine neue Zustandsgröße, nämlich die empirische Temperatur, über eine Messvorschrift zu definieren, die uns eine Nachprüfung gestattet, ob zwischen verschiedenen Systemen thermisches Gleichgewicht herrscht oder nicht. Zu diesem Zweck ziehen wir einen Erfahrungssatz über das thermische Gleichgewicht zwischen drei Systemen A , B und C heran. Es möge thermisches Gleichgewicht zwischen den Systemen A , C und den Systemen B , C herrschen. Dann befinden sich, wie die Erfahrung lehrt, auch die Systeme A und B , wenn man sie über eine diatherme Wand in Kontakt bringt, miteinander im thermischen Gleichgewicht.

Diese Erfahrungstatsache bezeichnet man nach R.H. Fowler auch als den „*nullten Hauptsatz der Thermodynamik*“ (die Bezeichnungen erster, zweiter und dritter Hauptsatz waren schon vergeben).

Es gilt also:

► **Merksatz** Zwei Systeme im thermischen Gleichgewicht mit einem dritten System befinden sich auch untereinander im thermischen Gleichgewicht.

Um festzustellen, ob sich zwei Systeme A und B im thermischen Gleichgewicht befinden, kann man sie demnach nacheinander in thermischen Kontakt mit einem System C bringen. Die Masse des Systems C muss man zu diesem Zweck sehr klein im Vergleich zu denjenigen der Systeme A und B wählen, damit die Zustandsänderungen der Systeme A und B vernachlässigbar klein sind während der Einstellung des thermischen Gleichgewichts. Bringt man zuerst das System C in Kontakt mit dem System A , so werden sich eine oder mehrere Zustandsvariablen des Systems C ändern, beispielsweise das Volumen bei konstantem Druck oder der elektrische Widerstand. Nach Einstellung des Gleichgewichts haben diese Zustandsvariablen neue feste Werte angenommen. Bringt man anschließend das System C in Kontakt mit dem System B , so bleiben diese Werte unverändert, wenn zwischen System A und B zuvor thermisches Gleichgewicht herrschte, sie ändern sich, wenn sich die beiden Systeme A und B nicht im thermischen Gleichgewicht befanden.

Man kann somit bestimmte Eigenschaften des Systems C ausnutzen, um festzustellen, ob zwischen zwei anderen Systemen thermisches Gleichgewicht herrscht oder nicht.

Das System C dient also als Messgerät, und man kann selbstverständlich den festen Werten, die man nach Einstellung des Gleichgewichts misst, willkürlich bestimmte Zahlen zuordnen. Auf diese Weise erhält man eine empirische Temperaturskala. Das Messgerät selbst nennt man *Thermometer*, die auf ihm angebrachten Zahlen sind die empirischen Temperaturen. Es ist allerdings zunächst nur ein provisorisches Thermometer, da man mit ihm nur nachprüfen kann, ob zwischen verschiedenen Systemen thermisches Gleichgewicht herrscht, wenn man sie in Kontakt brächte. Thermisches

Gleichgewicht ist dann vorhanden, wenn die Temperaturen der beiden Systeme übereinstimmen, d.h., wenn man auf der Temperaturskala des Thermometers stets denselben Zahlenwert abliest, nachdem man es mit den Systemen A und B in Kontakt gebracht hat.

► **Merksatz** Eine Differenz der intensiven Variablen Temperatur zwischen zwei Systemen ist somit die Triebkraft für einen thermischen Ausgleichsvorgang. Im thermischen Gleichgewicht wird die Triebkraft zu Null, d. h. die Temperaturen in beiden Teilsystemen sind gleich.

Um eine empirische Temperaturskala konstruieren zu können, wählt man ein Gasthermometer (als System C in obigem Beispiel). Dieses besteht aus einer gegebenen Menge eines Gases, die in einem Behälter eingeschlossen ist. An dem Behälter ist ein Manometer angebracht, sodass man den Druck des eingeschlossenen Gases messen kann. Voraussetzungsgemäß sollen die Gas- und die Behältermasse klein sein im Vergleich zur Masse der Systeme, mit denen thermisches Gleichgewicht herzustellen ist. Man bringt nun das Gasthermometer in thermisches Gleichgewicht mit einem Messobjekt, beispielsweise mit einem Gemisch aus Eis und Wasser, das unter einem Druck von 1 bar steht, und misst das Produkt aus Gasdruck p und Gasvolumen V für jeweils verschiedene Gasdrücke, die man am Manometer abliest. Die Messwerte pV trägt man über dem Druck p in ein Diagramm ein, Abb. 2.3.

Das Gasthermometer soll sich bei jedem der verschiedenen Gasdrücke im thermischen Gleichgewicht mit dem Gemisch aus Eis und Wasser befinden. Man bezeichnet jeden dieser Gleichgewichtszustände als "Gleichgewicht am Eispunkt". Extrapoliert man zum Größe A_0 ist, $p = 0$, so findet man, dass den Grenzwert pV für $p \rightarrow 0$ eine endliche positive Größe A_0 ist Abb. 2.3.

Bringt man anschließend das Gasthermometer mit siedendem Wasser, das unter einem bestimmten Druck, beispielsweise von 1 bar, steht, in thermisches Gleichgewicht, so erhält man bei Extrapolation auf den Druck $p \rightarrow 0$ eine andere Konstante A_1 . Da sich während der Messungen die Gleichgewichte zwischen Wasser und Eis von 1 bar und zwischen Wasser und dem darüber befindlichen Wasserdampf von 1 bar wegen der Kleinheit des Gasthermometers nicht ändern, können wir sagen, dass Wasser und Eis sowie Wasser und Wasserdampf beim Druck von 1 bar bestimmte feste Temperaturen besitzen, die unabhängig vom Druck p des Gasthermometers sind. Die in Abb. 2.3 eingezeichneten Kurven sind

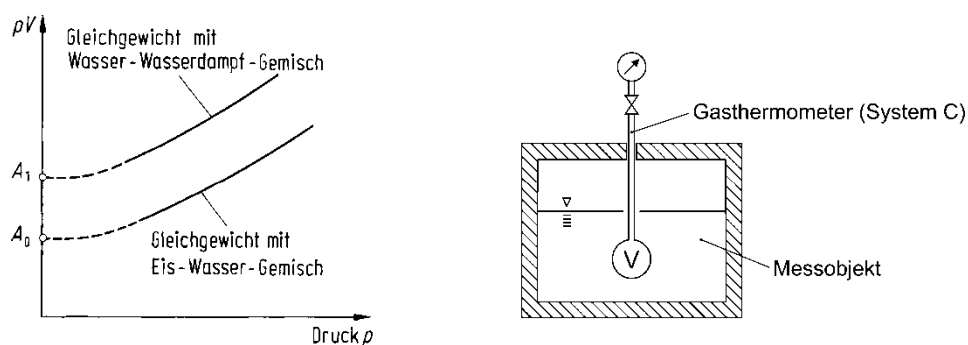


Abb. 2.3 Gasthermometer

Daher Linien konstanter Temperatur sogenannte Isothermen. Jeder von ihnen kann man durch den jeweiligen Wert $A = A_0$ oder $A = A_1$ auf der Ordinate kennzeichnen. Man kann somit eine empirische Temperatur T einführen, die durch eine eindeutige Funktion der gemessenen Werte A beschrieben wird, beispielsweise durch den einfachen linearen Ansatz

$$T = \text{const} \cdot A. \quad (2.1)$$

Wie die Erfahrung zeigt, sind die Werte A von der Art und der Masse des Gases im Gasthermometer abhängig.

Wählt man den besonders einfachen Ansatz nach Gl. 2.1 zur Konstruktion der empirischen Temperaturskala, so sind nach Festlegung der Konstanten „const“ alle Temperaturen bestimmt. Zur Festlegung der Temperaturskala aufgrund des obigen Ansatzes genügt also, wie schon Giauque¹ darlegte, ein einziger Fixpunkt. So könnte man beispielsweise dem Eispunkt eine bestimmte Temperatur T_0 zuordnen, dann den Zahlenwert A mit dem Gasthermometer messen und anschließend die Konstante berechnen. Alle übrigen Temperaturen, beispielsweise die Siedetemperatur des Wassers bei 1 bar, sind dann zahlenmäßig angebbare, nachdem man die Konstante A mit dem Gasthermometer gemessen hat.

