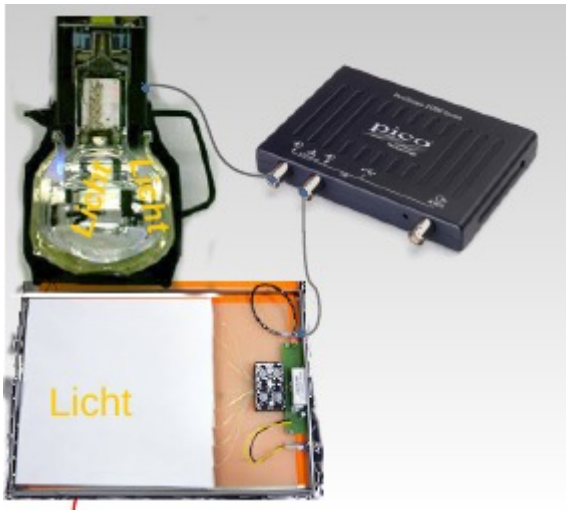
Software zur Auslese und Analyse der Experimente des Netzwerks Teilchenwelt

Kurzfassung:
Python-Script zur Aufnahme und Auswertung der Daten der CosMO-Detektoren und der Kamiokanne des Netzwerks Teilchenwelt mit einem USB-Oszilloskop der Firma PicoTechnology



Ein ausführliches Tutorium befindet sich unter dem Link Anleitung.pdf.

Kurzbeschreibung der Funktionalität

Das Netzwerk Teilchenwelt, http://www.Teilchenwelt.de stellt Experimente zum Nachweis von Myonen aus der kosmischem Strahlung zur Verfügung. Dies sind die Szintillationszähler des CosMO-Experiments und der aus einer Kaffeekanne mit aufgesetzter Photoröhre bestehende Wasser-Cherenkov-Zähler "Kamiokanne". Diese Detektoren liefern kurze Signale von ca. 100 ns Dauer und einigen 10 bis 100 mV Pulshöhe, die mit einem Oszillographen sichtbar gemacht werden können.

Auch Geigerzähler oder Detektoren für Gammastrahlung, wie der GDK 101 mit PIN-Dioden können mit dieser Software verwendet werden.

Moderne USB-Oszilloskope wie das PicoScope der Firma PichoTechnology, siehe http://www.picotech.com, erlauben es, die Pulsformen nicht nur anzuzeigen, sondern auch in Echtzeit an einen Commputer zu exportieren, mit dem sie dann aufgezeichnet, angezeigt und analysiert werden können. Diesem Zweck dient das hier beschriebene Projekt "*picoCosmo*". Es ist auf Linux-Systemen und auch auf dem Raspberry Pi lauffähig und unterstützt PicoScope-Geräte mit zwei oder vier Kanälen.

picoCosmo nutzt zur Datenaufname den Puffermanager und die Echtzeit-Anzeigen des Projekts *picoDAQ* (https://github.com/Guenter.Quast/picoDAQ). Der Puffermanager von *picoDAQ* sammelt die Daten und verteilt sie an Echtzeit-Anzeigen oder weitere Prozesse zur Datenauswertung. *picoCosmo* ist eine angepasste und um umfangreiche Funktionalität zur Datenauswertung

erweiterte Variante des Scripts *runDAQ.py* aus dem Projekt *picoDAQ*.

Die Analyse der aufgezeichneten Pulsformen verläuft in drei Schritten:

1. **Validierung der Trigger-Schwelle des Oszilloskops**

   Dazu wird der Signalverlauf um den Triggerzeitpunkt mit einem Musterpuls verglichen und das Signal akzeptiert, wenn die Form gut übereinstimmt und der Puls eine Mindesthöhe überschreitet.

2. **Suche nach Koinzidenzen**

   Als nächstes werden Pulse auf allen aktiven Kanälen in der Nähe des Triggerzeitpunkts gesucht. Bei mehr als einem angeschlossenen Detektor wird ein aufgezeichnetes Ereignis akzeptiert, wenn mindestens zwei in zeitlicher Koinzidenz auftreten.

3. **Suche nach verzögerten Pulsen**

   Im optionalen dritten Schritt werden weitere Pulse auf allen aktiven Kanälen gesucht und die Zeitdifferenz zum Triggerzeitpunkt festgehalten. Solche Pulse treten auf, wenn ein Myon aus der kosmischen Strahlung nach Durchgang durch den bzw. die Detektoren gestoppt und das aus dem Zerfall entstandene Elektron registriert wird. Die registrierten individuellen Lebensdauern folgen einer Exponential-Verteilung mit einer mittleren Lebensdauern von 2,2 µs, die auf diese Weise bestimmt werden kann.

