

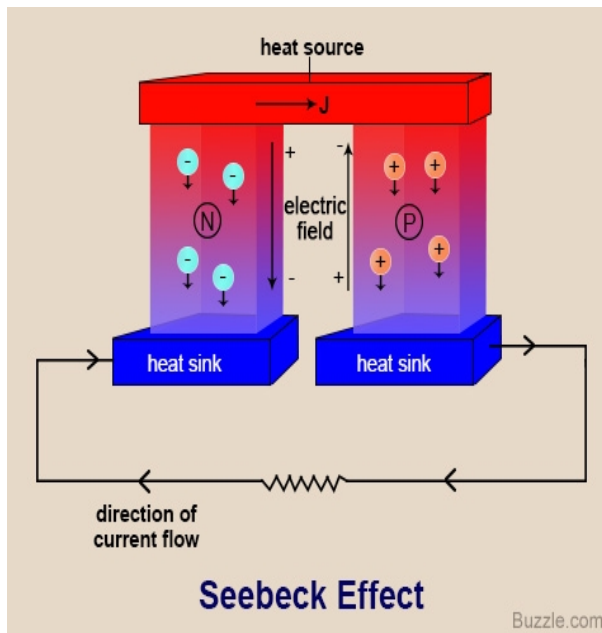


ΤΜΗΜΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΟΣ  
Οδός Αγ.Σπυρίδωνος,12210 Αιγάλεω,Αθήνα

## Η ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ

Η θερμοκρασία που όπως προβλέπεται από την κινητική θεωρία των αερίων και τις αρχές της στατιστικής θερμοδυναμικής σχετίζεται άμεσα με την μέση κινητική ενέργεια των μορίων της ύλης, είναι μέγεθος του οποίου η μέτρηση είναι καθοριστικής σημασίας στην τεχνολογία. Η εξάρτηση ενός μεγάλου αριθμού άμεσα μετρήσιμων μεγεθών από την θερμοκρασία επιτρέπει συχνά τον έμμεσο προσδιορισμό της μέσω της απευθείας μέτρησης των μεγεθών αυτών, η μεταβολή των οποίων διέπεται από γνωστούς βασικούς φυσικούς νόμους. Από τις πλέον διαδεδομένες μεθόδους μέτρησης θερμοκρασίας είναι εκείνες που βασίζονται αφενός

- 1) Στο θερμοηλεκτρικό φαινόμενο ή **φαινόμενο Seebeck** (Θερμοστοιχεία)
- 2) Στο φαινόμενο μεταβολής της ηλεκτρικής αντίστασης των αγωγών με την θερμοκρασία (Θερμοαντιστάσεις)



Ο Seebeck ανακαλύψε πως μια μαγνητική βελόνα είναι δυνατό να μετατοπιστεί από ένα κλειστό κυκλώμα που αποτελείται από δύο διαφορετικούς μεταλλικούς αγωγούς που είναι ενωμένοι σε δύο σημεία, εφόσον υπάρχει διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των ενώσεων.

Αυτό οφείλεται στο γεγονός πως τα ενεργειακά επίπεδα των φορτίων σε κάθε μεταλλικό αγωγό κινούνται διαφορετικά με αποτέλεσμα να δημιουργείται διαφορά δυναμικού και συνεπώς μαγνητικό πεδίο που μετακινεί τη βελόνα.

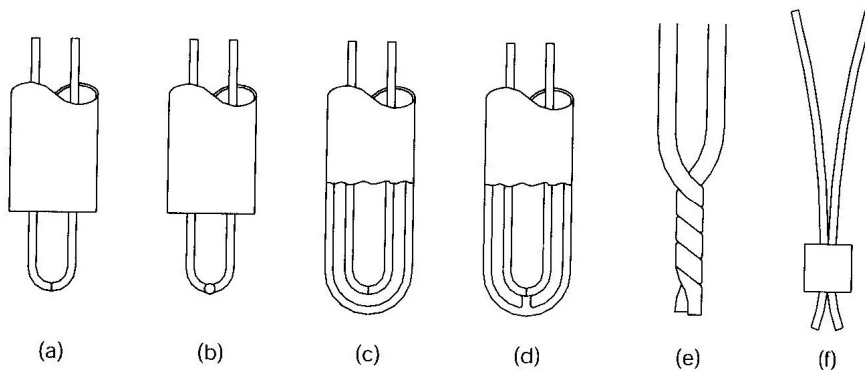
P doped semiconductors: Ημιαγωγοί με μεγαλύτερες συγκεντρώσεις **θετικών** φορτίων