Als Fixpunkt hat die 10. Generalkonferenz für Maße und Gewichte in Paris im Jahre 1954 den Tripelpunkt² des Wassers vereinbart und ihm die Temperatur

$$T_{\text{tr}} = \text{Kelvin}^3 \text{ (abgekürzt 273,16 K)}$$

Die Temperatur am Eispunkt des Wassers beträgt annähernd 273,15 K.

Gleichung 2.1 ist natürlich nicht der einzige mögliche Ansatz. Man könnte ebenso gut Ansätze der Form $T = Aa + b$ oder $T = aA^2 + bA + c$ oder beliebige andere wählen. Auch logarithmische Temperaturskalen sind verschiedentlich vorgeschlagen worden. Der durch Gl. 2.1 definierten Temperaturskala haftet durch den Anschluss an das Gasthermometer noch eine gewisse Willkür an. Wir werden aber später im Zusammenhang mit der Einführung des Entropiebegriffs zeigen, dass man unabhängig von zufälligen Eigenschaften eines Stoffes eine Skala ableiten kann, die mit der des Gasthermometers vollkommen übereinstimmt. Man bezeichnet diese auch als *thermodynamische Temperaturskala* und die Temperaturen in ihr als thermodynamische oder absolute Temperaturen. Obwohl noch zu beweisen sein wird, dass die mit Hilfe des Gasthermometers und Gl. 2.1 konstruierte Temperaturskala mit der thermodynamischen übereinstimmt, wollen wir der Einfachheit halber kein besonderes Zeichen für die empirische Temperatur benutzen, sondern diese schon jetzt mit dem Buchstaben T bezeichnen, den man für thermodynamische Temperaturen vereinbart hat.

Vertiefung

Die Festlegung der Temperatur am Tripelpunkt durch die gebrochene Zahl 273,16 ist historisch bedingt. Der schwedische Astronom A. Celsius (1701–1744) hatte 1742 bereits eine empirische Temperaturskala dadurch konstruiert, dass er das Intervall zwischen dem Schmelzpunkt des Eises und dem Siedepunkt des Wassers bei 1 atm (= 1,01325 bar) auf einem Quecksilberthermometer in 100 äquidistante Abschnitte einteilte. Einen Intervallschritt nannte man 1 Grad Celsius (abgekürzt 1°C). Nachdem später die Gasgesetze formuliert waren, wurde diese Skala korrigiert. Man übernahm jedoch die Forderung, dass die Temperaturdifferenz $T_1 - T_0$ zwischen dem Siedepunkt und dem Schmelzpunkt des Wassers bei 1 atm 100 Einheiten (°C oder K) betragen sollte:

$$T_1 - T_0 = 100\text{K}.$$

Bezeichnet man nun mit A_1 den zu T_1 und mit A_0 den zu T_0 gehörigen Wert von A , so muss wegen Gl. 2.1 gleichzeitig die Bedingung:

¹ Giauque, W.F.: Nature (London) 143 (1939) 623

² Am Tripelpunkt stehen alle drei Phasen des Wassers, nämlich Dampf, flüssiges Wasser und Eis, miteinander im Gleichgewicht bei einem definierten Druck von 0,006112 bar. Der Tripelpunkt ist durch den Stoff selbst bestimmt und bedarf keiner besonderen Festsetzung.

³ Zu Ehren des englischen Gelehrten Whilliam Thomson, seit 1892 Lord Kelvin (1824 bis 1907) von 1846 bis 1899 Professor an der Universität Glasgow. Von ihm stammen grundlegende thermodynamische und elektrodynamische Untersuchungen. Er war maßgeblich an den Planungsarbeiten zur Verlegung des ersten transatlantischen Kabels (1856-1865) beteiligt.

$$\frac{T_1}{T_0} = \frac{A_1}{A_0}$$

Erfüllt sein. Aus beiden Gleichungen folgt:

$$T = \frac{100}{\frac{A_1}{A_0 - 1}}.$$

Durch Messungen von A_1 / A_0 und man als Wert für T_0 :

$$T_0 = 273,15 \text{ K.}$$

Dies ist in guter Näherung die Temperatur des Eispunktes.

Die Temperatur $T_{tr} = 273,16 \text{ K}$ am Tripelpunkt des Wassers liegt $0,01 \text{ K}$ höher als die Temperatur $T_0 = 273,15 \text{ K}$ am Eispunkt. Da man die Temperatur am Tripelpunkt sicherer reproduzieren kann als die Temperatur anderer Punkte, hat man den Tripelpunkt als Fixpunkt vereinbart und die Temperatur des Tripelpunktes von Wasser zu $273,16 \text{ K}$ festgesetzt.

Die vom Eispunkt $T_0 = 273,15 \text{ K}$ gezählte Skala bezeichnet man heute als Celsius-Skala, die Temperaturen werden in $^{\circ}\text{C}$ gemessen. In der Celsius-Skala angegebene Temperaturen pflegt man mit t im Unterschied zu den mit T bezeichneten Temperaturen der thermodynamischen Skala anzugeben; Es gilt also:

$$T = t + T_0 \quad (2.2)$$

Der absoluten Temperatur von $T_0 = 273,15 \text{ K}$ entspricht in der Celsius-Skala eine Temperatur von $t_0 = 0^{\circ}\text{C}$. Diese ist praktisch gleich der Temperatur des Eispunktes, da nach den genauesten zur Zeit bekannten Messungen die Temperatur T_0 am Eispunkt

$$T_0 = (273,15 \pm 0,0002) \text{ K,}$$

beträgt, sodass nach Gl. 2.2 der Nullpunkt der Celsius-Skala bis auf einen Fehler von $\pm 0,0002 \text{ K}$ mit der Temperatur des Eispunktes übereinstimmt. Auch die Temperatur an Siedepunkt des Wassers bei 1 atm ($\approx 1,01325 \text{ bar}$) ist nach der neuen Definition Gl. 2.2 der Celsius-Skala nur unerheblich von 100°C verschieden. Sie beträgt nach neuesten Messungen:

$$T_1 = (373,1464 \pm 0,0036) \text{ K}$$

Streng genommen stehen natürlich auf beiden Seiten von Gl. 2.2 die gleichen Einheiten. Die Einheit der Celsius-Temperatur ist also genau wie die Einheit der thermodynamischen Skala Kelvin. Dennoch ist es erlaubt und wegen des anderen Nullpunktes auch zweckmäßig, für die Celsius-Temperaturen das besondere Zeichen C einzuführen.

In den angelsächsischen Ländern ist noch die Fahrenheit Skala üblich mit dem Eispunkt bei 32°F und dem Siedepunkt von Wasser beim Druck von 1 atm ($\approx 1,01325 \text{ bar}$) bei 212°F . Für die Umrechnung einer in $^{\circ}\text{F}$ angegebenen Temperatur t_F in die Celsius Temperatur t gilt die Zahlenwertgleichung

$$T = \frac{5}{9} (t_F - 32),$$

t in $^{\circ}\text{C}$, t_F in $^{\circ}\text{F}$. Die Temperaturintervalle in dieser Skala sind also um den Faktor $5/9$ kleiner als in der thermodynamischen Skala. Die vom absoluten Nullpunkt in Grad Fahrenheit gezählte Skala bezeichnet man als Rankine Skala (R). Für sie gilt die Zahlenwertgleichung

$$T_R = \frac{9}{5} T,$$

T_R in R, T in K. In ihr liegt der Eispunkt bei 491,67 R und der Siedepunkt des Wassers bei 671,67 R.