Die Software bietet Echtzeit-Anzeigen der Myon-Rate, der aufgenommenen Pulshöhen und der Myon-Lebensdauern. Zusätzlich können Mehrfach-Pulse als Rohdaten der registrierten Pulsformen oder als Bilder im *.png*-Format gespeichert werden.

###Abhängigkeiten von anderen Paketen

Der hier bereit gestellte Code hängt von anderen Software-Paketen ab, die zuvor auf Ihrem System installiert sein müssen:

- das Datennahme-Paket ('Data Acquisition') *picoDAQ*, https://github.com/GuenterQuast/picoDAQ
- das *pyhton* -Interface *pico-python*, https://github.com/colinoflynn/pico-python
- die Gerätetreibern und C-Bibliotheken aus dem 'Pico Technlology Software Development Kit', das zusammen mit

  der PicoScope-Software installiert wird, siehe https://www.picotech.com/downloads

Auch auf dem Raspberry Pi können die Treiber installiert werden, die grafische Oberfläche *PicoScope* ist allerdings (noch) nicht verfügbar.

Installation der Software

Zunächst werden alle Dateien dieses Projekts über den Link https://github.com/GuenterQuast/picoCosmo herunter geladen und in einem Arbeitsverzeichnis abgelegt. Vor der Verwendung müssen die folgenden Pakete installiert werden:

- PicoTech Software Development Kit: https://www.picotech.com/library/oscilloscopes/picoscope-software-development-kit-sdk.
- das *pico-pyhton* Paket: https://github.com/colinoflynn/pico-python.

- das picoDAQ Paket, vers. >= 0.7.2: https://github.com/GuenterQuast/picoDAQ.

Zur Vereinfachung der Installation sind im Unterverzeichnis *libs/whl/* kompatible Versionen der Module *picoscope* aus dem Paket *pico-python* und *picodaqa* aus dem Paket *picoDAQ* als *python-wheels* enthalten; die Dateien für das picoscope können mit pip install *.whl installiert werden können.

Die Treiberdateien der Firma *PicoTech* für den **Raspberry Pi** sind im Verzeichnis *libs/picoscopelibs/* enthalten. Durch Ausführen des Scripts *installlibs.sh* werden alle für *picoCosmo* notwendigen Komponenten auf der Rasbperry Pi installiert.

Druch einmaliges Ausführen des Skrips *install_user.sh* wir ein Arbeitsverzeichnis ~/picoCosmo erzeugt, das ausführbare Dateien und Konfiguarionsbeispiele enthält für verschiedne Detektoren oder Kombinationen davon enthält:

- für die the Phywe-Version der Kamiokanne (*PhyweKanne.daq*)
- für Kamiokanne mit schnellem signal von einer Fotoröhre oder einem Silizium-Photomultiplier (SiPM) (*Kanne.daq*)
- für die CosMO-Panels (*Cosmo.daq* oder *Cosmo2000.daq* für ein PicoScope der A-Serie)
- für ein CosMo-Panel mit einer Kamikanne (*Kanne-plusPanel.daq*)
- für den Gammadetektor GDK 10 (*GammaCounter.daq* oder GammaCounter2000.daq für die A-Serie)

Programmausführung

Der Code kann entweder auf der Linux-Kommandozeile über das Script *runCosmo.py* oder über eine grafische Oberfläche, *CosmoGui.py*, gestartet werden.

Um die grafische Öberfläche zu nutzen, wird das Verzeichnis *picoCosmo* benötigt:

```
 cd
 mkdir picoCosmo
```

Jetzt wird die Oberfläche mit dem Befehl

```
<picoCosmo-Installationsverzeichnis>/CosmoGui.py
```

Als Alternative zur grafischen Oberfläche kann *picoCosmo* auch über die Kommandozeile gestartet werden. Dazu ins Installationsverzeichnis von *picoCosmo* wechseln

```
cd  <picoCosmo-Installationsverzeichnis>
```

und dann

```
./runCosmo.py [Konfigurationsdatei]
```

eingeben.

Die benötigten Information zur Konfiguration des USB-Oszilloskops, der Pufferverwaltung zur Bereitstellung der Daten und die Pulsanalyse werden in Konfigurationsdateien im *.yaml*-Format bereit gestellt. Die für eine spezielle Konfiguration verwendeten Dateien sind in einer Datei im *.yaml*-Format mit der Endung *.daq* enthalten.

