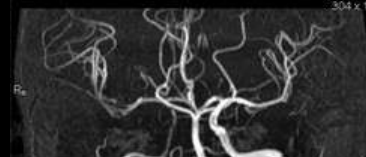


1.5T PMSH-6300U704FV
Ex: 167135489
Angio MP 3D/CMC
Se: 402/12
Int: 2/3
Cor: A15.8 (COI)

SALLINNA DIAGNOSTIKAKESKUS
1989 Jan 21 F
Acc: 2005 Apr 19
Acq Tm: 10.42.17.90

1.5T PMSH-YLV1998 N27
Ex: 13267100
MP 3D/CMC
Se: 322/17
Int: 3/3
Cor: A40.1 (COI)



ET: 0
TR: 23.0
TE: 6.9
Head
160.00x0.00sp
Lin DCM / Lin DCM / Id D
Vr: 1783 L 1351

304 x 194

ET: 0
TR: 20.0
TE: 5.2
Head
200.00x0.00sp
Lin DCM / Lin DCM / Id D
Vr: 1495 L 2325

ACC: 2005 Oct 26
Acq Tm: 12.45.10.93
296 x 179

Kujutise saamine MAGNETRESONANTSTOMOGRAAFIAS (MRT)

Magnetic Resonance Imaging - MRI

Mait Nigul

MRT kool, 2011, ERÜ

MRT baseerub füüsikalisel nähtuse
– tuumamagnetresonants
avastasid /kirjeldasid 1945 aastal

*Edward Purcell (Harvard),
Felix Bloch (Stanford)
(Nobeli preemia 1952)*



kujutise saamise meetodi
- magnetresonantstomograafia
leiutasid 1972-74

Paul Lauterbur,
Sir Peter Mansfield
(Nobeli preemia 2003)

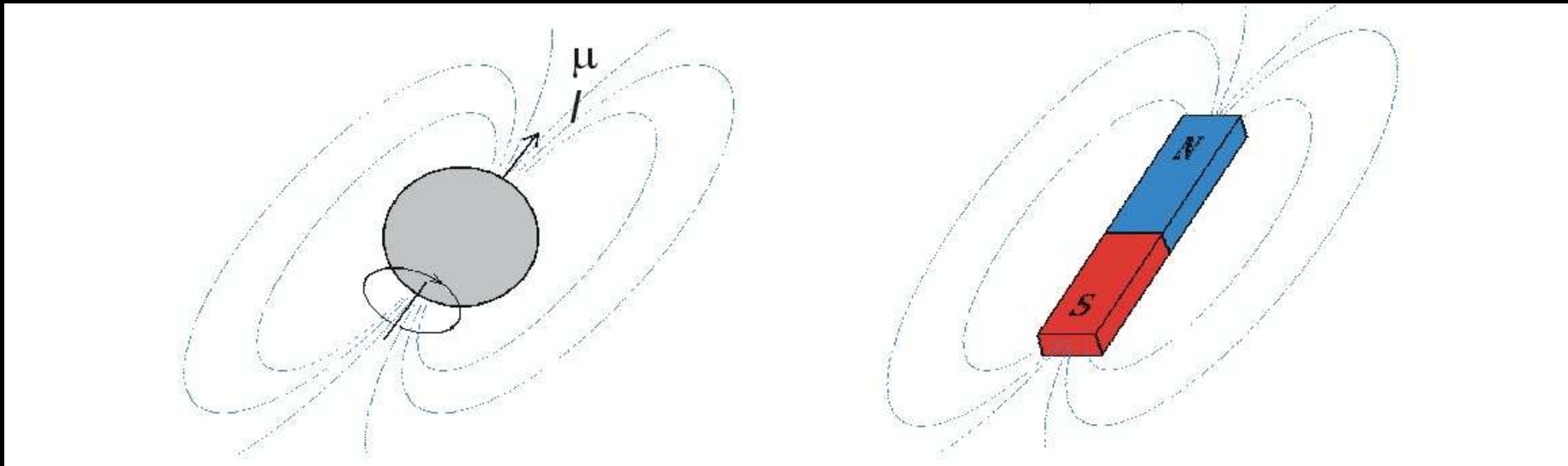
Richard Ernst
(Nobeli preemia 1991)



Esimene MRT kujutis inimese peaajust 1978



Aatomi tuum , millel on 0-st erinev spinn, sarnaneb magnetdipoolile.



Vesiniku tuum (prooton):

- pöörleb ümber oma telje
- on positiivse laenguga
- omab spinni
- omab magnetmomenti \vec{m}

Magnetdipool

tuumamagnetresonants saab tekkida tuumadel, millel on nullist erinev spinni kvantarv

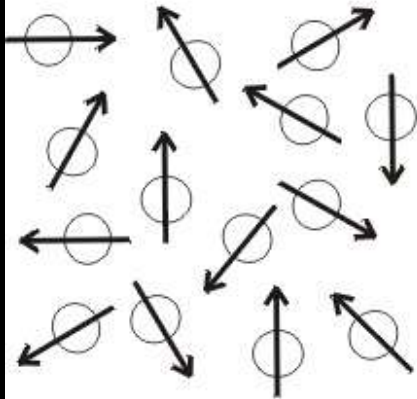
Tuum	Paaritud prootonid	Paaritud neutronid	Tuuma spinn	Küromagnetiline suhe γ (MHz/T)
^1H	1	0	1/2	42.58
^{31}P	1	0	1/2	17.25
^{23}Na	1	2	3/2	11.27
^{14}N	1	1	1	3.08
^{13}C	0	1	1/2	10.71
^{19}F	1	0	1/2	40.08

Vesiniku ^1H tuumade konsentratsioon bioloogilistes kudedes on kõrge.

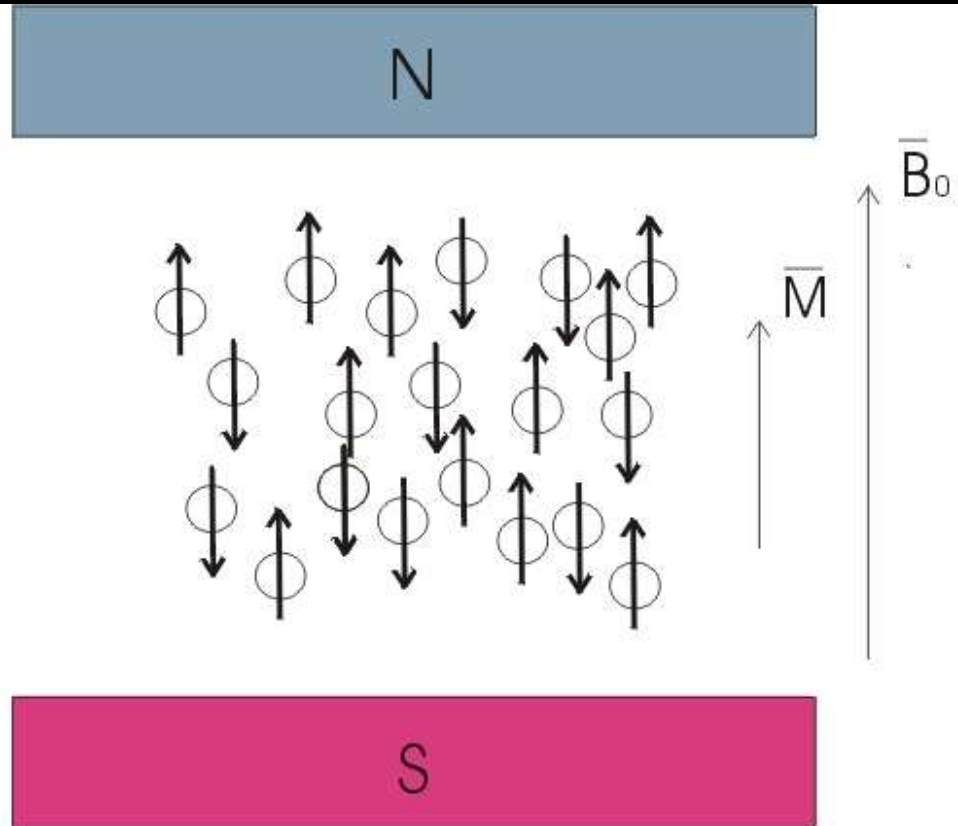
Vesinikku leidub ohtrasti :

- valkudes
- rasvhapetes
- vees

A



B



Joonis2: a) tuumade spinnide orientatsioon on juhuslik ja summaarne magnetmoment puudub. B) magnetväljas tuumade spinnid orienteeruvad magnetvälja järgi ja tuumade summaarne magnetmoment on välise väljaga samasuunaline.

Boltzmann'i jaotus

$$\frac{N^-}{N^+} = e^{-\frac{\Delta E}{kT}}$$

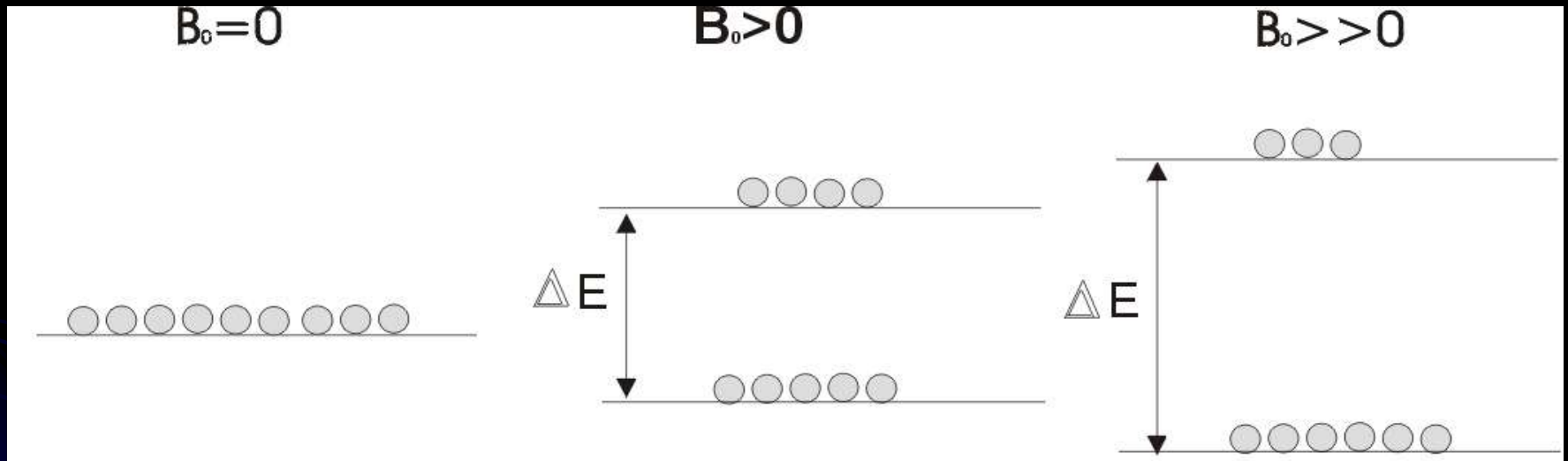
N^- - tuumade arv kõrgemal (ebastabiilsemal) energiatasemel

N^+ - tuumade arv madalamal (stabiilsemal) energiatasemel

k – Boltzmann'i konstant ($k = 1,3181 \cdot 10^{-23}$ J/K)

ΔE – kahe energiataseme vahe

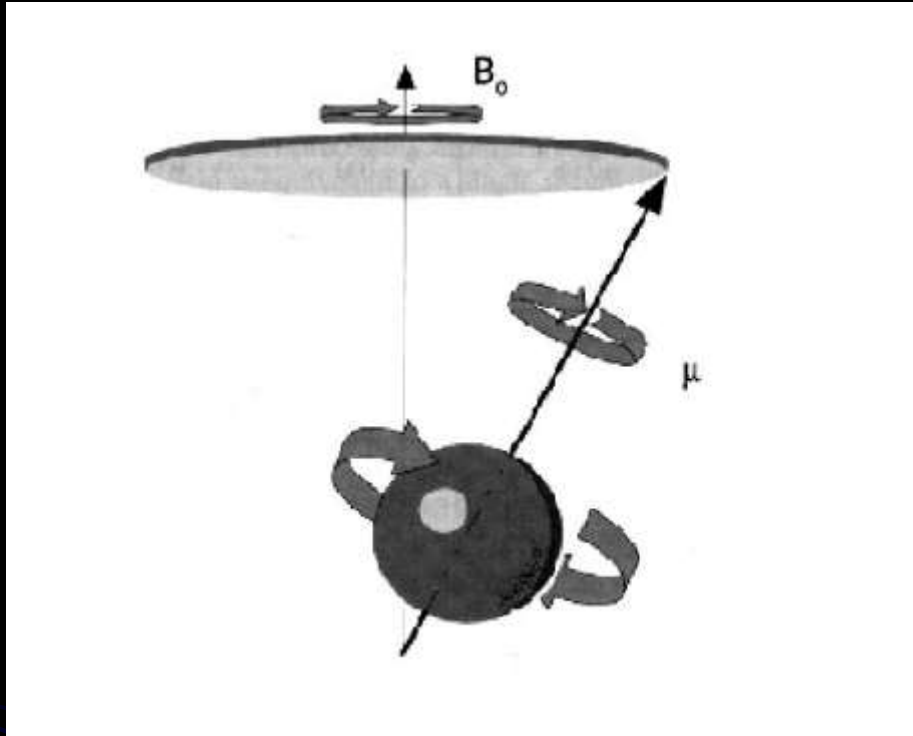
T – absoluutne temperatuur



Joonis3.

Välise magnetvälja puududes on kõik tuumad samal energiatasemel, välise magnetvälja korra jaotuvad tuumad kahele energiatasemele. Mida tugevam on väline magnetväli, seda suurem on energiatasemete vahe ΔE ja seda suurem osa tuumasid paikneb madalamal energiatasemel.