2.3 Die internationale Temperaturskala

Da die genaue Messung von Temperaturen mit Hilfe des Gasthermometers eine sehr schwierige und zeitraubende Aufgabe ist, hat man noch eine leichter darstellbare Skala, die *Internationale Temperaturskala*, durch Gesetz eingeführt. Diese wurde in ihrer letzten Fassung 1990 vom Internationalen Komitee für Maß und Gewicht gegeben⁴. Die Internationale Temperaturskala ist so gewählt worden, dass eine Temperatur in ihr möglichst genau die thermodynamische Temperatur annähert. Die Abweichungen liegen innerhalb der heute erreichbaren kleinsten Messunsicherheit.

Die Abweichungen zwischen den Temperaturen in der Internationalen Temperaturskala von 1990 (ITS-90) und der früher vereinbarten Internationalen Praktischen Temperaturskala von 1948 (IPTS-48) sind bei geeichten Thermometern kleiner als die Eichfehlergrenzen.

Die Internationale Temperaturskala ist festgelegt durch eine Anzahl von Schmelz- und Siedepunkten bestimmter Stoffe, die so genau wie möglich mit Hilfe der Skala des Gasthermometers in den wissenschaftlichen Staatsinstituten der verschiedenen Länder bestimmt wurden. Zwischen diesen Fixpunkten wird durch Widerstandsthermometer, Thermoelemente und Strahlungsmessgeräte interpoliert, wobei bestimmte Vorschriften für die Beziehung zwischen den unmittelbar gemessenen Größen und der Temperatur gegeben werden.

Die wesentlichen, in allen Staaten gleichen Bestimmungen über die internationale Temperaturskala lauten:

1. In der Internationale Temperaturskala von 1948 werden die Temperaturskala von 1948 werden die Temperaturen mit „°C“ oder „°C“ (Int. 1948) bezeichnet und durch das Formelzeichen t dargestellt.
2. Die Skala beruht einerseits auf einer Anzahl fester und stets wiederherstellbarer Gleichgewichtstemperaturen Fixpunkte, denen bestimmte Zahlenwerte zugeordnet werden, andererseits auf genau festgelegten Formeln, welche die Beziehung zwischen der Temperatur und den Anzeigen von Messinstrumenten, die bei diesen Fixpunkten kalibriert werden, herstellen.
3. Die Fixpunkte und die ihnen zugeordneten Zahlenwerte sind in der Tab. 2.1 zusammengestellt. Mit Ausnahme der Tripelpunkte entsprechen die zugeordneten Temperaturen Gleichgewichtszuständen bei dem Druck der physikalischen Normalatmosphäre, d. h. per definitionem bei 101,325 kPa (= 1 atm).
4. Zwischen den Fixpunkttemperaturen wird mit Hilfe von Formeln interpoliert, die ebenfalls durch internationale Vereinbarungen festgelegt sind. Dadurch werden Anzeigen der sogenannten Normalgeräte, mit denen die Temperaturen zu messen sind, Zahlenwerte der Internationalen Temperatur zugeordnet. Eine Zusammenstellung der verschiedenen Interpolationsformeln und der in diesen vorkommenden Konstanten findet man in der Literatur⁵.

Tabelle 2.1 Fixpunkte der Internationalen Temperaturskala von 1990 (ITS-90)

Gleichgewichtszustand	Zugeordnete Werte der Internationalen Praktischen Temperatur	
	T_{90} in K	$t_{90} \pm \sigma$ °C
Dampfdruck des Heliums	3 bis 5	-270,15 bis -268,15
Tripelpunkt des Gleichgewichtswasserstoffs	13,8033	-259,3467
Dampfdruck des Gleichgewichtswasserstoffs	≈ 17	$\approx -256,15$

⁴ Deutsche Fassung veröffentlicht in: Physikalisch-Techn. Bundesanstalt-Mitteilungen 99 (1989) 411 - 418

⁵ Siehe Fußnote 4

	≈ 20,3	≈ -252,85
Tripelpunkt des Neons	24,5561	-248,6939
Tripelpunkt des Sauerstoffs	54,3584	-218,7916
Tripelpunkt des Argons	83,8058	-189,3442
Tripelpunkt des Quecksilbers	234,3156	-38,8344
Tripelpunkt des Wassers	273,16	0,01
Schmelzpunkt des Galliums	302,9146	29,7646
Erstarrungspunkt des Indiums	429,7485	156,5985
Erstarrungspunkt des Zinns	505,078	231,928
Erstarrungspunkt des Zinks	692,677	419,527
Erstarrungspunkt des Aluminiums	933,473	660,323
Erstarrungspunkt des Silbers	1234,93	961,78
Erstarrungspunkt des Goldes	1337,33	1064,18
Erstarrungspunkt des Kupfers	1357,77	1084,62

Tabelle 2.2 Geschätzte Unsicherheit der Temperaturen in den Fixpunkten

Definierender Fixpunkt	Zugeordneter Wert	Geschätzte Unsicherheit in mK
Tripelpunkt des Gleichgewichtswasserstoffs	13,8033 K	0,3
Tripelpunkt des Neons	24,5561 K	0,4
Tripelpunkt des Sauerstoffs	54,3584 K	0,2
Tripelpunkt des Wassers	273,16 K	genau durch Definition
Erstarrungspunkt des Zinns	505,078 K	0,2
Erstarrungspunkt des Zinks	692,677 K	2,0

Die in Anbetracht der beschränkten Messgenauigkeit möglichen Abweichungen der Internationalen Temperaturskala von der thermodynamischen Temperatur sind in Tab. 2.2 angegeben.

Bei Temperaturen um 2000 °C sind die möglichen Fehler von der Größenordnung 2 K. Es ist daher sinnlos, z.B. bei Temperaturmessungen oberhalb 1500 °C noch Zehntel eines Grades anzugeben.

Tabelle 2.3 Einige Thermometrische Festpunkte. E. Erstarrungspunkt und Sd. Siedepunkt beim Druck 101,325 kPa, Tr, Tripelpunkt

		°C
Normalwasserstoff	Tr.	-259,198
Normalwasserstoff	Sd.	-252,762
Stickstoff	Sd.	-195,798
Kohlendioxid	Tr.	-56,559
Brombenzol	Tr.	-30,726
Wasser luftgesättigt	E.	0
Benzoesäure	Tr.	122,34
Indium	Tr.	156,593
Wismut	E.	271,346
Cadmium	E.	320,995
Blei	E.	327,387
Quecksilber	Sd.	356,619

Schwefel	Sd.	444,613
Antimon	E.	630,63
Palladium	E.	1555
Platin	E.	1768
Rhodium	E.	1962
Iridium	E.	2446
Wolfram	E.	3418

Zur Erleichterung von Temperaturmessungen hat man eine Reihe weiterer thermometrischer Festpunkte von leicht genügend rein herstellbaren Stoffen so genau wie möglich an die gesetzliche Temperaturskala angeschlossen. Die wichtigsten sind in Tab. 2.3 zusammengestellt.

Σχολιασμός

Εισαγωγή

Αρχικά, θεωρώ σημαντικό να αναφέρω, πως για την εκπόνηση της πτυχιακής μου εργασίας χρησιμοποίησα το μεταφραστικό εργαλείο SmartCat, το οποίο με βοήθησε όχι μόνο στην συγκεκριμένη εργασία, αλλά και σε πολλές άλλες μεγάλης έκτασης εργασίες κατά τη διάρκεια των σπουδών μου στο Ιόνιο Πανεπιστήμιο. Πιστεύω πως η χρήση μεταφραστικών εργαλείων αποτελεί πολύτιμη αρωγή για κάθε εκπαιδευόμενο ή επαγγελματία μεταφραστή «μετάφραση χωρίς εργαλεία δεν υπάρχει», (Cronin 2003: 23).