Beide Programme benötigen eine Konfigurationsdatei

- *Cosmo.daq* : Konfiguration für die Cosmo-Panels
- *Kanne.daq* : Konfiguration für die Kamiokanne.

Diese Dateien enthalten die Namen weiterer Konfigurationsdateien, die für das PicoScope, den Puffer-Manager und die Pulsanalyse verwendet werden.

Auch die grafische Oberfläche kann analog mit einer Konfiguration initialisiert werden:

```
./CosmoGui xxx.daq
```

Die Konfigurationsdatei kann aber auch mittels der grafischen Oberfläche ausgewählt und die spezifizierten Konfigurationen editiert werden. Über die grafische Oberfläche kann ein Arbeitsverzeichnis für die Ausgabedateien und ein Name für die Datennahme festgelegt werden. Alle für eine Datennahme (einen sogenannten *Run*) benötigten Konfigurationsdateien und die Programmausgaben werden in einem eigenen Verzeichnis abgelegt, deren Name aus dem Namen für die Datennahme und dem Startzeitpunkt abgeleitet wird.

Details zu Konfiguration

Wie oben beschrieben, wir die Datanaufnahme und Analyse entweder über die grafische Oberfläche (*./CosmoGui.py xxx.daq*) oder über die Kommandozeile (*./runCosmo xxxx.daq* gestartet. Ohne Angabe einer Konfigurationsdatei wird die Datei *default.daq* verwendet.

Nach dem Start eines Runs startet die grafische Oberfläche des Puffer-Managers und die in der Konfiguration festgelegten Echtzeit-Anzeigen. Über die Kontrollflächen des Puffer-Managers kann die Datennahme pausiert (*Pause*), wieder aufgenommen (*Resume*) oder beendet werden (*Stop* und **EndRun*). In gestopptem Zustand werden die Ausgabedateien geschlossen, aber alle Fenster bleiben noch geöffnet, so dass Grafiken betrachtet oder gespeichert und statistische Information ausgewertet werden können. Wird der Run beendet, verschwinden alle Fenster.

Zwei Hilfsanwendungen, *plotDoublePulses.py* und *makeFigs.py* ermöglichen das Einlesen der abgespeicherten Pulsformen und deren graphische Anzeige bzw. Abspeichern als Grafikdateien im *.png*-Format.

Die Konfigurationsdateien für das USB-Oszilloskop, den Puffer-Manager und die Signalanalyse sind in jeweils einer Datei vom Typ *.yaml* im Unterverzeichnis *./config/* festgelegt. Die Dateinamen sind in Dateien vom Typ *.daq* enthalten, also `Kanne.daq` für Kamiokanne and *Cosmo.daq* für die CosMO-Panels.

Die folgenden Beispiele für Konfigurationsdateien gelten für eine Datennahme mit zwei CosMO-Panles. Die in den Konfigurationsdateien verwendete Syntax entspricht der Markup-Sprache *yaml*. Insbesondere kennzeichnet Text nach einem `#` -Zeichen erklärende Kommentare oder enthält alternative, auskommentierte Konfigurationsoptionen, die durch Löschen des `#` -Zeichens aktiviert werden können.

Inhalt der Datei default.daq:

```
# file default.daq
# --------------------
# Konfigurationsdatei für Datennahme und Echtzeit-Auswertung

DeviceFile: config/PSconfig.yaml   # Konfigurationsdatei Oszilloskop
BMfile:     config/BMconfig.yaml   #     Buffer Manager
PFfile:     config/PFconfig.yaml   #     Pulsfilter
```

Die Oszilloskop-Konfiguration enthält Informationen zum Typ des Oszilloskops und legt die aktiven Kanäle und die Triggerbedingung für die Auslese fest.