Tuuma magnetmomendi vektor hakkab pretsesseeruma alalismagnetväljas B_0



Pretsessiooni sagedus
(Larmor'i sagedus)

$$f_0 = B_0 \cdot \gamma$$

f_0 – resonantssagedus e Larmor'i sagedus, MHz

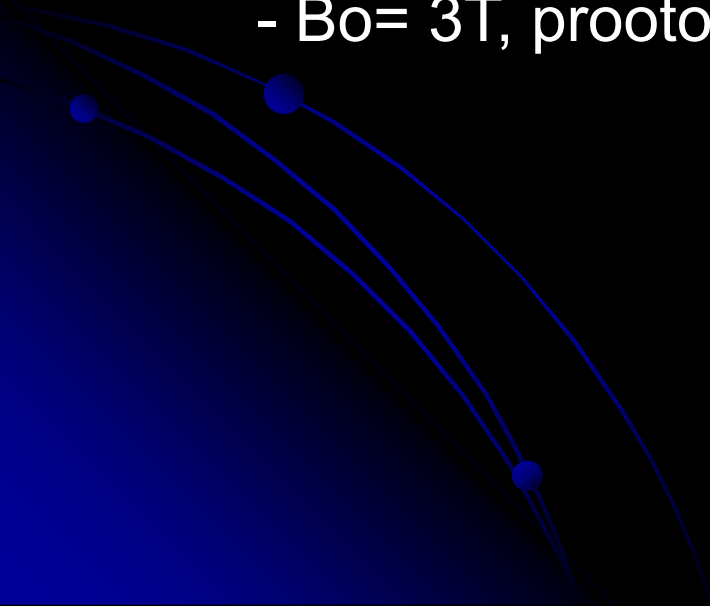
B_0 – välise magnetvälja tugevus, (tegelikult: magnetvoo tihedus) T (tesla)

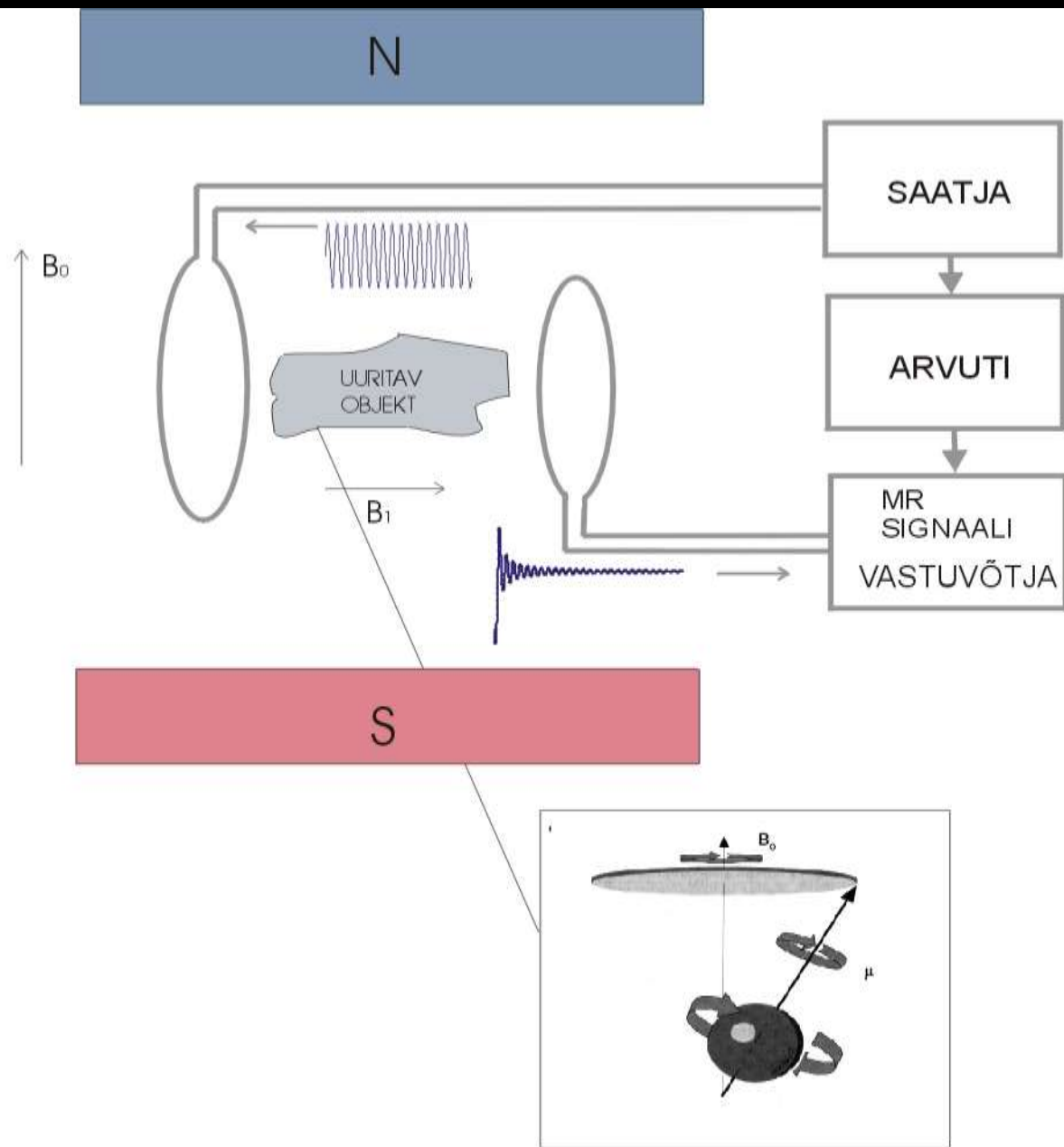
γ – isotoobi (tuuma) resonantssagedust iseloomustav güromagnetiline suhe, MHz/T

Maa magnetväli on umbes 0.035 – 0.070 mT.

Enamik magnetomograafe on ülijuhtmagnetiga, mille väli on üle 1 T:

- $B_0=1,5\text{T}$, prootonite resonantssagedus on ca 63 MHz
- $B_0= 3\text{T}$, prootonite resonantssagedus on ca 128MHz



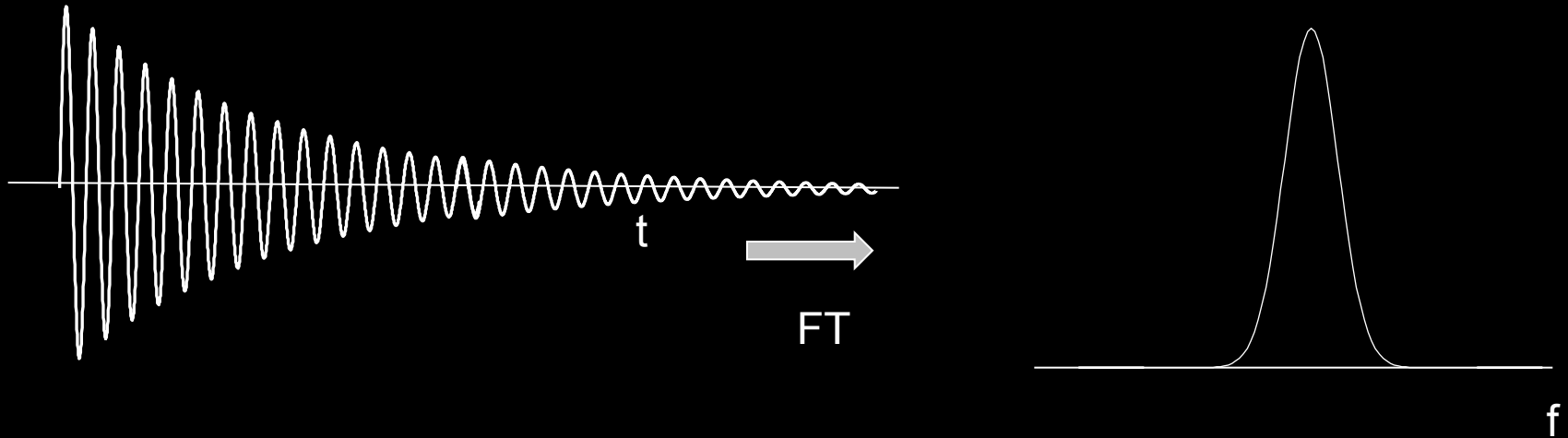


Joonis4:

Magnetresonantssignaali mõõtmiseks on vaja tuumasid, mis paiknevad alalisväljas ergastada alalisväljaga ristsuunalise impulsiga B_1 , mille sagedus vastab tuumade resonantssagedusele f_0 .

MR signaali sumbumine

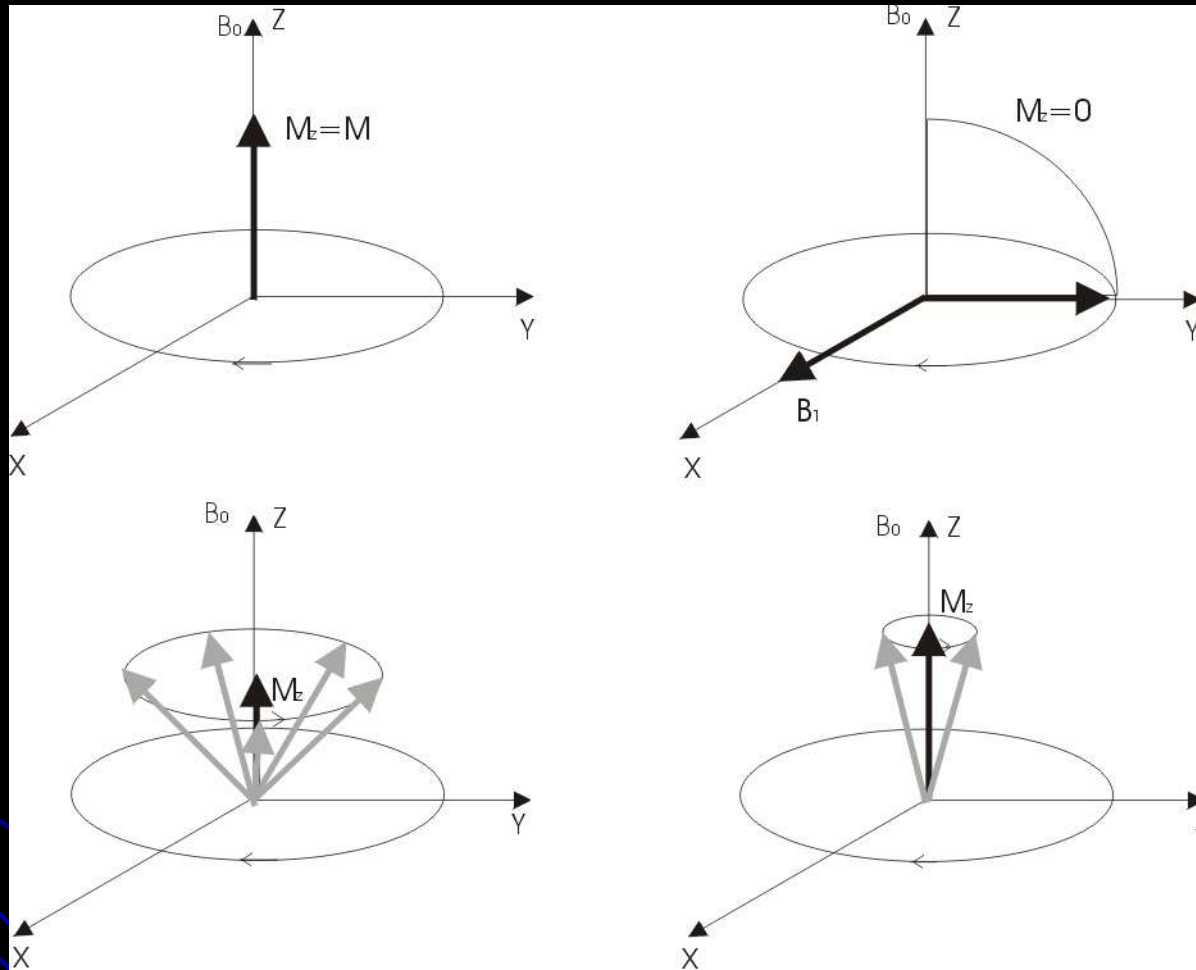
FID –free induction decay (vaba induktsiooni sumbumine)



MR signaali sumbumise põhjustab 2 erinevat sumbumismehhanismi:

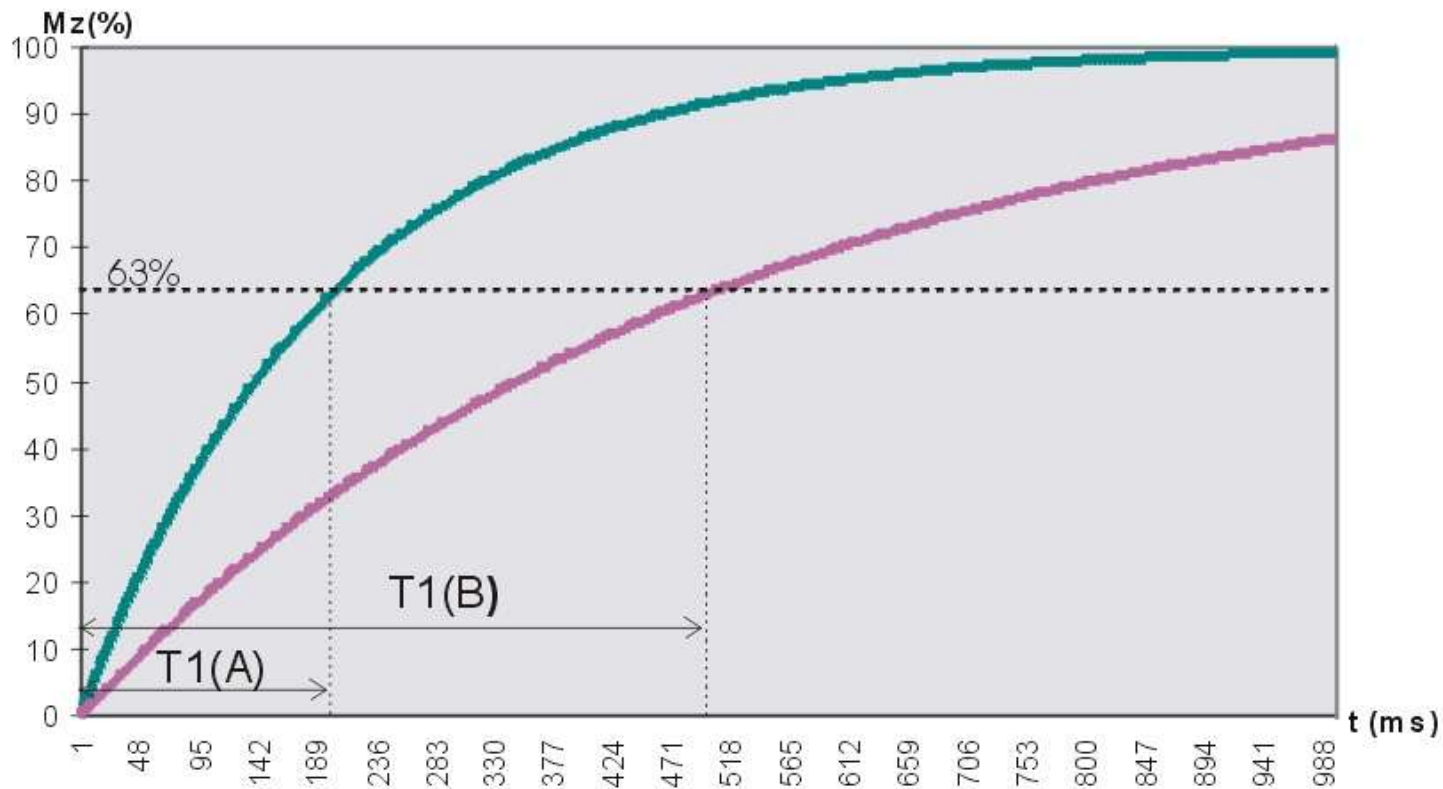
- T1 ehk spinn-võre sumbumine
- T2 ehk spinn-spinn sumbumine

Spinn-võre sumbumine



Joonis 6

Spinn - võre sumbumine ja magnetmomendi M_z komponendi taastumine peale 90° -st B_1 signaali.