N doped semiconductors: Ημιαγωγοί με μεγαλύτερες συγκεντρώσεις **αρνητικών** φορτίων

## Θερμοζεύγη (Θ/Z)

Η λειτουργία των θερμοζευγών, που αποτελούνται από δύο σύρματα διαφορετικών μεταλλικών αγωγών ή κραμάτων συνδεδεμένων μεταξύ τους μέσω μιας ακραίας αγωγίμης επαφής, όπως φαίνεται στο σχήμα 1, βασίζεται στο θερμοηλεκτρικό φαινόμενο.

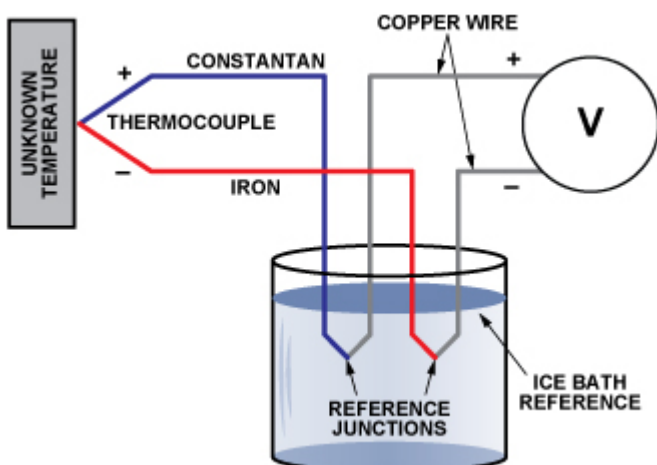
Η χρησιμοποίηση των θερμοζευγών για την ακριβή μέτρηση θερμοκρασίας είναι σήμερα ευρύτατα διαδεδομένη κυρίως εξαιτίας της αυτόνομης λειτουργίας, της υψηλής τους ακρίβειας και της αξιόπιστης λειτουργίας τους σε μεγάλο θερμοκρασιακό εύρος με χαμηλό κόστος.



Σχήμα 1. Διάφοροι τύποι επαφών θερμοζευγών με αυτογενή συγκόλληση ελεύθερων αγωγών (a) και (b), εντός σωλήνος προστασίας (c) και με γείωση επαφής (d), επαφή περιελιγμένων άκρων (e) με μηχανική συγκράτηση άκρων (f)

Τα  $\Theta/Z$  είναι αισθητήρες μέτρησης θερμοκρασίας. Αποτελούνται από δύο αγωγούς κατασκευασμένους από διαφορετικά μέταλλα. Οι δύο μεταλλικοί αγωγοί είναι ενωμένοι στο ένα άκρο, δημιουργώντας μια συζευξη (σημείο μέτρησης της θερμοκρασίας). Όταν στο σημείο συνδεσης εμφανισθεί μια μεταβολή της θερμοκρασίας δημιουργείται μια Ηλεκτρεγερτική Δύναμη η οποία αναγνωρίζεται από ένα μικροβολτομετρο. Από βαθμονομήσεις του θερμοστοιχείου προκύπτει η συνδεση της διαφορας τάσης και της διαφορας μετρουμενης θερμοκρασίας και θερμοκρασίας αναφοράς.

Έχει διαπιστωθεί ότι όταν όλα τα τμήματα ενός κλειστού ηλεκτρικού κυκλώματος από ανόμοιους μεταλλικούς αγωγούς ευρίσκονται στην ίδια θερμοκρασία, τότε δεν είναι δυνατή η ανάπτυξη διαφοράς δυναμικού και κατά συνέπεια ηλεκτρικού ρεύματος στο κύκλωμα. Εντούτοις όμως όταν οι επαφές των διαφορετικών μεταλλικών αγωγών είναι σε διαφορετικές θερμοκρασίες, τότε παράγεται μικρή διαφορά δυναμικού μεταξύ των επαφών με αποτέλεσμα την ροή ηλεκτρικού ρεύματος.