Inhalt der Datei PSconfig.yaml:

```
# file PSconfig.yaml
# -------------------
# Konfiguration für zwei Kanäle (~150ns Pulsdauer, <300mV Pulshöhe)

PSmodel: '2000a'           # model type (2000a ist Vorgabe, für Moedlle PS
220xB and 240xB)

# Konfiguration der Kanäle
picoChannels: [A, B]              # aktive Kanäle
## picoChannels: [A, B, C]        # optional für Osciloskop mit >2 Kanälen
ChanModes:     [AC, AC, AC]       # AC- oder DC-Kopplung
ChanRanges: [0.2, 0.2, 0.2]       # Eingangsbereich
ChanOffsets: [0.14, 0.16, 0.15]   # Offset (nicht für Modell 2204x)
ChanColors: [darkblue, sienna, indigo]  # optional: Kanalfarben für Anzeige

## Trigger
trgChan: A          # Kanalname
trgThr: -40.E-3     # Schwelle
trgTyp: Falling     # Typ: Falling, Rising, Above, Below
pretrig: 0.05       # % der vor Trigger gewpeicherten Samples (nicht für Model
2204x)

## Datenaufnahme
Nsamples: 4000                    # Zahl der Datenpunkte pro Auslese
sampleTime: 16.E-6                # Zeitdauer; Zeitabstand zwischen zwei
Datenpunkte ist
#     in s, wiss. Format          #  sampleTime/Nsamples (bzw. nächstkleiner
gültiger Wert)
#     mit . und vorzeichen-
#     behafteten Exponenten
```

Die Konfigurationsdatei für den Puffer-Manager gibt an, wie viele Puffer verwendet werden, welche Anzeige-Module gestartet werden und ob ein Log-File erstellt werden soll. Hier sind meist keine Änderungen notwendig.

Inhalt der Datei BMconfig.yaml:

```
# file BMconfig.yaml
# ------------------
# Konfigurationsdatei des picoDAQ Puffermanagers

NBuffers: 16          # Anzahl der Puffer für aufgezeichnete Pulsformen
BMmodules: [mpOsci]   # BufferMan- Module, die gestartet werden sollen
verbose: 1            # setze Niveau der ausgegebenen Nachrichten (0, 1, 2)
LogFile: BMsum        # Schreibe log-Datei mit laufenden Angaben
```

Die Konfiguration der Pulsanalyse spezifiziert die gewünschten Ausgabedateien und gibt die Pulsform und die Pulshöhe für jeden Kanal sowie die zu startenden Anzeige-Module an. Sie enthält auch die Spezifikation der Echtzeit-Histogramme für Pulshöhen, Myon-Rate und Lebensdauer, sowie einge optionale Eintäge. Ein Beispiel ist hier gezeigt:

Inhalt der Datei PFconfig.yaml:

```
# file PFconfig.yaml
# -------------------
# Konfiguration des Pulsfilters und der Echtzweit-Auswertung
#           dokumentiert alle z. Zt. verfügbaren Optionen

## Ausgabedateien  (null setzen falls keine Ausgab erwünscht)
logFile: pFilt    # Abspeichern der Parameter aller gültigen Pulse
logFile2: dpFilt  # Pulsparameter für identifizierte Doppelpulse
# special for double pulse search:
rawFile:  dpRaw    # Abspeichern der Roh-Wellenformen für Doppelpulse
pictFile: dpFigs   # Speichern von Oszilloskop-Bildern der
Doppelpulsereignissse

## Puls-Parameter
#              ____
#             /    \
#    ____, _ /_ _ _ \_ _ _ _ _ _
#                    \_______/
#      d     r  on f f2 off r2
#
#       d ist optional, so wie f2, off und r2 für bipolare Pulse
#
# List mit Dictionaries für Pulsform pro Kanal
pulseShape:
# channel A:
 - pheight: -0.040
   taur   : 20.E-9
   tauon  : 12.E-9
   tauf   : 128.E-9
   OffsetSubtraction: true # opt., Abziehen des DC-Offsets für uni-polare
Pulse

# channel B:
 - pheight: -0.040
   taur   : 20.E-9
   tauon  : 12.E-9
   tauf   : 128.E-9
   delay  : 0.000       # optional: Verzögerung relativ zum Triggerkanal
   OffsetSubtraction: true # # opt., Abziehen des DC-Offsets für uni-polare
Pulse
```

```
# eventuell spezielle Pulsform für Trigger-Puls
trgPulseShape:
# trigger pulse
 - pheight: -0.040
   taur   : 20.E-9
   tauon  : 12.E-9
   tauf   : 128.E-9

# Prözision des Timings zwischen Kanälten (optional)
timingPrecision: 2 # in Einheiten der Sampling-Zeit, default is 2

## Kriterien für akzeptierte Ereignisse (optional)
# '#' entfernen, um Option einzuschalten
#NminCoincidence: 2 # min. Anzahl koinzidenter Signale, Vorgabe ist 2
#    alternativ:
#    Angabe von Mustern von Pulses  (überscheibt NminCoincience)
#acceptPattern:
# - [1, 1]  # gültiger Puls chanA and ChanB
# - [0, 1]  # nicht ChanA und ChanB
# - [1, 0]  # ChanA und nicht ChanB

## Anzeigemodule Optionen
modules: [RMeter, Display, Hists]
#   Retenmessung, Amzeige der Signalhöhen, Histogramme
# --- für Ratenmessung
RMeterInterval:  2.5  # Update-Interval in Sec.
RMeterRate:  12.      # max Rate in Hz
RMeterTitle: 'rate history (s)'
# --- für Histogramme
histograms:
  # min max Nbins ymax    title              lin/log
 - [0., 0.4, 50, 20., "noise Trg. Pulse (V)", 0]
 - [0., 0.8, 50, 15., "valid Trg. Pulse (V)", 0]
 - [0., 15.,  45, 7.5, "Tau (µs)", 1]
 - [0., 0.8, 50, 15., "Pulse Height (V)", 0]

## Analyse options
doublePulse: true  # Suche nach Doppelpulsen ein- (Vorgabe) bzw. ausschalten
```