Στη συνέχεια θα αναφερθώ στα βήματα που ακολούθησα, ώσπου να φτάσω στην ολοκλήρωση του κειμένου κατά τη μεταφραστική διαδικασία. Σύμφωνα με τον Κεντρωτή:

Το ερώτημα, που ανακύπτει, και που κάνει την Περί Μεταφράσεως Θεωρία σύνθετη Περί Πράξεως Θεωρία, δεν είναι το αν και το πώς θαπραχθεί ό,τιπραχθεί, αλλά το αν, το τι και το πώς θα πρέπει να συνεχισθεί να πράττεται (=να μεταφρασθεί / να διερμηνευθεί) η ήδη παγιωμένη πρωτοταγής πράξη (Κεντρωτής 1996: 72)

Ως «παγιωμένη πρωτοταγής πράξη» θεωρείται το κείμενο αφετηρίας. Για αυτό το λόγο, για την επίτευξη της μετάφρασης, καθώς επίσης και για την πιο εύκολη κατανόηση της, θεώρησα απαραίτητη, σε πρώτη φάση, την ανάλυση του πρωτοτύπου κειμένου καθώς επίσης και τις κειμενικές του λειτουργίες. Επιπρόσθετα, αξίζει να γίνει αναφορά και στον λειτουργισμό ως προς το μετάφρασμα, έτσι ώστε ο μεταφραστής και στη συνέχεια ο αναγνώστης να κατανοήσει καλύτερα το σκοπό του μεταφράσματος. Σε τελική ανάλυση θα μιλήσουμε για τα μεταφραστικά προβλήματα, τα οποία προκύπτουν σχεδόν σε κάθε προσπάθεια μετάφρασης και στο παραπάνω κείμενο είναι αρκετά καθώς επρόκειτο για ένα ειδικό κείμενο μετάφρασης.

Κειμενική Ανάλυση

Κάθε κείμενο έχει μια συγκεκριμένη λειτουργία και εξυπηρετεί ένα συγκεκριμένο σκοπό, ο οποίος τις περισσότερες περιπτώσεις διαφέρει από το σκοπό του μεταφράσματος. Για τη σωστή και επιτυχημένη μετάφραση ενός κειμένου, είναι απαραίτητο ο μεταφραστής να κατανοήσει πρωτίστως το χαρακτήρα, τη λειτουργία και το σκοπό του κειμένου πηγής για να προχωρήσει έπειτα στη μετάφραση του. Υπάρχουν λοιπόν συγκεκριμένες οδηγίες που πρέπει να ακολουθήσει ο μεταφραστής και μάλιστα ο άπειρος μεταφραστής για την καλύτερη κατανόηση του κειμένου πηγής.

Θα ήταν σημαντικό, λοιπόν, να θέσουμε ως αφετηρία ότι η επικοινωνιακή κατάσταση καθορίζει τα λεκτικά και μη λεκτικά χαρακτηριστικά ενός κειμένου, μπορούμε να υποθέσουμε ότι η περιγραφή των παραγόντων της επικοινωνιακής περίπτωσης ορίζει το πλαίσιο μέσα στο οποίο θα πρέπει να λειτουργήσει το κείμενο. Κατά αυτό τον τρόπο μπορούμε να ορίσουμε τον λειτουργισμό ενός κειμένου, βάση διαφόρων λειτουργικών κατηγοριών.

Η λειτουργία (αγγλ. function, γερμ. Funktion) αναφέρεται στην πραγματική ή υποτιθέμενη σημασία ενός κειμένου από τη σκοπιά του δέκτη, ενώ ο σκοπός είναι ο στόχος για τον οποίο χρησιμεύει ή υποτίθεται ότι χρησιμεύει το κείμενο (πρβ. Vermeer 1989α: 94). (Nord, 2014: 72)

Ο εκάστοτε μεταφραστής πρέπει να συγκρίνει το κείμενο-πηγή με τα χαρακτηριστικά του κειμένου-στόχου όπως αυτά ορίζονται στο πακέτο μεταφραστικών οδηγιών, προκειμένου να εντοπίσει τα σημεία στα οποία θα διαφέρουν το κείμενο-πηγή και το κείμενο-στόχος. Σημαντικό είναι να επισημάνουμε ότι το κείμενο το οποίο μεταφράστηκε αποτελεί επιστημονική διατριβή τεσσάρων αξιόλογων επιστημόνων, του καθηγητή και ερευνητή Franz Mayinger, του καθηγητή Karl Stephan, του εμπειρογνώμονα, κατασκευαστή και καθηγητή Peter Stephan και τέλος τον καθηγητή Karlheinz Schaber με θέμα «Thermodynamik, Grundlagen und technische Anwendungen» (Θερμοδυναμική-Βασικές Αρχές και Τεχνικές Εφαρμογές) όπου γνώρισε ιδιαίτερη απήχηση στον επιστημονικό κόσμο.

Ο μεταφραστής οφείλει να εντοπίσει σε ποια κατηγορία ή κατηγορίες κειμενικών λειτουργιών ανήκει το κείμενο, διότι αποτελεί ενότητα του λόγου με συγκεκριμένο λειτουργικό ρόλο σε συγκεκριμένα κοινωνικά συμφραζόμενα. Στην παρακάτω ανάλυση θα αναφερθούμε στην λειτουργική προσέγγιση και στα μεταφραστικά προβλήματα βάση των θεωριών της Katharina Reiss, του Hans J. Vermeer και της Christiane Nord, οι οποίοι εξέτασαν σε βάθος την επιστήμη της μετάφρασης, χαράζοντας έτσι μία πορεία στην μεταφραστική διαδικασία.

Θα χαρακτηρίζα το κείμενο πηγής πληροφοριακό, εφόσον πρόκειται για επιστημονικό βιβλίο, με στόχο να ενημερώσει τους αναγνώστες για τις βασικές θεωρίες της Θερμοδυναμικής. Πάραυτα παρατηρούμε πως το κείμενο διαθέτει και συγκεκριμένη τεχνική ορολογία που το καθιστά πιο δύσκολο στην κατανόηση για τον αναγνώστη και φυσικά για τον μεταφραστή. Δυσκολίες οι οποίες όμως έπρεπε να ξεπεραστούν με κάθε μέσο, καθώς

Der Übersetzer muss für die Disambiguierung jeder sprachlichen Äußerung sorgen. Das gilt umso mehr, wenn es sich um Übersetzungen technischer und medizinischer Texte handelt. Das Fehlen jeglicher Übersetzung hat in diesem Fall verheerende Konsequenzen. (Παριανού, 2016: 147)

Από τα παραπάνω αντιλαμβανόμαστε ότι οι δέκτες του κειμένου, οι αναγνώστες, ενδιαφέρονται για αυτού του είδους κείμενα–ειδικά κείμενα- και είναι σε θέση να κατανοήσουν ένα βιβλίο με τεχνική και εξεζητημένη ορολογία. Πιο συγκεκριμένα στόχος του βιβλίου είναι να βοηθήσει τους εκπαιδευόμενους να κατανοήσουν το θεωρητικό και πρακτικό υπόβαθρο της επιστήμης της θερμοδυναμικής μέσω παραδειγμάτων και εφαρμογών. Όπως αναφέρεται και στην εισαγωγή του βιβλίου, επρόκειτο για έναν πολύπλοκο ως προς την κατανόηση τομέα και στόχος του βιβλίου είναι η αποφυγή δυσκολιών των σπουδαστών ισχυόντων νόμων συγκεκριμένων τεχνικών και φυσικών φαινομένων.

Εφόσον λοιπόν γίνει κατανοητό από κάθε πλευρά το κείμενο-πηγή, ο μεταφραστής πρέπει να ενημερωθεί για το λειτουργισμό του μεταφράσματος. Αυτό σημαίνει ότι ο πρέπει να μάθει το σκοπό του κειμένου-στόχος, τους δέκτες, το χρόνο και τον τόπο, έτσι ώστε να μπορέσει να καθορίσει τα λεκτικά και μη στοιχεία του μεταφράσματος. Στις περισσότερες περιπτώσεις ο λειτουργισμός του κειμένου-πηγής από αυτόν του κειμένου-στόχος διαφέρει κατά πολύ.