Joonis 7:

Spinn-võre sumbumine ehk pikkisuunalise magnetmomendi M_z taastumise peale 90° saateimpulssi B1. Erinevate kudede (A ja B) magnetmomendi M_z taastumise kiirust iseloomustab ajakonstant T_1 .

$$M_z = M_{z0} \left(1 - e^{-\frac{t}{T_1}}\right)$$

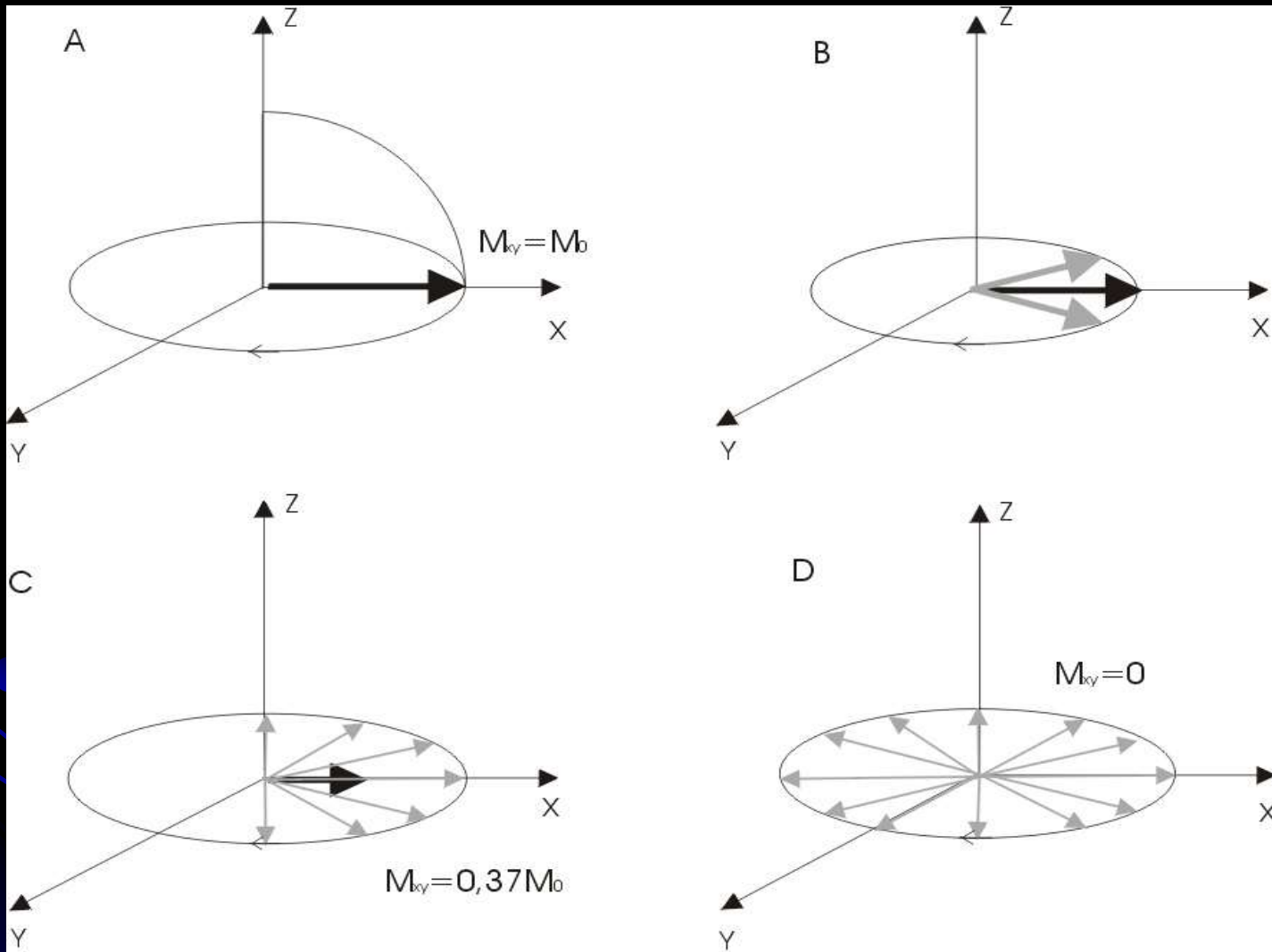
M_z – z telje suunaline magnetmomendi komponent

M_{z0} – magnetmoment alghetkel

t – ajahetk, millal olukorda vaadeldakse

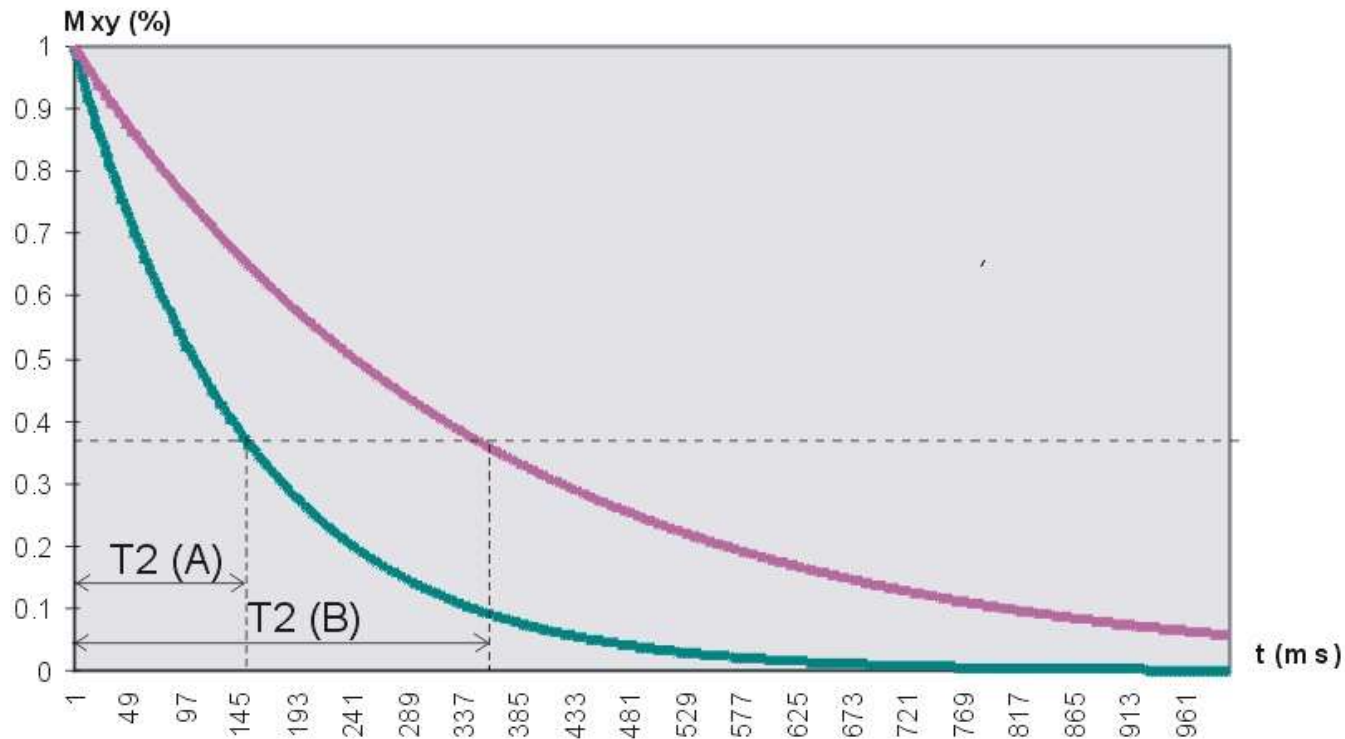
T_1 – koest sõltuv konstant, määrab, kui kiiresti magnetmomendi vektor pöörduv tagasi algolekusse

Spinn-Spinn sumbumine – T2 (T2*) kontrastsuse tekke alus



Joonis8

Spinn - spinn sumbumine tuleneb tuumade magnetmomentide eristumisest ja hajumisest xy-tasapinnas.



Joonis 9:

Spinn - spinn sumbumine ehk ristisuunalise magnetmomendi M_{xy} hääbumine peale 90° ergutussignaali B_1 . Erinevates kudedes (A ja B) on spinn - spinn sumbumist iseloomustav ajakonstant T_2 erinev.

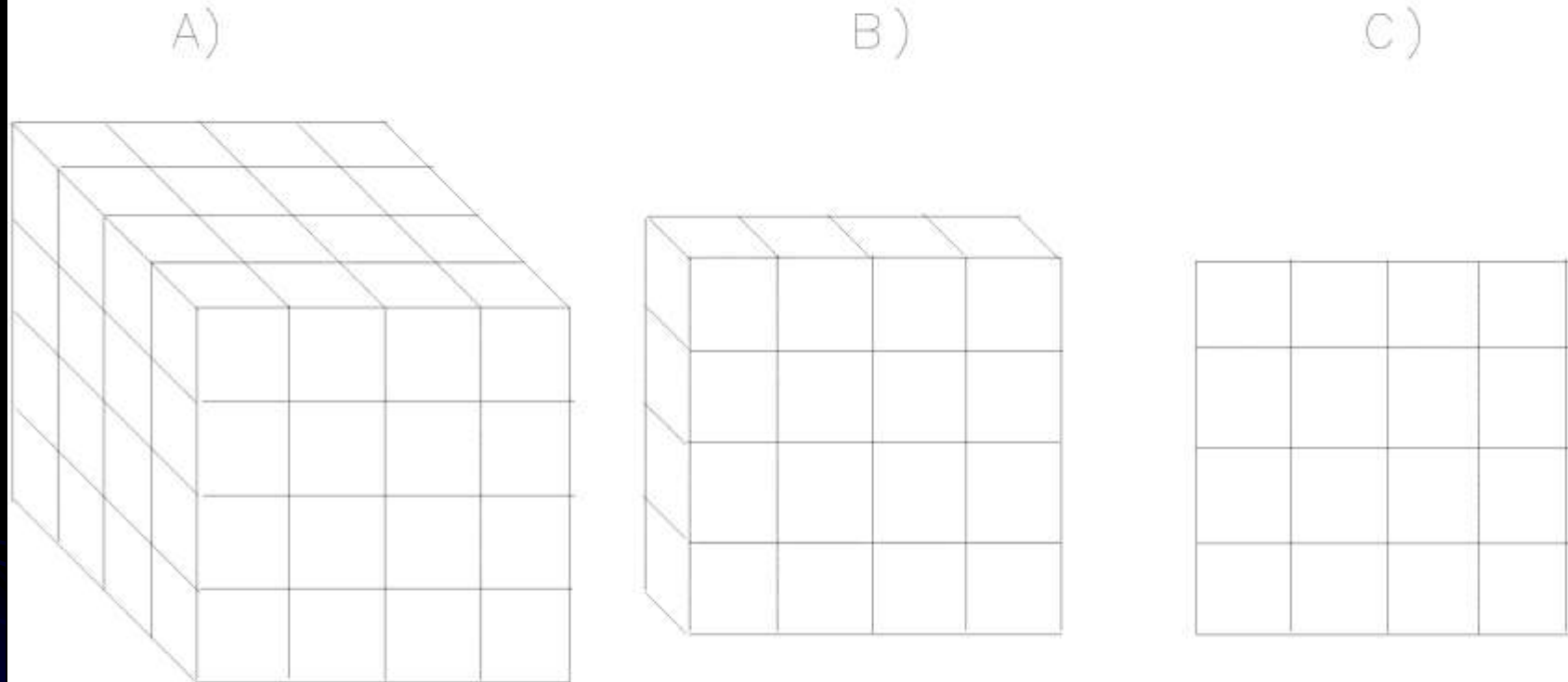
$$M_{xy} = M_{xy0} e^{-\frac{t}{T_2}}$$

M_{xy} – xy – telje suunaline magnetmomendi komponent
 M_{xy0} – magnetmoment alghetkel
 t – ajahetk, millal olukorda vaadeldakse
 T_2 - koest sõltuv konstant, määrab, kui kiiresti magnetmomendi vektor pöördub tagasi algolekusse

Kude	T_1 (ms)	T_2 (ms)
Aju hallaine	450	101
Aju valgeaine	350	96
CSF	1500	510
Lihaskude	500	60
Rasvkude	230	60
Nahk	320	40
Luuüdi	390	

Tabel 2. Ajakonstantide T_1 ja T_2 väärtused erinevates kudedes väljatugevusel 0,15 T

Resonantssignaali kodeerimine ruumi kolmes suunas 2D kujutise formeerimiseks valitud ruumikihist.

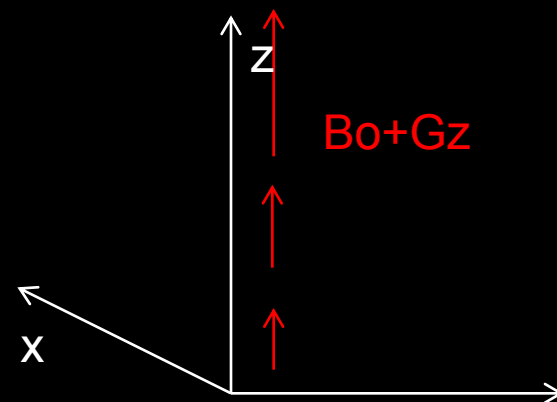
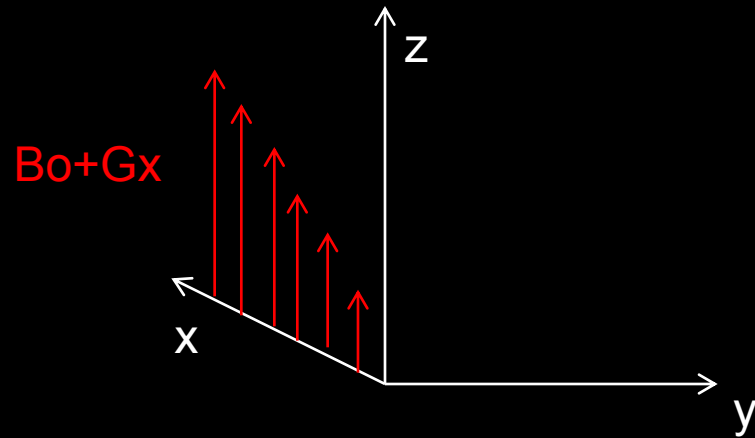
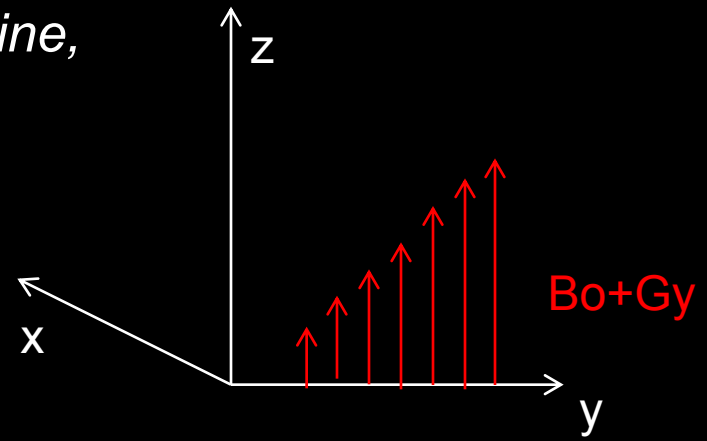


Joonis 10.2: Kujutise saamiseks jagatakse uuritav ruumipiirkond väikesteks ruumiosadeks vokseliteks (A). Lõigugradiendi abil selekteeritakse välja üks kiht vokseleid (B). Kasutades faasi- ja sagedusgradientide abil, on salvestatud andmemassiivi hiljem võimalik dekodeerida, andes igale üksikule vokselile arväärtuse, mis vastab sellest vokselist saabunud resonantssignaali intensiivsusele. Saadud maatriksi baasil rekonstrueeritakse kahedimensionaalne kujutis (C), kus iga pikseli heledus on vastavuses vokseli arväärtusega ja pikselite arv ja mõõtmed on vastavuses vokselite arvu ja mõõtmetega.