Beispielausgaben

Das Verzeichnis *./output* enthält Ergebnisse einer Langzeitmessung (ca. 20 Tage) mit der Kanne und einer etwa eintägigen Messung mit zwei Cosmo-Panels.

Die gepackte Datei *rawDP_.dat.zip* enthält die Rohdaten der aufgezeichneten Pulsformen für erkannte Doppelpulse. Die Scripte *plotDoublePulses.py* und *makeFigs.py* erlaubt das Einlesen der gepackten Datei und die grafische Darstellung der Doppelpulse bzw. die Speicherung als Grafikdateien im *.png*-Format. Die aus den Doppelpulsen bestimmten Lebensdauern sind in der Datei *dpKanne2_180403.dat* enthalten. Eine Anpassung einer Exponentialfunktion an gemessene Lebensdauern zwischen 1.5 µs and 15. µs kann mit dem Skript *fit_dpData.py* ausgeführt werden; das Ergebnis zeigt die Grafikdatei *life-ofMU_180403.png*.

Das *pyhton*-Skript *RateAnalysis.py* dient zur statistischen Analyse der Zeitpunkte des Entreffens registrierter Ereignisse dar und nutzt als Eingabe die *PulseFilter* Log-Datei. Dargestellt weden die Ereignisrate als Fuktion der Zeit, die Verteilung dieser Rate und die Differenzen der Zeitpunkte von nacheinander eintreffenden Ereignissen (die sog. "Wartezeit"). Die Datei *Kanne_180403/pFilt_Kanne.dat* enthält eine Beispieldatei für eine kurze Datennahme; der Befehl *./RateAnalysis.py Kanne_180403/pFilt_Kanne.dat* zeigt die entsprechenden Grafiken an.

Ausführen auf dem Raspberry Pi

picoCosmo läuft auch auf dem Einplatinen-Computer Rasbperry Pi unter dem Betriebssystem Raspbian. Nach dem Aufsetzen des Raspberry Pi sind die folgenden Schritte notwendig um alle benötigten Pakete zu installieren (*stretch* und *buster* Release):

```
sudo apt-get update
sudo apt-get upgrade

sudo apt-get install python3-scipy
sudo apt-get install python3-matplotlib
sudo apt-get install python3-pyqt5
sudo apt-get install libatlas-base-dev # needed by latest version of numpy

sudo pip3 install pyyaml

# Installation der MS TrueType fonts
sudo apt-get install ttf-mscorefonts-installer

# Installation der picoScope-Treiber siehe
#    https://www.picotech.com/support/topic14649.html
# nach Aufsetzen des picotech Repositories
sudo apt-get install libps2000a
sudo apt-get install libps2000

# picoCosmo Code und notwendige Pakete
mkdir git
cd git
git pull https://github.com/GuenterQuast/picoCosmo
cd picoCosmo/libs/whl
sudo pip3 install *.whl
# Nuter in Gruppe  pico eintragen, um Zugriff auf USB-Ports zu gewähren
sudo useradd -G pico $USER
```

Erzeugen Sie das Unterverzeichnis *picoCosmo*, in dem alle Konfigurationsdateien und die Programmausgabe gespeichert werden:

```
 cd
 mkdir picoCosmo
```

Jetzt ist alles vorbereitet, um die grafische Oberfläche von *picoCosmo* zu starten:

```
<picoCosmo-Installationsverzeichnis>/CosmoGui.py
```