Ο κανόνας του Σκοπού ορίζεται ως εξής: πρέπει να μεταφράζουμε/ διερμηνεύουμε/ μιλάμε/ γράφουμε με τέτοιο τρόπο, ώστε το κείμενο/ η μετάφραση μας να μπορεί να λειτουργήσει στην κατάσταση στην οποία πρόκειται να χρησιμοποιηθεί και με τα άτομα που επιθυμούν να το/την χρησιμοποιήσουν, ακριβώς με τον τρόπο που επιθυμούν να λειτουργήσει. (Vermeer, 1989α: 20 στο: Nord, 2014: 74)

Στο σημείο αυτό, λοιπόν, θα πρέπει να εξετάσουμε ενδελεχέστερα τον ρόλο που διαδραματίζουν οι ρητές ή υπόρρητες πληροφορίες στις μεταφραστικές οδηγίες. Όροι όπως σκοπός (skopos), ήθος (ethics), συνέπεια (loyalty), που αποτελούν τη βάση της μεταφραστικής δράσης, είναι θα λέγαμε οι «κινητήριες δυνάμεις» για τον εκάστοτε μεταφραστή επιδιώκοντας την λειτουργική προσέγγισή του. Η επιδιωκόμενη κειμενική λειτουργία, ο παραλήπτης του κειμένου-στόχου, τον αναμενόμενο χώρο και χρόνο πρόσληψης του κειμένου, το μέσο μετάδοσης του κειμένου και το κίνητρο για τη δημιουργία ή την πρόσληψη του κειμένου αποτελούν τις πληροφορίες αυτές. Να σημειωθεί ότι ο χρόνος και ο τόπος ήταν αμελητέα για εμένα και δεν με επηρέασαν κατά την μεταφραστική διαδικασία. Εκτενέστερα, οι επιδιωκόμενες κειμενικές λειτουργίες χωρίζονται σε κατηγορίες: αναφορική και κλητική. Στην συνέχεια οι παραλήπτες είναι πρόσωπα που ενδιαφέρονται ως προς την εξειδίκευση στη θεωρία και πρακτική της θερμοδυναμικής. Ο χρόνος και ο τόπος πρόσληψης δεν

είναι καθορισμένα καθότι πρόκειται για ειδικές τεχνικές έννοιες με σκοπό τη μετάδοση γνώσεων. Ωστόσο, γνωρίζουμε ότι πρόκειται για την 19^η έκδοση, καθώς το βιβλίο αυτό υπήρχε σε προγενέστερες εκδόσεις, ενώ τώρα δημοσιεύτηκε με περισσότερες διορθώσεις, καθώς επίσης και με παραδείγματα. Το μέσο του κείμενου το χαρακτηρίζει ως ένα μονόγλωσσο με εκτεταμένες πληροφορίες και στοιχεία βασιζόμενα σε συγκεκριμένη θεωρία κείμενο. Σύμφωνα με την Reiss, το κείμενο αποτελεί εκπαιδευτικό κείμενο καθώς σε όλο το εύρος του δίνονται πληροφορίες για τεχνικού περιεχομένου θέματα, εξειδικευμένες εστιάζσεις σε ζητήματα γύρω από τον κλάδο της θερμοδυναμικής και εφαρμογές-παραδείγματα. Θα πρέπει να τονίσουμε ότι η εμβάθυνση σε στα εν λόγω ζητήματα είναι ιδιαίτερα εκτενής και έντονη στις θεωρίες της Nord, παρά το γεγονός ότι το κείμενο ανήκει στην επιστημονική κοινότητα, θέσαμε σε εφαρμογή την «εργαλειακή μετάφραση με σταθερή λειτουργία», με σκοπό να αποδώσουμε ένα πραγματολογικά άρτιο κείμενο. Το κείμενο-στόχος λοιπόν συμμορφώθηκε με τον κειμενικό τύπο και τις γενικές κειμενικές και υφολογικές συμβάσεις του κειμένου-πηγής και έχουν και την ίδια πρωτογενή λειτουργία. Η αιτία για την δημιουργία και πρόσληψη του κειμένου είναι η παρουσίαση των βασικών αρχών της θερμοδυναμικής σε μορφή σχημάτων και πινάκων. Αυτό φυσικά δικαιολογεί την προτεραιότητα που δίνεται στην εκπαιδευτική λειτουργία μέσω της απεικόνισης. Στόχος μας είναι να δημιουργήσουμε ένα κείμενο που να χαρακτηρίζεται από λειτουργικότητα και να καλύπτει την διανοητική προσέγγιση του δέκτη και φυσικά να μη περιορίζει τις προσδοκίες του κειμένου-πηγής. Άλλωστε,

Ενας από τους σημαντικότερους παράγοντες που καθορίζει τον στόχο μιας μετάφρασης είναι ο παραλήπτης, δηλαδή ο δέκτης για τον οποίο προορίζεται το κείμενο-στόχος ή το επιδιωκόμενο κοινό του κειμένου-στόχου, με το –διαφορετικό για τον εκάστοτε πολιτισμό– γνωστικό του υπόβαθρο, τις προσδοκίες του και τις επικοινωνιακές του ανάγκες. (Nord, 2014: 41).

Στην περίπτωση της συγκεκριμένης μετάφρασης ο σκοπός του μεταφράσματος δεν διαφέρει ιδιαίτερα από το σκοπό του πρωτοτύπου κειμένου, με αποτέλεσμα ο μετάφραση του κειμένου να είναι πιο εύκολη ως προς τον σκοπό του μεταφράσματος. Σκοπός της μεταφραστικής διαδικασίας, λοιπόν, είναι η δημιουργία ενός κειμένου αφίξεως στην ελληνική γλώσσα, το οποίο θα χρησιμεύσει σε έναν ερευνητή που ομιλεί ως μητρική την ελληνική γλώσσα και επιθυμεί να μελετήσει τη θεωρία της θερμοδυναμικής ισορροπίας και την εμπειρική θερμοκρασία. Το ενδιαφέρον του κειμένου αφητηρίας είναι καθαρά ερευνητικό και για αυτό το λόγο σε καμία περίπτωση δεν επιτρέπεται η παράλειψη πληροφοριών από το πρωτότυπο κείμενο.

Πιο συγκεκριμένα, το κείμενο-στόχος επρόκειτο για ένα κείμενο, του οποίου οι αναγνώστες κυμαίνονται στην ίδια ηλικία με τους αναγνώστες του πρωτοτύπου κειμένου. Το γνωστικό υπόβαθρο τους παραμένει επίσης το ίδιο, κάτι το οποίο σημαίνει ότι το ύφος του κειμένου στόχου θα είναι κατά βάση εκπαιδευτικό, θα περιέχει διάφορες εικόνες και σχήματα αλλά θα διαθέτει επίσης επίσημη και εξειδικευμένη τεχνική ορολογία, όπως το πρωτότυπο κείμενο.

Θεωρώ πως, για την παρούσα μετάφραση, ο τόπος δεν παίζει σημαντικό ρόλο, καθώς ο μεταφραστής δεν θα κληθεί να αντιμετωπίσει δυσκολίες ως προς τις πολιτισμικές διαφορές μεταξύ Γερμανίας (κείμενο-πηγής) και Ελλάδας, εφόσον το βιβλίο (κείμενο-στόχος) θα δημοσιευθεί για καθαρά εκπαιδευτικούς σκοπούς. Όσον αφορά το χρόνο που θα δημοσιευθεί το κείμενο δεν έχει τόσο σημασία στη συγκεκριμένη περίπτωση, καθώς δεν πρόκειται για ένα επίκαιρο άρθρο με σκοπό την άμεση ενημέρωση του αναγνώστη.