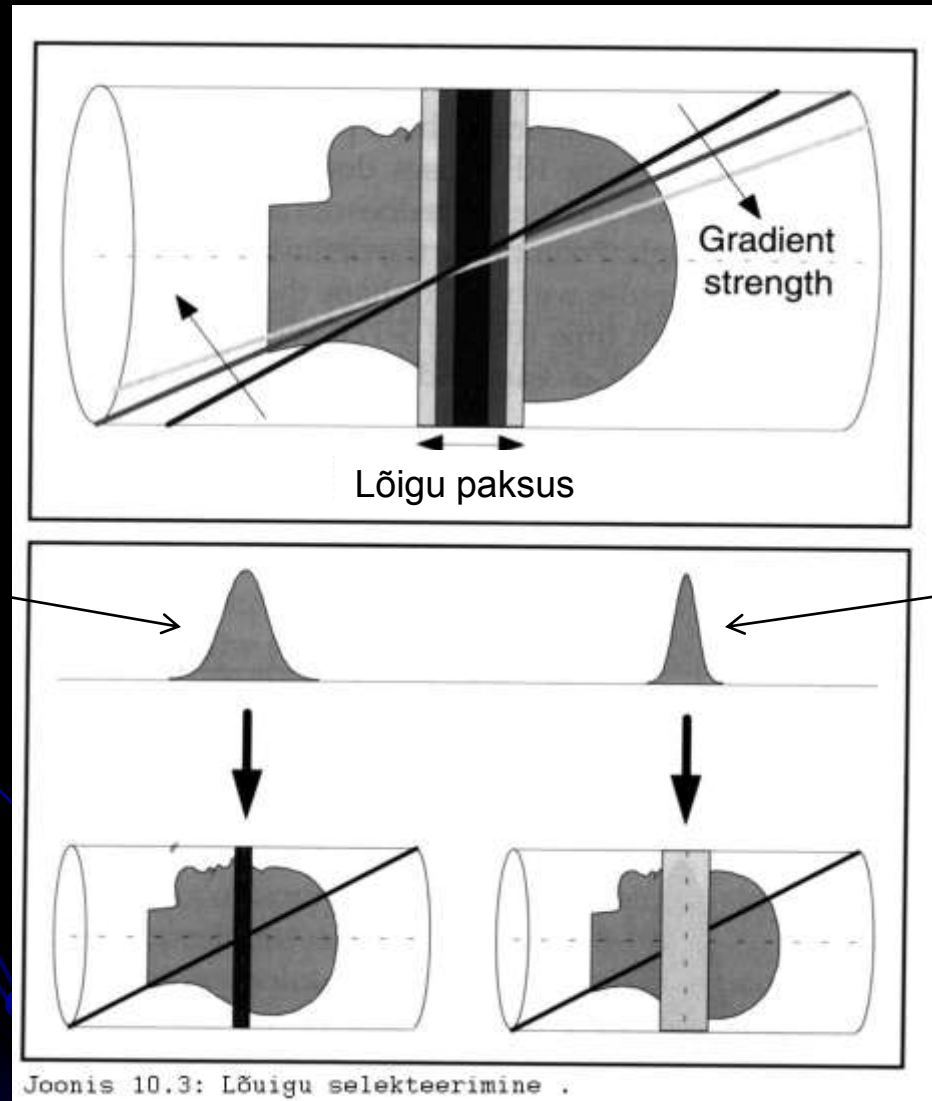
Resonantssignaali ruumiline kodeerimine, Väljagradiendid

Signaali ruumiliseks kodeerimiseks on vaja 3 erisuunalist väljagradienti:

- Lõigu selekteerimise gradient G_s
- Sageduskodeerimise gradient G_f
- Faasi kodeerimise gradient G_p



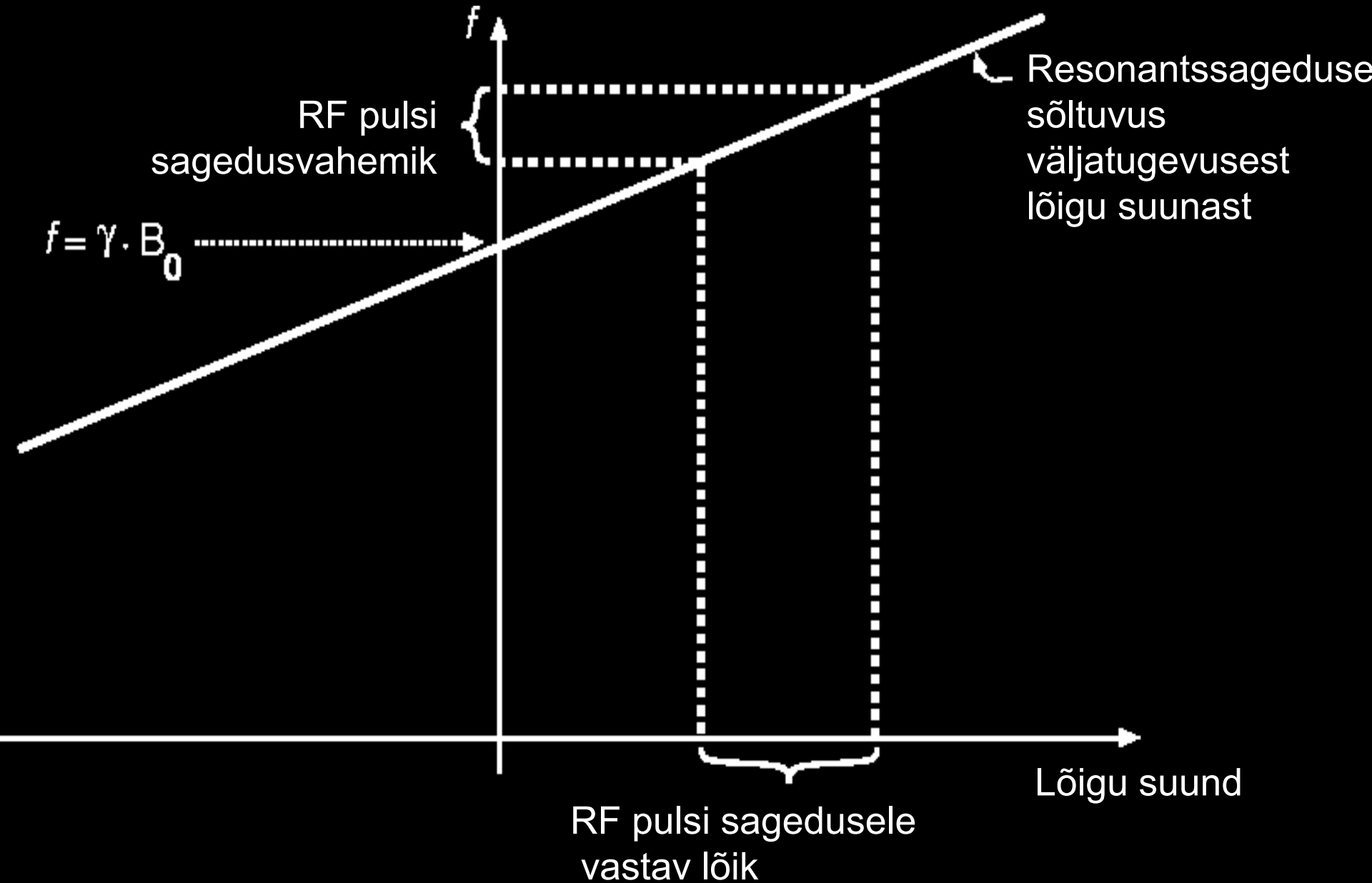
Lõiku selekteeriv gradient



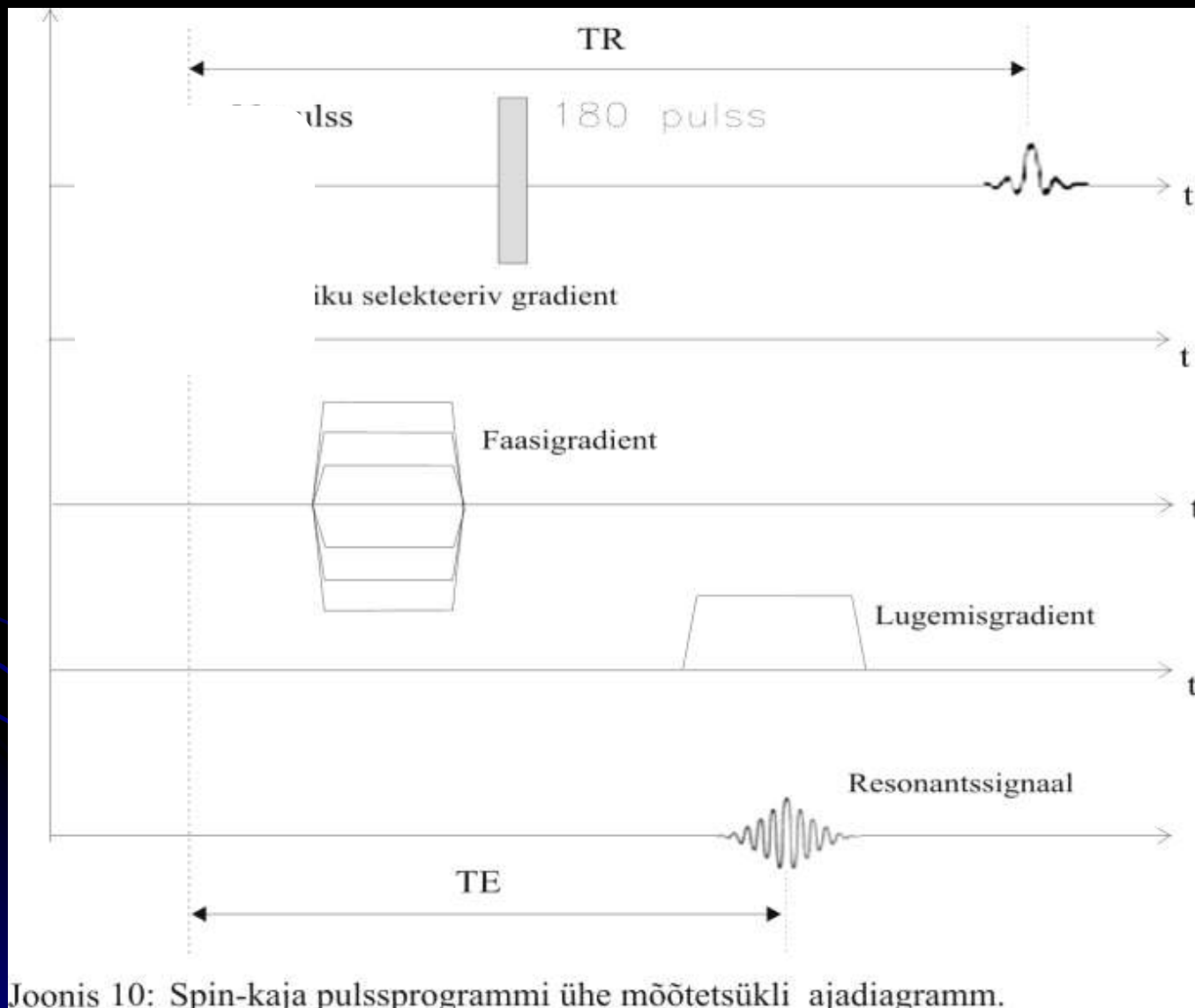
Kitsaribaline RF pulss

Laiaribaline RF pulss

Lõiku selekteeriv gradient



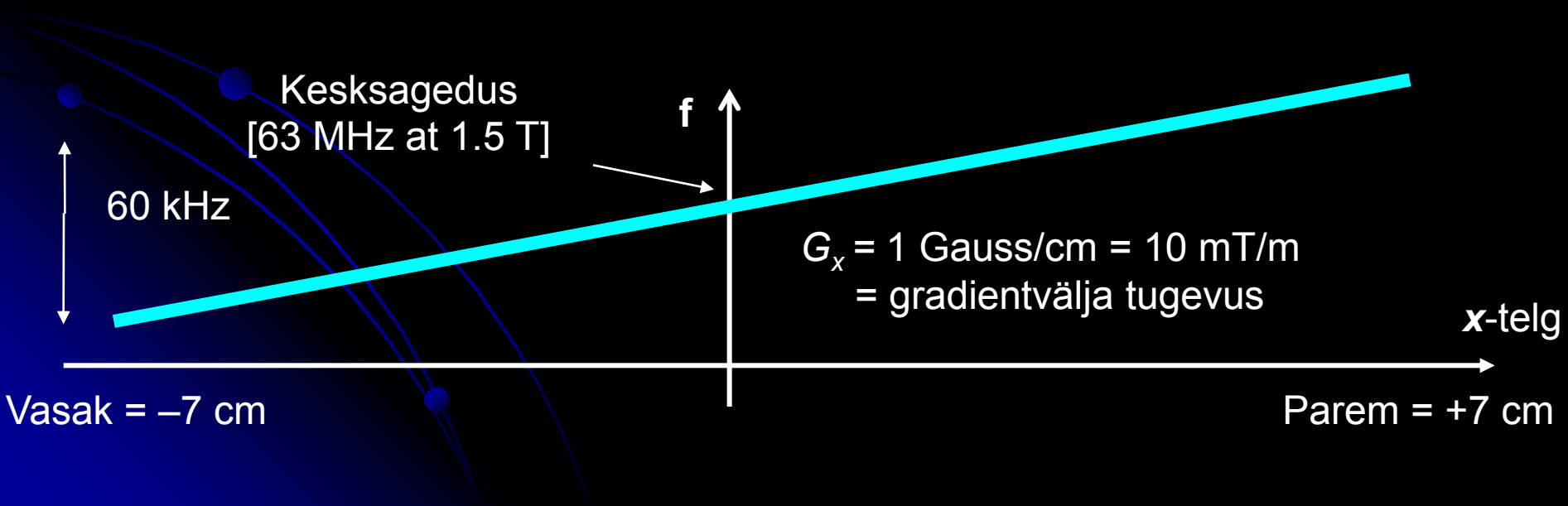
Pulssprogramm – lõigu selekteerimine



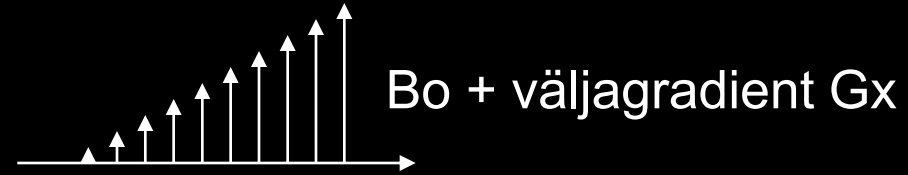
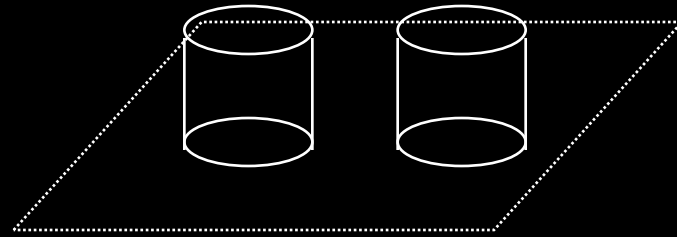
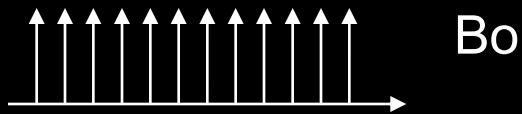
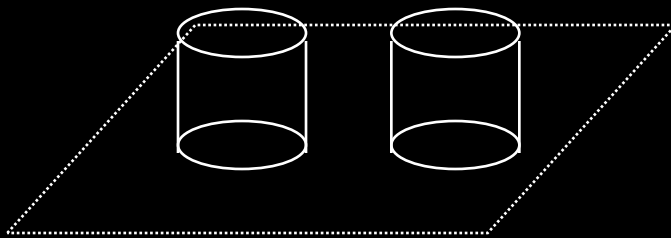
Joonis 10: Spin-kaja pulssprogrammi ühe mõõtettsükli ajadiagramm.

Sageduskodeerimine

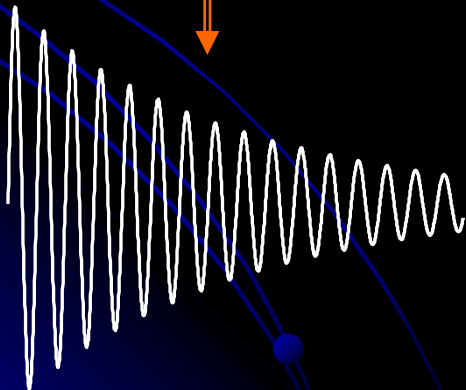
- Sageduskodeerimise gradient rakendatakse resonantssignaali (kaja) lugemise ajal.
- Resonantssignaali sagedus on vastavuses signaallikka asukohaga ruumis lugemisgradiendi suunas.