CONSTANTAN: Κραμα χαλκου-νικελιου (55%-45%)

Τα προηγούμενα αποτελούν διαπιστώσεις που έχουν αφετηρία το φαινόμενο Seebeck. Ο Seebeck το 1821 διαπίστωσε ότι στο απλό κύκλωμα δύο ανόμοιων

μεταλλικών αγωγών που ενώνονται σε δυο επαφές Α και Β , όταν συμβαίνει να ισχύει  $t_A=t_B$  τότε η παραγόμενη θερμοηλεκτρική τάση στο κύκλωμα είναι  $E=0$  και κατά συνέπεια η ένδειξη του βολτομετρου είναι  $V = 0$ . Αντιστοίχως όταν  $t_A \neq t_B$  τότε παράγεται θερμοηλεκτρική τάση  $E$  που προκαλεί ροή ρεύματος  $I \neq 0$  του οποίου η τιμή είναι μάλιστα ανάλογη της διαφοράς θερμοκρασίας  $t_A-t_B$  και δίδεται από τη σχέση,

$$E = a.(t_A - t_B) + b.(t_A - t_B)^2 \quad (1)$$

όπου  $a$  και  $b$  σταθερές. Σε συνήθεις περιπτώσεις η τιμή της σταθεράς  $b$  είναι συχνά τόσο μικρή ώστε να είναι δυνατόν πρακτικά να θεωρηθεί αμελητέα. Στην περίπτωση αυτή η αναπτυσσόμενη θερμοηλεκτρική τάση να είναι γραμμική συνάρτηση της διαφοράς  $t_A-t_B$ ,

$$E = a.(t_A - t_B) \quad (2)$$

### ΠΙΝΑΚΑΣ 1

**Τύποι θερμοζευγών με την προτεινόμενη περιοχή θερμοκρασιακής λειτουργίας και την σύσταση του κράματος των χρησιμοποιούμενων αγωγών.**

Τύπος Θ/Ζ	Κράμα θετικού αγωγού	Κράμα αρνητικού αγωγού
B 800-1700 C	70%Pt30%Rh	94%Pt6%Rh
E 0-900 C	90%Ni10%Cr	45%Ni55%Cu
J 0-750 C	Fe	45%Ni55%Cu
K 0-1200 C	90%Ni10%Cr	95%Ni2%Mn2%Al1%Si
N	84.4%Ni14.2%Cr1.4%Si	95.5%Ni4.4%Si0.1%Mg
R 0-1450 C	87%Pt13%Rh	Pt
S 0-1450 C	90%Pt10%Rh	Pt
T 0-350 C	Cu	45%Ni55%Cu

Ο προηγούμενος πίνακας δίδει την ακριβή σύσταση των κραμάτων του θετικού και αρνητικού αγωγού για τον κάθε τύπο θερμοζευγους που φαίνεται στην πρώτη στήλη.

Για τον κάθε τύπο θερμοζευγους που προδιαγράφεται να λειτουργεί σε ένα ορισμένο θερμοκρασιακό εύρος που φαίνεται στην πρώτη στήλη, δίδεται η αντίστοιχη ακριβώς καθορισμένη και διεθνώς τυποποιημένη θερμοηλεκτρική τάση συναρτήσεως της θερμοκρασίας από πίνακες που είναι διαθέσιμοι στην βιβλιογραφία.

Ενδεικτικά οι πίνακες 2 και 3 που ακολουθούν παρουσιάζουν την θερμοηλεκτρική τάση θερμοζευγών τύπου J και K στο θερμοκρασιακό εύρος από -200 έως 1200 και -200 έως 1370 C αντιστοίχως.