Μεταφραστικά προβλήματα

Μιλώντας γενικά ένα από τα πλεονεκτήματα της εν λόγω προσέγγισης στην εκπαίδευση των μεταφραστών αλλά και στην επαγγελματική τους πορεία είναι ότι τα προβλήματα μπορούν να εντοπιστούν εκ των προτέρων. Τα μεταφραστικά προβλήματα είναι αντικειμενικά ή τουλάχιστον διυποκειμενικά και σε καμία περίπτωση δεν θα πρέπει να ταυτίζονται με τις μεταφραστικές δυσκολίες, τις υποκειμενικές δυσκολίες δηλαδή που μπορεί να συναντήσει ένας μεταφραστής (είτε εκπαιδευόμενος είτε επαγγελματίας) κατά την διάρκεια της μεταφραστικής διαδικασίας λόγω ανεπαρκών γλωσσικών, πολιτισμικών ή μεταφραστικών δεξιοτήτων ή λόγω έλλειψης σωστής τεκμηρίωσης. Σύμφωνα με την Christiane Nord (2014: 145):

Τα μεταφραστικά προβλήματα είναι αντικειμενικά ή τουλάχιστον διυποκειμενικά και δεν θα πρέπει να ταυτίζονται με τις μεταφραστικές δυσκολίες, που είναι υποκειμενικές και τις αντιμετωπίζει ένας μεταφραστής εξαιτίας ανεπαρκών γλωσσικών, πολιτισμικών ή μεταφραστικών δεξιοτήτων ή λόγω έλλειψης σωστής τεκμηρίωσης.

Τα μεταφραστικά προβλήματα παραμένουν πάντα προβλήματα ,ανεξάρτητα από την πιθανή, άμεση και αποτελεσματική αντιμετώπισή τους. Εφόσον η μετάφραση είναι μια διαδικασία λήψης αποφάσεων και οι επιλογές αυτές εξαρτώνται από τη μεταφραστική στρατηγική που αφορά το σύνολο του κειμένου, υπάρχουν οπωσδήποτε περισσότερες της μιας λύσης για κάθε πρόβλημα και σχετίζονται με τη δημιουργικότητα του μεταφραστή.

Τα μεταφραστικά προβλήματα, λοιπόν, μπορεί να είναι είτε πραγματολογικά, είτε πολιτισμικά ή γλωσσικά, καθώς επίσης και διάφορα άλλα που μπορεί να προκύψουν κατά τη μεταφραστική διαδικασία του εκάστοτε κειμένου. Τα πραγματολογικά μεταφραστικά προβλήματα προκύπτουν από την ανάλυση των παραπάνω εξωκειμενικών παραγόντων, δηλ. κειμενική λειτουργία, χώρος, χρόνος (όπως αναφέρθηκε όχι στην συγκεκριμένη περίπτωση), πομπός, δέκτης, αιτία.

Τα μεταφραστικά προβλήματα που αντιμετωπίσαμε ήταν κατά κύριο λόγο πραγματολογικά, αν λάβουμε υπόψη πως το κείμενο είναι γραμμένο από ιδιαίτερα εξειδικευμένους επιστήμονες με άριστες γνώσεις του αντικειμένου της μηχανολογίας και της θερμοδυναμικής. Εφόσον δεν είμαι γνώστρια του συγκεκριμένου αντικειμένου, για τη μετάφραση του κειμένου, έπρεπε να καταφύγω σε εξειδικευμένες πηγές με περιεχόμενο δυσκόλως κατανοητό. Τα πραγματολογικά μεταφραστικά προβλήματα δημιουργούνται από την αντιπαράθεση των δύο διαφορετικών επικοινωνιακών πλαισίων του κειμένου-πηγής και του κειμένου-στόχου, που εξαρτώνται από τον παράγοντα «κειμενικό είδος». Ένα παράδειγμα πραγματολογικού μεταφραστικού προβλήματος είναι η διαφορά που υπάρχει μεταξύ του πολιτισμού της γλώσσας-πηγής και της γλώσσας-στόχου, όπου τα ονόματα ερευνητών ή επιστημόνων ή ακόμη τίτλοι άρθρων και βιβλίων είναι στη γερμανική ή ορισμένες φορές στην αγγλική γλώσσα. Αυτό δημιουργεί πρόβλημα στο μεταφραστή για το αν θα πρέπει να μεταφράσει αυτολεξεί τους τίτλους ή να τους αφήσει στη γλώσσα του κειμένου-πηγής. Όσον αφορά τα ονόματα, είτε πρέπει να βρει την ακριβή αντιστοιχία του ονόματος στη γλώσσα-στόχο, είτε να προχωρήσει σε αναγραμματισμό του ονόματος ή να το αφήσει και πάλι στη γλώσσα του πρωτοτύπου κειμένου. Η λύση αυτού του προβλήματος στο συγκεκριμένο κείμενο είναι συνδυαστική. Πιο συγκεκριμένα, όσα ονόματα ανθρώπων είτε βιβλίων-άρθρων έχουν μεταφραστεί στα ελληνικά, τότε γράφτηκαν και στα ελληνικά. Για Παράδειγμα στο 1^ο σχόλιο ο χημικός William Francis Giaouque είναι προτιμότερο να μην μεταφραστεί στα ελληνικά, εφόσον δεν υπάρχει ελληνική μετάφραση στη διαδικτυακή μηχανή αναζήτησης. Σε αντίθετη περίπτωση υπάρχουν ελληνικά κείμενα που αναφέρουν τον Άντερς Κελσίου, για αυτό και επέλεξα να γράψω το όνομα του στα ελληνικά. Αυτή η μέθοδος επίσης βοηθά και τον αναγνώστη του μεταφράσματος να εντοπίσει με μεγαλύτερη ευκολία τα βιβλία-άρθρα που τον ενδιαφέρουν, καθώς γνωρίζει αν πρέπει να ψάξει για την ελληνική έκδοση ή όχι.

Καθώς πρόκειται για ένα επιστημονικά προσανατολισμένο κείμενο δεν χρειάστηκε να απλοποιηθούν γλωσσικές έννοιες, εφόσον ο δέκτης του μεταφράσματος προορίζεται να έχει γνώση της επιστημονικής ορολογίας, οπότε η μη ακριβής απόδοση των γλωσσικών στοιχείων του πρωτοτύπου ενδέχεται να επέφερε αρνητικά αποτελέσματα στην λειτουργικότητα του κειμένου. Σε λίγες περιπτώσεις, στοχεύοντας πάντα στην μεταφορά ορθού νοήματος αναγκάστηκα να καταφύγω σε πιο ελεύθερες αποδώσεις.

Προβλήματα επίσης αποτέλεσαν για έναν μεταφραστή τα γλωσσικά. Ο εκάστοτε μεταφραστής, όταν καλείτε να μεταφράσει, προσπαθεί να παραμείνει όσο πιο πιστός γίνεται στο πρωτότυπο κείμενο, με σκοπό την αποφυγή λαθών. Στην πραγματικότητα όμως, είναι πιθανό να οδηγηθεί σε λάθη και γλωσσικές παρεμβολές. Επίσης είναι ιδιαίτερα δύσκολο να αντιμετωπίσουμε το κείμενο ως ένα ενιαίο σύνολο στο πλαίσιο της επικοινωνιακής κατάστασης στην οποία ανήκει. Ιδιαίτερη δυσκολία για εμένα ήταν η εκτενέστερη και λεπτομερής ορολογία του κειμένου και για τον λόγο αυτό αναγκάστηκα να προσφύγω σε ειδική βιβλιογραφία και σε διαδικτυακές πηγές για να βρω τους αντίστοιχους όρους στην ελληνική γλώσσα. Η όλη διαδικασία ήταν απαιτητική καθώς, στα επιστημονικά λεξιλόγια το σημαινόμενο έχει ένα μοναδικό σημαίνον, ασχέτως της κατάστασης επικοινωνίας. (Κεραμίδας, 2015: 27)

Ένα σημαντικό παράδειγμα γλωσσικού προβλήματος ήταν οι ειδικοί όροι «Größe» και «Zustandsgröße», όπου διαπίστωσα μέσω παράλληλων κειμένων ότι μεταφράζονταν με δύο διαφορετικούς τρόπους στα ελληνικά. Ο όρος «Größe» λοιπόν, μεταφράζεται ως «ιδιότητα» για να περιγράψει τις ιδιότητες ενός συστήματος, όπως την ενέργεια, τον όγκο, την πίεση κ.α., καθώς και ως «μέγεθος», ώστε να περιγράψει τη θερμοκρασία. Βλέπουμε λοιπόν πως, σε αντίθεση με τα ελληνικά, στα γερμανικά χρησιμοποιείται ο ίδιος όρος.