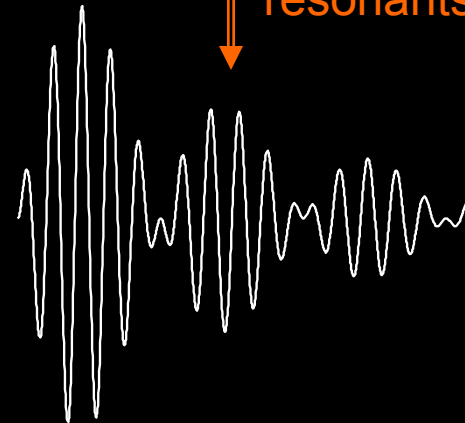
Sageduskodeerimine



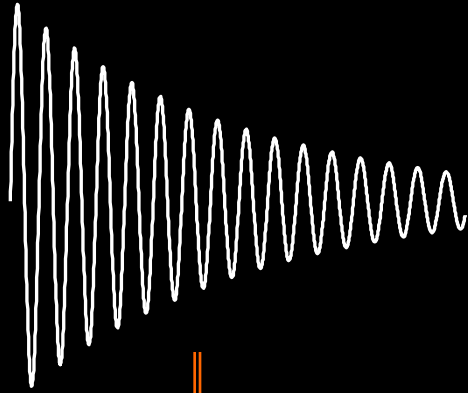
resonantssignaali



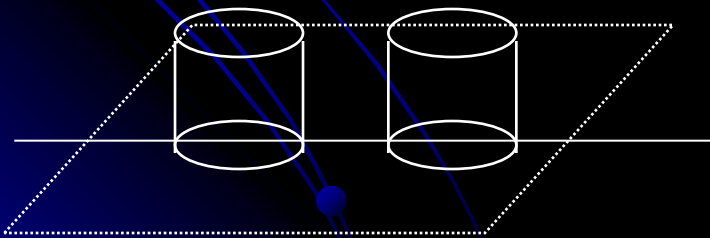
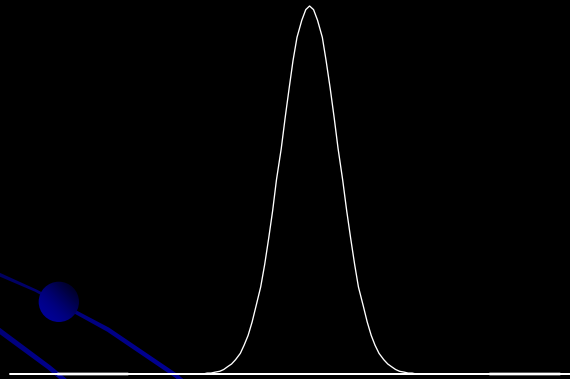
resonantssignaali



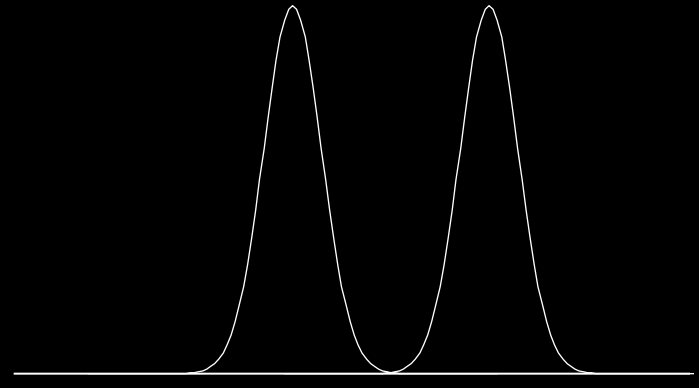
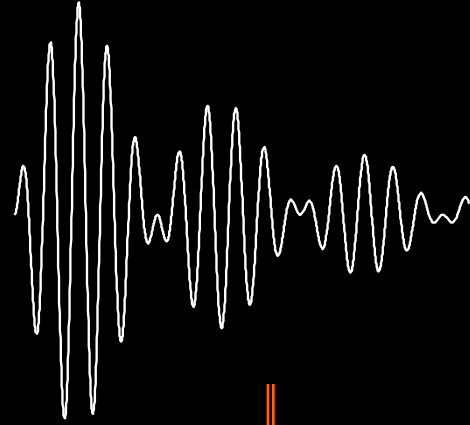
ilma sageduse kodeerimiseta



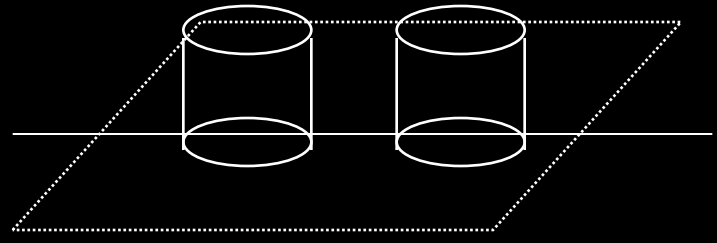
Teisendus
sageduskarakteristikuks



sageduse kodeerimisega

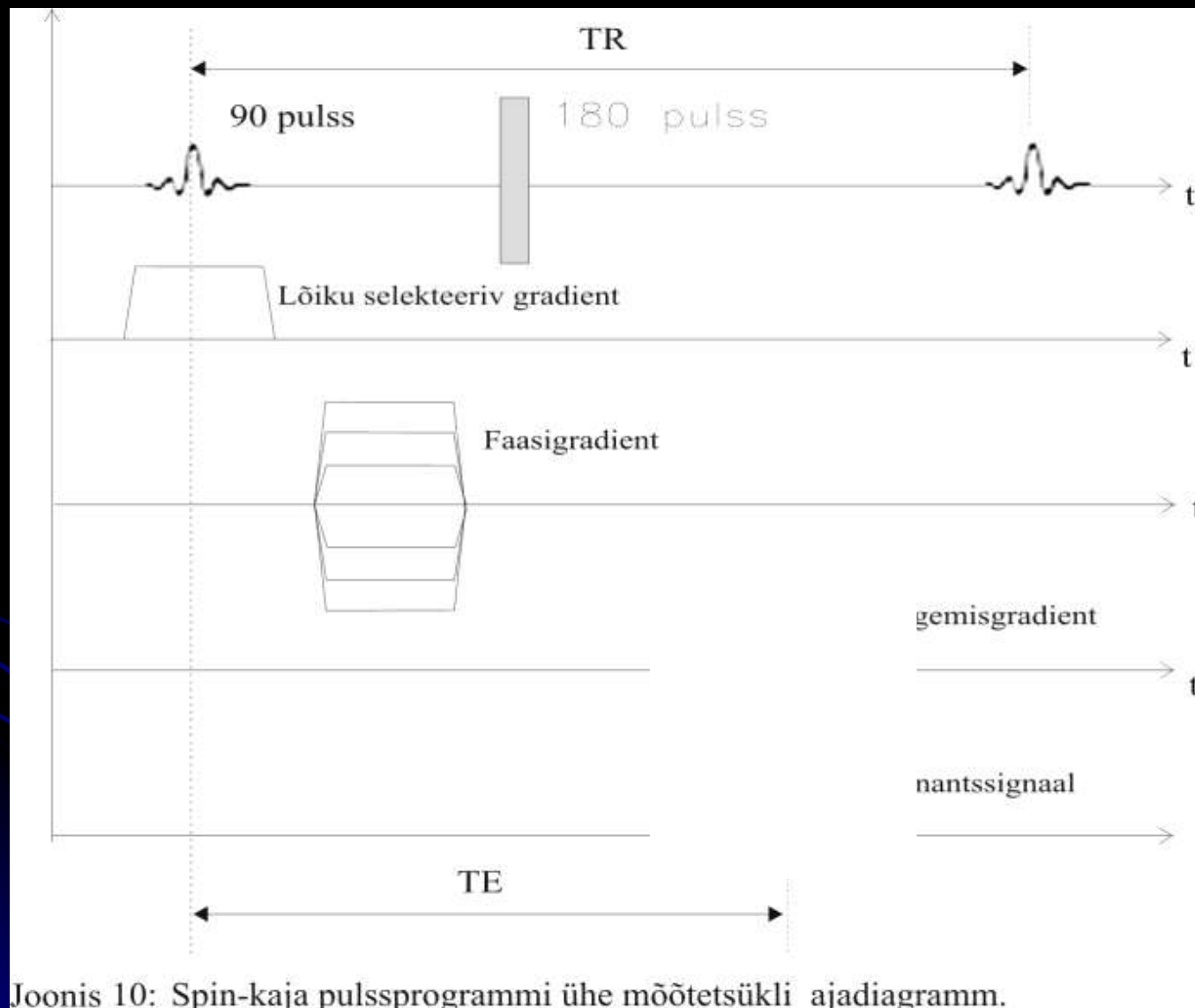


f



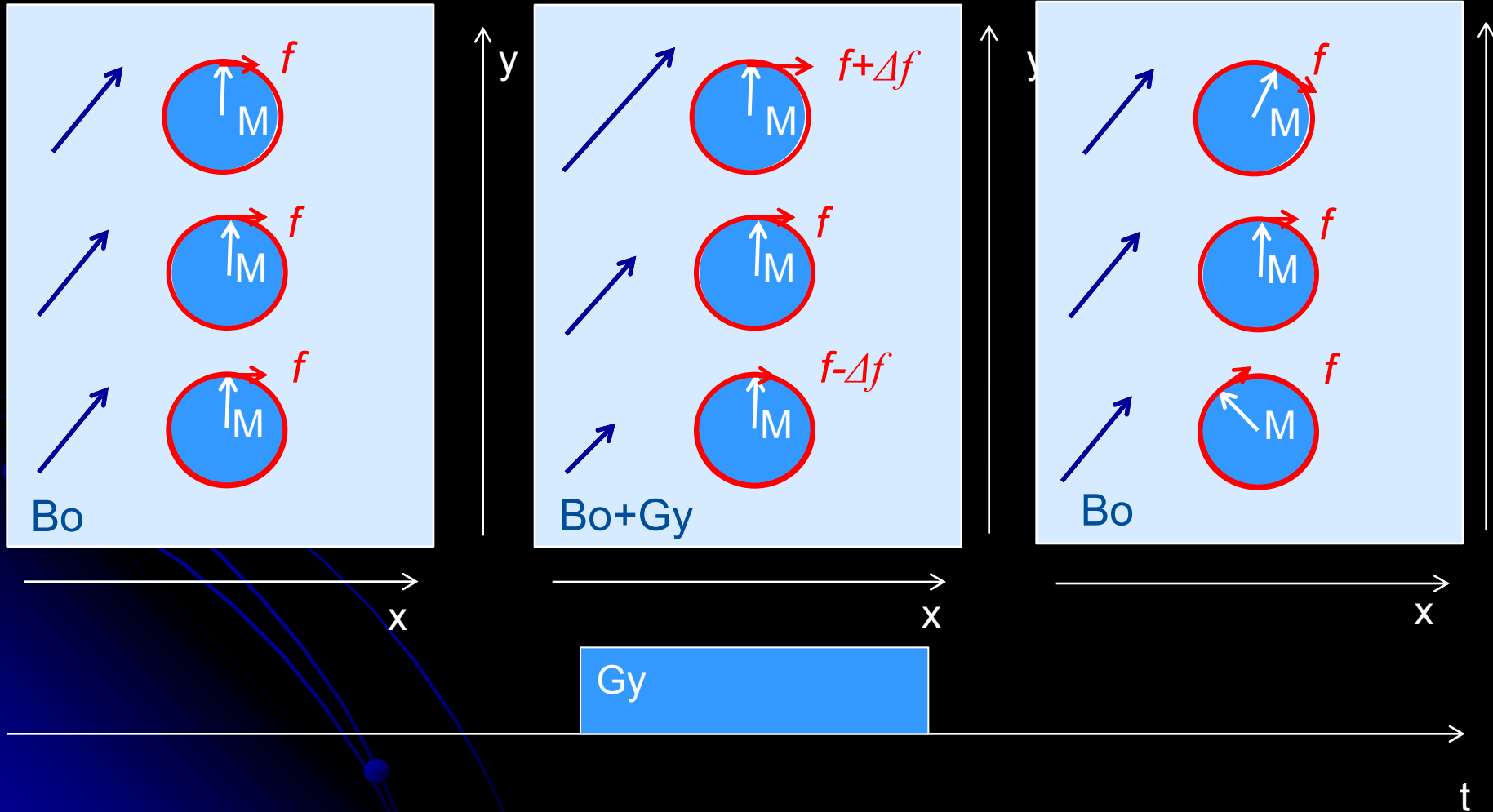
x

Pulssprogramm – kodeerimine sageduse järgi.

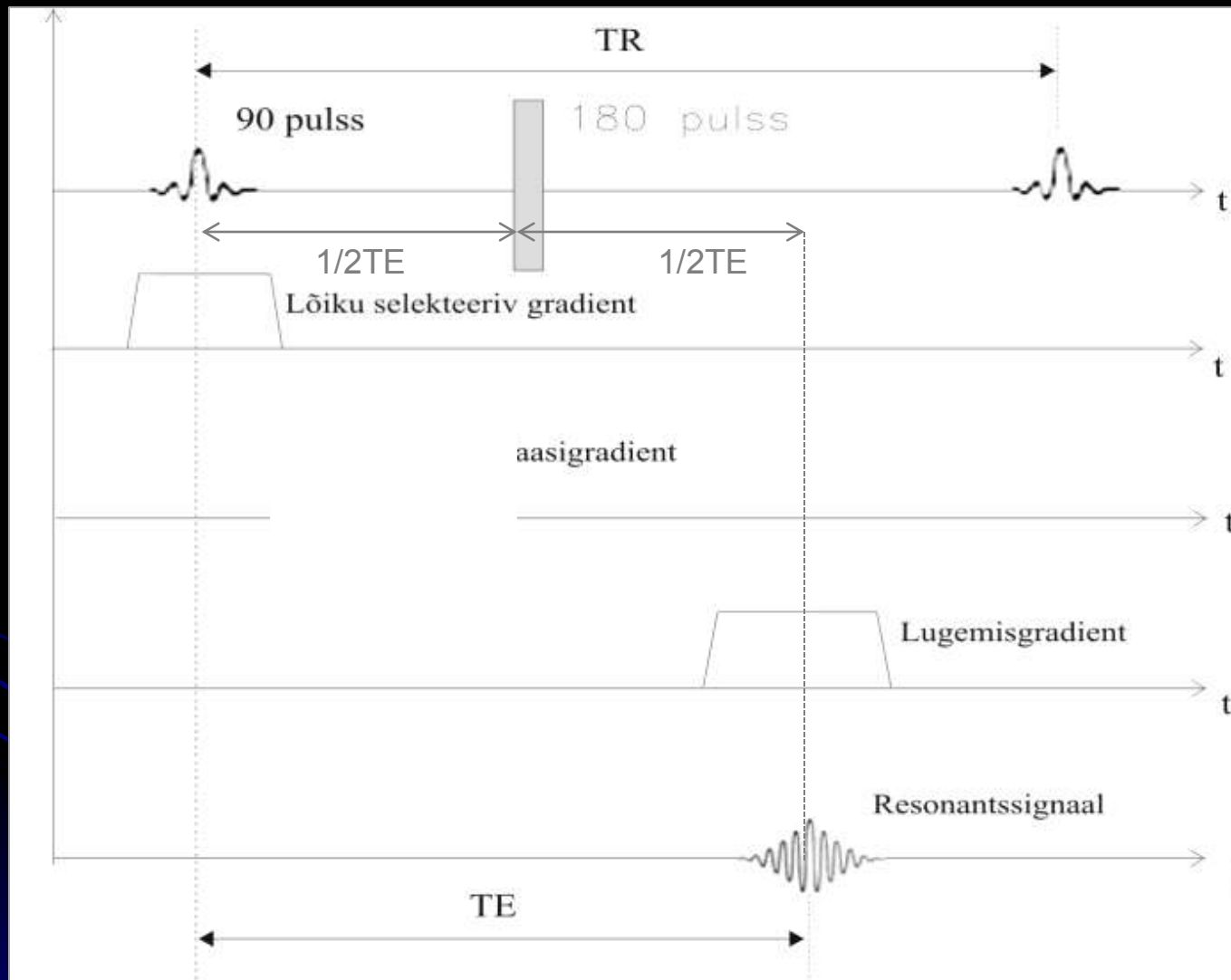


Joonis 10: Spin-kaja pulssprogrammi ühe mõõtetsükli ajadiagramm.