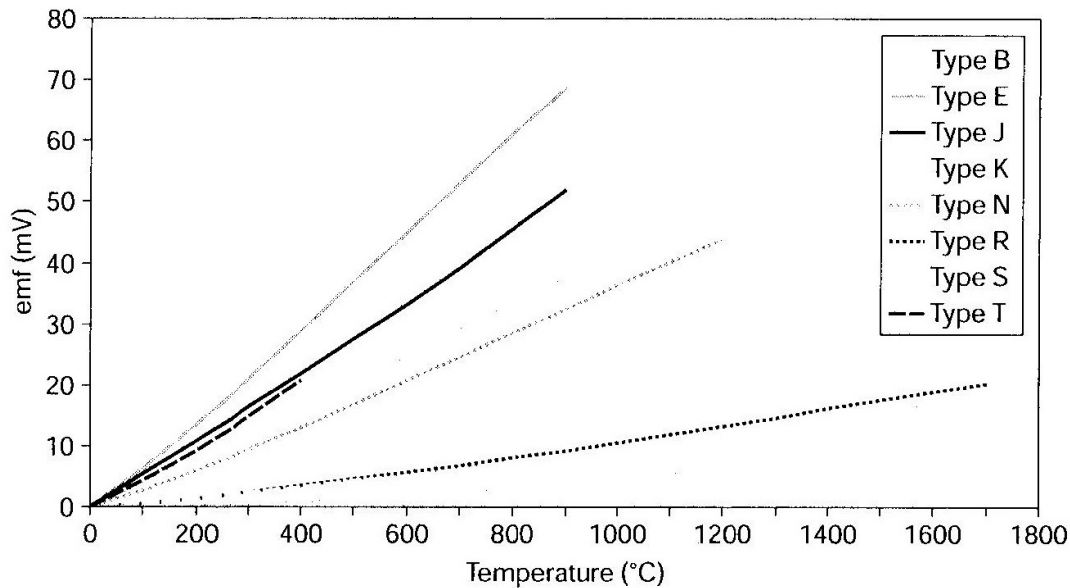
**ΠΙΝΑΚΑΣ 2****Θερμοηλεκτρική τάση (μV) για θερμοζευγή τύπου J***Type J*

°C	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
-200	-7890	-8095									
-100	-4633	-5037	-5426	-5801	-6159	-6500	-6821	-7123	-7403	-7659	-7890
0	0	-501	-995	-1482	-1961	-2431	-2893	-3344	-3786	-4215	-4633
0	0	507	1019	1537	2059	2585	3116	3650	4187	4726	5269
100	5269	5814	6360	6909	7459	8010	8562	9115	9669	10224	10779
200	10779	11334	11889	12445	13000	13555	14110	14665	15219	15773	16327
300	16327	16881	17434	17986	18538	19090	19642	20194	20745	21297	21848
400	21848	22400	22952	23504	24057	24610	25164	25720	26276	26834	27393
500	27393	27953	28516	29080	29647	30216	30788	31362	31939	32519	33102
600	33102	33689	34279	34873	35470	36071	36675	37284	37896	38512	39132
700	39132	39755	40382	41012	41645	42281	42919	43559	44203	44848	45494
800	45494	46141	46786	47431	48074	48715	49353	49989	50622	51251	51877
900	51877	52500	53119	53735	54347	54956	55561	56164	56763	57360	57953
1000	57953	58545	59134	59721	60307	60890	61473	62054	62634	63214	63792
1100	63792	64370	64948	65525	66102	66679	67255	67831	68406	68980	69553