Ελάχιστα παραδείγματα στο κείμενο μας είναι:

- der Eispunkt = σημείο πήξης
- der Siedelpunkt = σημείο βρασμού
- die Arretierung = σφράγιση

Ένας μεταφραστής αντιμετωπίζει και πολιτισμικά προβλήματα, τα οποία αφορούν τις πολιτισμικές διαφορές, λεκτικές και μη, μεταξύ των δύο γλωσσών. Ωστόσο, στο συγκεκριμένο κείμενο δεν βρέθηκα αντιμέτωπη με τέτοιου είδους πρόβλημα, καθώς πρόκειται για ένα εκπαιδευτικού τύπου κείμενο με θέμα τη θερμοδυναμική, στο οποίο οι συγγραφείς δεν έχουν ως στόχο την επίδειξη της γλωσσικής τους ικανότητας και ευχέρειας.

Στον ίδιο άξονα, πρέπει να αναφερθούμε και στο πρόβλημα με τις λέξεις που έχουν ελληνική ορολογία και απλώς καταφεύγουμε σε μετεγγραφή τους στα ελληνικά, π.χ. Aluminium= αλουμίνιο, Thermodynamik= θερμοδυναμική

Δυσκολία στην διαδικασία μετάφρασης παρουσιάζουν τα διάφορα αρκτικόλεξα, τα περισσότερα όμως αποφάσισα στο συγκεκριμένο κείμενο να μεταφραστούν ολογράφως και τα αρχικά να παραμείνουν με λατινικούς χαρακτήρες, εφόσον έτσι αναγράφονταν σε παράλληλα κείμενα.

α) Παράδειγμα: (ITS-90, Internationale Temperaturskala)

Μετάφραση: (ITS-90, Διεθνής Κλίμακα Θερμοκρασίας)

β) Παράδειγμα: (IPTS-90, Internationale Praktische Temperaturskala)

Μετάφραση: (IPTS-90, Διεθνής Πρακτική Κλίμακα Θερμοκρασίας)

Αυτό συμβαίνει διότι στα αγγλικά ITS σημαίνει International Temperature Scale και όντας διεθνής γλώσσα επικράτησε παντού το αρκτικόλεξο.

Επίλογος

Στο τέλος θα ήθελα να επισημάνω ότι το συγκεκριμένο κείμενο είχε περισσότερες δυσκολίες ως προς την κατανόηση του και όχι ως προς τη μετάφραση. Προσωπικά δυσκολεύτηκα αρκετά στην κατανόηση του πρωτοτύπου κειμένου, κυρίως στα διάφορα σημεία όπου παρατίθενται ιδιαίτερα δύσκολη ορολογία και σύνταξη ταυτοχρόνως. Ωστόσο, εφόσον ακολούθησα την παραπάνω τακτική, δηλ. ανάλυση και κατανόηση του κειμένου-πηγής, κατανόηση των δεδομένων για τη δημιουργία του κειμένου-στόχος και επίλυση των μεταφραστικών προβλημάτων, ολοκληρώθηκε με τον καλύτερο δυνατό τρόπο η μεταφραστική διαδικασία.

Εν κατακλείδι, οι αποδόσεις για κάθε όρο και φυσικά για την τελική μορφή της μετάφρασης ήταν ποικίλες. Η βαθιά γνώση της μεταφραστικής διαδικασίας η αφοσίωση αλλά και η υπευθυνότητα απέναντι στο εκάστοτε κείμενο οδηγούν στην αντιμετώπιση των προβλημάτων και στην δημιουργία ενός ορθά μεταφρασμένου κειμένου, με κατανοητό περιεχόμενο και σωστή δομή.

Γλωσσάρι

Γερμανικός Όρος	Ελληνικός Όρος	Μέρη του λόγου και αριθμός (ενικός – πληθ/κός αριθμός)
Abweichung	Απόκλιση	(die)
Aluminium	Αλουμίνιο	(das)
Ansatz	Προσέγγιση	(der)
Antimon	Αντιμόνιο	(das)
Anzahl	Σειρά	(die)
Anzeige	Ένδειξη	(die)
Argon	Άργον	(das)
Arretierung	Σφράγιση	(die)
Ausgleichsvorgang	Διαδικασία Αντιστάθμισης	(der)
Austauschprozess	Διαδικασία Ανταλλαγής	(der)
Austauschvariable	Ανταλλαγή Μεταβλητών	(die)
Behälter	Δοχείο	(der)
Benzoessäure	Βενζοϊκό Οξύ	(die)
Beseitigung	Εξάλειψη	(die)
Bestimmung	Διάταξη	(die)
Blei	Μόλυβδος	(das)
Brombenzol	Βρομοβενζόλιο	(das)
Cadmium	Κάδμιο	(das)
Celsius-Skala	Κλίμακα Κελσίου	(die)
Dampfdruck	Πίεση Ατμού	(der)
Diagramm	Διάγραμμα	(das)
diatherm	Διαθερμικός	(Adj.)
Druck	Πίεση	(der)
Druckanstieg	Αύξηση Πίεσης	(der)
Druckdifferenz	Διαφορά πίεσης	(die)
Eichfehlergrenze	Οριακό Σφάλμα Βαθμονόμησης	(die)
Eigenschaft	Χαρακτηριστικό	(die)
Einheit	Μονάδα	(die)
Eispunkt	Σημείο Πήξης	(der)
Endzustand	Τελική Κατάσταση	(der)
Energieabnahme	Μετατροπή ενέργειας	(die)
Energieaufnahme	Απορρόφηση ενέργειας	(die)
Energieaustausch	Ανταλλαγή Ενέργειας	(der)
Entropie	Εντροπία	(die)
Erstarrungspunkt	Σημείο Στερεοποίησης	(der)
Extrapolation	Παρέκταση	(die)
Fahrenheit-Skala	Κλίμακα Φάρενهایت	(die)
Fixpunkt	Σημείο Αναφοράς	(der)
Fixpunkttemperatur	Θερμοκρασία Σημείου Αναφοράς	(die)
Formel	Τύπος	(die)
Funktion	Λειτουργία	(die)

Gallium	Γάλλιο	(das)
Gas	Αέριο	(der)
Gasdruck	Πίεση Αερίου	(der)
Gasmolekül	Μόριο αερίου	(das)
Gasthermometer	Θερμόμετρο Αερίου	(das)
Gasvolumen	Όγκος Αερίου	(das)
Gemisch	Μείγμα	(das)
Gesamtsystem	Ολοκληρωμένο Σύστημα	(das)
geschlossener Zylinder	Κύλινδρος	(der) (που κλείνεται από εφαρμοστό έμβολο)
Gleichgewicht	Ισορροπία	(das)
Gleichgewichtswasserstoff	Τάση Ατμών Ισορροπίας Υδρογόνου	(das)
Gleichgewichtszustand	Κατάσταση Ισορροπίας	(der)
Gleichung	Εξίσωση	(die)
Gold	Χρυσός	(das)
Grenzwert	Οριακή Τιμή	(der)
Größe	Μέγεθος-Ιδιότητα	(die)
Größenordnung	Διάσταση	(die)
Hauptsatz	Αξίωμα	(der)
Helium	Ήλιο	(das)
Hemmung	αναστολή	(die)
Indium	Ίνδιο	(das)
Iridium	Ιρίδιο	(das)
Isolierung	Απομόνωση	(die)
Isotherme	Ισόθερμη	(die)
Katalysator	Καταλύτης	(der)
Kleinheit	Μικρό Μέγεθος	(die)
Kohlendioxid	Διοξείδιο του Άνθρακα	(das)
Kolben	Έμβολο	(der)
Konstante	σταθερά	(die)
Koordinate	Συντεταγμένη	(die)
Kupfer	Χαλκός	(das)
Kurve	Καμπύλη	(die)
Linie	Γραμμή	(die)
Manometer	Μανόμετρο	(das)
Masse	Μάζα	(die)
Maße und Gewichte	Μέτρα και Σταθμά	(pl.)
Mechanismus	Μηχανισμός	(der)
Messgenauigkeit	Ακρίβεια Μετρήσεως	(die)
Messgerät	Δείκτης Μέτρησης	(das)
Messinstrument	Όργανο Μέτρησης	(das)
Messobjekt	Αντικείμενο Μέτρησης	(das)
Messung	Μέτρηση	(die)
Messunsicherheit	Αβεβαιότητα Μέτρησης	(die)
Messvorschrift	Διαμετρικός Κανόνας	(die)