Faasi kodeerimine

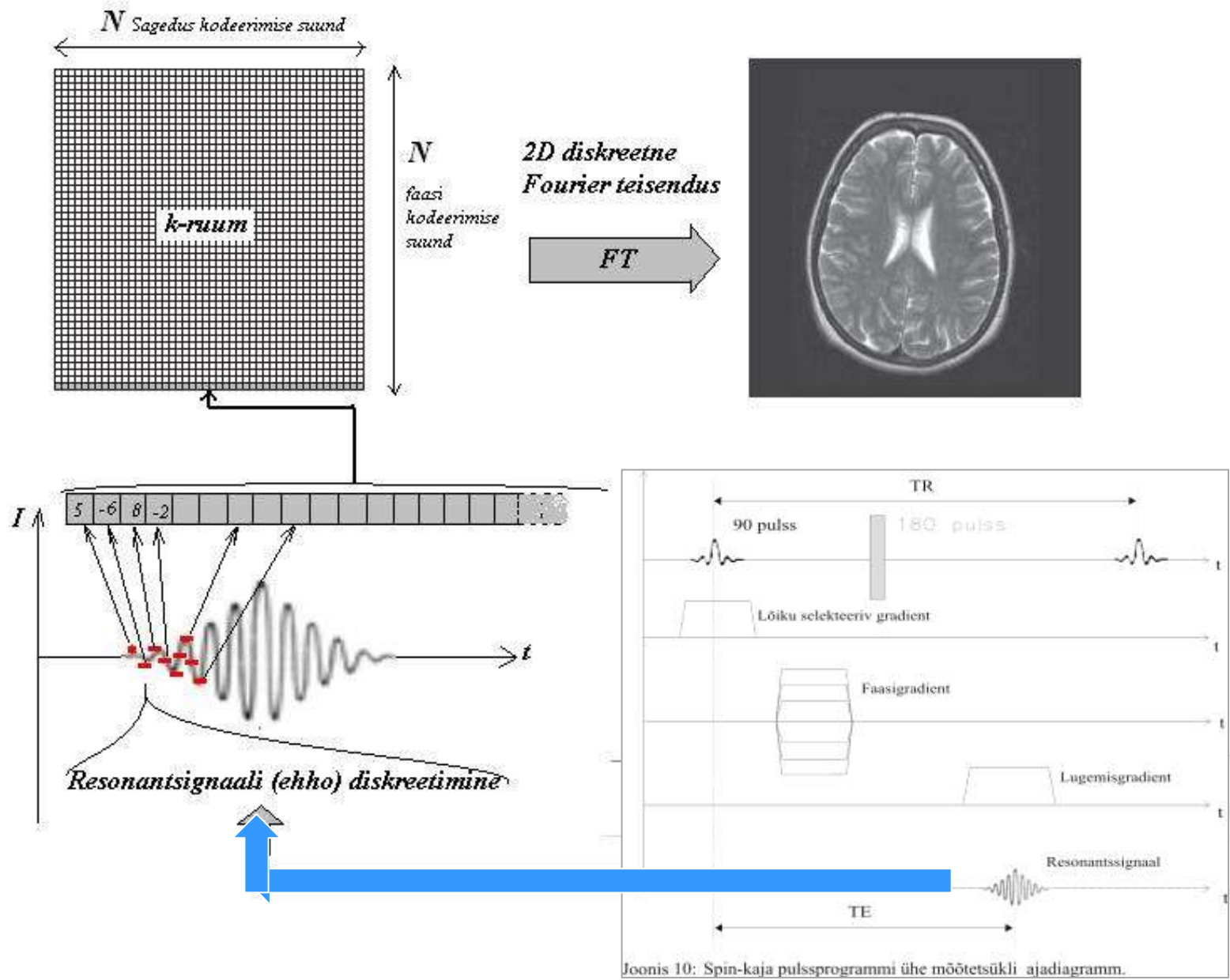


Pulssprogramm



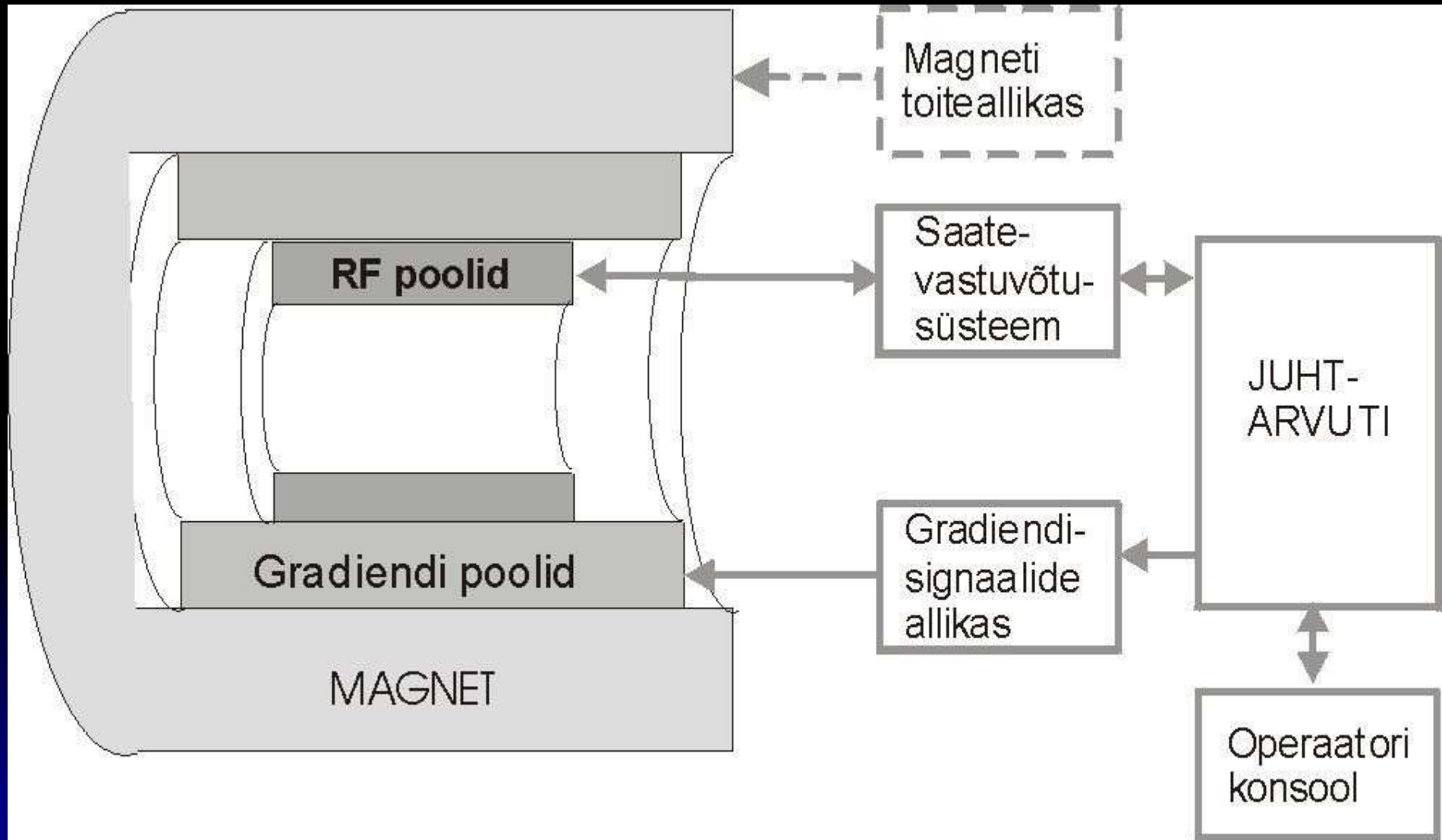
Joonis 10: Spin-kaja pulssprogrammi ühe mõõtetsükli ajadiagramm.

Kaja diskreetimine, *k*-ruum, kujutise rekonstruktsioon



Joonis 10: Spin-kaja pulssprogrammi ühe mõõtetsükli ajadiagramm.

Magnetresonantstomograaf - see on imelihtne!



Joonis 17

MR tomograafi riistvara üldine blokskeem.

Lõigusuund on vabalt valitav !

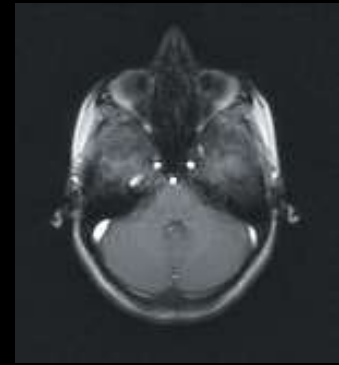
Väljagradiente pulsprogrammis vahetades saame muuta lõigusuundi.



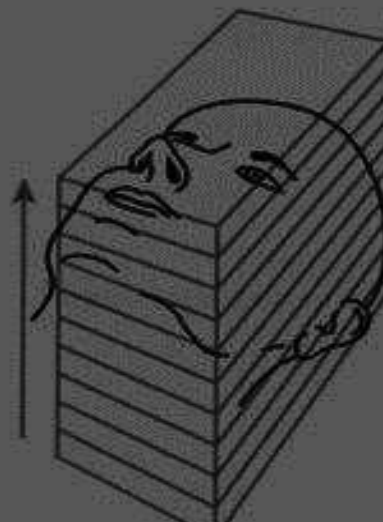
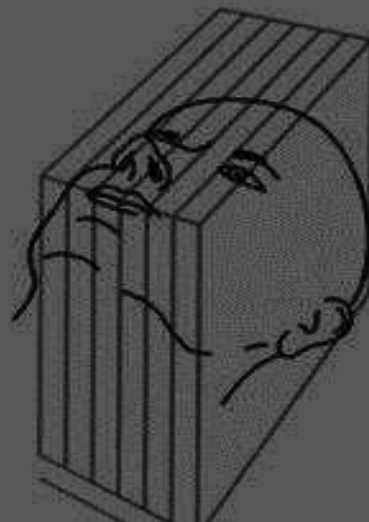
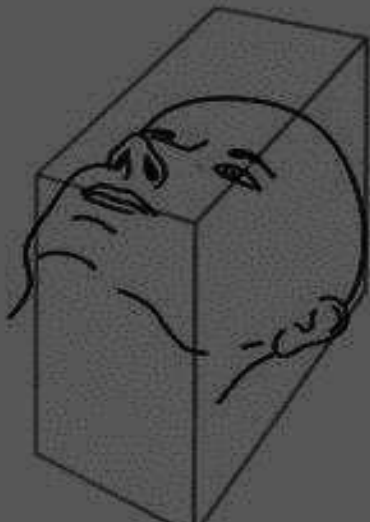
Sagitaalne



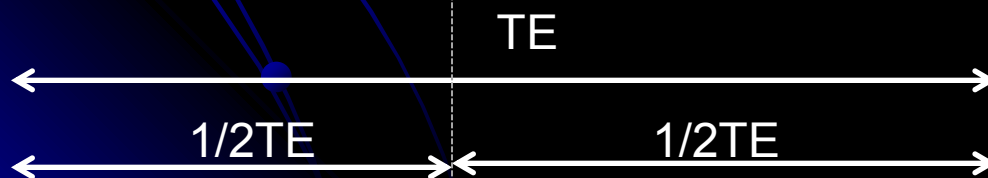
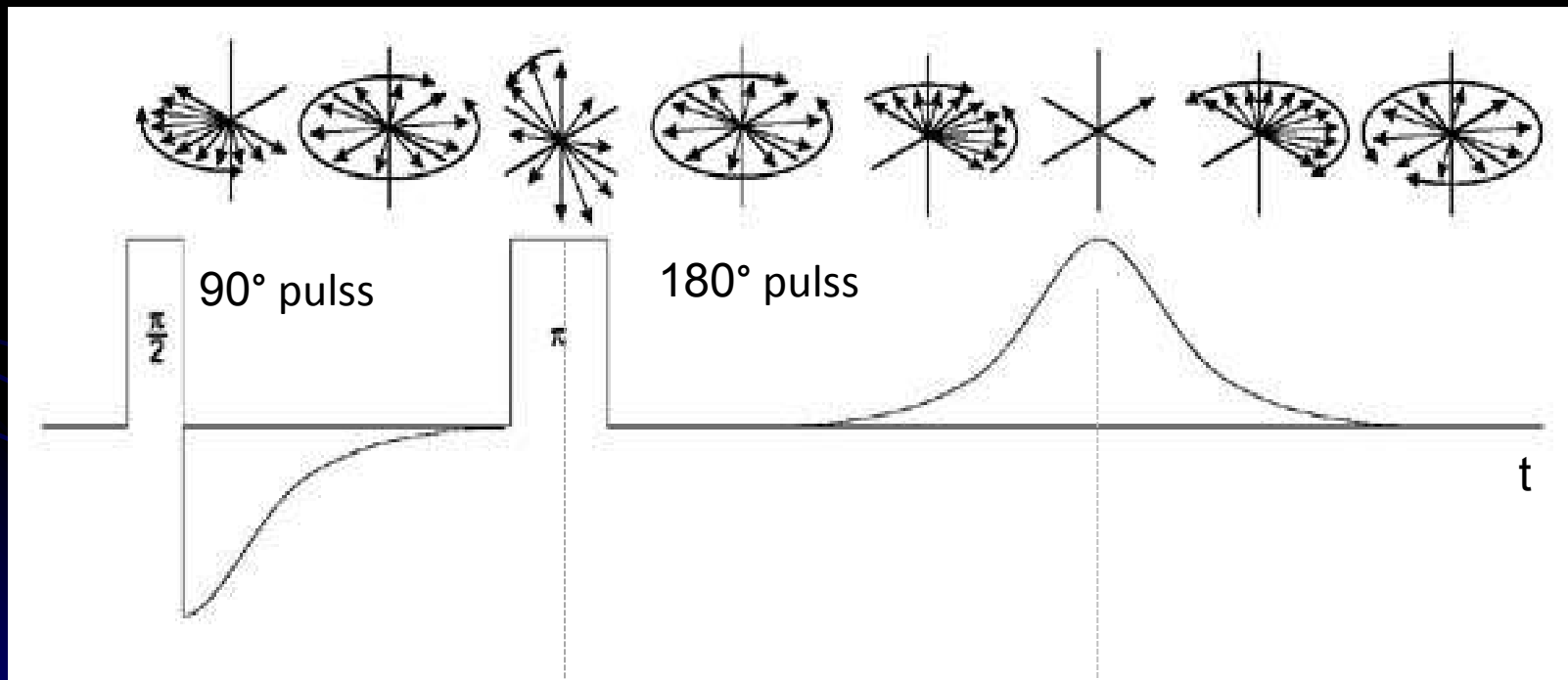
Koronaalne