**ΠΙΝΑΚΑΣ 3****Θερμοηλεκτρική τάση (μV) για θερμοζευγή τύπου K***Type K*

°C	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
-200	-5891	-6035	-6158	-6262	-6344	-6404	-6441	-6458			
-100	-3554	-3852	-4138	-4411	-4669	-4913	-5141	-5354	-5550	-5730	-5891
0	0	-392	-778	-1156	-1527	-1889	-2243	-2587	-2920	-3243	-3554
0	0	397	798	1203	1612	2023	2436	2851	3267	3682	4096
100	4096	4509	4920	5328	5735	6138	6540	6941	7340	7739	8138
200	8138	8539	8940	9343	9747	10153	10561	10971	11382	11795	12209
300	12209	12624	13040	13457	13874	14293	14713	15133	15554	15975	16397
400	16397	16820	17243	17667	18091	18516	18941	19366	19792	20218	20644
500	20644	21071	21497	21924	22350	22776	23203	23629	24055	24480	24905
600	24905	25330	25755	26179	26602	27025	27447	27869	28289	28710	29129
700	29129	29548	29965	30382	30798	31213	31628	32041	32453	32865	33275
800	33275	33685	34093	34501	34908	35313	35718	36121	36524	36925	37326
900	37326	37725	38124	38522	38918	39314	39708	40101	40494	40885	41276
1000	41276	41665	42053	42440	42826	43211	43595	43978	44359	44740	45119
1100	45119	45497	45873	46249	46623	46995	47367	47737	48105	48473	48838
1200	48838	49202	49565	49926	50286	50644	51000	51355	51708	52060	52410
1300	52410	52759	53106	53451	53795	54138	54479	54819			

Στο σχήμα 6 φαίνεται συγκριτικά η αναπτυσσόμενη θερμοηλεκτρική τάση συναρτήσει της θερμοκρασίας για τους εν χρήσει τύπους θερμοζευγών. Όπως φαίνεται από τις μορφές των καμπυλών, για ένα σχετικά στενό εύρος θερμοκρασιών η εξάρτηση της θερμοηλεκτρικής τάσης με την θερμοκρασία είναι σχεδόν γραμμική όπως προβλέπεται από την σχέση (2).



Σχήμα 6. Η αναπτυσσόμενη θερμοηλεκτρική τάση συναρτήσει της θερμοκρασίας για διάφορους τύπους θερμοζευγών.

**Η ευαισθησία του θερμοζεύγους** είναι ένα μέγεθος που καθορίζει την τιμή του λόγου της διαφορικής τιμής της αναπτυσσόμενης θερμοηλεκτρικής τάσης  $dE(t)$  προς τιμή της διαφορικής μεταβολής θερμοκρασίας  $dt$  που την προκαλεί και ορίζεται από την ακόλουθη σχέση,

$$S = \frac{dE}{dt} \quad (4)$$

Λαμβάνοντας υπόψη ότι για  $t_B = 0$  C η σχέση (2) γίνεται  $E = a \cdot t$ , η ευαισθησία ενός θερμοζευγους που εκφράζεται σε (mV/C), δίδεται σαν,

$$S = a \quad (5)$$

και φανερώνει την κλίση της εκάστοτε καμπύλης της αναπτυσσόμενης θερμοηλεκτρικής τάσης του θερμοζευγους, όπως φαίνεται στο σχήμα 6.

Υπάρχουν διαφορετικά είδη  $\Theta/\Sigma$ , όπου το καθένα έχει διαφορετικά χαρακτηριστικά σε σχέση με το εύρος μετρούμενων θερμοκρασιών, ανθεκτικότητα, την αντίσταση σε χημική διαβρωση και τις εφαρμογές που απευθύνεται.

Οι τυποί J, K, T & E είναι οι βασικοί τυποί  $\Theta/\Sigma$

Οι τυποί R, S & B είναι οι ευγενείς τυποί που χρησιμοποιούνται σε υψηλές θερμοκρασίες.

Τα μεταλλά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή Θ/Σ είναι λευκοχρυσός, χαλκός, σίδηρος, και κράματα:

- 1) νικελίου και χρωμίου
- 2) Αλουμινίου-νικελίου
- 3) Νικελίου – χαλκού

### Χαρακτηριστικά Θ/Κ

*Πλεονεκτήματα:* Μικρό μέγεθος, Ακαριαία απόκριση, μεγάλο εύρος θερμοκρασιών λειτουργίας, απλή κατασκευή

*Μειονεκτήματα:* Χαμηλή τάση εξόδου και γενικά δεν έχουν καλή γραμμικότητα σε μεγάλο εύρος θερμοκρασιών. Χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία (φούρνοι, κλιβανοί) και σε ιατρικές εφαρμογές και εργαστήρια

**Thermocouple grade wire** is used to manufacture thermocouple probes. Thermocouple grade wire is normally used for the junction and inside the stem sheath. This is because the thermocouple grade wire has a accuracy specification than extension grade wire.