Messwert	Τιμές Μέτρησης	(der)
Neon	Νέον	(das)
Normalatmosphäre	Κανονική Ατμόσφαιρα	(die)
Normalgerät	Πρότυπο Όργανο	(das)
Normalwasserstoff	Πρότυπο Υδρογόνου	(der)
Nullpunkt	Σημείο Μηδέν	(der)
Ordinate	Τεταγμένη	(die)
Palladium	Παλλάδιο	(das)
Platin	Πλατίνα	(das)
Quecksilber	Υδράργυρος	(das)
Quecksilberthermometer	Υδραργυρικό Θερμόμετρο	(das)
Rankine-Skala	Κλίμακα Ράνκιν	(die)
Raumtemperatur	Θερμοκρασία Δωματίου	(die)
Rhodium	Ρόδιο	(das)
Sauerstoff	Οξυγόνο	(der)
Schmelzpunkt	Σημείο Τήξης	(der)
Schwefel	Θείο	(der)
Siedepunkt	Σημείο Βρασμού	(der)
Siedetemperatur	Θερμοκρασία Βρασμού	(die)
Silber	Άργυρος	(das)
Stickstoff	Άζωτο	(der)
Stift	Πείρος	(der)
Stoff	Ουσία	(der)
Stoffaustausch	Ανταλλαγή Ουσιών	(der)
Strahlungsmeßgerät	Ακτινόμετρο	(das)
Teilmenge	Υποσύνολο	(die)
Teilsystem	Υποσύστημα	(das)
Temperaturintervall	Διάστημα Θερμοκρασίας	(das)
Temperaturskala	Θερμομετρική Κλίμακα	(die)
Thermoelement	Θερμοστοιχείο	(das)
Thermometer	Θερμόμετρο	(das)
Trennwand	Διαχωριστικό Τοίχωμα	(die)
Triebkraft	Κινητήρια δύναμη	(die)
Tripelpunkt	Τριπλό Σημείο	(der)
Umrechnung	Μετατροπή	(die)
Unterschied	Διαχωρισμός	(der)
Variable	Μεταβλητή	(die)
Vertiefung	Εμβάθυνση	(die)
Volumen	Όγκος	(das)
Vorgang	Διαδικασία	(der)
Vorschrift	Κανόνας	(die)
Wand	Τοίχωμα	(die)
Wasserdampf	Υδρατμός	(der)
Wasserstoff	Υδρογόνο	(der)
Wechselwirkung	Αλληλεπίδραση	(die)
Widerstand	Αντίσταση	(der)

Widerstandsthermometer	Θερμόμετρο Ηλεκτρικής Αντίστασης	(das)
Willkür	Αυθαιρεσία	(die)
Wismut	Βισμούθιο	(das)
Wolfram	Βολφράμιο	(das)
wärmeleitend	Θερμικά Αγώγιμος	(Adj.)
Zahl	Αριθμός	(die)
Zahlenwert	Αριθμητική Τιμή	(der)
Zahlenwertgleichung	Εξίσωση Αριθμητικών Τιμών	(die)
Zink	Ψευδάργυρος	(das)
Zinn	Κασσίτερος	(das)
Zustandsgröße	Καταστατικό Μέγεθος-Ιδιότητα	(die)
Zustandsänderung	Μεταβολή Κατάστασης	(die)
Thermodynamische s Gleichgewicht	Θερμοδυναμική Ισορροπία	(das)

Βιβλιογραφία

Βιβλία

- ❖ Πολυζάκης Απόστολος (2013). «Θερμοδυναμική και Προχωρημένη Θερμοδυναμική, (1^η έκδοση, Θεωρία – Λυμένες Ασκήσεις)». Αθήνα: Εκδόσεις Τσότρας
- ❖ Κεντρωτής Γεώργιος, (1996). «Θεωρία και Πράξη της Μετάφρασης». Αθήνα: ΔΙΑΥΛΟΣ
- ❖ Κεραμίδας Σωτήριος, (2015). «Ζητήματα Ορολογίας στην Τεχνική Μετάφραση». Αθήνα: ΔΙΑΥΛΟΣ
- ❖ Parianou Anastasia (2016). «Risikokommunikation und Übersetzung (Das Beispiel der Instruktionstexte)». Αθήνα: ΔΙΑΥΛΟΣ
- ❖ Nord Christiane (2014). «Η Μετάφραση ως στοχευμένη λειτουργία (Εισαγωγή στις λειτουργικές προσεγγίσεις)». Μετφρ.: Σίμος Π. Γραμμενίδης, Δέσποινα Δ. Λάμπρου. Αθήνα: ΔΙΑΥΛΟΣ

Ιστοσελίδες

- ❖ Κουτσέλος Ανδρέας (2015). «Στατική Θερμοδυναμική (Εισαγωγή στα Στατικά Σύνολα)» στο <file:///C:/Users/User/Desktop/Στατιστική%20Θερμοδυναμική%20-%20Εισαγωγή%20στα%20Στατιστικά%20Σύνολα%20-%20Ανδρέας%20Κούτσελος-KOY.pdf>
- ❖ <https://wol.iw.org/el/wol/d/r11/lp-g/101991125>
- ❖ <https://eclass.teilar.gr/modules/document/file.php/DAS129/%CE%95%CF%81%CE%B3%CE%B1%CF%83%CF%84%CE%AE%CF%81%CE%B9%CE%BF%20%CE%9C%CE%B5%CF%84%CE%B5%CF%89%CF%81%CE%BF%CE%BB%CE%BF%CE%B3%CE%AF%CE%B1%CF%82/%CE%95%CF%81%CE%B3%20%CE%A0%CF%81%CE%BF%CF%83%CE%B4%CE%B9%CE%BF%CF%81%CE%B9%CF%83%CE%BC%CF%8C%CF%82%20%CE%B8%CE%B5%CF%81%CE%BC%CE%BF%CE%BA%CF%81%CE%B1%CF%83%CE%AF%CE%B1%CF%82%20%CE%B1%CE%AD%CF%81%CE%B1.pdf>
- ❖ Χατζηαναστασίου Νικόλαος. «Φυσική της Ατμόσφαιρας» στο <http://www.physics.uoi.gr/seci/AtmPh1.pdf>
- ❖ Χατζηκωνσταντής Γεώργιος (2012). «Θερμοδυναμική» στο https://ocp.teiath.gr/modules/document/file.php/NAFP_UNDER110/%CE%95%CE%BA%CF%80%CE%B1%CE%B9%CE%B4%CE%B5%CF%85%CF%84%CE%B9%CE%BA%CF%8C%20%CF%85%CE%BB%CE%B9%CE%BA%CF%8C/4.%20%CE%91%CF%84%CE%BC%CE%BF

[%CE%AF%20-%20CE%93%CE%B5%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CE%AC/4%20CE%91%CF%84%CE%BC%CE%BF%CE%AF%28%CE%95%CE%B1%CF%81%CE%B9%CE%BD%CF%8C 14%29.pdf](#)

- ❖ [https://eclass.teilar.gr/modules/document/file.php/MH150/%CE%A3%CE%A6%CE%91%CE%9B%CE%9C%CE%91%CE%A4%CE%91%20CE%9C%CE%95%CE%A4%CE%A1%CE%97%CE%A3%CE%95%CE%A9%CE%9D.pdf](#)
- ❖ [http://www.teidasoponias.gr/site/news/xtra/morfologia/thermokrasia_aera_edafous.pdf](#)
- ❖ [http://www.biology.uoc.gr/courses/BIOL256/documents/Lecture1.pdf](#)