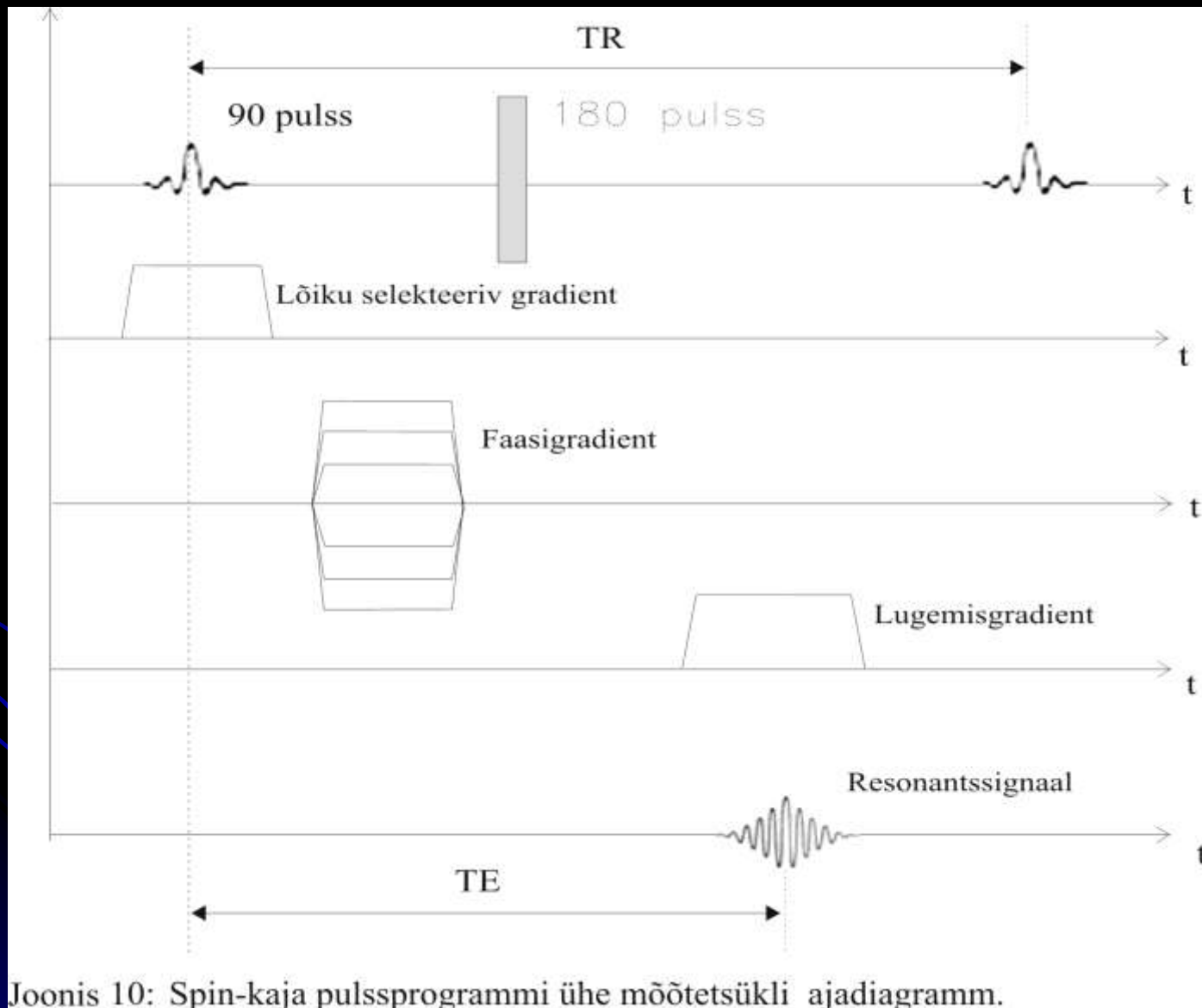
Transversaalne
(transaksiaalne)



SE pulssprogrammimis kaja teke



Spinn-kaja (SE) pulssprogramm



Joonis 10: Spinn-kaja pulssprogrammi ühe mõõtetsükli ajadiagramm.

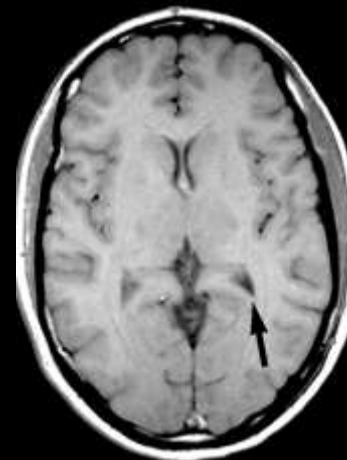
Kujutise kontrastsus

Kontrastsus sõltuvalt TR ja TE valikust

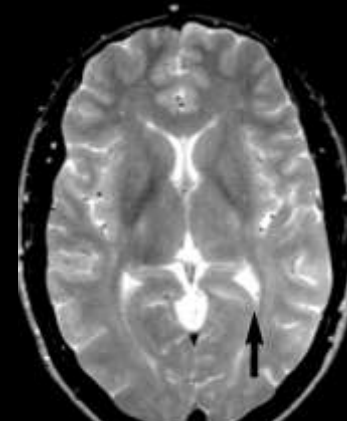
- Lühike TR = 400 ms, pikk TR = tuhanded ms
- Lühike TE = 10 – 15 ms, pikk TE = 50 – 100 ms

Kontrastsus	TR	TE
T_1	lühike	lühike
T_2	pikk	pikk
prooton tihedus	pikk	lühike

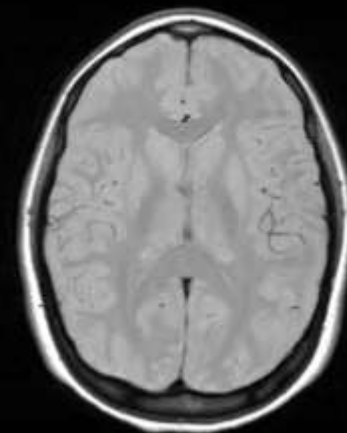
T1



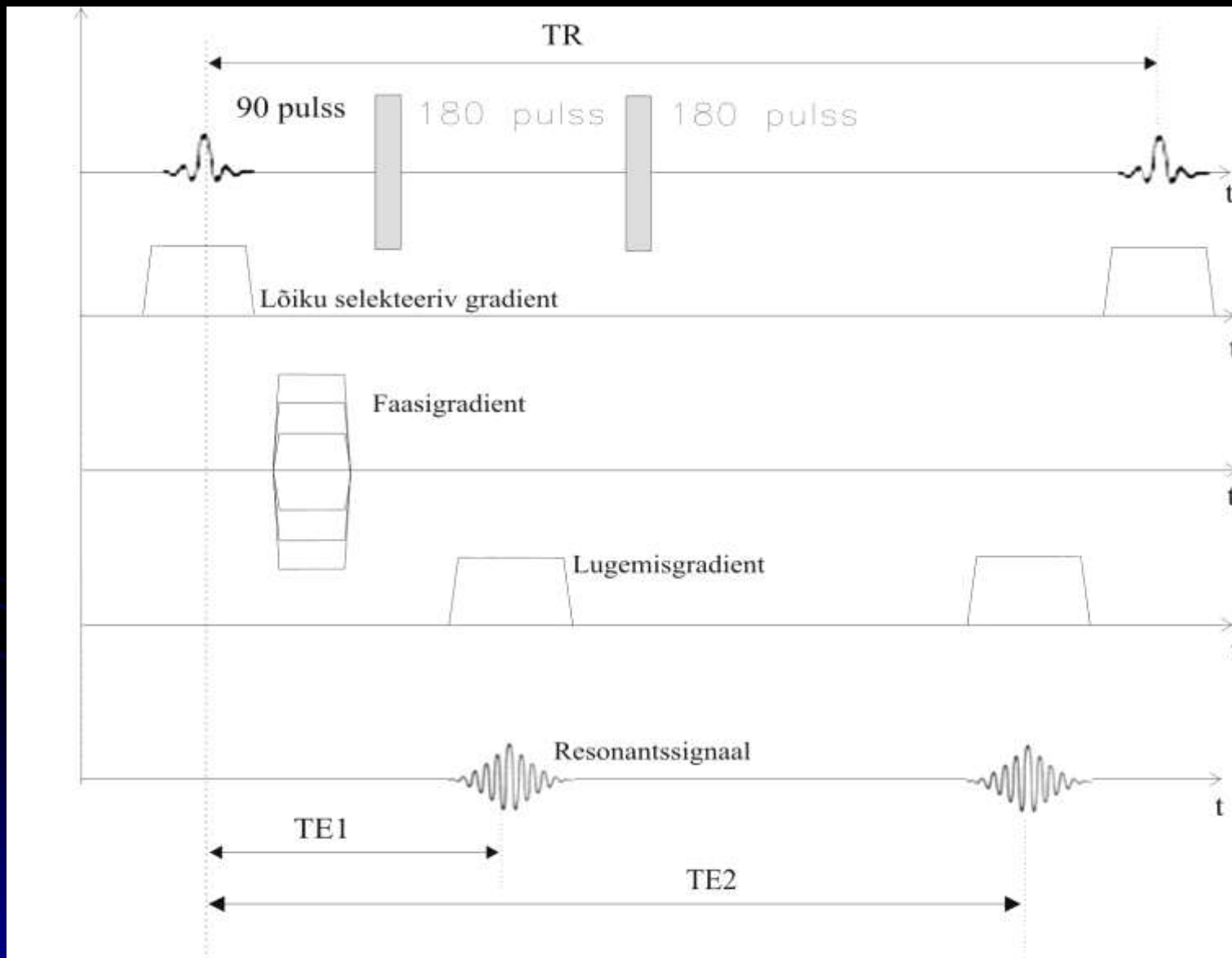
T2



PD

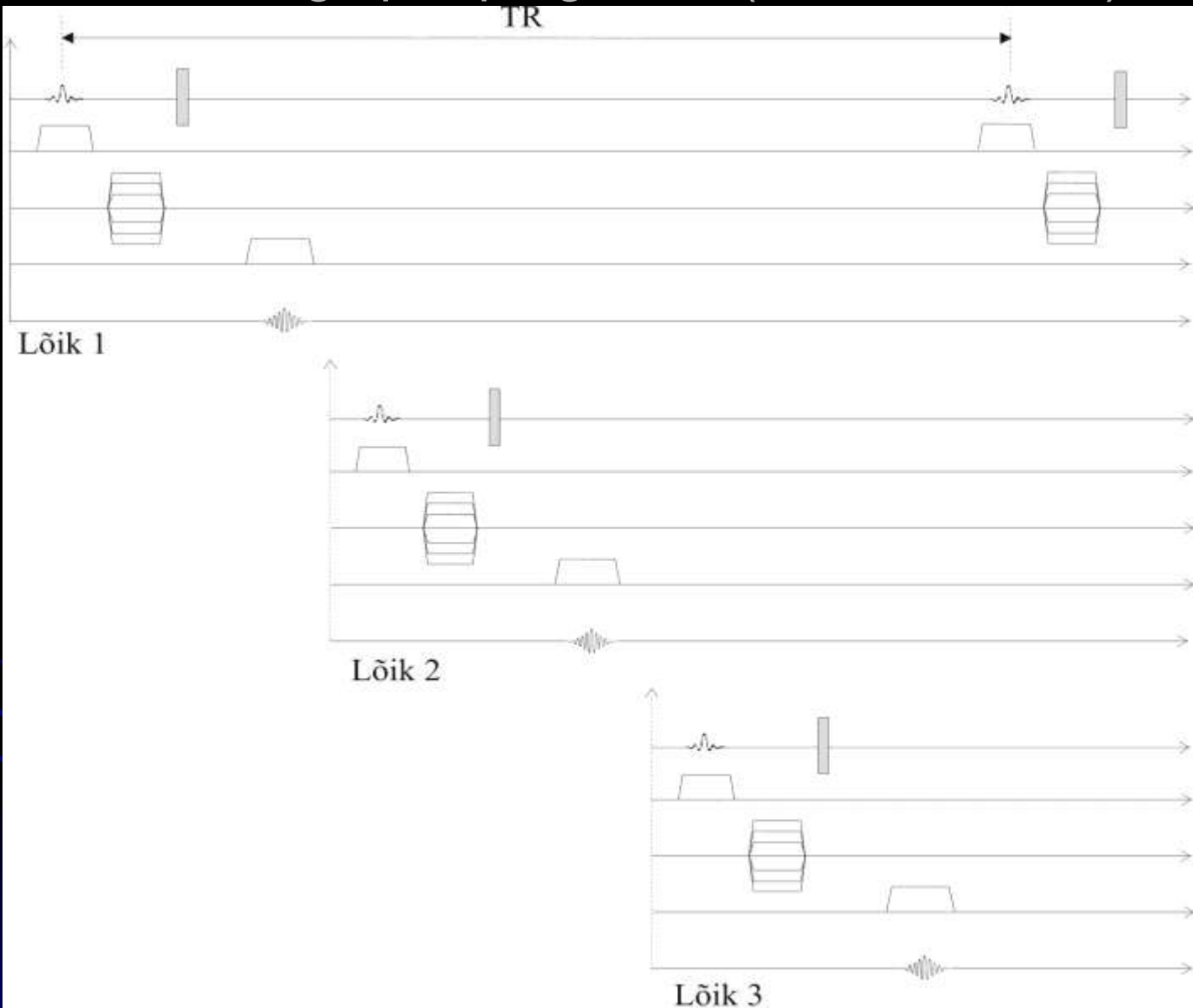


Mitme kajaga pulssprogramm (multi-echo, ME, Dual-echo)



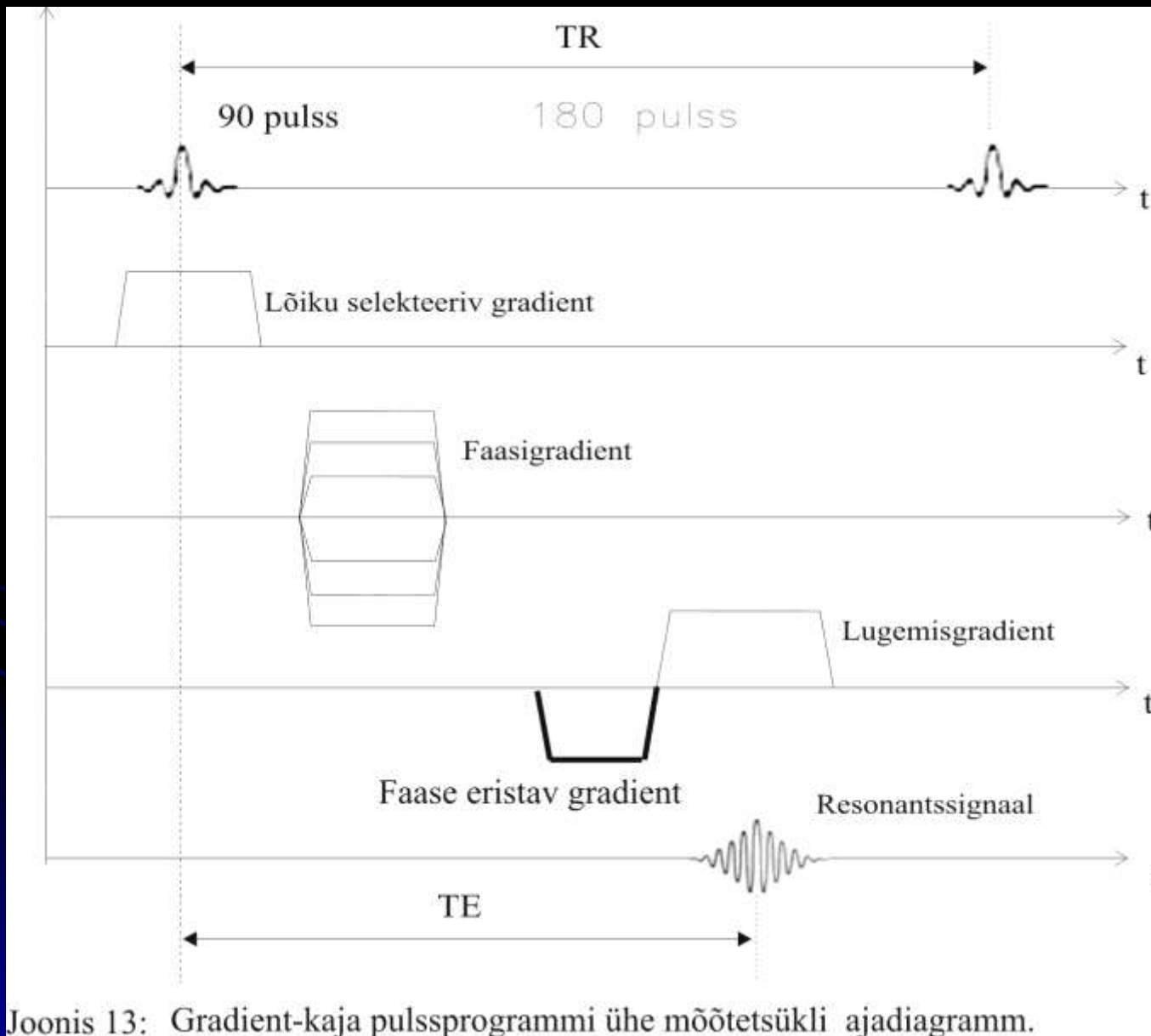
Joonis 11: Spinn-kaja pulssprogramm kahe kajasisignaaliga (multi echo), mis annab 2 erineva kontrastsusega kujutist.