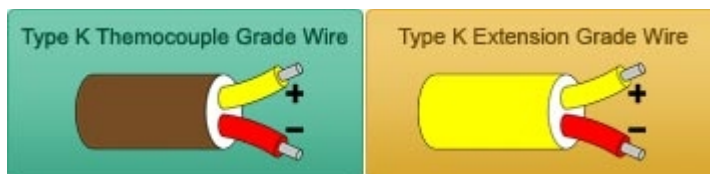
**Extension grade wire** is a less expensive, lower grade wire. It is used to extend from the thermocouple probe to the control system or digital display.

### Thermocouple Wire - Color Codes

A thermocouple can be identified by the color of its wire insulation. For example, in the United States a type J thermocouple has one red wire and one white wire, typically with a brown over jacket. A type J extension grade wire also has one red wire and one white wire, but it has a black over jacket. As a general rule the **red wire of a thermocouple or extension wire is negative** and the positive wire is color coded according to the type of thermocouple. Different countries use different color codes.

Type K Thermocouple (Nickel-Chromium / Nickel-Alumel): The type K is the most common type of thermocouple. It's inexpensive, accurate, reliable, and has a wide temperature range.

Temperature Range:



- Thermocouple grade wire, -454 to 2,300F (-270 to 1260C)
- Extension wire, 32 to 392F (0 to 200C)

Accuracy (whichever is greater):

- Standard: +/- 2.2C or +/- .75%
- Special Limits of Error: +/- 1.1C or 0.4%

Type J Thermocouple (Iron/Constantan): The type J is also very common. It has a smaller temperature range and a shorter lifespan at higher temperatures than the Type K. It is equivalent to the Type K in terms of expense and reliability.

Temperature Range:



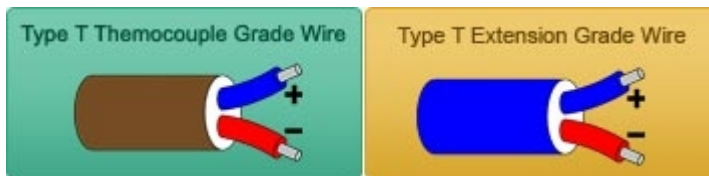
- Thermocouple grade wire, -346 to 1,400F (-210 to 760C)
- Extension wire, 32 to 392F (0 to 200C)

Accuracy (whichever is greater):

- Standard: +/- 2.2C or +/- .75%
- Special Limits of Error: +/- 1.1C or 0.4%

Type T Thermocouple (Copper/Constantan): The Type T is a very stable thermocouple and is often used in extremely low temperature applications such as cryogenics or ultra low freezers.

Temperature Range:



- Thermocouple grade wire, -454 to 700F (-270 to 370C)
- Extension wire, 32 to 392F (0 to 200C)

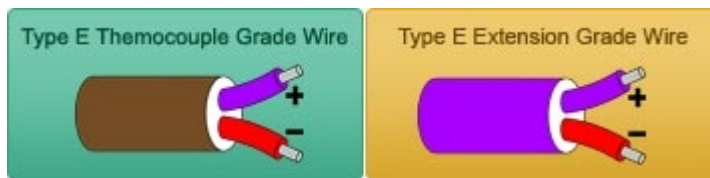
Accuracy (whichever is greater):

- Standard: +/- 1.0C or +/- .75%
- Special Limits of Error: +/- 0.5C or 0.4%

Type E Thermocouple (Nickel-Chromium/Constantan):

The Type E has a stronger signal & higher accuracy than the Type K or Type J at moderate temperature ranges of 1,000F and lower.

Temperature Range:



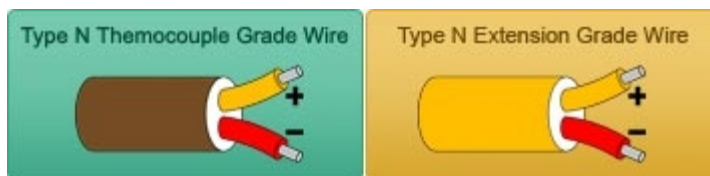
- Thermocouple grade wire, -454 to 1600F (-270 to 870C)
- Extension wire, 32 to 392F (0 to 200C)

Accuracy (whichever is greater):

- Standard: +/- 1.7C or +/- 0.5%
- Special Limits of Error: +/- 1.0C or 0.4%

Type N Thermocouple (Nicrosil / Nisil): The Type N shares the same accuracy and temperature limits as the Type K. The type N is slightly more expensive.

Temperature Range:



- Thermocouple grade wire, -454 to 2300F (-270 to 392C)
- Extension wire, 32 to 392F (0 to 200C)

Accuracy (whichever is greater):

- Standard: +/- 2.2C or +/- .75%
- Special Limits of Error: +/- 1.1C or 0.4%



## NOBLE METAL THERMOCOUPLES (Type S,R, & B): (Ευγενή Θ/Σ)

Noble Metal Thermocouples are selected for their ability to withstand extremely high temperatures while maintaining their accuracy and lifespan. They are considerably more expensive than Base Metal Thermocouples.

Type S Thermocouple (Platinum Rhodium - 10% / Platinum): The Type S is used in very high temperature applications. It is commonly found in the BioTech and Pharmaceutical industries. It is sometimes used in lower temperature applications because of its high accuracy and stability.

Temperature Range:



- Thermocouple grade wire, -58 to 2700F (-50 to 1480C)
- Extension wire, 32 to 392F (0 to 200C)

Accuracy (whichever is greater):

- Standard: +/- 1.5C or +/- .25%
- Special Limits of Error: +/- 0.6C or 0.1%

Type R Thermocouple (Platinum Rhodium -13% / Platinum): The Type R is used in very high temperature applications. It has a higher percentage of Rhodium than the Type S, which makes it more expensive. The Type R is very similar to the Type S in terms of performance. It is sometimes used in lower temperature applications because of its high accuracy and stability.

Temperature Range:



- Thermocouple grade wire, -58 to 2700F (-50 to 1480C)
- Extension wire, 32 to 392F (0 to 200C)

Accuracy (whichever is greater):

- Standard: +/- 1.5C or +/- .25%
- Special Limits of Error: +/- 0.6C or 0.1%

Type B Thermocouple (Platinum Rhodium – 30% / Platinum Rhodium – 6%): The Type B thermocouple is used in extremely high temperature applications. It has the highest temperature limit of all of the thermocouples listed above. It maintains a high level of accuracy and stability at very high temperatures.

Temperature Range:



- Thermocouple grade wire, 32 to 3100F (0 to 1700C)
- Extension wire, 32 to 212F (0 to 100C)

Accuracy (whichever is greater):

- Standard: +/- 0.5%
- Special Limits of Error: +/- 0.25%

### **ΑΣΚΗΣΗ 1:**

Ερωτηση: Μετρηση **14.82 mV** σε θερμοζευγος τυπου J με θερμοκρασια αναφορας σε 0°C. Ποια ειναι η θερμοκρασια μετραμε?

Απαντηση:

272 °C ---> 14.776

273 °C ---> 14.831

$\Delta V / \Delta T = 0.055 \rightarrow \Delta T = (14.82 - 14.776) / 0.055 = 0.8 \text{ } ^\circ\text{C}$

Μετρουμενη τιμη:  $272 + 0.8 = \mathbf{272.8 \text{ } ^\circ\text{C}}$

### **ΑΣΚΗΣΗ 2:**

Ερωτηση: Μετρηση 3.444 mV σε θερμοζευγος τυπου J με θερμοκρασια αναφορας σε 25°C. Ποια ειναι η θερμοκρασια που μετραμε?

Απαντηση: Η τάση της θερμοκρασιας αναφορας στους 25°C ειναι 1.277 mV. Η μετρουμενη τιμη πρεπει να διορθωθει:

$$1.277 + 3.444 = 4.721 \text{ mV}$$

Αυτη αντιστοιχει σε 89.907 °C