Mitme lõigu pulsprogramm (multi slice, MS)



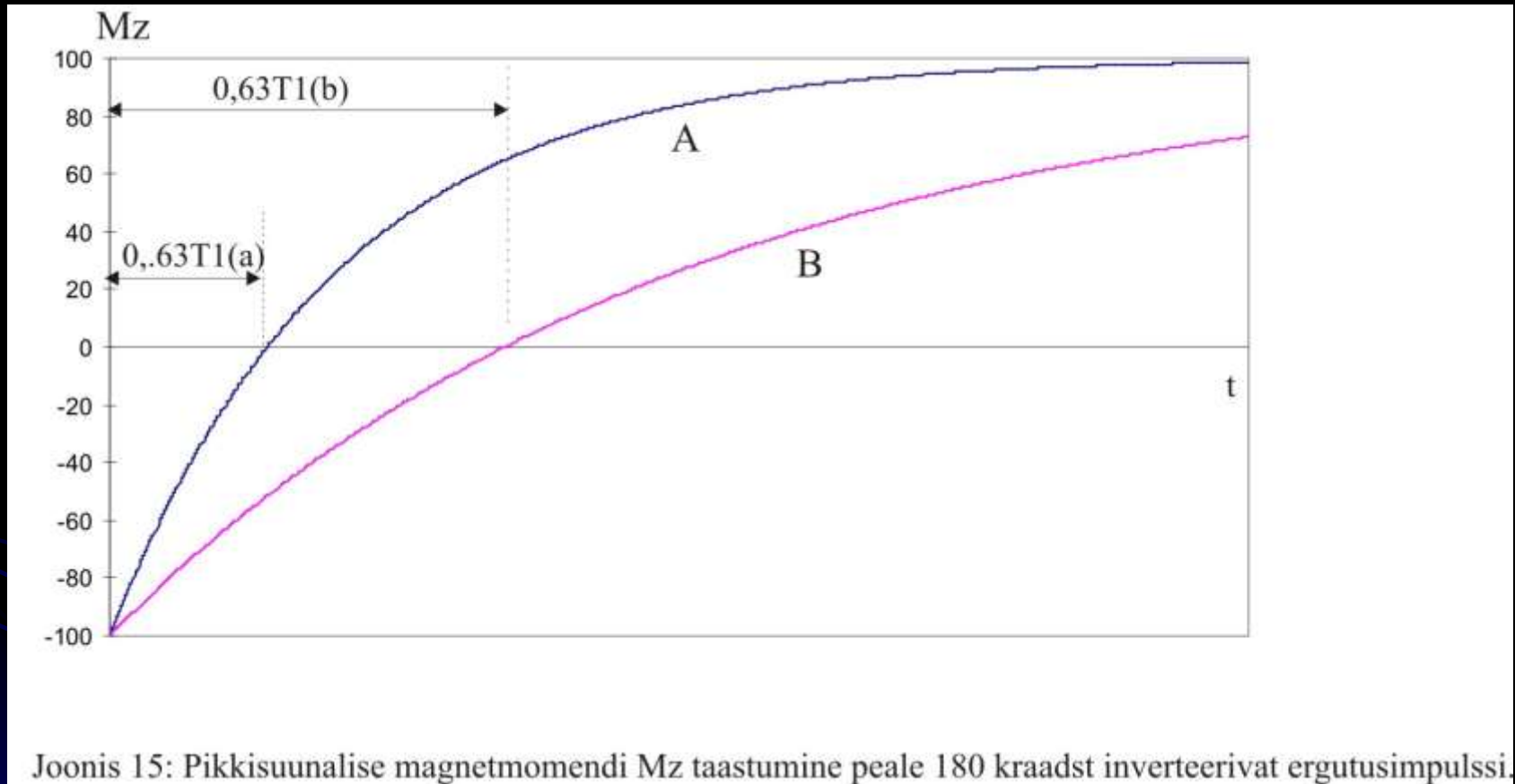
Joonis 12: Spin-kaja pulssprogramm, kus ühe mõõtetsükli TR ajal teostatakse mõõtmised mitmest lõigust (multi slice).

Gradient kaja pulssprogramm (gradient-echo, GE, field echo)



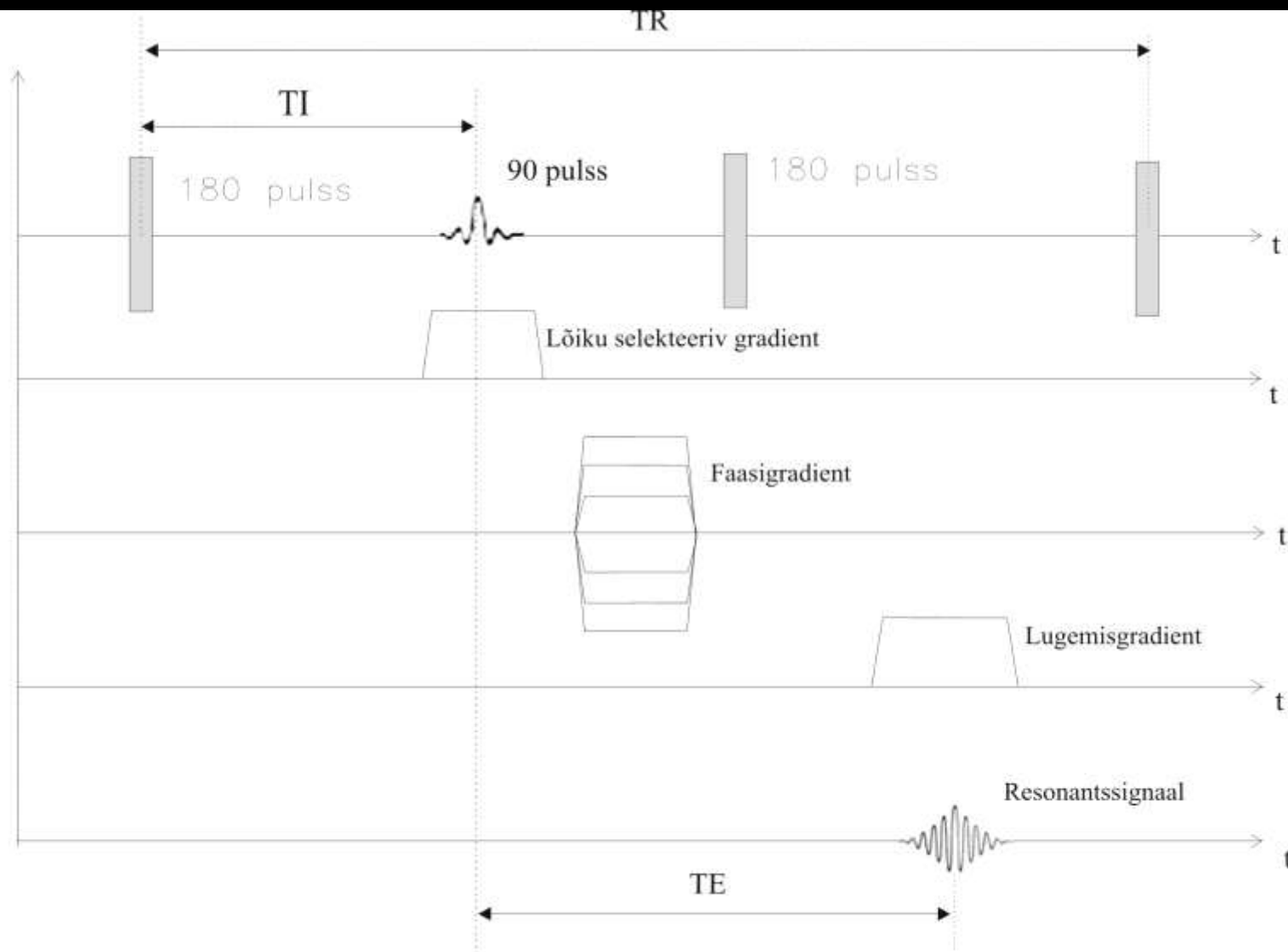
Joonis 13: Gradient-kaja pulssprogrammi ühe mõõtettsükli ajadiagramm.

Inversioon-taastumine (inversion-recovery, IR)



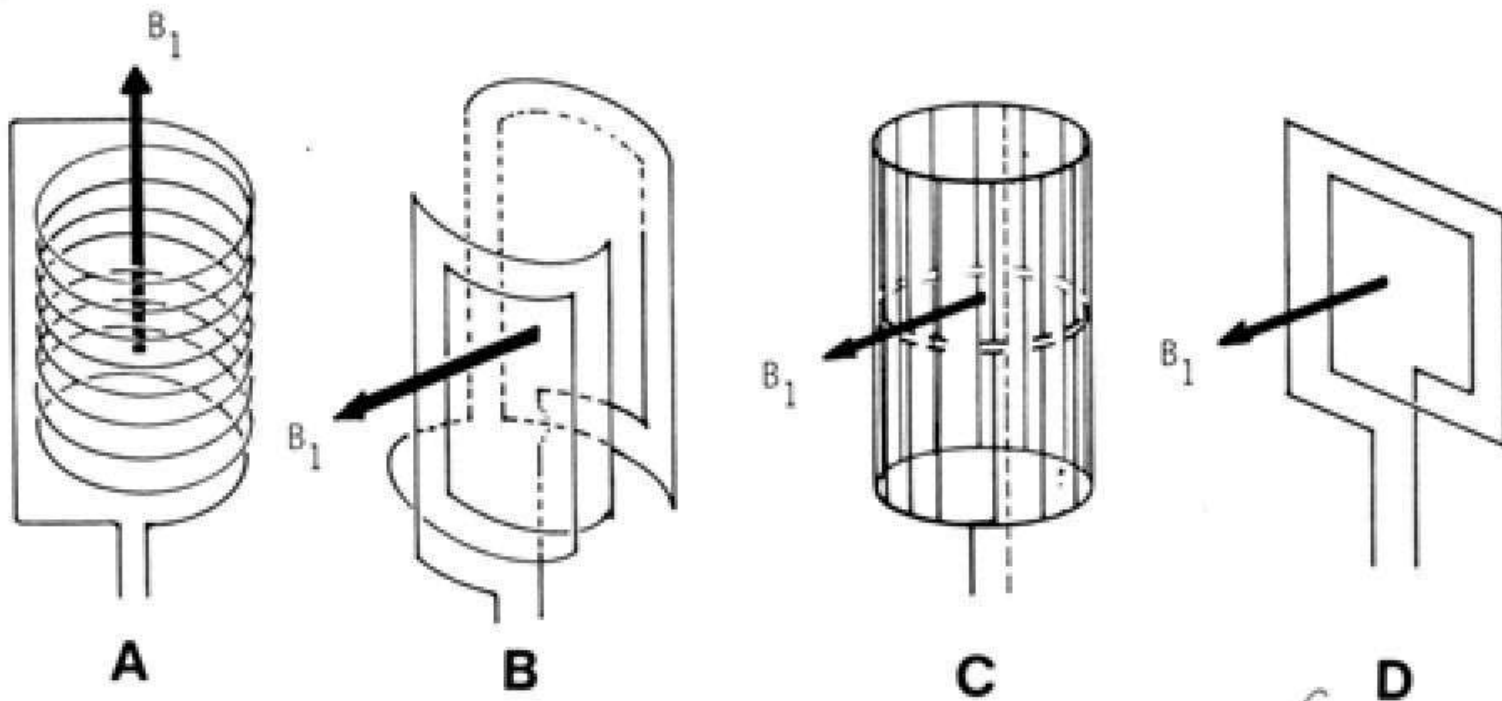
Joonis 15: Pikkisuunalise magnetmomendi M_z taastumine peale 180 kraadst invertteerivat ergutusimpulssi.

IR- pulssprogramm



Joonis 14: IR pulssprogrammi ühe mõõtetsükli ajadiagramm.

Mõõtepoolid



Joonis 16:

Raadiosageduspoolid

A: solenoidikujuline pool, B: Helmholtzi pool, C: resonaator, D: pinnapool



Magnetite liigitus



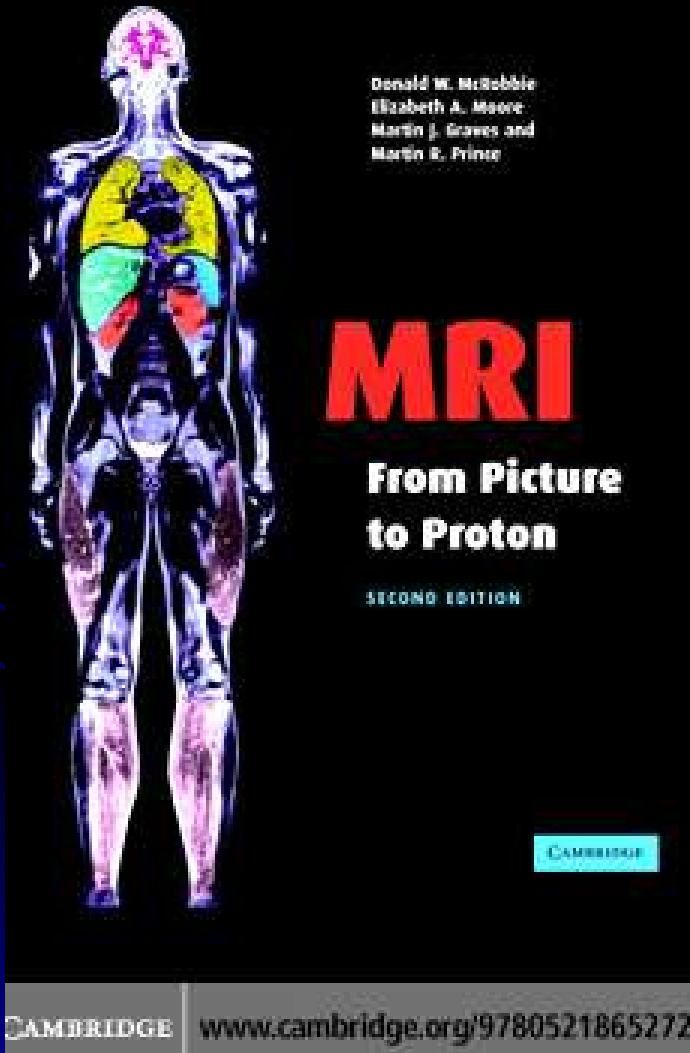
Solenoidi kujulised tunneliga magnetid:
(Tänapäeval tavaliselt ülijuht mähisega,
tugeva väljaga >1 Tesla: 1.5T või 3T)



Avatud magnetid:

Tänapäeval tavaliselt kuni 1T väljaga püsi või elektromagnetiga

KASUTATUD MATERJALID



- *Internet*